UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Ida JELENKO

ČELJUSTI SRNJADI (*Capreolus capreolus* L.) KOT BIOINDIKATOR ONESNAŽENOSTI OKOLJA IN PRIPOMOČEK ZA TRAJNOSTNO UPRAVLJANJE S SRNJADJO IN NJENIMI HABITATI

DOKTORSKA DISERTACIJA

ROE DEER (*Capreolus capreolus* L.) MANDIBLES AS BIOINDICATOR OF ENVIRONMENTAL POLLUTION AND A TOOL FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT OF ROE DEER AND THEIR HABITATS

DOCTORAL DISSERTATION

Ljubljana, 2011

Doktorska disertacija je zaključek enovitega podiplomskega študija Bioloških in biotehniških znanosti na Biotehniški fakulteti v Ljubljani, področje varstvo naravne dediščine. Disertacijo sem opravljala na ERICo Velenje, Inštitutu za ekološke raziskave d.o.o., v Oddelku za ekološke in okoljske raziskave. Del ocene stopnje zobne fluoroze čeljusti srnjadi sem opravila v Nemčiji, in sicer na Institut für Biologie und Chemie, Stiftung Universität Hildesheim. Kemijske analize so bile opravljene v laboratoriju ERICo d.o.o. Določene statistične analize z uporabo GIS orodij sem opravila na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, Ljubljana.

Na podlagi Statuta Univerze v Ljubljani in po sklepu Senata Biotehniške fakultete ter sklepa 17. seje Senata Univerze v Ljubljani, z dne 12. 2. 2009, je dekan Biotehniške fakultete dne 26. 2. 2009 izdal odločbo št. 5-961/09 VJJ, ki doktorandki omogoča neposreden prehod na doktorski študij Bioloških in biotehniških znanosti ter opravljanje doktorata znanosti s področja varstvo naravne dediščine. Z isto odločbo sta bila sprejeta tema in naslov disertacije; za mentorja je bil imenovan doc. dr. Boštjan Pokorny (ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave d.o.o.), za somentorja pa doc. dr. Peter Skoberne (Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije).

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:	prof. dr. Ivan KOS Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
Član:	doc. dr. Boštjan POKORNY ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave d.o.o.
Član:	doc. dr. Peter SKOBERNE Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije
Član:	doc. dr. Davorin TOME Nacionalni inštitut za biologijo

Datum zagovora: 24. 3. 2011

Doktorska disertacija je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Ida JELENKO

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dd
DK GDK 156.2:907+149:156.1(043.2)=163.6
KG srnjad/čeljusti/varstvo narave/bioindikacija/onesnaženost okolja/fluoridi/zobna fluoroza/zavarovana območja/multivariatne analize/velikost čeljusti/okoljski dejavniki/anomalije
KK /
AV JELENKO, Ida, univ. dipl. geog.
SA POKORNY, Boštjan (mentor) / SKOBERNE, Peter (somentor)
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
LI 2011
IN ČELJUSTI SRNJADI (*Capreolus capreolus* L.) KOT BIOINDIKATOR ONESNAŽENOSTI OKOLJA IN PRIPOMOČEK ZA TRAJNOSTNO UPRAVLJANJE S SRNJADJO IN NJENIMI HABITATI
TD Doktorska disertacija
OP XIII, 215 str., 55 pregl., 78 sl., 9 pril., 375 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Srnjad (*Capreolus capreolus* L.) je ena najpomembnejših lovsko-gospodarskih vrst v skoraj vseh evropskih državah; hkrati je tudi ena primernejših vrst za bioindikacijo onesnaženosti okolja v kopenskih ekosistemih. Z namenom natančnega evidentiranja in kategorizacije uplenjenih živali se v Sloveniji vsako leto zberejo vse spodnje čeljusti iz lovišč izločene srnjadi; le-te zagotavljajo relevantne informacije o: (a) onesnaženosti okolja; (b) izpostavljenosti populacij in njihovem odzivu na izpostavljenost določenim onesnažilom; (c) vitalnosti srnjadi in spreminjanju kakovosti habitatov; (d) zdravstvenem stanju populacij. S primerjavo vsebnosti fluoridov v 441 čeljustih srnjadi štirih območij Slovenije smo ugotovili, da so najvišje vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi v okolici Kidričevega (dvo- do štiriletna srnjad: n = 42, ā = 840 ± 64 mg/kg, Max = 2.020 mg/kg); v Šaleški dolini so le-te bistveno nižje (dvo- do štiriletna srnjad: n = 22, ā = 175 ± 9,5 mg/kg, Max = 285 mg/kg), najnižje pa so v kontrolnem območju Zgornje Savinjske doline (dvo- do štiriletna srnjad: n = 8, ā = 138 ± 13 mg/kg, Max = 201 mg/kg). Na celotnem letnem odvzemu srnjadi iz leta 2007 je bila izvedena metoda odzivne bioindikacije onesnaženosti okolja s fluoridi, in sicer določitev stopnje zobne fluoroze (DLI: *dental lesion indeks*) z vizualno oceno vseh šestih stalnih kočnikov vseh odraslih osebkov srnjadi (n = 14.672; prisotnost zobne fluoroze: 14,9 %; povprečen DLI = 0,6 ± 0,1; Max DLI = 25). Ti podatki potrjujejo, da je zobna fluoroza (tako pojavnost kot tudi stopnja intenzitete) v Sloveniji bistveno nižja kot kažejo podatki nekaterih drugih območij iz Evrope. Le v okolici Kidričevega, kjer se nahaja tovarna aluminija, je DLI indeks povečan (lovišče LD Boris Kidrič: povprečen DLI = 7,8 ± 1,3; Max DLI = 20). Vsa večja naravovarstveno pomembna območja Slovenije so v smislu obremenjenosti s fluoridi v ugodnem ekološkem stanju. Na velikost čeljusti, kot potencialnega kazalnika vitalnosti srnjadi vpliva starost osebka, dostopnost in kvaliteta hrane, klimatski dejavniki (padavine) ter gostota jelenjadi (*Cervus elaphus* L.). Zdravstveni status populacij srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007, je bil določen s pregledom vseh čeljusti (>38.000) in določitvijo nekaterih anomalij, poškodb oz. bolezni. Prisotnost in pojavnost aktinomikoze (113 primerov; 7,4 ‰) ter hipoplazije (216 primerov; 14,1 ‰) se pojavlja razpršeno, kljub temu pa se na določenih območjih ti obolenji grupirata in sta najverjetneje posledica vpliva okoljskih dejavnikov, onesnaženosti oz. parazitov. Prisotnost prvega predmeljaka (27 primerov; 0,6 ‰) je naključna, medtem ko se odsotnost drugega predmeljaka (137 primerov; 3,3 ‰) pojavlja v skupinah, kar nakazuje na vpliv genetskih faktorjev.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dd
DC FDC 156.2:907+149:156.1(043.2)=163.6
CX roe deer/mandible/nature protection/bioindication/environmental pollution/ fluorides/dental fluorosis/protected areas/multivariate analyses/mandibular size/environmental factors/anomalies
CC /
AU JELENKO, Ida
AA POKORNY, Boštjan (supervisor) / SKOBERNE, Peter (co-supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty
PY 2011
TI ROE DEER (*Capreolus capreolus* L.) MANDIBLES AS BIOINDICATOR OF ENVIRONMENTAL POLLUTION AND A TOOL FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT OF ROE DEER AND THEIR HABITATS
DT Doctoral dissertation
NO XIII, 215 p., 55 tab., 78 fig., 9 ann., 375 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Roe deer (*Capreolus capreolus* L.) is one of the most important game species in the majority of European countries; moreover, it is also one of the most suitable species for bioindication of environmental pollution in terrestrial ecosystems. For recording of annual hunting bag and for categorization of eliminated animals their mandibles are in Slovenia collected annually by game managers; these mandibles have a huge potential for either scientists, ecologists or wildlife managers. Indeed, they provide basic information on: (a) environmental pollution; (b) exposure and responses of populations to different toxic substances; (c) animal fitness and changes in nutrient quality of their habitats; (d) health status of the populations. Comparison of fluoride levels in 441 left hemi-mandibles of roe deer (all age classes), shot in four regions of Slovenia in the year 2007, showed that the highest levels of fluorides were in mandibles from the Kidričevo region (2 – 4 year old animals: n = 42, $\bar{a}$ = 840 ± 64 mg/kg, Max = 2,020 mg/kg); in the Šalek Valley, they were much lower (n = 22, $\bar{a}$ = 175 ± 9.5 mg/kg, Max = 285 mg/kg); the lowest levels were in the control region of the Upper Savinja valley (n = 8, $\bar{a}$ = 138 ± 13 mg/kg, Max = 201 mg/kg). For sensitive bioindication, assessment of dental fluorosis (DLI) in the total annual cull of roe deer from Slovenia (year 2007) was done by ocular examination of all six check teeth of all available adult roe deer mandibles (n = 14,672; presence of dental fluorosis: 14.9%; average DLI = 0.6 ± 0.0; Max DLI = 25). These results showed that dental fluorosis (its appearance and its severity) in Slovenia is significantly lower in comparison with some other areas in Europe. Only one region, i.e. the vicinity of Kidričevo, where aluminium smelter is located, showed higher average DLI (Hunting ground Boris Kidrič: average DLI = 7.8 ± 1.3; Max DLI = 20). All large naturally important areas of Slovenia are not polluted with fluorides; in this respect their habitats have good ecological status. The quality and abundance of food, climate conditions (precipitations) and the density of red deer (*Cervus elaphus* L.) have (besides of the age of a specific animal) the main influence on the mandible lengths and therefore on the fitness of an animal. The health status of the Slovenian population of roe deer was assessed with determination of some anomalies and/or diseases of mandibles/teeth; the presence and distribution of actinomycosis (113 cases; 7.4‰) and hypoplasia (216 cases; 14.1‰) is random in Slovenia, but still there can be found some groupations, therefore the influence of environment factors, pollution or parasites cannot be eliminated; presence of the fist premolar (27 cases; 0.6‰) is random, while absence of the second premolar (137 cases; 3.3‰) is appearing in groups which is the consequence of genetic factors.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA ... III
KEY WORDS DOCUMENTATION ... IV
KAZALO VSEBINE ... V
KAZALO PREGLEDNIC ... VIII
KAZALO SLIK ... X
KAZALO PRILOG ... XI
OKRAJŠAVE, SIMBOLI IN POJMI ... XII

1 UVOD ... 1
1.1 NAMEN IN CILJI RAZISKAVE ... 7
1.2 RAZISKOVALNE HIPOTEZE ... 11
2 PREGLED DOSEDANJIH RAZISKAV ... 13
2.1 NEKATERE ZNAČILNOSTI SRNJADI, POVEZANE Z RAZISKAVO ... 13
2.1.1 Taksonomija in razširjenost vrste ... 13
2.1.2 Teritorialnost in izbira življenjskega prostora ... 13
2.1.3 Prehranjevanje ... 15
2.1.4 Razmnoževanje in poleganje mladičev ... 16
2.1.5 Telesni opis in razvoj osebka ... 17
2.1.5.1 Zobna formula srnjadi in proces rasti zob ... 18
2.1.6 Starostna struktura in določanje starosti srnjadi ... 19
2.1.7 Gostota odvzema srnjadi v Sloveniji (kot odraz gostote populacije) ... 20
2.2 VARSTVO NARAVE IN RABA NARAVNIH VIROV (LOV SRNJADI) ... 22
2.2.1 Varstvo prostoživečih živali in njihova trajnostna raba ... 23
2.3 SPODNJE ČELJUSTI PROSTOŽIVEČIH PREŽVEKOVALCEV/SRNJADI KOT BIOINDIKATOR ONESNAŽENOSTI OKOLJA S FLUORIDI ... 25
2.3.1 Fluoridi v okolju in njihov vnos v organizme ... 25
2.3.2 Čeljusti kot akumulacijski bioindikator onesnaženosti okolja – vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih predstavnikov iz družine jelenov ... 28
2.3.3 Spodnje čeljusti nekaterih predstavnikov družine jelenov kot odzivni bioindikator kakovosti okolja ... 31
2.3.3.1 Zobna fluoroza srnjadi/jelenjadi kot bioindikator onesnaženosti okolja po svetu ... 32
2.3.3.2 Vpliv časa formacije zobovja na stopnjo zobne fluoroze ... 34
2.3.4 Soodvisnost med vsebnostjo fluoridov v čeljustih in zobno fluorozo ... 36
2.3.5 Fluoridi v okolju kot element tveganja za zavarovane rastlinske in živalske vrste ter potencialna grožnja za zmanjšanje biodiverzitete ... 37
2.4 VELIKOST SPODNJIH ČELJUSTI SRNJADI IN VITALNOST OSEBKOV ... 39
2.4.1 Vpliv gostote populacije na velikost osebka ... 40
2.4.2 Vpliv okoljskih dejavnikov na velikost osebka ... 40
3 MATERIAL IN METODE ... 43
3.1 OPIS RAZISKOVALNIH OBMOČIJ ... 43
3.1.1 Kratek pregled naravnogeografskih značilnosti Slovenije ... 45
3.1.1.2 Onesnaženost Slovenije s fluoridi ... 47
3.1.2 Šaleška dolina ... 50
3.1.2.1 Geografski opis območja ... 50
3.1.2.2 Onesnaženost Šaleške doline, s poudarkom na fluoridih ... 53

3.1.3 Okolica Kidričevega: Dravsko-Ptujsko polje, Dravinjske gorice, Haloze in Slovenske gorice ... 57
3.1.3.1 Geografski opis območja ... 57
3.1.3.2 Onesnaženost okolice Kidričevega s fluoridi ... 59
3.1.4 Zasavje ... 62
3.1.4.1 Geografski opis območja ... 62
3.1.4.2 Onesnaženost Zasavja, s poudarkom na fluoridih ... 63
3.1.5 Zgornja Savinjska dolina ... 65
3.1.6 Naravovarstveno pomembna območja Slovenije ... 66
3.1.6.1 Ekološko pomembna območja ... 67
3.1.6.2 Posebna varstvena območja (območja Natura 2000) ... 68
3.1.6.3 Zavarovana območja ... 70
3.2 VZORČENJE, DELO Z VZORCI IN MAKROSKOPSKE/KEMIJSKE ANALIZE ... 71
3.2.1 Zbiranje spodnjih čeljusti srnjadi ... 71
3.2.2 Določanje starosti živali ... 72
3.2.3 Akumulacijska bioindikacija – vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi ... 73
3.2.3.1 Vzorčenje znotraj Šaleške doline – zgodovinska bioindikacija ... 74
3.2.3.2 Vzorčenje znotraj Slovenije – prostorska bioindikacija ... 75
3.2.3.3 Priprava vzorcev in kemijske analize ... 75
3.2.4 Odzivna bioindikacija – zobna fluoroza srnjadi ... 76
3.2.4.1 Vzorčenje in priprava vzorcev ... 76
3.2.4.2 Opredelitev metode določanja stopnje zobne fluoroze ... 77
3.2.5 Meritve velikosti čeljusti ... 80
3.2.5.1 Vzorčenje ... 80
3.2.5.2 Metoda meritev velikosti spodnjih čeljusti srnjadi ... 80
3.2.6 Določanje anomalij, poškodb in obolenj spodnjih čeljusti srnjadi ... 81
3.3 METODA PROSTORSKEGA PRIKAZA REZULTATOV ANALIZ ... 82
3.3.1 Metoda prostorskega prikaza zobne fluoroze ... 82
3.3.2 Metoda prostorskega prikaza dolžin spodnjih čeljusti srnjadi ... 85
3.3.3 Metoda prostorskega prikaza anomalij, poškodb in obolenj čeljusti ... 85
3.4 ZBIRANJE, PRIPRAVA IN ANALIZA PODATKOV O POTENCIALNIH VPLIVNIH OKOLJSKIH DEJAVNIKIH ... 86
3.4.1 Zbiranje podatkov o srnjadi ... 86
3.4.2 Zobna fluoroza ... 88
3.4.2.1 Zbiranje in priprava podatkov o potencialnih vplivnih okoljskih dejavnikih ... 88
3.4.3 Dolžine spodnjih čeljusti srnjadi ... 93
3.4.3.1 Zbiranje in priprava podatkov o potencialnih vplivnih okoljskih dejavnikih ... 93
3.4.3.2 Analiza potencialnih vplivnih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti srnjadi ... 96
3.5 STATISTIČNE METODE ... 97
3.5.1 Vsebnost fluoridov ... 97
3.5.2 Stopnja zobne fluoroze ... 98
3.5.3 Dolžina spodnjih čeljusti srnjadi ... 100
4 REZULTATI ... 102
4.1 VSEBNOST FLUORIDOV V SPODNJIH ČELJUSTIH SRNJADI ... 102
4.1.1 Vpliv spola na vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi ... 102
4.1.2 Vpliv starosti na vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi ... 103
4.1.3 Dnevna akumulacija fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi ... 105
4.1.4 Vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 - 2009 ... 107
4.1.5 Vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz štirih območij Slovenije leta 2007 ... 112

4.2 ZOBNA FLUOROZA SRNJADI ... 117
4.2.1 Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz vseh lovišč Slovenije leta 2007 ... 117
4.2.2 Prostorski prikaz zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz celotne Slovenije leta 2007 ... 119
4.2.3 Vpliv okoljskih dejavnikov na zobno fluorozo srnjadi ... 123
4.2.4 Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009 ... 127
4.2.5 Soodvisnost med vsebnostjo fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi in stopnjo zobne fluoroze ... 131
4.2.6 Zobna fluoroza srnjadi, odvzete znotraj naravovarstveno pomembnih območij ... 132
4.3 DOLŽINA SPODNJIH ČELJUSTI SRNJADI ... 134
4.3.1 Vpliv spola in starosti na dolžino spodnjih čeljusti srnjadi ... 134
4.3.2 Primerjava dolžin spodnjih čeljusti srnjadi med različnimi regijami Slovenije ... 138
4.3.3 Prikaz povprečnih dolžin spodnjih čeljusti srnjadi Slovenije po loviščih ... 142
4.3.4 Vpliv okoljskih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti srnjadi ... 145
4.3.5 Primerjava dolžin spodnjih čeljusti srnjadi naravovarstveno pomembnih območij Slovenije ... 150
4.4 PRISOTNOST IN POJAVNOST RAZLIČNIH ANOMALIJ, POŠKODB IN OBOLENJ SPODNJIH ČELJUSTI SRNJADI ... 152
5 RAZPRAVA ... 155
5.1 VSEBNOST FLUORIDOV V SPODNJIH ČELJUSTIH SRNJADI – AKUMULACIJSKA BIOINDIKACIJA ... 155
5.1.1 Vpliv spola in starosti na vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi ... 155
5.1.2 Zgodovinski biomonitoring onesnaženosti Šaleške doline s fluoridi ... 157
5.1.3 Prostorski biomonitoring onesnaženosti Slovenije s fluoridi ... 160
5.2 ZOBNA FLUOROZA SRNJADI – ODZIVNA BIOINDIKACIJA ONESNAŽENOSTI OKOLJA S FLUORIDI ... 163
5.2.1 Soodvisnost med vsebnostjo fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi in stopnjo zobne fluoroze ... 163
5.2.2 Velikopovršinski biomonitoring onesnaženosti okolja Slovenije s fluoridi z določitvijo stopnje zobne fluoroze ... 164
5.2.3 Vpliv okoljskih dejavnikov na pojavljanje in prostorsko razporeditev zobne fluoroze srnjadi ... 171
5.2.4 Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz območja Šaleške doline v obdobju 1997 –2009, kot zgodovinski bioindikator onesnaženosti okolja s fluoridi ... 175
5.2.5 Zobna fluoroza srnjadi naravovarstveno pomembnih območij Slovenije ... 178
5.3 DOLŽINE SPODNJIH ČELJUSTI SRNJADI KOT ODRAZ VITALNOSTI OSEBKOV ... 180
5.3.1 Vpliv spola in starosti na dolžino spodnjih čeljusti srnjadi ... 180
5.3.2 Razlike v velikosti srnjadi med naravnogeografskimi regijami Slovenije in določitev vpliva okoljskih dejavnikov ... 182
5.3.3 Velikost (vitalnost) srnjadi znotraj naravovarstveno pomembnih območij Slovenije ... 188
5.4 PRISOTNOST IN POJAVNOST RAZLIČNIH ANOMALIJ, POŠKODB IN OBOLENJ SPODNJIH ČELJUSTI/ZOBOVJA SRNJADI ... 190
5.4.1 Aktinomikoza ... 190
5.4.2 Hipoplazija sklenine ... 191
5.4.3 Variabilnost v številu zob ... 193
6 ZAKLJUČKI ... 195
7 POVZETEK ... 199
8 SUMMARY ... 202
9 VIRI ... 205

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Kriteriji, ki naj bi jih izpolnjevala vrsta, katero želimo uporabiti za bioindikacijo onesnaženosti okolja, in ustrezanje srnjadi tem kriterijem s poudarkom na uporabi spodnjih čeljusti. 5

Preglednica 2: Vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi in jelenjadi iz različnih območij Evrope in Severne Amerike. 30

Preglednica 3: Zobna fluoroza srnjadi in jelenjadi iz različnih območij Evrope in Severne Amerike. 33

Preglednica 4: Emisije fluoridov (izraženih kot F^- oz. HF) v ozračje sedmih največjih slovenskih emitentov za obdobje 2002 – 2007. 47

Preglednica 5: Proizvodnja električne energije, količina sežganega premoga in emisije iz TEŠ v obdobju 1990 – 2009 54

Preglednica 6: Število izbranih vzorcev spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz Šaleške doline (lovišče Oljka, Šmartno ob Paki) v obdobju 1997 – 2009 po starostnih kategorijah in po posameznih letih (zgodovinska bioindikacija onesnaženosti s fluoridi). 74

Preglednica 7: Število izbranih vzorcev spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz štirih območij Slovenije v letu 2007, ločeno po starostnih kategorijah (prostorska bioindikacija onesnaženosti s fluoridi). 75

Preglednica 8: Pregled vzorcev spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz lovišč celotne Slovenije (leto 2007) in Šaleške doline (obdobje 1997 – 2007), na katerih smo določali stopnjo zobne fluoroze 76

Preglednica 9: Točkovalni sistem za klasifikacijo zaradi fluoridov povzročene poškodovanosti stalnih predmeljakov in meljakov srnjadi 78

Preglednica 10: Število vzorcev čeljusti srnjadi, odvzete iz lovišč celotne Slovenije (leto 2007), na katerih smo izvajali meritve velikosti čeljusti. 80

Preglednica 11: Število vzorcev čeljusti srnjadi, odvzete iz lovišč celotne Slovenije v letu 2007, na katerih smo ugotavljali anomalije, poškodbe in obolenja čeljusti/zobovja. 81

Preglednica 12: Razmerje med povprečnim DLI (na lovišče) in kategorijo zobne fluoroze po metodologij: A – Zemek in sod., 2006; B – prirejena lastna klasifikacija. 82

Preglednica 13: Seznam analiziranih spremenljivk za ugotavljanje vpliva različnih dejavnikov na pojavljanje zobne fluoroze srnjadi s šiframi, vrsto spremenljivke in osnovnimi viri. 89

Preglednica 14: Izdelava kategorične spremenljivke pedologija s klasifikacijo pedosistematskih enot v pet kategorij talnih tipov 91

Preglednica 15: Osnovni statistični parametri spremenljivk, vključenih v analizo vplivov okoljskih dejavnikov na zobno fluorozo srnjadi celotne Slovenije 92

Preglednica 16: Seznam analiziranih spremenljivk za ugotavljanje vpliva različnih dejavnikov na velikost čeljusti srnjadi, s šiframi, vrsto spremenljivke in osnovnimi viri. 94

Preglednica 17: Osnovni statistični parametri spremenljivk, vključenih v analizo vplivov različnih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti mladičev in enoletne srnjadi. 96

Preglednica 18: Vpliv spola na vsebnost fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz območja Kidričevo leta 2007. 102

Preglednica 19: Značilnost razlik v vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi med starostnimi kategorijami. 103

Preglednica 20: Korelacija med vsebnostjo fluoridov v čeljustih srnjadi in starostjo živali v letih 105

Preglednica 21: Regresijski parametri med vsebnostjo fluoridov v čeljustih mladičev srnjadi in privzeto starostjo živali v dneh (zaporedni dan odvzema) za posamezna območja Slovenije v letu 2007 105

Preglednica 22: Vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009 107

Preglednica 23: Značilnost razlik v vsebnostih fluoridov v čeljustih lanščakov iz Šaleške doline, obdobje 1997 – 2009 108

Preglednica 24: Značilnost razlik v vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi (mladiči in odrasli osebki) iz Šaleške doline med leti 1998, 2003 in 2007 109

Preglednica 25: Značilnost razlik v vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi Šaleške doline med revirji 110

Preglednica 26: Vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz štirih območij Slovenije v letu 2007. 112

Preglednica 27: Značilnost razlik v vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi štirih območij Slovenije v letu 2007 113

Preglednica 28: Značilnost razlik v vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz lovišč z območja okolice Kidričevega v letu 2007. 115

Preglednica 29: Korelacija med oddaljenostjo mesta uplenitve osebka od tovarne aluminija Talum in vsebnostjo fluoridov v čeljustih srnjadi iz okolice Kidričevega (leto 2007). 115

Preglednica 30: Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz vseh lovišč Slovenije v letu 2007. 117

Preglednica 31: Značilnost razlik povprečnega DLI srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 med starostnimi kategorijami. 118

Preglednica 32: Čas formacije zobne krone stalnih kočnikov in pogostost posameznih ocen fluoroze teh zob pri odrasli srnjadi, odvzeti leta 2007 v Sloveniji. 118

Preglednica 33: Frekvenčna porazdelitev stopnje zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007, vključene v multivariatne analize. 123

Preglednica 34: Bivariatna korelacijska analiza med DLI in okoljskimi dejavniki oz. individualnimi značilnostmi srnjadi, odvzete v Sloveniji leta 2007. 123

Preglednica 35: Spremenljivke v GRM-modelu zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007, glede na okoljske dejavnike in delež skupne pojasnjene variance. 124

Preglednica 36: Zobna fluoroza (frekvenca, DLI) srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009 . 127

Preglednica 37: Značilnost razlik DLI srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009 po starostnih kategorijah . 127

Preglednica 38: Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz lovišč Šaleške doline po štirih ločenih obdobjih vzorčenja in po posameznih starostnih kategorijah. 128

Preglednica 39: Značilnost razlik DLI srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v štirih obdobjih. 129

Preglednica 40: Zobna fluoroza odrasle srnjadi, odvzete iz naravovarstveno pomembnih tipov območij Slovenije v letu 2007. 132

Preglednica 41: Dolžine spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz petih regij Slovenije leta 2007. 134

Preglednica 42: Vpliv spola na dolžine spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 135

Preglednica 43: Značilnost razlik v dolžini spodnjih čeljusti srnjadi med starostnimi kategorijami, ločeno po spolu 136

Preglednica 44: Regresijski parametri naraščanja dolžin spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih v lovni dobi, z zaporednim dnem odvzema. 136

Preglednica 45: Značilnost razlik v dolžini spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz različnih regij Slovenije v letu 2007. 139

Preglednica 46: Značilnost razlik v dolžini spodnjih čeljusti enoletne srnjadi, odvzete iz različnih regij Slovenije v letu 2007, ločeno po spolu . 139

Preglednica 47: Značilnost razlik v dolžini spodnjih čeljusti odrasle srnjadi, odvzete iz različnih regij Slovenije v letu 2007, ločeno po spolu . 139

Preglednica 48: Bivariatna korelacijska analiza med dolžino čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz Slovenije leta 2007, in okoljskimi dejavniki oz. individualnimi značilnostmi osebkov. 146

Preglednica 49: Spremenljivke v GRM-modelu med dolžino čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz Slovenije leta 2007, in okoljskimi dejavniki oz. individualnimi značilnostmi osebkov. 146

Preglednica 50: Analiza variance vpliva okoljskih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz Slovenije leta 2007. 147

Preglednica 51: Bivariatna korelacijska analiza med dolžino čeljusti enoletne srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007, in okoljskimi dejavniki oz. individualnimi značilnostmi osebkov. 148

Preglednica 52: Spremenljivke v GRM-modelu med dolžino čeljusti enoletne srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007, in okoljskimi dejavniki oz. individualnimi značilnostmi osebkov. 149

Preglednica 53: Analiza variance vpliva okoljskih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti enoletne srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007. 149

Preglednica 54: Dolžine spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz naravovarstveno pomembnih območij Slovenije v letu 2007. 150

Preglednica 55: Pojavnost in frekvenca izbranih anomalij čeljusti/zobovja srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007. . 152

KAZALO SLIK

Slika 1: Možnosti uporabe spodnjih čeljusti prostoživečih parkljarjev v znanstveno-raziskovalne in upravljavske namene. ... 10
Slika 2: Sistematičen in zakonsko predpisan način zbiranja spodnjih čeljusti srnjadi ima izjemno velik znanstveno-raziskovali in upravljavski potencial ... 12
Slika 3: Levi polovici spodnjih čeljusti srnjadi z zobovjem: A – mladič z mlečnimi predmeljaki in nedoraščenimi stalnimi meljaki; B – enoletna žival s popolnoma izraščenim stalnim zobovjem. ... 18
Slika 4: Povprečen odvzem srnjadi v Sloveniji v letu 2007. ... 21
Slika 5: Varstvo prostoživečih živali in njihov pravni položaj v Sloveniji. ... 23
Slika 6: Srnjad je v Sloveniji najbolj razširjena prostoživeča živalska vrsta, ki je določena kot divjad, v skladu s tem je z njo dovoljeno trajnostno upravljanje ... 24
Slika 7: Gibanje fluoridov v biogeosferi. ... 25
Slika 8: Čas formacije stalnega zobovja (kočnikov) srnjadi. ... 35
Slika 9: Vremenske razmere, med katere sodi tudi huda zima z visoko ter dlje časa trajajočo snežno odejo, lahko negativno vplivajo na velikost osebka srnjadi. ... 42
Slika 10: Območja, vključena v raziskavo onesnaženosti okolja s fluoridi. ... 44
Slika 11: Območja, vključena v raziskavo določanja vitalnosti srnjadi. ... 44
Slika 12: Območja, vključena v raziskavo določanj anomalij na čeljustih/zobovju srnjadi z opredeljenimi lovsko-upravljavskimi območji. ... 45
Slika 13: Glavni točkovni viri fluoridov v Sloveniji v letu 2007. ... 48
Slika 14: Lokacija Termoelektrarne Šoštanj in lovišča Šaleške doline, ki so vključena v raziskavo. ... 50
Slika 15: Šaleška dolina s svojim hribovitim obrobjem – pogled s severozahoda. ... 53
Slika 16: Termoelektrarna Šoštanj je največji vir fluoridov v ozračje v Šaleški dolini in drugi največji vir teh emisij v Sloveniji. ... 56
Slika 17: Lokacija tovarne aluminija Talum in lovišča iz okolice Kidričevega, ki so vključena v raziskavo. ... 57
Slika 18: Satelitska slika območja okolice Kidričevega. ... 58
Slika 19: Elektroliza B in elektroliza C v tovarni aluminija Talum. ... 60
Slika 20: Lokacija Termoelektrarne Trbovlje in lovišča Zasavja, ki so vključena v raziskavo. ... 62
Slika 21: Satelitska slika Zasavja ... 64
Slika 22: Lovišča Zgornje Savinjske doline, ki so vključena v raziskavo. ... 65
Slika 23: Satelitska slika Zgornje Savinjske doline. ... 66
Slika 24: Ekološko pomembna območja v primerjavi z gostoto odvzema srnjadi v letu 2007. ... 67
Slika 25: Posebna varstvena območja (območja Natura 2000) z gostoto odvzema srnjadi v letu 2007. ... 69
Slika 26: Izbrana zavarovana območja z gostoto odvzema srnjadi v letu 2007. ... 70
Slika 27: Pridobivanje vzorcev kostnega tkiva za analize vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi. ... 73
Slika 28: Znaki zobne fluoroze na zobovju srnjadi. ... 77
Slika 29: Različne stopnje zobne fluoroze srnjadi. ... 79
Slika 30: Najpogosteje merjeni parametri morfoloških značilnosti spodnjih čeljusti srnjadi; z zeleno barvo je označen znak, ki smo ga vključili v raziskavo. ... 81
Slika 31: Prostorski prikaz kilometrskih kvadrantov Slovenije, v katerih je bil v letu 2007 izločen vsaj en osebek srnjadi: A – odrasla (2+) srnjad; B – vse starostne kategorije. ... 87
Slika 32: Frekvenčna porazdelitev dolžin spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz celotne Slovenije leta 2007: A – mladiči obeh spolov; B – enoletni osebki obeh spolov. ... 101
Slika 33: Vpliv spola na vsebnost fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz območja okolice Kidričevega leta 2007 ... 102
Slika 34: Vpliv starosti na vsebnost fluoridov v čeljustih srnjadi štirih območij Slovenije. ... 104
Slika 35: Naraščanje vsebnosti fluoridov v čeljustih mladičev srnjadi s prirejeno starostjo: A – okolica Kidričevega; B – Šaleška dolina. ... 106
Slika 36: Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih lanščakov iz Šaleške doline, obdobje 1997 – 2009. ... 108
Slika 37: Vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v letih 1998, 2003 in 2007: A – mladiči; B – odrasla srnjad ... 109
Slika 38: Primerjava vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi iz Šaleške doline med tremi revirji LD Oljka ... 110
Slika 39: Soodvisnost med letnimi emisijami prahu (A) oz. emisijami SO_2 (B) iz TEŠ in povprečnimi letnimi vsebnostmi fluoridov v spodnjih čeljustih enoletne srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009. ... 111
Slika 40: Vsebnost fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz štirih območij Slovenije leta 2007. ... 113
Slika 41: Primerjava vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi med lovišči iz okolice Kidričevega. ... 114
Slika 42: Zmanjševanje vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz okolice Kidričevega, z oddaljevanjem mesta uplenitve osebka od Taluma. ... 116
Slika 43: Frekvence zobne fluoroze stalnih kočnikov srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007. ... 118

Slika 44: Razlike v oceni zobne fluoroze (DLI) posameznih kočnikov srnjadi. ... 119
Slika 45: Zobna fluoroza (DLI – aritmetične sredine) 2 – 4 letne srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007. ... 120
Slika 46: Zobna fluoroza (DLI – aritmetične sredine) 5 in večletne srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007. ... 120
Slika 47: Zobna fluoroza (DLI – aritmetične sredine) odrasle (2+) srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007. ... 121
Slika 48: Zobna fluoroza (DLI – tretji kvartil) odrasle (2+) srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 (klasifikacija po: Zemek in sod., 2006). ... 121
Slika 49: Prostorska razporeditev zobne fluoroze (tretji kvartil DLI) odrasle srnjadi, odvzete iz Slovenije (2007) na mikrolokacijskem nivoju. ... 122
Slika 50: Zmanjševanje stopnje zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007, z oddaljevanjem od tovarne aluminija Talum. ... 124
Slika 51: Frekvenčna porazdelitev starostnih kategorij odrasle srnjadi, odvzete iz Slovenije v letu 2007, po spolu 125
Slika 52: Pomen vpliva okoljskih in individualnih spremenljivk na zobno fluorozo srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 ... 125
Slika 53: Regresijsko drevo vpliva okoljskih in individualnih spremenljivk na DLI srnjadi. ... 126
Slika 54: Spreminjanje frekvence zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz Šaleške doline, obdobju 1997 – 2009. ... 129
Slika 55: Zobna fluoroza (povp. DLI) odrasle srnjadi, odvzete iz lovišč Šaleške doline v letih 1997, 2001 in 2007. ... 130
Slika 56: Zobna fluoroza (DLI – 9. decil) odrasle srnjadi, odvzete iz lovišč Šaleške doline v letih 1997, 2001 in 2007. ... 130
Slika 57: Korelacija med povprečnim letnim DLI odrasle srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009 ter letnimi emisijami prahu (A) oz. letnimi emisijami SO_2 (B) iz TEŠ. ... 131
Slika 58: Soodvisnost med zobno fluorozo (DLI) in vsebnostjo fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz: Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009 (A); štirih območij Slovenije leta 2007 (B). ... 131
Slika 59: Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz ekološko pomembnih območij Slovenije. ... 132
Slika 60: Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz območij Natura 2000. ... 133
Slika 61: Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz zavarovanih območij Slovenije. ... 133
Slika 62: Vpliv spola in starosti na naraščanje dolžin spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007. ... 135
Slika 63: Naraščanje dolžin spodnjih čeljusti mladičev srnjadi s časom v dneh v različnih naravnogeografskih območjih Slovenije. ... 137
Slika 64: Naraščanje dolžin spodnjih čeljusti mladičev in enoletne srnjadi s starostjo, prikazano na podlagi povprečnih dolžin čeljusti srnjadi, odvzeti znotraj petnajstdnevnih obdobij 138
Slika 65: Dolžina spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz petih regij Slovenije leta 2007. ... 140
Slika 66: Dolžina spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz vseh Lovsko upravljavskih območij Slovenije leta 2007 ... 141
Slika 67: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz Slovenije oktobra 2007. ... 143
Slika 68: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti mladic, odvzetih iz celotne Slovenije v letu 2007. ... 143
Slika 69: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti lanščakov, odvzetih iz celotne Slovenije v letu 2007. ... 144
Slika 70: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti srn, odvzetih iz celotne Slovenije v letu 2007. ... 144
Slika 71: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti srnjakov, odvzetih iz celotne Slovenije v letu 2007. ... 145
Slika 72: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzete iz ekološko pomembnih območij Slovenije leta 2007 ... 150
Slika 73: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz območij Natura 2000 Slovenije leta 2007. ... 151
Slika 74: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz zavarovanih območij Slovenije leta 2007. ... 151
Slika 75: Pojavnost aktinomikoze na čeljustih srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007. ... 153
Slika 76: Pojavnost hipoplazije stalnih kočnikov srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007. ... 153
Slika 77: Pojavnost prvega predmeljaka na čeljustih srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007. ... 154
Slika 78: Odsotnost drugega predmeljaka na čeljustih srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007. ... 154

KAZALO PRILOG

Priloga A: Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz treh revirjev LD Oljka (Šaleška dolina). ... 1
Priloga B: Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz lovišč območja Kidričevo leta 2007 ... 2
Priloga C: Zobna fluoroza (DLI – aritmetične sredine) odrasle (2+) srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007. ... 3
Priloga D: Zobna fluoroza (DLI – zgornji percentil) odrasle (2+) srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007. ... 4
Priloga E: Primeri aktinomikoze na spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 ... 5
Priloga F: Primeri hipoplazije sklenine kočnikov srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 ... 6
Priloga G: Primeri prisotnosti prvega predmeljaka (P_1) pri srnjadi, odvzeti iz Slovenije v letu 2007 ... 7
Priloga H: Primeri odsotnosti drugega predmeljaka (P_2) pri mladičih srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007. ... 8
Priloga I: Primeri odsotnosti drugega predmeljaka (P_2) pri odrasli srnjadi, odvzeti iz Slovenije leta 2007 ... 9

OKRAJŠAVE, SIMBOLI IN POJMI

BIOINDIKACIJA

AB	=	akumulacijska bioindikacija (*accumulative bioindication*)
RB	=	odzivna bioindikacija (*reactive bioindication*)
F^-	=	fluoridi
HF	=	vodikov fluorid
SO_2	=	žveplov dioksid
DLI	=	indeks zobne poškodovanosti (*dental lesion index*)
MTS	=	najvišja ocena poškodovanosti posameznega kočnika (*maximum tooth score of fluorosis*)
ZF (*DF*)	=	zobna fluoroza (*dental fluorosis*)

VARSTVO NARAVE

EPO	=	Ekološko pomembna območja
Natura 2000	=	Posebna varstvena območja
SAC	=	Posebna ohranitvena območja (*Special area of conservation*)
SPA	=	Posebna območja varstva (*Special protection areas*)
pSCI	=	Potencialna posebna ohranitvena območja

ZAKONODAJA

ZDLov	=	Zakon o divjadi in lovstvu
ZON	=	Zakon o ohranjanju narave
ZVO	=	Zakon o varstvu okolja

SRNJAD

srnica	=	mladič ženskega spola
srnjaček	=	mladič moškega spola
mladica	=	enoletna žival ženskega spola
lanščak	=	enoletna žival moškega spola
srna	=	odrasla žival (2+) ženskega spola
srnjak	=	odrasla žival (2+) moškega spola
2+	=	dve in več let
2 – 4 leta	=	dva do štiri leta
5 – 7 let	=	pet do sedem let
5+	=	pet in več let
8+	=	osem in več let
spodnja čeljust	=	čeljustnica

C	=	podočnik (*canin*)
I	=	sekalec (*incisor*)
M	=	meljak (*molar*)
P	=	predmeljak (*premolar*)
kohorta	=	populacija osebkov neke vrste, rojenih v istem časovnem obdobju (npr. v enem letu), neodvisna od generacije
odvzem	=	število vseh iz lovišča izločenih osebkov neke vrste; vključuje odstrel ter vse naravne in nenaravne izgube
odstrel	=	število vseh iz lovišča odstreljenih osebkov neke vrste

STATISTIKA

ā	=	aritmetična sredina
ANOVA	=	analiza variance
C&RT	=	klasifikacijska in regresijska drevesa
d.f.	=	stopnja prostosti
GIS	=	geografski informacijski sistem
GLM	=	splošen linearen regresijski model (*general linear model*)
GRM	=	splošen regresijski model (*general regression model*)
Me	=	mediana
Min	=	minimalna vrednost
Max	=	maksimalna vrednost
n	=	velikost vzorca
p	=	stopnja tveganja
r	=	Pearsonov korelacijski koeficient linearne regresije
R	=	Spearmanov korelacijski koeficient
R^2	=	pojasnjena varianca modela
SE	=	standardna napaka ocene
SD	=	standardni odklon
Var	=	varianca

PROSTORSKE ENOTE

LD	=	lovska družina
LPN	=	lovišče s posebnim namenom
LUO	=	lovsko-upravljavsko območje
TNP	=	Triglavski narodni park

OSTALO

ARSO (*EARS*)	=	Agencija Republike Slovenije za okolje
TEŠ (*ŠTPP*)	=	Termoelektrarna Šoštanj
TET (*TTPP*)	=	Termoelektrarna Trbovlje
ZGS	=	Zavod za gozdove Slovenije

Ostale okrajšave, simboli in pojmi so razloženi v samem tekstu disertacije.

1 UVOD

Evropska srna (*Capreolus capreolus* L.; v nadaljevanju srnjad) je ena izmed ključnih vrst kopenskih ekosistemov Evrope in predstavlja najpomembnejšo lovsko-gospodarsko vrsto v skoraj vseh evropskih državah (Andersen in sod., 1998; Apollonio in sod., 2010). Prvotno je naseljevala gozdove plodonosnih listavcev, zlasti s podrastjo bogate svetle predele gozdnega roba. S spremembo gozdne strukture in vedno večjim deležem iglastih gozdov se je prilagodila na nove prehranske razmere (Krže, 2000). V drugi polovici 20. stoletja se je zaradi krčenja gozdov in naraščanja številčnosti razširila tudi na negozdne (kmetijske) površine in v osrednje dele gozda (Andersen in sod., 1998; Krže, 2000).

Zaradi velike številčnosti srnjadi in njene razširjenosti po domala celotni Sloveniji (Adamič in Jerina, 2010) je zelo pomembno učinkovito in trajnostno upravljanje z vrsto v skladu z ekosistemsko, ekonomsko in sociološko nosilno zmogljivostjo okolja (Mysterud, 2010). Srnjad je danes na podlagi 38. člena Zakona o divjadi in lovstvu (ZDLov; 2004) ter Uredbe o določitvi divjadi in lovnih dob (2004) opredeljena kot divjad z lovno dobo, s katero trajnostno upravljajo lovske družine na podlagi pridobljene koncesije oz. Zavod za gozdove Slovenije (ZGS; v loviščih s posebnim namenom). Po drugi strani je srnjad splošno razširjena prostoživeča živalska vrsta, za katero na podlagi Konvencije o biotski raznovrstnosti (1992) in temu prilagojene slovenske zakonodaje (Zakon o varstvu okolja (ZVO; 2004), Zakon o ohranjanju narave (ZON; 2004)) velja **splošno varstvo**, ki je predpisano za vse rastlinske in živalske vrste v Sloveniji s ciljem ohranjanja oz. doseganja njihovega ugodnega ohranitvenega stanja (Hlad in Skoberne, 2001; Strategija ohranjanja …, 2002; Berginc in sod., 2007). Srnjad kot vrsta v Sloveniji ni ogrožena; kljub temu pa ima nanjo, zaradi naraščanja povoza (Pokorny in sod., 2008a, 2008b), dokaj velik negativen vpliv povečan promet (Hlad in Skoberne, 2001).

V načrtovanje upravljanja z divjadjo (vključno s srnjadjo) v Sloveniji je močno vpet tudi sistem varstva narave in ohranjanja biotske raznovrstnosti. Ker posegi v populacije živali ali njihov življenjski prostor vplivajo na celoten ekosistem, je tako v populacije živalskih vrst, ki so nedeljiv del ekosistemov, dovoljeno posegati (npr. lov) le v skladu z načrti, ki temeljijo na analizah stanja ekosistemsko ali biomsko zaključenih celot (v lovskem načrtovanju so to t. i. lovsko upravljavska območja – LUO) (*ibid.*). Načrtovanje upravljanja z divjadjo/ srnjadjo v Sloveniji izvajajo strokovne službe ZGS, ki poleg določitve višine letnega odvzema posamezne vrte divjadi načrtujejo tudi vsa dela v življenjskem okolju divjadi (vzdrževanje pasišč, kalužˇ, krmljenje itd.); celoten načrtovalski proces je usklajen z zakonodajo s področja varstva narave. Pri sprejemanju kratkoročnih (letnih) in dolgoročnih (praviloma desetletnih) načrtov, ki se pripravijo za vseh 15 LUO Slovenije, sodelujejo tudi območne enote Zavoda Republike Slovenije za varstvo narave; načrte poleg ministra, pristojnega za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, potrdi tudi minister, pristojen za varstvo narave (ZDLov, 2004).

Srnjad v Sloveniji ni zavarovana vrsta. Enako je tudi v večini ostalih evropskih držav z izjemo Italije (zavarovana je podvrsta srnjadi *Capreolus capreolus italicus*; Focardi, 2008), Nizozemske (srnjad je popolnoma zavarovana vrsta, ki jo je prepovedano loviti; Putman, 2008) in Škotske (srnjad je opredeljena kot zavarovana vrsta, s katero pa se kljub temu trajnostno upravlja – jo je dovoljeno loviti znotraj lovnih dob; Deer (Scotland) Act, 1996).

V Sloveniji je na podlagi ZVO (2004) in ZON (2004) **dovoljeno trajnostno upravljanje s srnjadjo** (določeno v ZDLov, 2004), s tem, da se v načrtih upravljanja z vrsto upošteva njene ekosistemske in biogeografske značilnosti, ki so pomembne za ohranitev ugodnega stanja vrste (Hlad in Skoberne, 2001). Ohranjenost populacij divjadi/srnjadi je tudi eden od kazalcev Narave in biotske pestrosti znotraj Kazalcev okolja Slovenije (2007), ki ga spremlja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO; Ministrstvo za okolje in prostor). Cilji tega kazalca so: (i) ohranjanje visoke stopnje biotske pestrosti; (ii) zagotavljanje naravnega ravnovesja med rastlinojedimi vrstami in rastlinskim delom ekosistemov; (iii) zagotavljanje prehranske baze za višje trofične nivoje (velike zveri); (iv) lov.

Kot izhodišče za načrtovanje upravljanja s populacijami divjadi/srnjadi v Sloveniji se danes upoštevajo strokovna izhodišča, ki se opirajo na različne parametre, in sicer: (i) dosedanji odvzem posameznih vrst divjadi; (ii) trend ugotovljenih škod na kmetijskih kulturah, živini, objektih, v prometu in drugje; (iii) trend kazalcev (bioindikatorjev) v populacijah in njihovem okolju (glej nadaljevanje); (iv) ocene stanja v loviščih, ki ga podajo upravljavci lovišč in upravljavci lovišč s posebnim namenom; (v) izkušnje in znanja (predvsem samih načrtovalcev) (Pravilnik o vsebini …, 2005; Kazalci okolja …, 2007). Tako je na načelni ravni upravljanje s srnjadjo pri nas razmeroma dobro urejeno, vendar pa kljub temu poteka ob pomanjkljivem poznavanju osnovnih populacijskih parametrov, kot so starostna in spolna struktura, še zlasti pa prostorska in časovna spremenljivost (variabilnost) populacijskih gostot in rasti populacij (Pokorny, 2008). Poznavanje populacijske ekologije srnjadi je namreč odločilnega pomena za določanje ustreznih strategij trajnostnega upravljanja z vrsto.

Pri upravljanju s srnjadjo se pojavi težava, ko je treba v gozdni pokrajini določiti njeno številčnost; vrsta ima namreč specifično socialno strukturo (teritorialnost, življenje v majhnih družinskih skupnostih; Prior, 1995; Andersen in sod., 1998; Krže, 2000) in preferenco do gostih, nepreglednih habitatnih tipov (Mysterud, 1998). Zaradi tega je Simonič (1982) za preverjanje trendov v populacijski dinamiki predlagal in v slovenski prostor vpeljal t. i. **kontrolno metodo**, ki temelji na poznavanju **kazalcev (bioindikatorjev)** v populacijah divjadi (npr. telesna masa, masa rogovja, stopnja oplojenosti, obremenjenost z zajedavci) in v njenem okolju (izkoriščenost in poškodovanost posameznih rastlinskih vrst). Izmed naštetih kazalcev se danes v Sloveniji in tudi drugje uporabljajo predvsem telesne mase in mase rogovja (Morellet in sod., 2007); vendar sta oba dejavnika bolj kot od same številčnosti srnjadi (oz. prehranskih razmer kot parametra usklajenosti populacij z okoljem) odvisna od nekaterih drugih od populacijske gostote neodvisnih dejavnikov (glej Pokorny, 2009), kot so, npr., vsakoletno sezonsko spreminjanje telesnih mas zaradi rasti osebkov in spreminjajoče se aktivnosti ter energetskih potreb živali (Pettorelli in sod., 2002; Mysterud in Østbye, 2006a); čas uplenitve osebkov in selektivni izbor osebkov za odstrel (Kjellander in sod., 2006; Pokorny in sod., 2009a); vpliv vremenskih razmer na maso rogovja (Toïgo in sod., 2006; Torres Porras in sod., 2009) ter intenziteta sončnega sevanja v času rasti rogovja (Kierdorf in Kierdorf, 2005). Boljši kazalec, ki odraža spremembe v relativni številčnosti populacij, tj. upoštevaje nosilno zmogljivost okolja, je zato velikost živali, ki jo odraža velikost posameznih kosti v skeletu. Med njimi so zaradi dosegljivosti vzorcev in predvsem zaradi sorazmerno hitrega končanja rasti zelo primerne **spodnje čeljustnice** (v nadaljevanju spodnje čeljusti), katerih velikost lahko predstavlja zelo uporaben pripomoček za upravljanje s populacijami prostoživečih prežvekovalcev (npr. Hewison in sod., 1996; Høye in Forchhammer, 2006).

Kot rezultat lova – trajnostnega izrabljanja srnjadi kot obnovljivega naravnega vira – je v Sloveniji vsako leto iz lovišč odstreljenih oz. kako drugače izločenih (tj. povoženih, pokošenih, zaradi bolezni in poškodb poginulih ipd.) med 35.000 in 45.000 osebkov srnjadi (Statistični ..., 2009; Statistični …, 2010). Z namenom natančnega evidentiranja in kategorizacije izločenih (uplenjenih oz. odvzetih) osebkov, vpogleda v njihovo spolno in starostno strukturo ter predvsem kontrole doseganja z lovsko-upravljavskimi načrti zastavljenih planov odvzema se v Sloveniji, podobno pa tudi v nekaterih drugih srednjeevropskih državah (npr. na Češkem; Zemek in sod., 2006), vsako leto na t. i. **bazenskih pregledih zberejo vse leve spodnje čeljusti prostoživečih parkljarjev** (vključno s srnjadjo), ki so bili v preteklem koledarskem letu odvzeti iz lovišč znotraj posameznih LUO (Pravilnik o evidentiranju …, 2005). Vsaka posamezna čeljust je na nivoju lovišč praviloma označena z zaporedno številko odvzema, ki omogoča sledljivost in neposredno povezavo z najpomembnejšimi atributnimi podatki o živali (spol, starost, telesna masa, zdravstveno stanje, datum izločitve, revir, natančna lokacija in kvadrant mesta izločitve). Le-ti so za posamezno lovišče zbrani v Evidenčni knjigi odstrelov velikih vrst divjadi, od leta 2004 dalje pa na državnem nivoju tudi v Osrednjem slovenskem registru velike lovne divjadi in velikih zveri (Virjent in Jerina, 2004) oz. v elektronskih podatkovnih bazah Lisjak (za lovišča, s katerimi upravljajo lovske družine) in X-Lov (za lovišča s posebnim namenom, s katerimi upravlja Zavod za gozdove Slovenije).

Takšen sistematičen, utečen in zakonsko predpisan način zbiranja spodnjih čeljusti iz lovišč izločenih parkljarjev/srnjadi ima **izredno velik znanstveno-raziskovalni, nadzorni in upravljavski potencial**. Spodnje čeljusti srnjadi s pripadajočim zobovjem nam namreč lahko nudijo številne izjemno pomembne informacije o osebku/vrsti oz. njenemu habitatu, in sicer:

(i) onesnaženosti okolja z nekaterimi vrstami anorganskih onesnažil z afiniteto do odlaganja v kosteh, kot so npr. fluoridi (npr. Kierdorf in sod., 1999; Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a; Jelenko in sod., 2010a);
(ii) izpostavljenosti populacij in njihovemu odzivu na izpostavljenost tem onesnažilom (npr. Kierdorf in sod., 1993; Vikøren, 1995; Kierdorf H in sod., 1996a, 2000; Jelenko in Pokorny, 2010; Jelenko in sod., 2010b; Richter in sod., 2010);
(iii) usklajenosti številčnosti populacij z nosilno zmogljivostjo njihovega življenjskega okolja na podlagi morfometričnih meritev velikosti spodnjih čeljusti in njihovih razlik (npr. Nugent in Frampton, 1994; Hewison in sod., 1996; Høye in Forchhammer, 2006);
(iv) starosti izločenih živali (npr. Hewison in sod., 1999; Høye, 2006) in pridobivanje podatkov o natančnejši starostni strukturi populacij;
(v) pogostnosti in prostorski razširjenosti anomalij, poškodb in obolenj spodnjih čeljusti ter pripadajočega zobovja, kar je lahko indikator zdravstvenega stanja srnjadi.

Med drugim se torej spodnje čeljusti srnjadi lahko uporabljajo kot **učinkovit pripomoček za bioindikacijo onesnaženosti okolja** s fluoridi (npr. Zakrzewska in sod., 2005; Zemek in sod., 2006; Richter in sod., 2010; Jelenko in sod., 2010a). Zaradi splošne razširjenosti in velike gostote srnjadi v Sloveniji se lahko v tem pogledu vrsta uporablja tudi za kontrolo stanja onesnaženosti zavarovanih oz. naravovarstveno pomembnih območij, npr. tudi s fluoridi (Garrott in sod., 2002).

Onesnaževanje okolja je v svetovnem merilu eden največjih okoljskih problemov, saj ogroža dolgoživost populacij prostoživečih živali (Soule, 1986; Boulton in sod., 1994), in sicer neposredno prek vpliva na zdravstveno stanje in vitalnost posameznih osebkov ter posredno prek vpliva na zmanjševanje primernosti habitata kot posledica degradacije njegove kakovosti (Garrott in sod., 2002; Pokorny, 2003). Zaradi različne biodostopnosti onesnažil zgolj z zakonsko predpisanimi meritvami njihovih vsebnosti v anorganskih medijih ne moremo dobiti zadostnih informacij o vplivu onesnažil na življenjsko združbo v izbranem okolju (Batič, 1994, 1997). Če želimo ugotoviti njihovo bioekološko problematičnost, moramo kemijske in fiziološke parametre spremljati tudi v živih organizmih (Wren, 1986). Določene strupene snovi se namreč kopičijo v telesih živih bitij, zaradi česar lahko onesnaženost okolja spremljamo tudi z bioindikatorji – organizmi, ki s svojimi življenjskimi funkcijami, razširjenostjo, kemično sestavo, fiziološkimi odzivi in morfološko-anatomskimi značilnostmi odražajo razmere v okolju (Arndt in sod., 1987; Batič 1994, 1997). Bioindikacija ima v primerjavi z meritvami koncentracij onesnažil v anorganskih medijih številne prednosti, kot so upoštevanje sinergističnih in antagonističnih vplivov, biološka relevantnost, nizki stroški ter možnost retrospektivnega pristopa (Pokorny, 2003); le z uporabo primernih bioindikacijskih metod, organizmov in vrst lahko dobimo vpogled v prostorsko ter časovno razsežnost vpliva določenega onesnažila na organizme (Batič, 1994).

Fluoridi spadajo med nevarne snovi visoke prioritete (CERCLA …, 2010) in imajo izrazit škodljiv vpliv na živa bitja. Zaradi velike afinitete fluoridnih ionov do povezovanja s kalcijevimi ioni se kronični vplivi izpostavljenosti fluoridom najmočneje odražajo na okostju in zobeh. Pri zobovju prihaja do motenj v procesu formacije in mineralizacije zobnega tkiva, ki se odražajo v makroskopsko vidnih in lahko prepoznavnih spremembah zobne sklenine, ki jih s skupnim izrazom imenujemo zobna fluoroza (Aoba in Fejerskov, 2002; Bartlett in sod., 2005; Pius in Viswanathan, 2008). V zadnjih tridesetih letih je veliko pozornosti posvečene naraščanju koncentracij fluoridov v okolju in njihovemu vplivu na žive organizme, predvsem na prostoživeče živali (Newman in Murphy, 1979; Shupe in sod., 1984; Kierdorf, 1991; Boulton in sod., 1994; Kierdorf H in sod., 1996a, 2000; Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a; Zakrzewska in sod., 2005; Richter in sod., 2010). Zaradi največje izpostavljenosti (neposreden vnos s hrano rastlinskega izvora) se v primeru fluoridov kot bioindikatorske vrste najpogosteje uporablja predstavnike družine jelenov (Cervidae), še zlasti srnjad, občasno pa tudi jelenjad (*Cervus elaphus* L.) in damjake (*Dama dama* L.), saj se je ta živalska skupina pokazala kot zelo dober bioindikator onesnaženosti okolja s fluoridi (npr. Vikøren in sod., 1996; Kierdorf U in sod., 1996; Zemek in sod., 2006; Jelenko in sod., 2010b). Značilnosti srnjadi kot ustrezne bioindikatorske vrste za ugotavljanje onesnaženosti okolja s fluoridi so podane v preglednici 1.

Bioindikacija s pomočjo čeljusti srnjadi predstavlja zelo učinkovito in cenovno ugodno metodo določanja onesnaženosti okolja z nekaterimi anorganskimi onesnažili z afiniteto do kopičenja v kostnih tkivih (*bone-seeking pollutants*), kot so, npr., fluoridi. Z uporabo čeljusti lahko namreč ugotavljamo povezavo med izpostavljenostjo in odzivom osebkov (t. i. "*dose-response*" pristop), in sicer s hkratno uporabo metod akumulacijske bioindikacije (tj. določevanje vsebnosti fluoridov v kosteh – čeljustih; Kierdorf in sod., 1989; Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a) in/ali metode odzivne bioindikacije (npr. makroskopsko določevanje stopnje zobne fluoroze, kot specifične morfološke spremembe, ki odraža vpliv izpostavljenosti osebkov fluoridom; Kierdorf in sod., 1999; Appleton in sod., 2000; Richter in sod., 2010; Jelenko in sod., 2010b).

Preglednica 1: Kriteriji, ki naj bi jih izpolnjevala vrsta, katero želimo uporabiti za bioindikacijo onesnaženosti okolja, in ustrezanje srnjadi tem kriterijem s poudarkom na uporabi spodnjih čeljusti (kriteriji so prirejeni po Schubert, 1982; Wren, 1986; Arndt in sod., 1987; Tataruch, 1991; Pokorny, 2003).

Table 1: A list of criteria which should be fulfilled by a species suitable for bioindicative purposes with the emphasis on mandibles (adapted by Schubert, 1982; Wren, 1986; Arndt et al., 1987; Tataruch, 1991; Pokorny, 2003).

	KRITERIJ		Izpolnjevanje kriterija z razlago [a, b]
1.	**Natančnost in točnost analiz (meritev)**	(+)	AB: sodobne analitske metode (ob ustrezni validaciji) izpolnjujejo oba kriterija (npr. Machoy in sod., 1991).
		(+)	RB: enoten točkovalni sistem za oceno zobne fluoroze; subjektivna ocena ocenjevalca (npr. Kierdorf in sod., 1999).
2.	**Specifičnost uporabljenega bioindikatorja**	+	AB: v celoti velja (Tataruch in Kierdorf, 2003).
		+	RB: v celoti velja (Den Besten, 1994; Horowitz, 1998).
3.	**Občutljivost na izpostavljenost fluoridom**	+	AB: obstaja soodvisnost med koncentracijami fluoridov v okolju in njihovimi vsebnostmi v ciljnih akumulacijskih organih srnjadi – spodnjih čeljustih (Machoy in sod., 1991; Kierdorf H in Kierdorf U, 1999).
		+	RB: obstaja soodvisnost med koncentracijami fluoridov v okolju in stopnjo zobne fluoroze srnjadi (Vikøren in Stuve, 1996; Kierdorf U in Kierdorf H, 1999).
4.	**Prostorska/časovna prenosljivost rezultatov**	+	Prostorska prenosljivost: panevropska razširjenost vrste (Hewison in sod., 1998).
		+	Časovna prenosljivost: možen nabor čeljusti osebkov znane starosti skozi celo leto.
5.	**Standardizacija metode**	+	AB: velja zlasti za mladiče oz. enoletne osebke (z znanim datumom odvzema) – natančno določena starost in s tem znan čas vnosa fluoridov (npr. Tataruch in Kierdorf, 2003; Jelenko in Pokorny, 2009). RB: standardizacija metode ocenjevanja zobne fluoroze (obstajajo protokoli; npr. Kierdorf in sod., 1999; Zemek in sod., 2006)
6.	**Znatna akumulacija fluoridov**	+	Zaradi specifične prehrane je akumulacija fluoridov v tkivih srnjadi, še zlasti kosteh, večja kot v njej sorodnih vrstah (npr. Tataruch in Kierdorf, 2003).
7.	**Ni sezonskih razlik v stopnji akumulacije**	(+)	Za težke kovine je značilna večja akumulacija v jeseni (Pokorny, 2003); sezonska nihanja vsebnosti fluoridov do sedaj niso zabeležena.
8.	**Reprezentativnost rezultatov znotraj vrste in za ostale vrste**	(-)	AB: akumulacija fluoridov v čeljustih srnjadi je višja kot v sorodnih vrstah (glej preglednico 2); moteč vpliv starosti (Kierdorf in sod., 1989; Machoy in sod., 1995).
		(-)	RB: zobna fluoroza srnjadi je nižja kot pri sorodnih vrstah (glej preglednico 3) zaradi različnega časa formacije zobovja (Kierdorf U in Kierdorf H, 2000b)
9.	**Možnost razlikovanja med onesnaženostjo tal in zraka**	–	Glavni vir vnosa fluoridov v organizem srnjadi predstavlja rastlinska hrana (npr. Kahama in sod., 1997; Choubisa, 2008); rastline lahko akumulirajo fluoride bodisi iz tal ali pa se le-te nanje usedejo kot zračni depozit (Berthelsen in sod., 1995).
10.	**Metoda mora biti enostavna in izvedljiva v relat. kratkem času**	(+)	AB: metode so rutinske; problem s kapaciteto laboratorijev.
		(+)	RB: ocena zobne fluoroze je enostavna in hitra; problem usposabljanja ocenjevalca.
11.	**Ponovljivost rezultatov**	+	AB: za analize se rabi zelo majhna količina vzorca.
		+	RB: po meritvah ostane vzorec v povsem nespremenjenem stanju.
12.	**Možnost sekundarnega onesnaženja mora biti min.**	+	AB: v celoti velja (Kay, 1975; Vikøren in sod., 1996). RB: ni sekundarnega onesnaženja – časovno omejen vpliv fluoridov (Kierdorf U in Kierdorf H, 1999).
13.	**Tolerantnost vrste na izpostavljenost onesnažilu**	+	Ni zabeleženo, da bi bila vrsta občutljiva na fluoride; nizke vsebnosti fluoridov se pokažejo tudi v s fluoridi neonesnaženih območjih (npr. Walton in Ackroyd, 1988)
14.	**Velika številčnost, razširjenost in neogroženost vrste**	+	Vrsta ima panevropsko razširjenost in ekološki optimum v skoraj vseh kopenskih ekosistemih; upoštevaje populacijske trende je srnjad primer biološko zelo uspešne vrste (Linnell in sod., 1998a).
15.	**Majhna velikost areala aktivnosti**	(+)	Za srnjad je značilen teritorialen način življenja z arealom aktivnosti, ki je praviloma bistveno manjši od 100 ha (Hewison in sod., 1998).
16.	**Dovolj dolga življenjska doba**	(+)	AB: Srnjad ima relativno dolgo življenjsko dobo (10 – 15 let; Simonič, 1976), a so uplenjeni osebki praviloma bistveno mlajši; dolga življenjska doba je z vidika standardizacije metode lahko tudi moteča (Kierdorf in sod., 1989; Tataruch, 1991).
		+	RB: Starost ne vpliva na stopnjo zobne fluoroze (Kierdorf in sod., 1991)
17.	**Pomembnost rezultatov za varovanje zdravja ljudi**	+	Zelo velik; v Sloveniji ni sistematičnih meritev koncentracij fluoridov v okolju.
18.	**Enostavna dosegljivost velikega števila vzorcev na etično sprejemljiv način**	+	V Evropi živi približno 15.000.000, letni odstrel pa presega 2.000.000 osebkov (Krže, 2000); čeljusti so dosegljive v sklopu letnega pregleda odvzema divjadi (Pravilnik o odvzemu …, 2005).
19.	**Enostavna določljivost vrste**	+	Zamenjava vrste ni mogoča.
20.	**Ekologija in biologija vrste mora biti dobro poznana**	+	Srnjad je ena najbolje proučenih živalskih vrst; strokovna literatura je lahko dosegljiva (npr. Simonič, 1976; Prior, 1995; Andersen in sod., 1998; Krže, 2000; Pokorny in sod., 2008c; Apollonio in sod., 2010).

OPOMBE:

(a) Izpolnjevanje kriterija: +: izpolnjuje; (+): delno izpolnjuje; (–): obstajajo določeni zadržki; –: ne izpolnjuje.

(b) AB: akumulacijska bioindikacija – vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih; RB: odzivna bioindikacija – zobna fluoroza.

Razlike v velikosti odraslih živali iste vrste so posledica razlik v kakovosti habitata, gostoti populacije in vplivov genotipa na fenotip (Klein in Strandgaard, 1972; Hewison in sod., 1996). Medtem ko so razlike med različnimi populacijami na nivoju celotnega območja razširjenosti vrst lahko tudi posledica genetskega vpliva na rast in razvoj, so **morfometrične razlike med populacijami** na manjših (sosednjih) območjih ali znotraj populacij v različnih časovnih obdobjih predvsem posledica sprememb v kakovosti habitata oz. v gostoti populacij (Nugent in Frampton, 1994; Hewison in sod., 1996). Takšne časovne ali mikrogeografske razlike v velikosti živali so torej v splošnem posledica razlik v nosilni zmogljivosti habitata med različnimi območji ali med različnimi časovnimi obdobji (Bertouille in De Crombrugghe, 1995; Couturier in sod., 2010). Eden od morfometričnih znakov, ki predstavljajo uporabno merilo velikosti osebka, je pri družini jelenov **dolžina spodnje čeljusti** (npr. Challies; 1978; Mitchell in sod., 1986; Azorit in sod., 2003). Le-ta je po mnenju mnogih zelo uporaben pripomoček pri upravljanju s populacijami srnjadi (Wustinger in sod., 2005; Zannèse in sod., 2006a); še posebej, ker lahko z meritvami, opravljenimi v enem letu, ob hkratni oceni starosti posameznih osebkov (npr. na podlagi metode obrabe zobovja) dobimo informacije o populacijskih trendih za nekaj let nazaj, kar ne zagotavlja noben drug bioindikator v kontrolni metodi upravljanja s populacijami divjadi. Ker lahko sama velikost čeljusti srnjadi odraža tudi stanje njenega habitata, lahko na podlagi razlik v dolžini čeljusti (ob poznavanju relativne gostote) sklepamo na kakovost habitata različnih (sub)populacij srnjadi (Høye in Forchhammer, 2006; Zannèse in sod., 2006b). S tem lahko dobimo vpogled v **stanje različnih habitatnih tipov** v smislu prehranske (okoljske) primernosti za ciljne vrste, tj. srnjad.

Poleg tega, da je srnjad ena najpomembnejših lovsko-gospodarskih vrst in ena izmed boljših bioindikatorjev onesnaženosti okolja, ima tudi zelo pomembno ekološko funkcijo v ekosistemih. Srnjad je namreč pomembna **plenska vrsta** nekaterih velikih zveri, zlasti evrazijskega risa (*Lynx lynx* L.) (npr. Kos in sod., 2005; Melis in sod., 2010) in volka (*Canis lupus* L.) (npr. Sand in sod., 2005; Wikenros in sod., 2010); poleg tega pa so **kadavri srnjadi** pomembni tudi za nekatere druge prostoživeče živalske vrste iz rodu ptičev oz. sesalcev (npr. Cortés Avizanda in sod., 2009; Lanszki in sod., 2009), izjemno pomembni pa so predvsem za nevretenčarje (npr. Gutowski, 2004; Tolrá in sod., 2010). Raziskave ekologije srnjadi, ki imajo za cilj izboljšanje upravljanja s to vrsto, so zato izjemnega pomena tudi z vidika varovanja ostalih zavarovanih vrst (velikih zveri, ptičev, nevretenčarjev…), kot pomembne komponente naravne dediščine tako Slovenije (Hlad in Skoberne, 2001) kot tudi Evrope (Habitatna direktiva, 1992; Borza in Vancura, 2009; Tolrá in sod., 2010), in sicer v smislu zagotavljanja njihove ustrezne prehranske baze (Gutowski, 2004; Hatherington in Gorman, 2007; Barber Meyer in sod., 2008).

Naslednji zelo pomemben vidik uporabe spodnjih čeljusti srnjadi je kompleksen in celovit vpogled v pojavnost, prostorsko razširjenost ter pogostnost **različnih anomalij, obolenj in poškodb** čeljusti in/ali pripadajočega zobovja (npr. Miles in Grigson, 1990; Konjević in sod., 2011a, 2011b). Upoštevaje dejstvo, da je pri prežvekovalcih žvekalni aparat (čeljusti z zobovjem) eden najpomembnejših morfološko-anatomskih sistemov, ki v največji meri determinira pričakovano življenjsko dobo osebkov (Garrott in sod., 2002; Veiberg in sod., 2007), zagotavlja določitev anomalij, obolenj in poškodb čeljusti/zobovja teh vrst vpogled v pomemben segment zdravstvenega stanja populacij, posledično pa tudi njihove dolgoročne obremenitve.

1.1 NAMEN IN CILJI RAZISKAVE

V slovenskem prostoru ni bil do sedaj izrabljen še noben izmed omenjenih potencialov spodnjih čeljusti prostoživečih parkljarjev/srnjadi, kljub perspektivam, ki jih pri nas nudi utečen in sistematičen način zbiranja spodnjih čeljusti, njihova dostopnost in v splošnem zelo dobra povezava z atributnimi podatki tako o osebku kot tudi njegovi natančno georeferencirani (prostorsko opredeljeni) lokaciji odvzema (na podlagi česar lahko pridobimo podatke o življenjskem okolju osebka). Na podlagi omenjenih dejstev in izjemno velikega števila dostopnih čeljusti (okoli 40.000) smo želeli izvesti celovito analizo na celotnem letnem odvzemu (leto 2007) spodnjih čeljusti srnjadi z vseh možnih vidikov njihove uporabe (slika 1).

Pri tem smo želeli spodnje čeljusti uporabiti za bioindikacijo onesnaženosti okolja s fluoridi, kar v Nemčiji in na Češkem že dlje časa detajlno proučujejo (npr. Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a, 2000b; Kierdorf in sod., 1999; Zemek in sod., 2006) tako v smislu vsebnosti fluoridov v kostnem tkivu (akumulacijska bioindikacija) kot tudi v smislu raziskav zobne fluoroze (odzivna bioindikacija). Omenjene študije smo želeli inovativno nadgraditi in vpeljati detajlnejši prostorski aspekt raziskav, zaradi česar smo se odločili za izvedbo velikopovršinske bioindikacije onesnaženosti okolja celotne Slovenije (do sedaj te analize še nikoli in nikjer niso bile narejene za ozemlje celotne države), in sicer na mikrogeografskem nivoju (1 x 1 km mreža celic). Naslednja novost, ki smo jo želeli vpeljati, je analiza potencialnih vplivnih okoljskih dejavnikov na pojavnost in intenziteto zobne fluoroze srnjadi Slovenije, ki nam jo omogoča izjemna prostorska ločljivost vhodnih podatkov. V ta del disertacije smo želeli smiselno vključiti tudi vsa večja prostorsko zaključena območja Slovenije, ki so bodisi del ekološko pomembnih območij, del omrežja Nature 2000 ali pa zavarovana območja Slovenije. S tem smo hoteli ugotoviti stanje onesnaženosti ekosistemov naravovarstveno pomembnih območij z vidika preverjanja ugodnega stanja njihovih habitatnih tipov, saj je monitoring habitatnih tipov ena prednostih nalog varstva narave Slovenije (Strategija ohranjanja …, 2002; Berginc in sod., 2007). Glavni namen analiz bioindikacije onesnaženosti okolja s fluoridi je pridobiti osnovo (trenutno stanje) za kontinuiran, dolgoročen ter z vidika zbiranja čeljusti cenovno zelo ugoden monitoring spremljanja onesnaženosti in izpostavljenosti osebkov/populacij omenjenim onesnažilom v Sloveniji. Srnjad je namreč preko kazalca *ZD08 Izpostavljenost srnjadi kovinam (svincu, kadmiju) in fluoridom* vključena v Kazalce okolja Slovenije (ARSO) znotraj segmenta Zdravje ljudi in ekosistemov (Pokorny in Jelenko, 2011).

V drugem delu disertacije smo se osredotočili na morfološke/morfometrične lastnosti, tj. dolžine spodnjih čeljusti srnjadi kot pripomočke za spoznavanje vitalnosti osebkov/populacij in kot pripomočke za določitev kakovosti habitata te vrste. Zaradi omenjene prostorske ločljivosti podatkov smo uporabili tudi multivariatne analize s pomočjo katerih smo želeli čim bolje preučiti vpliv okoljskih dejavnikov na vitalnost srnjadi. V analize smo želeli vključiti tiste okoljske dejavnike, ki posredno ali neposredno določajo količino in kakovost hrane (vključno s prisotnostjo in gostoto srnjadi ter tej vrsti potencialno konkurenčnih vrst, tj. ostalih vrst prostoživečih prežvekovalcev), dejavnike, ki omogočajo varnostno kritje oz. zavetje pred negativnim vplivom vremena, ter ostale dostopne dejavnike, ki kakorkoli vplivajo na vitalnost srnjadi. Tudi v tem delu raziskave smo želeli

ugotoviti, kakšen je vpliv habitata oz. ostalih dejavnikov na vitalnost srnjadi znotraj že omenjenih treh tipov naravovarstveno pomembnih območij v primerjavi z ostalo Slovenijo. Z disertacijo smo želeli prispevati k uvedbi meritev velikosti čeljusti srnjadi kot novega bioindikatorja (kazalnika) v kontrolni metodi upravljanja s populacijo srnjadi v Sloveniji, saj lahko na podlagi dolžin spodnjih čeljusti sklepamo o fizičnem stanju srnjadi v različnih okoljskih pogojih, kar lahko omogoča pripravo strokovnih podlag za ustrezno spremljanje stanja populacij in načrtovanje odstrela srnjadi, upoštevajoč tudi prehranske potrebe velikih zveri. Namen tega dela disertacije je tako dolgoročno prispevati k bistveno boljšemu upravljanju z divjadjo (srnjadjo) kot pomembnim obnovljivim naravnim virom.

Namen tretjega dela disertacije je tudi ugotavljanje zdravstvenega stanja celotne populacije srnjadi v Sloveniji, ki ga vsaj v enem segmentu (obolenja in poškodbe žvekalnega aparata) lahko določimo z detajlno analizo anomalij, poškodb in obolenj čeljusti/zobovja na celotnem letnem odvzemu srnjadi. Ta analiza zaradi izjemno velikega obsega dela sicer presega namene pričujoče disertacije, kljub temu pa smo želeli vsaj okvirno predstaviti najpomembnejše in najbolj zanimive ugotovitve izvedenih analiz.

Pri tem je izjemnega pomena dejstvo, da smo v disertacijo za dosego vseh zastavljenih ciljev vključili celoten nacionalni enoletni odvzem srnjadi, zaradi česar je pričujoča študija izjemno kompleksna in visoko reprezentativna za celotno Slovenijo ter kot takšna predstavlja unikum v celotnem evropskem oz. svetovnem prostoru.

V sklopu disertacije smo želeli izpolniti naslednje cilje:

A. Ugotoviti oz. preveriti vse možne aspekte uporabe spodnjih čeljusti srnjadi, in sicer za bioindikacijo onesnaženosti okolja oz. kot pripomoček za trajnostno upravljanje z vrsto in njenim habitatom.

B. Uporabiti spodnje čeljusti srnjadi kot akumulacijske bioindikatorje onesnaženosti okolja s fluoridi, in sicer z določitvijo vsebnosti fluoridov v:
   - B.1 zgodovinski seriji spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009, in tako narediti retrospektivno analizo, ki bo omogočala oceno uspešnosti izvedenih sanacijskih ukrepov v Termoelektrarni Šoštanj;
   - B.2 seriji vzorcev spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz izbranih območij Slovenije z različno intenziteto obremenjenosti okolja s fluoridi, in tako narediti prostorske primerjave, ki bodo izpostavile najbolj problematična območja v smislu onesnaženosti okolja s fluoridi v Sloveniji.

C. Določiti stopnjo zobne fluoroze (DLI ali "*dental lesion index*") kot neposredno posledico (odziv srnjadi na) izpostavljenosti fluoridom na zgodovinski seriji spodnjih čeljusti srnjadi Šaleške doline ter vseh čeljusti enoletnega odvzema srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007, z namenom:
   - C.1 retrospektivne analize sprememb DLI srnjadi kot merila izpostavljenosti (sub)populacij onesnaženosti okolja s fluoridi v Šaleški dolini (obdobje 1997 – 2009) pred in po izgradnji čistilne naprave na petem bloku Termoelektrarne Šoštanj, kar omogoča oceno uspešnosti izvedenega sanacijskega ukrepa tudi v smislu ugotavljanja vpliva na zmanjšanje izpostavljenosti/prizadetosti zoocenoze;

C.2 prostorske analize sprememb DLI srnjadi kot merila izpostavljenosti populacij onesnaženosti s fluoridi na območju celotne Slovenije z določitvijo "vročih točk" obremenjenosti (vse čeljusti srnjadi, odvzete v letu 2007);

C.3 določitve najpomembnejših individualnih in okoljskih vplivnih dejavnikov na pojavnost in intenziteto zobne fluoroze srnjadi celotne Slovenije na mikrogeografskem nivoju;

C.4 določitve obremenjenosti ekosistemov (habitata srnjadi) s fluoridi znotraj naravovarstveno pomembnih območij Slovenije (EPO, Natura 2000, zavarovana območja);

C.5 določitve "ničelnega stanja" onesnaženosti okolja Slovenije s fluoridi na začetku 21. stoletja z izdelavo natančne karte onesnaženosti na mezo- in mikroprostorskem nivoju.

D. Izmeriti dolžino (kot relevantnega morfometričnega znaka) spodnjih čeljusti srnjadi celotnega letnega odvzema te vrste v Sloveniji, z namenom:

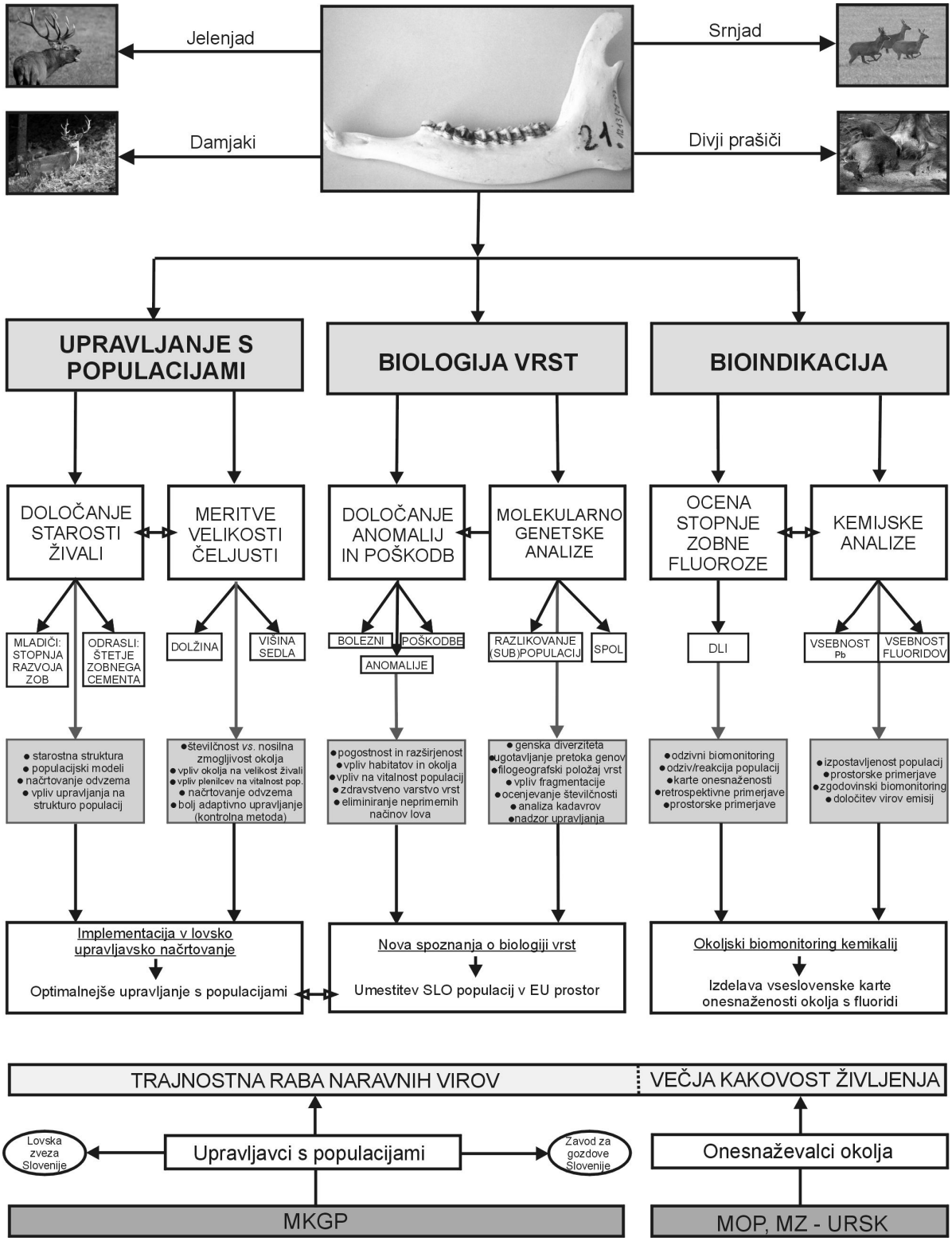
D.1 določitve razlik v velikosti osebkov (kot kazalca vitalnosti) (sub)populacij srnjadi celotne Slovenije in s tem uporabiti dolžine spodnjih čeljusti srnjadi kot potencialno ustreznega kazalca za določanje razlik v vitalnosti teh (sub)populacij;

D.2 določitve najpomembnejših individualnih in okoljskih vplivnih dejavnikov na velikost spodnjih čeljusti oz. vitalnost srnjadi celotne Slovenije na mikrogeografskem nivoju;

D.3 določitve ustreznosti naravovarstveno pomembnih območij Slovenije (EPO, območja Natura 2000, zavarovana območja) z vidika vitalnosti (sub)populacij srnjadi;

D.4 priprave strokovnih podlag za uvedbo meritev spodnjih čeljusti kot dodatnega/boljšega kazalnika v kontrolni metodi pri upravljanju s populacijami prostoživečih parkljarjev.

E. Pridobiti nekatere (iz pregledov čeljusti izhajajoče) informacije o zdravstvenem stanju srnjadi na območju celotne Slovenije, še zlasti opis, prostorsko razširjenost in pogostnost izbranih anomalij, obolenj ter poškodb čeljusti/zobovja srnjadi (npr. aktinomikoza, hipoplazija, spremembe v številu zob, kot sta prisotnost prvega predmeljaka in odsotnost drugega predmeljaka).



Slika 1: Možnosti uporabe spodnjih čeljusti prostoživečih parkljarjev v znanstveno-raziskovalne in upravljavske namene.

Figure 1: Possibility for employment mandibles of free-ranging ungulates for scientific, research and management purposes.

1.2 RAZISKOVALNE HIPOTEZE

A.1 Zaradi relativno majhnih razlik v rabi prostora in načinu prehranjevanja ter morfoloških in etoloških značilnostih med spoloma (Andersen in sod., 1998; Krže, 2000) razlika v vsebnostih fluoridov med ženskim in moškim spolom ne obstaja; vendar se fluoridi kopičijo v kostnih tkivih živih organizmov skozi njihovo celotno življenje (Harisson, 2005; Pius in Viswanathan, 2008), zaradi česar se vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi s starostjo povečuje.

A.2 Kot posledica izvedenih sanacijskih ukrepov so se emisije iz TEŠ v celotnem obdobju 1997 – 2009 kontinuirano zmanjševale (Rotnik, 2007, 2009). Posledično so se vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete v tem obdobju iz Šaleške doline, stalno zmanjševale.

A.3 Slovenija z izjemo enega srednje velikega točkovnega vira fluoridov (tovarna aluminija Talum; Zrak, 2010) nima velikih antropogenih onesnaževalcev okolja s temi snovmi, zaradi česar so vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi iz obravnavanih območjih z izjemo okolice Kidričevega (Šaleška dolina, Zasavje in Zgornja Savinjska dolina) bistveno nižje, kot so vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi iz s fluoridi močno onesnaženih območij Evrope. Podobno velja tudi za pojavnost zobne fluoroze, ki se v Sloveniji pojavlja le v okolici večjih točkovnih virov.

A.4 Točkovni antropogeni viri so glavni vir onesnaženosti okolja s fluoridi (Weinstein in Davison, 2004). Ker se le-ti najintenzivneje odlagajo v okolje v neposredni bližini vira in njihove koncentracije z razdaljo upadajo, vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi značilno upadajo z oddaljenostjo mesta uplenitve posameznih osebkov od velikih točkovnih virov emisij.

B.1 Stopnja poškodovanosti zob srnjadi zaradi izpostavljenosti fluoridom (zobna fluoroza) je v močni soodvisnosti z vsebnostjo fluoridov v čeljustih istih osebkov, kar velja za celoten diapazon izpostavljenosti populacij (tako v močno onesnaženih kot v kontrolnih območjih).

B.2 Zobna fluoroza nastane le v času formacije zobne krone stalnih kočnikov srnjadi (Den Besten, 1994; Bartlett in sod., 2005), zaradi česar starost osebka ne vpliva na pojavnost in ali intenziteto zobne fluoroze.

B.3 V Šaleški dolini ima srnjad, poležena pred izgradnjo naprave za čiščenje dimnih plinov TEŠ, bistveno višjo intenziteto in pojavnost zobne fluoroze v primerjavi s srnjadjo, poleženo po izvedbi tega sanacijskega ukrepa, kar potrjuje učinkovitost izvedenih sanacijskih ukrepov v smislu manjše izpostavljenosti osebkov tem onesnažilom.

C.1 Velikost spodnjih čeljusti srnjadi kot merilo velikosti osebkov je v odvisna od prehranske kakovosti habitata (Pettorreli in sod., 2001) oz. gostote populacij v različnih časovnih obdobjih (Hewison in sod., 1996); tako je velikost spodnjih čeljusti srnjadi v močni soodvisnosti z okoljskimi parametri, ki opredeljujejo strukturo habitata (npr. dolžina gozdnega roba, vrstna pestrost vegetacije, prisotnost zaplat agrarnih ekosistemov itd.).

C.2 Srnjad iz vzhodnega dela Slovenije (poljski ekotip srnjadi) je zaradi ugodnejših ekoloških dejavnikov (predvsem kvalitete, količine in dostopnosti hrane) ter drugačne socialne organiziranosti (življenje v večjih tropih) telesno močnejša/vitalnejša kot srnjad osrednjega dela Slovenije.

C.3 Na podlagi poznavanja vitalnosti srnjadi različnih območij Slovenije lahko usmerjamo ukrepe upravljanja območij EPO, Natura 2000 ali zavarovanih območij Slovenije, in sicer preko lovsko-upravljavskega načrtovanja vzdržujemo ustrezno gostoto srnjadi ter s tem zagotovimo ugodno stanje habitatnih tipov, ki bo dolgoročno zagotavljalo tudi večjo stabilnost same populacije te najbolj razširjene vrste parkljarjev v Sloveniji.

D.1 Zaradi trajnostne rabe (lova) srnjadi se v Sloveniji vzdržuje ustrezna populacijska gostota, zaradi česar je srnjad praviloma v dobrem zdravstvenem stanju; anomalije in obolenja čeljusti srnjadi imajo nizko intenziteto pojavnosti.

D.2 Prostorska razširjenost in pogostnost izbranih anomalij, obolenj ter poškodb (npr. aktinomikoza, hipoplazija, variabilnost v številu zob) čeljusti/zobovja srnjadi ima praviloma naključen vzorec pojavnosti v Sloveniji in ni pod vplivom nobenega okoljskega dejavnika.

Slika 2: Sistematičen in zakonsko predpisan način zbiranja spodnjih čeljusti srnjadi ima izjemno velik znanstveno-raziskovali in upravljavski potencial (foto: I. Jelenko, 2011)

Figure 2: Systematic and mandatory collecting of roe deer mandibles has an enormous scientific, research, and management potential (photo: I. Jelenko, 2011).

2 PREGLED DOSEDANJIH RAZISKAV

2.1 NEKATERE ZNAČILNOSTI SRNJADI, POVEZANE Z RAZISKAVO

Celovite raziskave biologije srnjadi v Sloveniji so precej redke. Obstoječa dela večinoma povzemajo tujo literaturo (Simonič, 1976; Krže, 2000; Al Sayegh Petkovšek in Pokorny, 2009); nekaj več je bilo narejenega zlasti na področju bioindikacije (npr. Pokorny, 2000, 2003, 2006a, 2006b; Pokorny in Justin, 2004; Jelenko in sod., 2009; Pokorny in sod., 2009b; Jelenko in Pokorny, 2010), prostorske razširjenosti in gostote srnjadi (npr. Stergar in sod., 2009a; Adamič in Jerina, 2010), povoza (npr. Pokorny, 2002, 2004, 2006c; Pokorny in sod., 2008a, 2008b) in umrljivosti mladičev srnjadi (npr. Potočnik in sod., 2007; Čas, 2008; Potočnik in Kos, 2008). V nadaljevanju smiselno podajamo/povzemamo tiste značilnosti srnjadi, ki so pomembne za pričujoče delo in so zbrane v *Strokovnih podlagah za boljše upravljanje s populacijami velikih vrst divjadi* (Al Sayegh Petkovšek in Pokorny, 2009) oz. dopolnjene z nekaterimi dodatnimi, predvsem tujimi raziskavami.

2.1.1 Taksonomija in razširjenost vrste

Evropska srna/srnjad je ena izmed dveh vrst iz rodu srn (poleg nje živi vzhodno od Volge in Dona v Rusiji še večja sibirska srna (*Capreolus pygargus* Pall.), ki je dolgo časa veljala le za podvrsto evropske srne). Srnjad je uvrščena v red sodoprstih kopitarjev (Artiodactyla), podred prežvekovalcev (Ruminantia) in družino jelenov (Cervidae). Srnjad je vrsta s panevropsko razširjenostjo, saj z izjemo Islandije, Irske in sredozemskih otokov naseljuje vse evropske države. V Italiji, Španiji, na Finskem in Portugalskem je prisotna v prostorsko izoliranih populacijah; strnjen areal (sicer različnih podvrst) srnjadi se razprostira vse od francoske obale Atlantskega ocena na zahodu do Volge in Črnega morja na vzhodu; na severu sega najdlje na Norveškem (do 65° severne geografske širine), na jugu pa do polotoka Halkidiki v Grčiji. Razen v Evropi je vrsta prisotna tudi v Mali Aziji, severnih predelih Izraela, Libanona, Sirije, Jordanije in Iraka; izven naravnega areala je bila uspešno naseljena tudi v Teksas. Znotraj tega območja naseljuje srnjad v veliki številčnosti skoraj vse ekosisteme, z izjemo vodnih in urbanih površin, sveta nad gozdno mejo ter večjih odprtih step (zbrano v Pokorny, 2003). V Sloveniji je razširjena po celotni državi, največje zgostitve pa so tam, kjer je gozdnatost majhna in so gozdne površine razdrobljene (Stergar in sod., 2009b).

2.1.2 Teritorialnost in izbira življenjskega prostora

Srnjad je **teritorialno živeča vrsta**, kar pomeni, da živijo osebki na določenem območju, ki ga tudi aktivno branijo pred drugimi predstavniki svoje vrste. Razen pozimi srnjad ne pozna življenja v večjih skupnostih – tropih (izjema je poljski ekotip srnjadi, glej nadaljevanje). Srnjad praviloma ni migratorna vrsta, ampak so osebki tesno navezani na razmeroma majhno življenjsko območje. Velikost areala aktivnosti (odvisen je od habitatnega tipa, letnega časa, klimatskih razmer, količine razpoložljive hrane, energetskih potreb in gostote srnjadi) se pri veliki gostoti populacije (npr. Francija, srednja Evropa) med spoloma le malo razlikuje (Bideau in sod., 1993; Hewison in sod., 1998), pri majhni gostoti (Norveška) pa imajo srnjaki do 2-krat večje areale kot srne (Mysterud, 1998, 1999). Z izjemo borealnih gozdov (srnjaki: 90 – 130 ha; srne: 95 – 130 ha), odprte agrarne krajine (srnjaki: <200 ha;

srne: <230 ha) in stepe (oba spola: <500 ha) je povprečna velikost osrednjega življenjskega območja srnjadi (ne glede na letni čas in spol) v Evropi praviloma precej manjša kot 100 ha (najpogosteje 10 do 50 ha; zbrano v Andersen in sod., 1998; Krže, 2000). Na podlagi uplenjene markirane srnjadi so raziskovalci v različnih srednjeevropskih državah ugotovili, da je bilo 90 do 95 % srnjadi uplenjeno <5 km od mesta markiranja (zbrano v *ibid*.). Med leti znašajo razlike v položaju centroidov arelov aktivnosti pri majhni gostoti populacij do 7 km (srnjaki) oz. 42 km (srne) (Mysterud, 1999), pri veliki gostoti pa samo 100 do 200 m (Bideau in sod., 1993; Linnell in Andersen, 1998; Panzacchi in sod., 2001). Odrasel srnjak v povprečju brani svoj teritorij 5 do 7 let (Hewison in sod., 1998), kar v populacijah, ki so izpostavljene rednemu lovu, pomeni praktično vse do smrti (zbrano v Pokorny, 2003). Teritorialnost srnjadi je glavnega pomena za izvedbo pričujoče disertacije, saj obstoječi način zbiranja spodnjih čeljusti in evidentiranja odvzema omogoča izvedbo okoljskih raziskav le ob predpostavki, da srnjad ni migratorna vrsta, temveč se skozi celotno življenje zadržuje na enem relativno majhnem območju.

Srna z mladiči in lanskimi srnicami lahko v času zime tvori t. i. zimski trop, ki se mu poleg srnjaka včasih pridruži tudi srna, ki je izgubila mladiče ali pa srnica, ki je izgubila mater. Vodilno vlogo v tem tropu igra starejša srna z mladiči, ki izbira smeri za premike, išče pasišča ter opozarja na nevarnost (Simonič, 1976). V agrarnih ekosistemih z majhno gostoto gozda, se lahko oblikujejo tudi večji, stalni tropi srnjadi, t. i. **poljska srnjad** (Vincent in sod., 1995), ki pomenijo odziv vrste na prisotnost velike količine ustrezne hrane (Hewison in sod., 1998), pomanjkanje kritja in zagotavljanje večje varnosti pred predatorji (Barja in Rosellini, 2008). Podobno kot Hewison in sod. (1998) tudi Jepsen in Topping (2004) trdita, da je glavni razlog za pojav poljske srnjadi povečana varnost (večja pazljivost na nevarnost), ki jo omogoča večje število osebkov v tropu, s čimer se poveča čas, ki ga lahko posamezen osebek nameni prehranjevanju. Oboji avtorji poudarjajo tudi pomen hitrejšega in enostavnejšega iskanja najboljših prehranskih virov v nekem kmetijskem ekosistemu, če je v tropu več osebkov. V raziskavi, ki so jo naredili Villerete in sod. (2006) znotraj intenzivne kmetijske krajine (85 % njivskih površin) na jugu Francije, so ugotovili, da ima srnjad cikličen način formiranja v skupine z viškom njihove številčnosti pozimi in upadom le-te spomladi. Večinoma se je srnjad združevala v večje mešane trope obeh spolov; v času pred prskom so bili pogosti tudi tropi adolescentnih in mladih samcev, ki so jih starejši teritorialni srnjaki odganjali od tropov oz. posamičnih srn. Tak način življenja je potrebno smiselno upoštevati pri proučevanju razlik v vitalnosti osebkov med območji Slovenije.

Srnjad **izbira različne habitatne tipe** na podlagi tega, koliko in kakšno hrano nudijo ter koliko kritja (termalnega in varnostnega) je pri tem omogočenega (Virgós in Tellería, 1998; Andersen in sod., 1998; Jepsen in Topping, 2004). Med svojo aktivnostjo skuša uravnotežiti hranjenje na odprtih območjih in počivanje v pokritih, bolj zaraščenih predelih; razmerje pa se spreminja glede na dostopnost posameznih tipov habitatov. Izbira življenjskega okolja se spreminja med letnimi časi in med različnimi deli dneva; poleti srnjad bolj skrbno izbira habitatne tipe, ki so bogati s kakovostno hrano, pri tem pa se izogiba stiku s človekom. V času vročinskega stresa za zavetje išče bolj vlažne predele. Pozimi je izbira habitatnega tipa odvisna predvsem od debeline snežne odeje; v tem času srnjad zaradi mraza za počitek izbira predvsem predele, ki dajejo dobro kritje oz. termalno zavetje (Mysterud, 1998). Izbira ustreznega habitata srnjadi ima poleg varčevanja z energijo tudi varovalno vlogo, saj ščiti srnjad pred plenilci in človekom (*ibid.*).

Naselitev srnjadi v številne habitatne tipe poudarja njeno vrstno uspešnost. Danes se srnjad pojavlja v skoraj vseh naravnih ekosistemih Evrope, kot so iglasti, listnati in mediteranski gozdovi, grmišča, barja, močvirja in različna travišča. Le najvišja območja nad gozdno mejo predstavljajo neustrezen habitat za to vrsto. Njena toleranca na človeka in njegovo aktivnost je vrsti omogočila, da je poselila tudi večino antropogeno oblikovanih habitatnih tipov, vključno s plantažnimi gozdovi, odprto agrarno krajino in celo suburbane vrtove. Na splošno je srnjad vrsta zgodnjih sukcesijskih stadijev, ki jih preferira v primerjavi s stadiji v klimaksu (Prior, 1995; Andersen in sod., 1998).

2.1.3 Prehranjevanje

Srnjad je v evropskem prostoru najbolj tipičen **visoko specializiran rastlinojedi izbiralec** (*concentrate selector*) – pri dani ponudbi hrane izbira predvsem s hranili bogate rastlinske vrste oziroma dele rastlin. Anatomska zgradba njenih prebavil (majhen in enostaven vamp, relativno kratko črevesje, ki je le 12 do 15-krat daljše od dolžine telesa), zaradi katere je prehod hrane skoznje sorazmerno hiter, namreč ne omogoča optimalne presnove celuloznih rastlinskih vlaken. Srnjad se mora zato prehranjevati predvsem z lahko prebavljivo, visoko kakovostno hrano. Zaradi sorazmerno majhnega vampa, velikih energetskih zahtev in zahtev po energetsko bogati hrani ima srnjad v dnevu veliko število prehranjevalnih obdobij, medtem ko so vmesna obdobja prežvekovanja zelo kratka (zbrano v Pokorny, 2003). Potrebno je poudariti tudi, da imata **oba spola zelo podobno ekološko nišo**, saj med spoloma ni večjih razlik v izbiri teritorijev, načinu prehranjevanja in količini zaužite hrane (Hewison in Gaillard, 1996; Gaillard in sod., 1998; Focardi in sod., 2002).

Srnjad se prehranjuje z rastlinskimi vrstami, ki uspevajo od nivoja tal (oziroma celo pod njim) pa do višine 120 cm, pri čemer je največja intenziteta objedanja na višini med 50 in 80 cm (Duncan in sod., 1998). Vsaj občasno se prehranjuje z večino rastlinskih vrst (>70 %), ki uspevajo v določenem ekosistemu; v njeni prehrani so zastopani skoraj vsi rastlinski taksoni (zelišča, trave, kmetijske rastline, praproti, šaši, mahovi, lišaji, iglasto in listnato drevje ter grmovje) in vsi deli rastlin (cvetovi, plodovi, semena, listje, brsti, listni peclji, stebla, lubje in celo korenine). Kljub temu so v prehrani srnjadi (z izjemo poljskega ekotipa v agrarni krajini) najpogosteje (40 – 84 %) zastopani zeleni deli lesnatih rastlin, tj. poganjki in listi (Tixier in Duncan, 1996). Dostopnost prehranskih virov je najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na izbor priljubljenih vrst; zaradi sezonske dostopnosti posameznih energetsko bogatih in dietetičnih virov lahko za določen čas srnjad povsem spremeni svoje navade – tako lahko v času dostopnosti želoda ali kostanja postane čisti granivor, v sezoni uspevanja gob pa se intenzivno prehranjuje z njimi (Duncan in sod., 1998; Pokorny in sod., 2004c). Kljub temu, da lahko srnjad uživa skoraj 1300 različnih rastlinskih vrst (Prior, 1995), je njen izbor hrane odvisen predvsem od dostopnosti in energetske vrednosti le-te, zaradi česar je skoraj povsod po Evropi v prehrano srnjadi vedno uvrščenih le nekaj energetsko najbolj bogatih rastlin izbranega območja. Na splošno pa se lahko srnjad poleg nekaterih zelišč, kmetijskih rastlin in skupin trav, drevesnih plodov ter gob prehranjuje tudi z določenimi lesnatimi drevesnimi in grmovnimi vrstami, kot so gorski javor, beli gaber, rdeči bor, veliki jesen, jerebika, jelka, smreka, bodika, brogovita, bršljan, jesenska resa, različne vrste hrastov, topolov, drenov, brez, šipkov, borovnic in robid (zbrano v Simonič, 1976; Duncan in sod., 1998; Krže, 2000). Zlasti slednje (med njimi predvsem sinjezelena robida *Rubus caesia* L.) so, poleg borovnic in jerebike v borealnih predelih (npr. Mysterud in sod., 1997,

1999), najpogosteje zastopan takson v prehrani srnjadi (npr. Virgos in Tellería, 1998; Cransac in sod., 2001; Mafalda in sod., 2001). Do podobnih ugotovitev je prišel tudi Adamič (1990), ki je kot edini do sedaj sistematično raziskoval prehrano srnjadi v Sloveniji (zbrano v Pokorny, 2003). Teritorialnost, enaka ekološka niša med spoloma in omenjeni način prehranjevanja (specifična izbira zelnatih rastlin), ki je močno povezan z zaužitjem tudi večjih količin zračnih onesnažil (npr. fluoridov, ki se odlagajo in kopičijo predvsem v/na zelenih delih rastlin; Yu, 2005; Franzaring in sod., 2006), močno vpliva na vnos in kopičenje teh onesnažil v tkivih/spodnjih čeljustih srnjadi.

2.1.4 Razmnoževanje in poleganje mladičev

Srnjad razmeroma zgodaj spolno dozori; srnica je praviloma godna za oploditev, ko je stara 14 mesecev, na čas njene spolne zrelosti pa vplivajo predvsem notranji dejavniki, kot so telesna masa in vitalnost (Prior, 1995). Ekološki pogoji (prehranske razmere, populacijska gostota in vremenski pogoji) vplivajo na plodnost predvsem mladih samic (mladic). Reproduktivno uspešnost zmanjšujejo ostre zime in sušna obdobja. Telesna masa in populacijska gostota imata lahko vzajemen učinek – pri manjši masi samice je manj verjetno, da pride do oploditve, če je populacijska gostota večja; takšna reproduktivna strategija zmanjšuje tveganje za mater (Andersen in sod., 1998; Gaillard in sod., 2000). Srna ostane plodna celo življenje – mladiče praviloma polega vsako leto (če srna ne vodi mladičev, jih ne zaradi jalovosti, temveč zaradi izgube zaroda) (Simonič, 1976).

Parjenje (prsk) srnjadi se prične v drugi polovici julija in traja do konca avgusta, na dolžino prska pa vplivajo vremenske razmere, predvsem temperatura. Prve se parijo mladice in nevodeče srne, kasneje vodeče srne in na koncu šibke mladice (Prior, 1995; Krže, 2000). V času prska srnjak izrazito shujša zaradi burne gonje in izrazitega iskanja gonečih se srn ter tudi teritorialnih spopadov in odganjanja tekmecev (Krže, 2000). Po oploditvi razvoj zarodka miruje vse do januarja (t. i. embrionalna diapavza), s čimer je brejost podaljšana na 39 do 42 tednov. Srnjad je edini parkljar z odloženo implantacijo, kar pomeni strateško prednost, saj v obdobju od oploditve do začetka intenzivne rasti zarodka za srno brejost ne pomeni porabe dodatne energije, poleg tega se mladiči poležejo v obdobju, ko je na razpolago velika količina ustrezne hrane, ki jo srna potrebuje za laktacijo; tudi mladič začne odraščati v času ugodnih prehranskih danosti (Prior, 1995; Andersen in sod., 1998). Srna v maju ali juniju (v mediteranskem podnebju južne Evrope tudi že v aprilu), skoti enega do tri mladiče (pri nas sta v leglu najpogosteje dva) (Krže, 2000). Telesno dobro razvite srne polegajo večje število mladičev. V Skandinaviji, kjer je odrasla srnjad težja za >20 % v primerjavi s srednjo in južno Evropo, so pogostejši trojčki kot dvojčki oz. posamezni mladiči (Andersen in sod., 1998), kar pomeni da je prirastek v ugodnejših prehranskih razmerah večji. Težje srne praviloma polegajo srnice, lažje pa srnjačke, s čimer se skušajo izogniti tekmovanju za lokalne vire hrane s svojo potomko (*local resource competition*) (Hewison in Gaillard, 1996).

Zaradi velike porabe energije, ki jo srne vlagajo v razvoj ploda in v laktacijo, morajo biti mladiči poleženi v kratkotrajnem obdobju optimalnih prehranskih razmer. Zaradi tega je za srnjad v določenih ekoloških razmerah značilna velika sinhroniziranost poleganja – skoraj vsi mladiči so v določenem letu poleženi v intervalu 20 do 30 dni, več kot polovica pa znotraj dveh tednov. Čeprav na termine poleganja vplivajo vremenske razmere (zlasti

temperatura) med brejostjo, se modialni ("srednji") dan poleganja med leti le malo spreminja. Čas poleganja je odvisen tudi od geografskih razmer; nekoliko kasneje nastopi od jugozahoda proti severovzhodu in od ravnin v višine. V južni Španiji se tako večina mladičev poleže v aprilu, v sredozemskem delu Italije v začetku maja; v zahodni Franciji okrog 15. maja; v tirolskih Alpah pa 13. junija. V Sloveniji časovne dinamike poleganja ne poznamo (povzeto po Pokorny, 2003).

2.1.5 Telesni opis in razvoj osebka

Srnjad je najmanjši evropski predstavnik družine jelenov; odrasel osebek tehta od 18 do 38 kg, pri čemer se večji predstavniki vrste pojavljajo na severu (v Skandinaviji) in vzhodu Evrope. Samci so nekoliko večji od samic, a je spolni dimorfizem vrste relativno majhen (samci imajo tudi rogovje; Lister in sod., 1998; Gaillard in sod., 1998). Srnjad je nežne, vitke postave s kratko in široko trikotno glavo, dokaj velikimi ovalnimi ušesi, dolgim vratom, relativno kratkim telesom in dolgimi nogami. Zadnje noge so v primerjavi s prednjimi daljše in močnejše; hrbtna linija je močno izbočena. Srnjad je v križu višja kot v oplečju, kar ji daje značilen videz "smukalca" (Lister in sod., 1998). Srnjad je namreč vrsta, ki prebiva v goščavah in se na nevarnost odzove s hitrim pobegom v gosto kritje, ki ji ga omogočajo dolgi, visoki skoki na zadnjih nogah (Simonič, 1967; Krže, 2000).

Ob poleganju (med majem in junijem) so mladiči srnjadi težki okoli 1,5 kg; običajno so srnjački težji od srnic oz. dvojčki lažji od enega samega poleženega mladiča (Krže, 2000). V začetnih tednih življenja so mladiči zelo ranljivi, saj lahko izgubijo življenje zaradi slabega vremena, dehidracije, plenilcev in pokosa (Prior, 1995; Linnell in sod., 1998b; Potočnik in sod., 2007). V prvih treh do štirih tednih se mladiči v nevarnosti refleksno pritajijo in mirujejo; nato pa se razvije bežalno vedenje, ko v nevarnosti mladič že sledi svoji materi. Srnin mladič čez dan večkrat sesa (med 8- do 19-krat) in vsakokrat zaužije 30 do 80 ml mleka. Na višku laktacije mora srna proizvesti 1650 ml mleka na dan za potešitev potreb dveh mladičev. Mladič sesa do starosti 5 do 6 mesecev, ponavadi do sredine septembra; vendar z večjo intenziteto v prvih dveh mesecih starosti. Suša v času laktacije lahko močno zavre rast mladiča, saj srna ne more proizvesti dovolj mleka; enako negativno vlogo ima pomanjkanje hrane (zbrano v Krže, 2000).

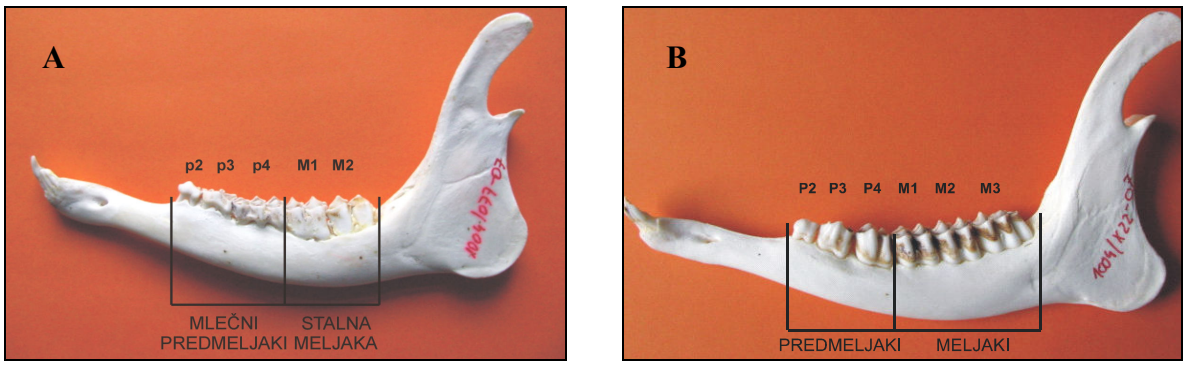
Dnevni prirastek mladičev se giba v razponu med 70 do 207 g (Krže, 2000) oz. okoli 145 g/dan, pri čemer ni razlik med spoloma, prirastek pa je odvisen od velikosti zaroda in datuma poleganja (Andersen in Linnell, 1997). Konec septembra se priraščanje telesne mase zmanjša; ob dobrih prehranskih danostih prirast mladiča jeseni znaša 150 g/dan, ob slabi pa le 100 g/dan. Od novembra do februarja mladiči rastejo komaj zaznavno; z marcem je dnevni prirast mase le še 5 g (Krže, 2000). Najpomembnejše obdobje za razvoj in vitalnost srnjadi je prvo leto in pol življenja, ko osebek pridobi nekje do 80 % svoje telesne mase (Simonič, 1976). Če se razvoj v tem obdobju rasti upočasni oz. zaostane, tega žival v kasnejšem obdobju življenja ne more nikoli nadomestiti (Simonič, 1976; Prior, 1995; Gaillard in sod., 2000). Slednje je izjemnega pomena za velikost/vitalnost odraslega osebka, kar je bistveno za del disertacije, ki se nanaša na vitalnost populacije srnjadi v Sloveniji.

Srnjad telesno doraste nekje pri dveh letih starosti. Življenjska doba srnjadi v prosti naravi je do 17 let (markirane živali), v ujetništvu pa lahko srnjad doseže tudi 25 let. Kljub temu se številni raziskovalci strinjajo, da tako visoke starosti srnjad ne dosega, ker je pri več kot 10-letni srnjadi zobovje že tako obrabljeno, da se osebek ne more več normalno prehranjevati, zaradi česar začne telesno pešati in na koncu pogine. Sicer pa je povprečna življenjska doba srnjadi evropskega prostora zaradi intenzivnega lova le okoli 3 leta (Krže, 2000).

2.1.5.1 Zobna formula srnjadi in proces rasti zob

Zobna formula srnjadi šteje 32 do 34 zob (I 0/3, C (1)/1, P 3/3, M 3/3) (Miles in Grigson, 1990; Prior, 1995), s po tremi predmeljaki v spodnji in zgornji čeljusti. V tuji literaturi se pri poimenovanju predmeljakov v spodnjih čeljustih srnjadi vedno uporabljajo izrazi drugi do četrti predmeljak (P_2 – P_4; npr. Kierdorf U in Kierdorf H, 2000b; Zemek in sod., 2006; Richter in sod., 2010). Pri sesalcih namreč osnovna zobna formula zajema štiri predmeljake (I 3/3, C 1/1, P 4/4, M 3/3; Peyer, 1968), pri čemer pa je pri srnjadi prvi predmeljak (P_1) evolucijsko skoraj že izginil (v Nemčiji je bil registriran v *cca.* 0,1 % čeljusti; Horst Kierdorf, ustno sporočilo). V Sloveniji smo pri pregledu čeljusti srnjadi celotnega letnega odvzema srnjadi, odvzete leta 2007, P_1 zasledili le v 27 primerih (0,6 ‰) od 41.895 zbranih čeljusti (Konjević in sod., 2011a). Izjemno redko pojavljanje P_1 pri srnjadi je razlog, da se v Sloveniji v strokovnih krogih za poimenovanje predmeljakov pri srnjadi uporabljajo predvsem izrazi prvi do tretji predmeljak (P_1 – P_3; npr. Simonič, 1976; Krže, 2000). V nadaljevanju disertacije sicer striktno uporabljamo izraze drugi do četrti predmeljak (p_2 – p_4 oz. P_2 – P_4) skladno s poimenovanji v tuji znanstveni literaturi.

Srnjad ima ob rojstvu v eni od polovic spodnje čeljusti tri mlečne sekalce (i_1 – i_3), sekalcem povsem podoben mlečni podočnik (c) ter tri mlečne predmeljake (p_2 – p_4). Od stalnih zob najprej v starosti od treh do štirih mesecev zraste prvi meljak (M_1), ki mu v šestem mesecu sledi drugi meljak (M_2) in v starosti enega leta tretji meljak (M_3). Menjava mlečnih sekalcev s stalnimi se prične v sedmem mesecu starosti (I_1, nekoliko kasneje I_2); v starosti enega leta se zamenja zadnji sekalec (I_3) ter podočnik (C). Najkasneje menja srnjad predmeljake (najkasneje P_4), in sicer v starosti od 11 do 14 mesecev, ko je razvoj stalnega zobovja zaključen. Pomoč pri določitvi starosti je tudi oblika zadnjega predmeljaka (P_4), saj je mlečen zob tridelen, medtem ko je stalen zob dvodelen (povzeto po Simonič, 1976).



Slika 3: Levi polovici spodnjih čeljusti srnjadi z zobovjem: A – mladič z mlečnimi predmeljaki in nedoraščenimi stalnimi meljaki; B – enoletna žival s popolnoma izraščenim stalnim zobovjem.

Figure 3: Left hemimandible of roe deer with teeth: A – fawn with milk premolars and unfinished molar formation; B – yearling with totally grown permanent teeth.

2.1.6 Starostna struktura in določanje starosti srnjadi

Določanje starostne strukture srnjadi je nujno za razumevanje dinamike populacije in je predpogoj za ustrezno upravljanje z vrsto. Gaillard in sod. (1998) trdijo, da je srnjad, tako kot večina vretenčarjev, močno starostno strukturirana. Pri tem delijo srnjad na tri strukturne razrede/stadije, in sicer: juvenilni razred (mladiči od rojstva do enega leta starosti), reproduktivni razred (živali med enim in sedmim letom starosti) ter senescentni razred (ostareli osebki, stari sedem in več let). V Sloveniji je populacija srnjadi stabilna in je že prešla svoj maksimum rasti; ob tej predpostavki poteka tudi načrtovanje upravljanja z vrsto. Pri načrtovanju odvzema se opredeli odvzem srnjadi po spolu in starostnih kategorijah (mladiči, enoletni osebki in odrasle (2+) živali) pri tem pa se morebitne cilje zmanjšanja ali povečanja številčnosti populacije dosega predvsem s prilagojeno višino odvzema in ne z večjim/manjšim poseganjem v določen starostni razred (Jonozovič, 2008).

Starost izločene (odstreljene, poginule) srnjadi in ostalih vrst prostoživečih parkljarjev se v Sloveniji že vrsto let ocenjuje z **metodo razvojne stopnje in obrabe zobovja** (Simonič, 1976), ki je kljub nekaterim pomanjkljivostim še vedno najpomembnejša in najpogosteje uporabljena metoda določanja starosti srnjadi v Evropi (Hrabe in Koubek, 1987; Zelewski in sod., 2009). Z uporabo metode obrabe zobovja lahko starost zelo zanesljivo določimo mladičem in enoletnim živalim, ki imajo nepopolno razvito zobovje – kot je bilo že omenjeno ima mlečni tretji predmeljak tri vrhove, po menjavi zobovja pa ga nadomesti stalni predmeljak z dvema vrhoma; v naravi živeči odrasli srnjadi, ki ob rojstvu ni bila markirana, pa je natančno starost nemogoče določiti (Ratclife in Mayle, 1992; Krže, 2000; Pokorny, 2003). Čeprav povprečna napaka ocene starosti spolno zrelih osebkov z omenjeno metodo praviloma ni velika in znaša v povprečju ± 1 leto (Hewison in sod., 1999), se lahko za posamezne osebke pojavijo znatna odstopanja (-5 do +6 let za osebke stare 1 do 7 let) zaradi variabilnosti v stopnji obrabe zobovja med populacijami in med osebki kot tudi zaradi subjektivne napake ocenjevalca; napaka ocene je največja pri določanju starosti zelo starih živali (*ibid.*). Høye (2006) na podlagi ocene starosti srnjadi iz različnih predelov Danske trdi, da se ocenjevanje starosti z metodo razvojne stopnje in obrabe zobovja lahko smiselno uporabi za osnovno določanje starosti prostoživečih parkljarjev.

Zgolj na podlagi okularne ocene obrabe zobovja ni možno do leta natančno opredeliti starostne strukture proučevanih populacij, še manj pa skonstruirati krivulj preživetja, ki bi jih bilo mogoče primerjati med različno izpostavljenimi populacijami. Slednje je možno narediti zgolj z natančno določitvijo starosti izločenih živali, kar v primeru prežvekovalcev omogočajo različne druge tehnike, npr. tehnika zobnega sekcioniranja z mikroskopskim štetjem slojev zobnega cementa oz. različno obarvanih plasti dentina, ki se vsako leto nalagajo na zobni korenini (Aitken, 1975; Zor, 2009); omenjeno metodo uporabljajo pri upravljanju s populacijami srnjadi v Veliki Britaniji (Ratclife in Mayle, 1992), predvsem pa pri določanju starosti ostalih, nekoliko večjih prostoživečih parkljarjev (Mysterud in Østbye, 2006b). Vendar je pri srnjadi tehnično zelo težko narediti korekten prerez sorazmerno majhnih zob (lastne raziskave), poleg tega so posamezne plasti zobnega cementa tako v sekalcih kot meljakih nerazločne in se pogosto delijo ter združujejo, kar ima za posledico manjšo zanesljivost te metode (Hrabe in Koubek, 1987).

Metoda določanja starosti na podlagi dekalcifikacije zob ter štetja plasti v dentinu/cementu se je v Sloveniji izkazala kot primerna za določanje starosti srnjadi, kljub temu obstaja vrsta zadržkov, kot so: (i) zobje, ki so predhodno obeljeni z vodikovim peroksidom (H_2O_2) so zaradi poškodovanega cementa neuporabni; (ii) nepravilna izvedba postopka dekalcifikacije lahko vzorec nepopravljivo poškoduje; (iii) med posameznimi zobmi obstajajo razlike v stopnji kalciniranosti; (iv) izvedba dekalcifikacije s pomočjo mikrovalovne pečice lahko povzroči krčenje zob; (v) proces dekalcifikacije je težko standardizirati (povzeto po Zor, 2009).

Za ocenjevanje starosti srnjadi se poleg omenjenih metod uporablja še nekatere druge, kot so stopnja pokostenitve lobanjskih šivov in nosnega pretina, dolžina in širina čelnih nastavkov (Simonič, 1976), masa očesne leče, ki pa se je v obeh poznanih raziskavah pokazala za nezanesljivo pri določanju starosti starejših (4+) živali (Mysterud in Østbye, 2006b; Gačić in sod., 2007), in višina prvega meljaka (Mysterud in Østbye, 2006b). Vse omenjene metode so obremenjene z veliko napako ocene in ne nudijo dovolj zanesljivih podatkov o starosti posameznih živali.

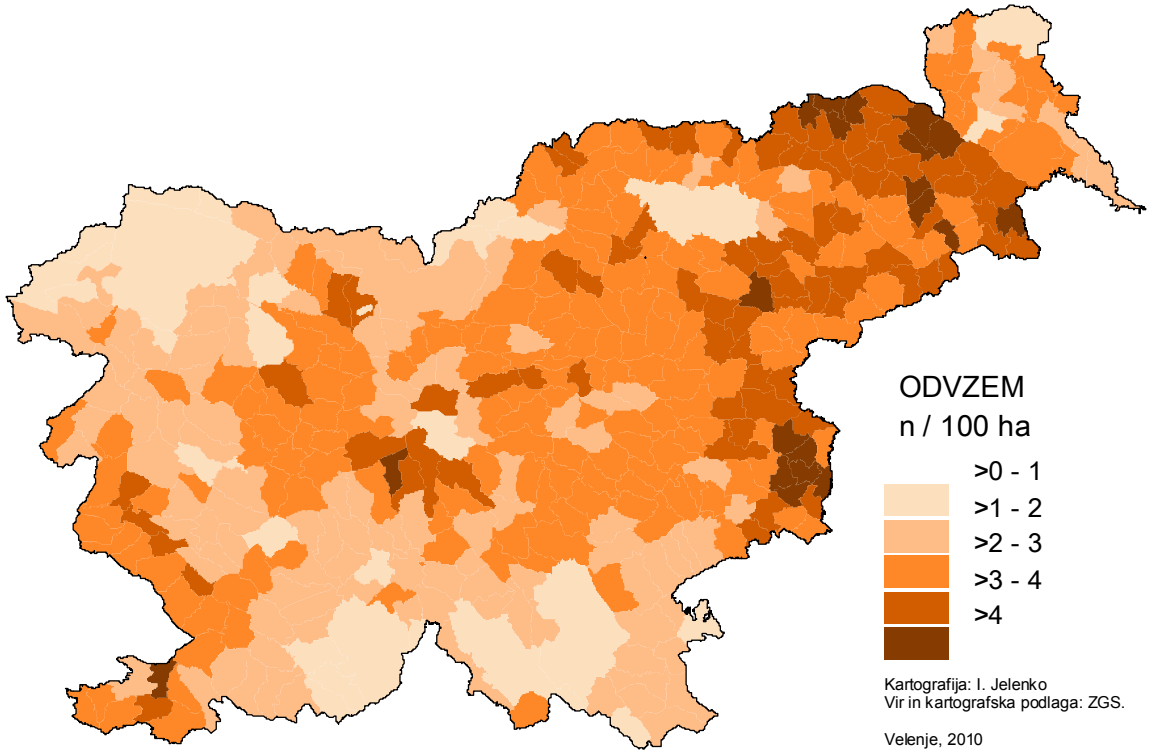
Glede na izjemno veliko število vzorcev spodnjih čeljusti srnjadi, ki smo jih imeli na razpolago, ter dejstva, da za večino opravljenih analiz v sklopu te disertacije ne potrebujemo natančne (na leto natančno) ocenjene starosti osebkov srnjadi (le-te tudi sicer pri tej vrsti skoraj ni mogoče zagotoviti), smo se odločili za oceno starosti srnjadi po metodi razvojne stopnje in obrabe zobovja, in sicer z razvrstitvijo osebkov v pet starostnih kategorij (glej poglavje 3.2.2).

2.1.7 Gostota odvzema srnjadi v Sloveniji (kot odraz gostote populacije)

Gostota srnjadi v Sloveniji je bila v preteklosti bistveno manjša kot danes. Odstrel srnjadi (kot dober kazalec številčnosti populacije; Jerina, 2006a; Stergar in sod., 2009a) je namreč v drugi polovici 19. stoletja v takratni deželi Kranjski znašal med 0,1 in 0,2 živali/100 ha in je počasi naraščal. V prvih letih 20. stoletja je odstrel sicer narasel na 0,5 živali/100 ha, a je kmalu zopet upadel in v času Dravske Banovine znašal manj kot 0,3 živali/100 ha. Na ozemlju celotne Slovenije je odstrel od leta 1950 (<0,2 živali/100 ha) do leta 1973, ko je znašal 0,8 živali/100 ha, strmo naraščal (Simonič, 1976). V letu 1975 je odstrel srnjadi v Sloveniji prvič presegel 1 žival/100 ha, v letu 1990 pa že 2 živali/100 ha. Največji zabeležen odstrel srnjadi v Sloveniji je bil dosežen leta 1992, in sicer 49.281 živali (2,4 osebki/100 ha) (Izbor …, 2001). Po letu 2000 je bilo letno odvzetih med 35.000 in 45.000 osebkov srnjadi (Statistični ..., 2010), kar pomeni med 1,8 in 2,3 živali/100 ha.

Srnjad je danes v Sloveniji najštevilčnejša vrsta divjadi in vsesplošno razširjena vrsta, ki je prisotna znotraj vseh štirih omenjenih pokrajin. Populacijsko območje, kjer je v obdobju 2004 – 2008 živelo 95 % vse srnjadi Slovenije, se razprostira na 16.056 km^2, kar predstavlja 79,2 % Slovenije (Stergar in sod., 2009a; Adamič in Jerina, 2010). V omenjenih petih letih je bil odvzem vsaj enega osebka zabeležen v 90 % vseh kvadrantov kilometrske mreže, ki pokriva ozemlje celotne Slovenije (Stergar in sod., 2009b). Pri tem ima vzhodna Slovenija zaradi svojih naravnih danosti (ugodnih reliefnih in klimatskih razmer) ter vpliva ljudi (stik gozda z bolj ali manj intenzivno obdelano agrarno pokrajino) najbolj ugoden habitat za srnjad, ki je vrsta gozdnega roba. Letna gostota odvzema je tako v (sub)panonski regiji

največja v Sloveniji in znaša med >3 do 4 živali/100 ha, ponekod celo >4 živali/100 ha (Jelenko in sod., 2010b). Veliko gostoto odvzema srnjadi zasledimo še v severnem delu Ljubljanske kotline, na Barju, v severni primorski, obalnem zaledju in delu predalpskega hribovja (slika 4). Najmanjša gostota odvzema srnjadi (<1 žival/100 ha) je v alpskem svetu (posledica neugodnih podnebnih oz. prehranskih razmer) oz. na Pohorju ter v obsežnih notranjskih in kočevskih gozdovih (neugoden habitat zaradi velikega deleža gozda; možen negativen vpliv jelenjadi – medvrstna kompeticija).



Slika 4: Povprečen odvzem srnjadi v Sloveniji v letu 2007 (po loviščih).
Figure 4: Average hunting bag of roe deer in Slovenia, for the year 2007 (per hunting grounds).

2.2 VARSTVO NARAVE IN RABA NARAVNIH VIROV (LOV SRNJADI)

Pričujoče poglavje je povzeto po slovenskih zakonskih in podzakonskih aktih ter monografijah *Pregled stanja biotske raznovrstnosti in krajinske pestrosti v Sloveniji* (Hlad in Skoberne, 2001), *Strategija ohranjanja biotske raznovrstnosti v Sloveniji* (2002) in *Sistem varstva narave v Sloveniji* (Berginc in sod., 2007), kjer so detajlno opredeljeni vsi vidiki varstva narave in ohranjanja biodiverzitete Slovenije, med drugim tudi pogoji za trajnostno upravljanje z nezavarovanimi prostoživečimi vrstami.

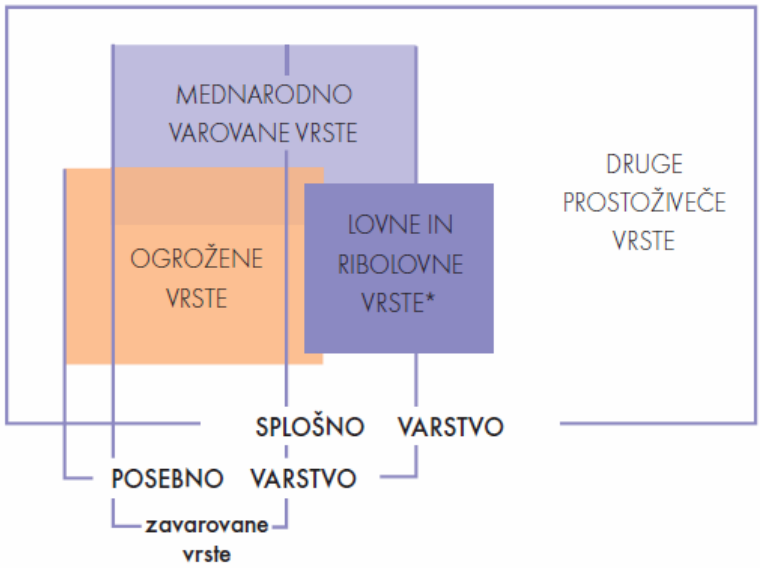
Varstvo narave, katerega cilj je njena ohranitev, v najširšem pomenu predstavlja prizadevanje, s pomočjo katerega se narava ohranja v svoji prvobitnosti (preprečevanje onesnaževanja in obremenjevanja okolja, prekomerne in neracionalne rabe gozdov, kmetijskih zemljišč, voda, mineralnih surovin, rastlin in živali ter njihovih življenjskih prostorov) in je uzakonjeno v pravnem redu (Berginc in sod., 2007). V začetnih obdobjih varstva narave so bili predmeti varstva predvsem manjši izjemno pomembni deli narave, v zadnjem času pa se je vidik varstva narave močno razširil in poleg posameznih rastlinskih in živalskih vrst zajema celotno biodiverziteto, ekosisteme in tudi povezovalna območja med izbranimi deli narave; poudarja se varstvo narave kot celote (Hlad in Skoberne, 2001).

V Sloveniji je z Ustavo RS (1991) v splošnih določbah opredeljeno, da je dolžnost države skrb za ohranjanje naravnega bogastva. Sistem varstva narave pa poleg ustave tvorijo še mednarodno pravo in pravo EU (konvencije in direktive), upravno pravo (ZVO, 2004; ZON, 2004) ter civilno in kazensko pravo. Po ZON so v Sloveniji predmeti varstva narave **naravne vrednote** (deli narave, ki imajo vrednostne lastnosti) ter **biotska raznovrstnost**, kamor spadajo tako rastlinske in živalske vrste kot tudi genski material in ekosistemi (Hlad in Skoberne, 2001; Skoberne, 2005). Pri tem se naravne vrednote varujejo predvsem z ukrepom varstva "zavarovanje", medtem ko se biodiverziteta varuje preko varstva osebkov, populacij in genskega materiala z neposrednim varstvom vrst oz. preko varstva prostora/območij z ustanovitvijo Ekološko pomembnih območij (EPO: Uredba o ekološko …, 2004) in Posebnih varstvenih območij (območja Natura 2000) (Uredba o posebnih …, 2004). Varstvo biotske raznovrstnosti se nanaša na vse sestavine iz živega in neživega sveta, saj je neživi del (kot življenjski prostor) z živim neločljivo povezan (Berginc in sod., 2007).

Glavni namen varstva narave je usmerjati, omejevati in preprečevati posege in ravnanja, ki bi lahko porušila naravno ravnovesje ali poškodovala in uničila naravne vrednote. Konkretni cilj varstva biotske raznovrstnosti je **ohranitev rastlinskih in živalskih vrst ter habitatnih tipov v ugodnem stanju ali doseganje ugodnega stanja**, če so le-ti ogroženi (Strategija ohranjanja …, 2002; Berginc in sod., 2007). Stanje vrste je ugodno, če je iz populacijske dinamike razvidno, da se sama dolgoročno ohranja kot vitalna sestavina ekosistema, če se naravno območje razširjenosti vrste ne manjša in se v predvidljivi prihodnosti verjetno ne bo zmanjšalo in če so habitati populacij vrste za njihovo dolgoročno ohranitev kakovostno ustrezni in dovolj veliki ter bodo verjetno takšni tudi v prihodnje (ZON, 2004: 26. člen). Habitatni tipi so v ugodnem stanju, če je naravna razširjenost habitatnih tipov in območij, ki jih posamezni habitatni tip znotraj te razširjenosti pokriva, splošna in stabilna, če struktura habitatnih tipov in naravni procesi ali ustrezna raba zagotavljajo samoohranitveno sposobnost, če v predvidljivi prihodnosti niso znani procesi, ki bi lahko poslabšali strukturo in funkcijo habitatnih tipov in s tem ogrozili njihovo samoohranitveno sposobnost ali če je zagotovljeno ugodno stanje značilnih vrst habitatnih tipov (ZON, 2004: 31. člen).

2.2.1 Varstvo prostoživečih živali in njihova trajnostna raba

V Sloveniji je za **vse prostoživeče rastlinske in živalske vrste** vključno z živalskimi vrstami, ki so predmet lova in ribolova, torej tudi srnjad, določeno **splošno varstvo**. Posebna varstvena skrb je namenjena ogroženim in mednarodno varovanim prostoživečim vrstam, za katere je poleg splošnega določeno še **posebno varstvo** (slika 5). Splošno varstvo zajema osnovni odnos družbe do rastlinskih in živalskih vrst in izhaja iz načel, da: (i) nobene vrste ni dovoljeno iztrebiti; (ii) nobene vrste ni dovoljeno ogroziti z zavestnim zniževanjem števila osebkov do take mere, da je vrsta ogrožena; (iii) nobene rastline in živali katerekoli vrste ni dovoljeno namerno, brez opravičljivega razloga ubijati, poškodovati, odvzemati iz narave ali vznemirjati. Prav tako ni dovoljeno namerno, brez opravičljivega razloga uničiti ali poškodovati habitat rastline ali živali. Pri tem se šteje, da je razlog za storjena dejanja opravičljiv, če ima koristno posledico in je hkrati družbeno sprejemljiv (povzeto po Berginc in sod., 2007).



Slika 5: Varstvo prostoživečih živali in njihov pravni položaj v Sloveniji (Berginc in sod., 2007: 51).
Figure 5: Conservation of free-ranging animal species and their legal status in Slovenia (Berginc et al., 2007: 51).

Evropska srna je ena izmed najbolj razširjenih vrst prostoživečih parkljarjev iz družine jelenov v Evropi in tudi v Sloveniji (Krže, 2000; Apollonio in sod., 2010), za katero, enako kot za vse druge živalske vrste, velja splošno varstvo (ZON, 2004). Splošno varstvo vrst poleg že omenjenih načel zagotavlja med drugim tudi z načrti opredeljeno trajnostno gospodarjenje z rastlinskimi in živalskimi vrstami ob upoštevanju gospodarske in socialne funkcije, tako da se v načrtih upoštevajo ekosistemske in biogeografske značilnosti vrste ali populacije, ki so pomembne za ohranitev ugodnega stanja vrste. Pri tem se rabo lahko omeji ali začasno prepove, če način ali obseg rabe ogroža ugodno stanje vrste (ZON: 16. člen) (povzeto po Berginc in sod., 2007).

Z Ustavo RS (1991: 70. člen) je pri določbah o javnem dobru in naravnem bogastvu navedeno, da se javnemu dobru lahko prisodi posebna pravica uporabe pod pogoji, ki jih določa zakon. Pri tem je Zakon o varstvu okolja (2004) sistemski zakon, ki postavlja izhodišča za rabo naravnih dobrin (naravno javno dobro, naravni vir ali naravna vrednota), ki se mora izvajati sonaravno in trajnostno. Na področju upravljanja s prostoživečimi živalmi Zakon o divjadi in lovstvu (2004) opredeljuje rabo tistih prostoživečih živali, ki so z Uredbo o določitvi divjadi in lovnih dob (2004) opredeljene kot divjad. Slednje so vrste prostoživečih vrst sesalcev in ptic, ki se lovijo (ZDLov, 2004: 2. člen); mednje sodi tudi evropska srna. Kljub dovoljeni rabi divjadi oz. lovu živali lovnih vrst pa je katerokoli živalsko vrsto prepovedano iztrebiti, prepovedano je zniževati število posameznih populacij, ožati njihov habitat ali slabšati njihove življenjske razmere do take mere, da je vrsta ogrožena (Berginc in sod., 2007). V izogib temu je lov urejen s številnimi predpisi in je skrbno načrtovan na podlagi naravovarstvenih smernic (ZVO, 2004).

Srnjad je torej zaradi svoje razširjenosti in številnosti izjemno pomembna vrsta ekosistemov v Sloveniji, ki je opredeljena kot divjad z lovno dobo. Kljub temu zanjo velja splošno varstvo, kar pomeni, da se mora ohranjati v ugodnem stanju. Nekoliko natančnejša opredelitev načrtovanja trajnostne rabe (lova) srnjadi v Sloveniji je opredeljena v uvodnem poglavju.

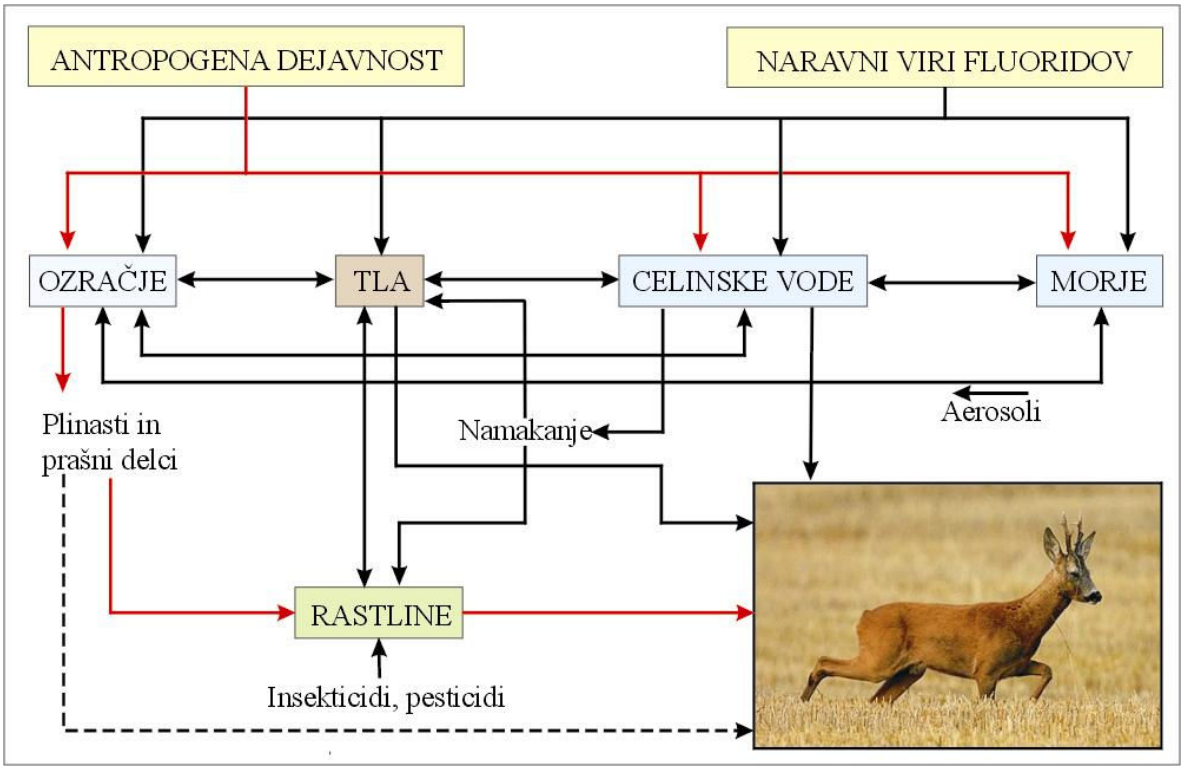
Slika 6: Srnjad je v Sloveniji najbolj razširjena prostoživeča živalska vrsta, ki je določena kot divjad, v skladu s tem je z njo dovoljeno trajnostno upravljanje (foto: jurefotoman; http://galerija.foto-narava.com, 2009).

Figure 6: Roe deer is in Slovenia the most widespread wildlife species, which is defined as a game species; therefore sustainable management with the species is allowed (photo: jurefotoman; http://galerija.foto-narava.com, 2009).

2.3 SPODNJE ČELJUSTI PROSTOŽIVEČIH PREŽVEKOVALCEV/SRNJADI KOT BIOINDIKATOR ONESNAŽENOSTI OKOLJA S FLUORIDI

Za relevantno in zanesljivo bioindikacijo onesnaženosti okolja morajo biti izbrani ciljni organi/tkiva dovolj občutljivi (npr. akumulacija in vplivi onesnažil nanje, kot so kopičenje in vplivi fluoridov na kosti oz. zobovje), merjeni odzivi pa specifični za določeno vrsto onesnažila ter odvisni od izpostavljenosti osebkov. Kot take so spodnje čeljusti (s pripadajočim zobovjem) prežvekovalcev izredno primerne za bioindikacijo onesnaženosti okolja s fluoridi (npr. Kierdorf U in Kierdorf H, 1999, 2000b; Tataruch in Kierdorf 2003; Zemek in sod., 2006). Na zobovju se namreč povečane koncentracije fluoridov v okolju odražajo kot zobna fluoroza (makroskopsko vidne in lahko prepoznavne spremembe zobne sklenine). Njeni simptomi so izredno specifični; ni znano, da bi katerikoli drug kemični agens ali drug stresni dejavnik povzročal podobne spremembe bodisi pri ljudeh, domačih ali prostoživečih živalih (Hell in sod., 1995; Aoba in Fejerskov, 2002; Kierdorf in sod., 2004; Harrison, 2005; Choubisa, 2008; Richter in sod., 2010; Jelenko in sod., 2010a). Poleg tega lahko čeljusti prostoživečih prežvekovalcev učinkovito uporabljamo tudi kot akumulacijske bioindikatorje, tj. z meritvami vsebnosti fluoridov v sami kosti (Kierdorf in sod., 1989; Vikøren in sod., 1996; Sedláček in sod., 2001; Zakrzewska in sod., 2005; Jelenko in Pokorny, 2010), ter tako spremljamo trende in prostorske razlike v onesnaženosti okolja s fluoridi, pa tudi neposredne odnose med izpostavljenostjo in odzivom osebkov (t. i. "*dose-response*" pristop).

2.3.1 Fluoridi v okolju in njihov vnos v organizme



Slika 7: Gibanje fluoridov v biogeosferi (prirejeno po Weinstein in Davison, 2004; Fluorides …, 2009).

Figure 7: Fluoride cycling trough the biogeosphere (adapted by Weinstein and Davison, 2004; Fluorides …, 2009*).*

Elementarni fluor, ki spada med halogene pline, je bledo rumeno-zelene barve in ima oster, neprijeten vonj. Gre za dražeč plin z atomsko maso 18,998 g/mol. Fluor je izmed vseh elementov najbolj nestabilen, zaradi česar ga v okolju težko zasledimo v elementarni obliki. Po drugi strani je pomembna naravna sestavina biogeosfere in je razširjen v vseh okoljskih elementih (Yu, 2005; Ponikvar, 2008).

Z deležem 0,065 % predstavlja fluor 13. najpogosteje zastopan element v zemeljski skorji. Najpogosteje se pojavlja v obliki vodikovega fluorida (HF), brezbarvne, jedke tekočine oz. plina, ki je dobro topen v organskih topilih in vodi; v slednji tvori fluorovodikovo kislino ($HF_{(aq)}$). Fluor je lahko v okolju prisoten tudi v trdni obliki, in sicer kot brezbarven, v vodi relativno netopen kalcijev fluorid (CaF_2) oz. brezbarven do bel, v vodi zmerno topen natrijev fluorid (NaF). Lahko je tudi v obliki žveplovega heksafluorida (SF_6), ki je brezbarven, inerten plin brez vonja ter močno topen v etanolu oz. bazah (Weinstein in Davison, 2004; Fluorides …, 2009). Ker je fluor v okolju v elementarni obliki zelo redek in se v večini primerov pojavlja v obliki ene izmed omenjenih spojin, v nadaljevanju uporabljamo skupni izraz **fluoridi**, ki zajema vse omenjene oblike/kemijske spojine.

Fluoridi v zemeljski skorji so rezultat naravnih geoloških procesov, kot so vulkanska aktivnost (Notcutt in Davies, 1989; Bellomo in sod., 2007; Nazmi, 2008) in preperevanje kamenin oz. predstavljajo del morskih aerosolov (Garrot in sod., 2002; Fluorides …, 2009; Ozsvath, 2009), k povišanim vsebnostim fluoridov v okolju pa zlasti pomembno prispevajo antropogeni viri. Med slednjimi so najpomembnejši industrijska proizvodnja aluminija, železa, jekla, bakra in niklja, proizvodnja in uporaba umetnih gnojil, predelava fosfatne rude, proizvodnja fosforjevih kislin in fosforja, proizvodnja stekla, keramike ter produktov opekarske gline, proizvodnja lepil, pa tudi delovanje termoelektrarn, cementarn in naftnih rafinerij (Weinstein in Davison, 2004; Yu, 2005; Ponikvar, 2008).

Fluoridi v ozračju so lahko v plinastem stanju ali pa v obliki trdnih delcev in se z vetrovi prenašajo tudi na daljše razdalje. Delci s premerom večjim od 10 µm se praviloma odložijo v neposredni bližini vira, medtem ko je transport manjših delcev oz. plinastih fluoridov odvisen predvsem od količine emisij, meteoroloških razmer, višine vira izpusta in reliefa. Povprečne koncentracije fluoridov v ozračju so praviloma manjše od 0,1 $\mu g/m^3$. Največje so v mestih oz. v bližini virov emisij, vendar praviloma ne presegajo 2 do 3 $\mu g/m^3$ (zbrano v Fluorides …, 2009). Iz atmosfere se fluoridi odstranijo z mokrim ali suhim depozitom oz. s hidrolizo (Notcutt in Davies, 2001).

Vsebnosti fluoridov v tleh znašajo med 20 µg/g in 1.000 µg/g in so odvisne od pH tal, vsebnosti gline ter organskih delcev (Baars in sod., 1987; Kinnunen in sod., 2003; Fluorides …, 2009). Večina fluoridov v tleh je vezanih, zaradi česar so večinoma nedostopni rastlinam (Bellomo in sod., 2007). Kljub temu lahko visoke vsebnosti fluoridov v tleh, nizek pH tal (najbolj pri pH 5,5), majhen delež gline in nizke vsebnosti organskih snovi povečajo delež topnih fluoridov, s čimer se poveča vnos v rastline (Bellomo in sod., 2007; Ozsvath, 2009). Najvišje vsebnosti fluoridov v rastlinah se praviloma pojavljajo v/na listih oz. zelenih delih rastlin in so predvsem posledica zračnega useda prašnih delcev na rastline (Notcutt in Davies, 2001; Franzaring in sod., 2006), delno tudi vstopa plinastih fluoridov v rastline skozi listne reže (Franzaring in sod., 2006; Bellomo in sod., 2007) in njihove tendence kopičenja v listih (Yu, 2005). Povprečne vsebnosti fluoridov v rastlinah so odvisne od vrste

rastline, kemične sestave prsti ter meteoroloških pogojev (spiranje fluoridov z rastlin) (Kinnunen in sod., 2003; Khandare in Rao, 2006; Bellomo in sod., 2007). V onesnaženih območjih se gibljejo med 44 do 2.400 mg/kg (zbrano v Fluorides …, 2009) oz. v neonesnaženih območjih med 5 do 15 mg/kg (Franzaring in sod., 2006). Vsebnosti fluoridov v celinskih vodah se gibljejo med 0,01 in 0,3 mg/l, v morjih pa od 1,2 do 1,5 mg/l (zbrano v Fluorides …, 2009). Ekstremno povišane vsebnosti fluoridov v vodi se pojavljajo na območju geotermalne ali vulkanske aktivnosti, npr. 25 do 50 mg/l v vročih izvirih in gejzirjih (Neuhold in Sigler, 1960; Fluorides …, 2009) oz. do celo 2.800 mg/l v jezerih Vzhodno-afriškega jarka (Nair in sod., 1984).

Povišane vsebnosti fluoridov v okolju predstavljajo pomembno tveganje za izpostavljene organizme; še posebej problematična je kronična toksičnost fluoridov za sesalce, zaradi česar so fluoridi uvrščeni na seznam nevarnih snovi visoke prioritete (C*ERCLA Priority List of Hazardous Substances*; CERCLA …, 2010). Visoke vsebnosti fluoridov v telesu prostoživečih živali lahko povzročajo akutne ali kronične zastrupitve oz. poškodbe, ki so odvisne od koncentracije fluoridov v okolju, njihove kemične sestave, časa izpostavljenosti organizma ter od občutljivosti oz. tolerance izpostavljenega organizma. Najbolj očitna znaka izpostavljenosti sesalcev fluoridom sta zobna fluoroza (poškodbe zobovja) in osteofluoroza (poškodbe kostnega tkiva). Akutne zastrupitve s fluoridi lahko imajo za posledico infarkt, astmo, kronični bronhitis, hemoptizo (bljuvanje krvi), hiperkalemijo (prevelika količina kalija v krvi), hipokalcemijo (premajhna količina kalcija v krvi) oz. zastoj srca. Posledice škodljivih vplivov fluoridov se kažejo tudi kot pojav ledvičnih kamnov, draženje očesne sluznice, poškodbe kože in centralnega živčnega sistema, zmanjšanje inteligence otrok, bolečine v predelu trebuha, bljuvanje ter težave z dihanjem (povzeto po Weinstein in Davison, 2004; Harrison, 2005; Fluorides …, 2009; Ozsvath, 2009).

Vnos fluoridov v telo prostoživečih živali poteka predvsem z vnosom hrane (zračni used na rastline; Kierdorf in Kierdorf, 2005) in vode; delno pomemben je tudi vnos z naključnim zaužitjem tal, medtem ko je vnos z dihanjem zanemarljiv (npr. Garrott in sod., 2002; Harrison, 2005; Yang in sod., 2009). Po zaužitju fluoridov, ki so živalim dostopni predvsem v obliki fluoridnih ionov (F^-) (Ponikvar, 2008), se manjši del le-teh preko ionske izmenjave veže v zobno tkivo. Večji del zaužitih fluoridnih ionov (*cca*. 50 %) se absorbira v kri (skozi želodec in tanko črevo), nato pa se izredno elektronegativni F^- povezujejo s kalcitnimi ioni, zaradi česar se 97 do 99 % absorbiranih fluoridov na koncu kopiči v kostnih tkivih in zobovju organizma (Whitford, 1994; Harrison, 2005; Ozsvath, 2009). Tako kosti kot zobje so posledično zaradi pretiranega vnosa fluoridov v telo porozni, raskavi in krhki (Pius in Viswanathan, 2008), zaradi česar prihaja do pogostih zlomov kosti, otrdelosti sklepov in deformacij oz. nenormalne obrabe zobovja (Tataruch in Kierdorf, 2003; Bartlett in sod., 2005; Pius in Viswanathan, 2008; Ozsvath, 2009). Vsebnost fluoridov v kosteh se lahko v organizmih skozi čas tudi zmanjšuje, in sicer v primeru prenehanja dotoka dodatnih količin fluoridov v telo (Whitford, 1994; Weinstein in Davison, 2004; Harrison, 2005; Ozsvath, 2009). Dosedanje raziskave o vplivih fluoridov na sesalce so potekale predvsem na domačih živalih, kot so ovce in govedo (npr. Baars in sod., 1987; Choubisa, 2008; Ranjan in sod., 2008), ter na prostoživečih parkljarjih, predvsem družini jelenov (npr. Vikøren in sod., 1996; Garrot in sod., 2002; Zakrzewska in sod., 2005). Tako so danes za domače govedo priporočene mejne vrednosti za vsebnosti fluoridov v krmi (30 mg/kg) oz. vodi (2,5 mg/l). Pri prostoživečih parkljarjih so mejne vrednosti za vsebnost fluoridov v krmi opredeljene le za jelenjad (35 mg/kg) (Weinstein in Davison, 2004; Fluorides …, 2009).

Na absorpcijo fluoridov v samem telesu ter njihovo akumulacijo v kostnih tkivih vpliva vrsta dejavnikov, in sicer: (i) starost osebka (absorpcija fluoridov je zaradi intenzivne rasti kostnega tkiva hitrejša pri mlajših osebkih); (ii) snov, v katero je vezan elementarni fluor; (iii) pH prebavnega trakta; (iv) koncentracije predvsem kalcija in aluminija, a tudi magnezija, bakra, cinka in molibdena v zaužitih snoveh oz. vodi; vsi našteti ioni (razen molibdena) namreč zmanjšujejo absorpcijo fluoridov v kri (Harrison, 2005; Khandare in Rao, 2006; Pius in Viswanathan, 2008; Ozsvath, 2009). Fluoridni ioni se namreč izredno hitro vežejo z ioni omenjenih elementov, z njimi tvorijo netopne snovi (predvsem kalcijev fluorid), ki se ne absorbirajo v kri, temveč se iz telesa v največji meri izločijo z uriniranjem (Whitford, 1994; Harrison, 2005; Pius in Viswanathan, 2008; Ozsvath, 2009). Pri jelenjadi in srnjadi je vnos fluoridov v organizem odvisen tudi od mobilnosti osebkov/vrste (različna obremenjenost s fluoridi v posameznih delih njihovega areala aktivnosti) in načina prehranjevanja, tj. od vrstno specifične afinitete do različnih prehranskih virov (Andersen in sod., 1998; Weinstein in Davison, 2004).

2.3.2 Čeljusti kot akumulacijski bioindikator onesnaženosti okolja – vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih predstavnikov iz družine jelenov

Izmerjene vsebnosti fluoridov v skeletu različnih vrst sesalcev predstavljajo kumulativno mero vnosa teh onesnažil v organizem, saj se 97 do 99 % v telo vnesenih in absorbiranih fluoridov odlaga ter kopiči v kosteh in zobeh (Montherrat Carret in sod., 1996; Pius in Viswanathan, 2008); zaradi tega se določitev njihovih vsebnosti v kosteh in kostnih tvorbah (npr. rogovju, spodnjih čeljustih) različnih vrst sesalcev pogosto uporablja za akumulacijsko bioindikacijo onesnaženosti okolja s fluoridi (Kierdorf H in sod., 1996b; Kierdorf H in Kierdorf U, 1999; Zakrzewska in sod., 2005; Jelenko in Pokorny, 2010).

Določitev vsebnosti fluoridov v kosteh sesalcev iz istih habitatnih tipov skozi daljše časovno obdobje predstavlja dober pripomoček za rekonstrukcijo časovnih trendov v onesnaženosti okolja s fluoridi; tako so Suttie in sod. (1987) ugotovili izrazit porast vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih lokalne populacije belorepih jelenov (*Odocoileus virginianus*) po začetku delovanja velike topilnice aluminija v ZDA. Nasprotno je bil v Nemčiji v večjem številu območij ugotovljen upad vsebnosti fluoridov v lobanjskih kosteh srnjadi v zadnjih treh desetletjih, kot posledica zmanjšanja emisij fluoridov v okolje (Kierdorf H in Kierdorf U, 1999); v dveh industrijskih območjih (Porurje, območje zahodno od Kölna) so bile ugotovljene očitne razlike v vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi med obdobjem 1955 – 1989 ($\bar{a}$ (SD) = 2.569 (1.509) mg/kg) in obdobjem 1990 – 1998 ($\bar{a}$ (SD) = 542 (280) mg/kg); emisije fluoridov so se zmanjšale predvsem zaradi zamenjave energenta (uporaba plina namesto premoga) pri proizvodnji električne energije v 70-ih in 80-ih letih prejšnjega stoletja (Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a). Metoda omogoča retrospektivno ugotavljanje izpostavljenosti populacij fluoridom, kar je še posebej pomembno v območjih, kjer se koncentracije fluoridov v anorganskih medijih merijo le občasno ali se sploh ne merijo.

Poleg določanja učinkovitosti sanacijskih ukrepov na večjih virih emisij (retrospektivno ugotavljanje sprememb v onesnaženosti okolja) so čeljusti parkljarjev tudi odličen kazalnik onesnaženosti okolja v prostorskem smislu, saj omogočajo dobre prostorske določitve onesnaženosti s fluoridi (Karstad, 1967; Kay, 1975; Kay in sod., 1975; Newman in Yu, 1976; Newman in Murphy, 1979; Shupe in sod., 1984; Suttie in sod., 1987; Kierdorf, 1988,

1991; Machoy in sod., 1991; Garrott in sod., 2002; Zakrzewska in sod., 2005; Jelenko in Pokorny, 2010). Tako iz različnih industrijskih območij Evrope poročajo o velikih razlikah v vsebnostih fluoridov v čeljustih parkljarjev med s fluoridi onesnaženimi in neonesnaženimi območji (preglednica 2). Na Norveškem so, npr., ugotovili visoko značilne razlike v vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi, ki je živela v neposredni bližini tovarne aluminija, in srnjadjo, ki ni bila izpostavljena industrijskim emisijam fluoridov (Vikøren in sod., 1996). Izredno povišane vsebnosti fluoridov so zabeležili v neposredni bližini tovarne aluminija na Slovaškem (Hell in sod., 1995), kjer so izmerili do sedaj najvišje vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi (Max = 13.311 mg/kg). O veliki obremenjenosti industrijskih območij s fluoridi poročajo tudi iz Severne Šlezije (Češka), ki je izpostavljena izrazito povečanim emisijam fluoridov iz številnih termoenergetskih objektov, kjer kot gorivo uporabljajo lokalni (s fluoridi bogat) rjavi premog (Kierdorf H in sod., 1996a). Učinkovitost spodnjih čeljusti prostoživečih parkljarjev kot bioindikatorjev onesnaženosti okolja s fluoridi so dokazali tudi na zahodu Poljske, kjer so v čeljustih jelenjadi, uplenjene na industrijskem območju (v okolici topilnice aluminija in kemične tovarne) izmerili skoraj dvakrat višje vsebnosti fluoridov kot v čeljustih jelenjadi, uplenjene na kontrolnem območju (Zakrzewska in sod., 2005). Detajlnejši pregled izmerjenih vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi in jelenjadi iz različnih območij Evrope je podan v preglednici 2.

Čeljusti srnjadi/jelenjadi lahko poleg antropogenih vplivov odražajo tudi obremenjenost s fluoridi, ki je posledica naravnih dejavnikov. V ZDA so v narodnem parku Yellowstone proučevali populaciji jelenjadi (*Cervus canadensis*), ki živita na dveh ločenih območjih (Garrott in sod., 2002). Jelenjad iz osrednjega in zahodnega dela parka, ki predstavlja ostanek nekdanje vulkanske kaldere in kjer so geotermalni pojavi izredno številni (gejzirji, vroči izviri ipd.) ter so viri s fluoridi bogatih vod, ima bistveno višje vsebnosti fluoridov v čeljustih v primerjavi s populacijo jelenjadi, ki živi v severnem delu parka, kjer geotermalni pojavi niso prisotni (preglednica 2).

Vpliv starosti osebkov na vsebnost fluoridov v kosteh

Fluoridi se kopičijo v kostnem tkivu živali tekom njihovega celotnega življenja (Kay in sod., 1976; Kierdorf in sod., 1989, 1995; Machoy in sod., 1995; Kierdorf H in sod., 1996a, Vikøren in sod., 1996; Harrison, 2005). Vsebnosti fluoridov v kosteh sesalcev zato s starostjo živali praviloma naraščajo; dosedanje raziskave so tako npr. pokazale, da so vsebnosti fluoridov v kostnih tkivih srnjadi v pozitivni korelaciji s starostjo živali (npr. Walton in Ackroyd, 1988; Kierdorf in sod., 1989). Pri tem je zanimivo, da je koeficient korelacije pri samicah večji kot pri samcih (Kierdorf in sod., 1989), kar je verjetno posledica vsakoletnega pomembnega odlaganja (izgube) fluoridov zaradi intenzivne akumulacije v rogovju samcev v obdobju njihove rasti (rogovje srnjakov lahko tudi v zmerno onesnaženih območjih vsebuje >1.000 mg/kg fluoridov; Pokorny, 2006b). Naraščanje vsebnosti fluoridov v čeljustih je hitrejše pri mlajših osebkih v primerjavi s starejšimi (npr. Kierdorf in sod., 1989). Večja akumulacija fluoridov pri mlajših osebkih kaže na intenzivnejši sprejem fluoridov v času rasti skeleta, medtem ko je pri starejših osebkih sprejem fluoridov manjši in poteka le v procesu preoblikovanja kostnega tkiva (Whitford, 1994; Weinstein in Davison, 2004; Ozsvath, 2009). Do podobne ugotovitve so prišli tudi pri jelenjadi, pri kateri je privzem fluoridov v čeljusti večji pri mladih jelenih v primerjavi s starejšimi osebki (Kierdorf H in sod., 1996a). Zaradi izrazitega vpliva starosti na vsebnosti fluoridov v kosteh je zato v primeru akumulacijske bioindikacije z uporabo čeljusti prežvekovalcev vedno potrebno upoštevati (oceniti) tudi starost osebkov.

Preglednica 2: Vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi in jelenjadi iz različnih območij Evrope in Severne Amerike.

Table 2: Fluoride contents in mandibles of roe and red deer from different parts of Europe and North America.

Lokacija	Obdobje	Starost (v letih)	Vsebnost fluoridov (mg/kg suhe teže)			Ref.
			ā ± SD	Min	Max	
Srnjad						
Češko-nemško mejno območje						[a]
Severna Šlezija	Začetek	1 – 5	/	1.374	3.790	
Kontrolno območje (Harz)	1990-tih		/	149	228	
Nemčija						
Porurje	1955 – 1998	1 – 11	628 ± 303	150	5.724	[b]
Območje zahodno od Kölna	1983 – 1998	1 – 11	484 ± 250	/	/	[b]
Baden-Württenberg	1979 – 1981	0,7 – 10	466 ± 142	/	/	[c]
Češka	1996	3 ± 2	3.078 ± 1.097	/	5.547	[d]
Velika Britanija	1980 – 1985	1 – 6	173 ± 58 do 566 ± 164	43	901	[e]
Norveška						[f]
Območje ob tovarni aluminija	1990 – 1993	0	304 ± 448	/	/	
		5+	1.855 ± 2.304	/	8.696	
Kontrolno območje		ā = 3	254	/	/	
Slovaška	1995	1 – 2	1.042 ± 331	/	/	[g]
		3+	6.122 ± 2.799	/	13.311	
Jelenjad						
Češko-nemško mejno območje						
Severna Šlezija	1985 – 1993	2 – 12	/	948	4.680	[h]
Kontrolno območje		2 – 14	/	208	1.026	[i]
Harz	1986 – 1993	ā = 7	540	/	/	[j]
Eibenstock			883	/	/	
Nejdek			1.244	/	/	
Karlovy Vary			2.754	/	/	
Nemčija (Saško Rudogorje)	1950 – 1997	3 – 14	2.078 ± 1.097	597	4.680	[k]
Poljska						[l]
Območje ob kemični tovarni	1996 – 1997	1 – 2	201	/	/	
		6 – 8	633	/	/	
Območje ob termoelektrarni		1 – 2	172	/	/	
		6 – 8	372	/	/	
Kontrolno območje		1 – 2	124	/	/	
		6 – 8	243	/	/	
ZDA (Yellowstone)						[m]
Območje geotermalnih pojavov	1996 – 1999	3 – 15	1.711	/	/	
Kontrolno območje			257	/	/	

OPOMBE:

(a) Richter in sod., 2010;
(b) Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a;
(c) Kierdorf in sod., 1989;
(d) Kierdorf H in sod., 1996b;
(e) Walton in Ackroyd, 1988;
(f) Vikøren in sod., 1996;
(g) Hell in sod., 1995;
(h) Kierdorf U in sod., 1996;
(i) Kierdorf in sod., 1995;
(j) Kierdorf H in sod., 1996a;
(k) Kierdorf U in Kierdorf H, 1999;
(l) Zakrzewska in sod., 2005;
(m) Garrott in sod., 2002; podatki za vrsto vapiti (*Cervus canadensis*).

2.3.3 Spodnje čeljusti nekaterih predstavnikov družine jelenov kot odzivni bioindikator kakovosti okolja

Dolgotrajen vnos večjih količin fluoridov v organizem ljudi ali živali lahko povzroči poškodbe kosti, tj. **osteofluorozo** (Fordyce in sod., 2007; Fluorides …, 2009); najbolj očiten znak izpostavljenosti sesalcev povišanim okoljskim koncentracijam fluoridov pa je pojav zobnih poškodb oz. različnih patoloških sprememb zobovja, ki so znane pod skupnim imenom **zobna fluoroza** (Den Besten, 1994; Fejerskov in sod., 1994; Aoba in Fejerskov, 2002; Bartlett in sod., 2005; Ozsvath, 2009; Richter in sod., 2010; Jelenko in sod., 2010a). Slednja je bila zabeležena in natančno opisana pri ljudeh (Montherrat Carret in sod., 1996; Kahama in sod., 1997; Fordyce in sod., 2007; Mandinic in sod., 2009, 2010) in številnih udomačenih živalskih vrstah, kot so govedo (Choubisa, 2008), ovce (Baars in sod., 1987), miniaturni prašički pasme Hanford (Kierdorf in sod., 2004) in kunci (Pius in Viswanathan, 2008). V zadnji desetletjih je zobna fluoroza intenzivno proučevana tudi pri prostoživečih parkljarjih, npr. pri evropski srni (Kierdorf in sod., 1993; 1999; Vikøren in Stuve, 1996; Appleton in sod., 2000; Kierdorf U in Kierdorf H, 2000b; Zemek in sod., 2006; Richter in sod., 2010; Jelenko in sod., 2010b), navadnem jelenu (Kierdorf H in sod., 1996a; Kierdorf U in sod., 1996; Vikøren in Stuve, 1996; Schultz in sod., 1998; Kierdorf U in Kierdorf H, 1999, 2000b; Appleton in sod., 2000; Garrott in sod., 2002; Richter in sod., 2010), belorepem jelenu (Kay in sod., 1975; Suttie in sod., 1987), mulastem jelenu *Odocoileus hemionus* (Kay in sod., 1975), losu *Alces alces* (Vikøren in Stuve, 1996) in divjem prašiču *Sus scrofa* (Kierdorf in sod., 2000).

Zobna fluoroza je posledica negativnega vpliva fluoridnih ionov na formacijo zobnega tkiva (zlasti sklenine), in sicer tako v začetnem kot tudi končnem stadiju oblikovanja zobovja (npr. Fejerskov in sod., 1994; Kierdorf in sod., 2000; Aoba in Fejerskov, 2002; Bartlett in sod., 2005). Fluoridni ioni se namreč vgradijo v kristalno strukturo nastajajoče sklenine, kar vpliva na proces mineralizacije v smislu spremembe ionske sestave tekočine, ki obdaja minerale. Prihaja do hipomineralizacije sklenine izpostavljenih zob, ki je predvsem posledica vpliva presežka fluoridov na stopnjo razgradnje matričnih proteinov in/ali na stopnjo odstranitve stranskih produktov tega procesa. Kakršenkoli vpliv na matriks sklenine povzroči zakasnitev rasti sosednjih kristalov v poznem stadiju formacije zobovja, kar se odraža v različni stopnji poroznosti sklenine tik pod površjem, ko se le-ta končno formira (Kierdorf in Kierdorf, 1997; Aoba in Fejerskov, 2002). Takšna sklenina ima močno zmanjšano mehansko stabilnost; posledično prihaja do različnih sprememb na površju zob (Den Besten, 1994; Horowitz, 1998; Aoba in Fejerskov, 2002; Ozsvath, 2009). Na makroskopskem nivoju so te spremembe dobro vidne in se kažejo kot motnost, razbarvanost in pegavost sklenine (Kierdorf in sod., 1997, 2004; Appleton in sod., 2000; Richter in sod., 2010), na njeni površini so vidne drobne poškodbe – luknjice ("*pit-type*" *lesions*); v hujših oblikah prihaja celo do popolne izgube sklenine ("*plain-type*" *lesions*) (Kierdorf in Kierdorf, 1997; Ozsvath, 2009). Zaradi manjše mehanske odpornosti prihaja do izrazito povečane (hitrejše) obrabe zobovja, močnega preoblikovanja (popačenja) in celo zlomov ter izpadov posameznih zob (Kierdorf in sod., 1993; Kierdorf U in sod., 1996; Schultz in sod., 1998), kar lahko povzroči skrajšanje pričakovane življenjske dobe fluoridom močno izpostavljenih populacij (Schultz in sod., 1998; Weinstein in Davison, 2004). Tako so npr. v že omenjeni raziskavi v ZDA (Garrott in sod., 2002) ugotovili, da ima jelenjad, ki živi na območju vulkanske kaldere (geotermalna dejavnost pogojuje večje naravne koncentracije fluoridov v okolju), zaradi zelo močne zobne fluoroze povprečno ocenjeno življenjsko dobo 10 do 11

let; najvišja starost, ki jo osebki dosežejo, pa ne presega 16 let. Nasprotno ima jelenjad, ki ni podvržena povečanim koncentracijam fluoridov v okolju, ocenjeno pričakovano življenjsko dobo okoli 16 let, najstarejši osebki pa dosežejo starost 20 do 25 let. Prezgodnja smrtnost vpliva na 24 % zmanjšanje populacijske rasti s fluoridi prizadete jelenjadi.

2.3.3.1 Zobna fluoroza srnjadi/jelenjadi kot bioindikator onesnaženosti okolja po svetu

Prvi pojavi zobne fluoroze pri predstavnikih iz družine jelenov so bili zabeleženi v šestdesetih/sedemdesetih letih prejšnjega stoletja, in sicer pri belorepem jelenu (Karstad, 1967) ter mulastem jelenu (Kay in sod., 1975; Suttie in sod., 1985, 1987) v Združenih državah Amerike. V Evropi so o pojavu zobne fluoroze pri srnjadi prvič poročali konec 80-tih in v začetku 90-tih let 20. stoletja (Kierdorf, 1988; 1991; Kierdorf in Kierdorf, 1989; Sedláček in sod., 2001), in sicer iz močno onesnaženega nemško-češkega mejnega območja (Saško Rudogorje in Severna Šlezija). Kasneje so (predvsem na tem območju) potekale številne sistematične raziskave patoloških sprememb zobovja (tako pri jelenjadi kot tudi pri srnjadi), s katerimi so dokazali veliko uporabnost zobne fluoroze kot zanesljive in poceni metode odzivne bioindikacije onesnaženosti okolja s fluoridi oz. metode za pravočasno zaznavanje izpostavljenosti organizmov fluoridom (Kierdorf H in sod., 1996a; Kierdorf U in sod., 1996; Kierdorf in Kierdorf, 1997; Schultz in sod., 1998; Kierdorf U in Kerdorf H, 2000b; Appleton in sod., 2000; Zemek in sod., 2006; Jelenko in sod., 2010b; Richter in sod., 2010) (preglednica 3).

Uporabo spodnjih čeljusti jelenjadi kot bioindikatorja onesnaženosti okolja sta kot prva ugotavljala Kierdorf U in Kierdorf H (1999) na omenjenem nemško-češkem mejnem območju (Saško Rudogorje in Severna Šlezija). Celotno območje je bilo takrat izpostavljeno velikim antropogenim emisijam fluoridov (12.000 t letno) predvsem iz dveh velikih točkovnih virov (Termoelektrarni Prunerov in Tusimice) na češki strani (imisije fluoridov so znašale 366 kg F^-/km^2). Na podlagi iskanja soodvisnosti med starostjo živali, vsebnostjo fluoridov in stopnjo zobne fluoroze sta ugotovila, da je stopnja zobne fluoroze pri posamezni živali odvisna ne samo od količine sprejetih fluoridov, temveč tudi od mase osebka, prehranskih danosti, spola, zdravstvenega stanja, aktivnosti osebka in izpostavljenosti ostalim onesnažilom. Kljub temu sta potrdila, da če je jelenjad izpostavljena dolgotrajnemu vplivu fluoridov na regionalnem nivoju, je standardiziran monitoring s pomočjo ugotavljanja zobne fluoroze enostavna, ekonomsko sprejemljiva in zanesljiva metoda ugotavljanja onesnaženosti okolja s to skupino onesnažil.

Kierdorf H in sod. (1996a) so primerjali vsebnosti fluoridov in stopnjo zobne fluoroze jelenjadi, odvzete znotraj dveh območij Severne Šlezije, enega območja znotraj Saškega Rudogorja ter kontrolnega območja (gorovje Harz, Nemčija). Na treh območjih češko-nemškega mejnega predela je prisotnost in jakost zobne fluoroze upadala z oddaljevanjem od glavnih virov emisij; na območju severovzhodno od naselja Karlovy Vary, kjer so bile tudi najvišje vsebnosti fluoridov, je bilo 67 % zobovja jelenjadi ocenjenega z izrazito in 33 % z rahlo do zmerno zobno fluorozo. Na ostalih dveh območjih je imela jelenjad v 78 % oz. 53 % rahlo do zmerno zobno fluorozo. Jelenjad kontrolnega območja (Harz) ni izkazovala nobenih znakov zobne fluoroze. Ti rezultati kažejo na razlike v vnosu fluoridov in so torej posledica različne obremenjenosti ekosistemov teh štirih območij s fluoridi. Poleg tega avtorji poudarjajo, da je ocena pogostnosti in jakosti zobne fluoroze odličen bioindikator kakovosti okolja v smislu ugotavljanja obremenjenosti s fluoridi, ki omogoča analizo velikega števila vzorcev za sorazmerno majhne stroške.

Preglednica 3: Zobna fluoroza srnjadi in jelenjadi iz različnih območij Evrope in Severne Amerike.
Table 3: Dental fluorosis of roe and red deer from different parts of Europe and North America.

Lokacija	Obdobje	Starost (let)	Ocena zobne fluoroze [h]		Ref.
Srnjad					
Češko-nemško mejno območje					
Harz	1986 – 1993	ā = 7	Ni ZF		[a]
Eibenstock			53 % rahla do zmerna ZF [i]		
Nejdek			78 % rahla do zmerna ZF [i]		
Karlovy Vary			33 % rahla do zmerna ZF [i]		
			67 % izrazita ZF [i]		
Saško Rudogorje	1992 – 1998	2+	P_2:	3 (45 %) [j]	[b]
in Severna Šlezija				4 (33 %)	
			P_3, P_4:	4 (>60 %) [j]	
				5 (25 %)	
			M_1:	0 (97 %) [j]	
			M_2:	0 (59 %) [j]	
				1 (41 %)	
			M_3:	4 (44 %) [j]	
				5 (48 %)	
Norveška	1990 – 1993	1+	Ni ZF		[c]
Ob manjših tovarnah aluminija		2+	1,7 % vzorcev ima ZF [k]		
Nemčija	1995 – 1998	2+	DLI:	ā ± SD = 5,7 ± 6,2; [k]	[d]
Saško Rudogorje				Max: 23	
Češka	1995 – 1998	2 – 12	DLI:	ā ± SD = 8,1 ± 6,5 [k]	[e]
Severna Šlezija				Max: 21	
Jelenjad					
Nemčija	1950 – 1997	3 – 14	DLI	Me: 9	[f]
Saško Rudogorje				Min: 2, Max: 25	
Češko-nemško mejno območje	1992 – 1998	/	P_2:	2 (37 %) [j]	[b]
Saško Rudogorje				3 (47 %)	
in Severna Šlezija				4 (45 %)	
			M_1:	0 (58 %) [j]	
				1 (40 %)	
			M_2:	4 (34 %) [j]	
				5 (27 %)	
			M_3	4 (42 %) [j]	
Norveška					[c]
(občine lokacij tovarn aluminija)					
Årdal	1990 – 1993	2+	17,8 % vzorcev ima ZF [l]		
Sunndal			1,0 % vzorcev ima ZF [l]		
Kvinnherad			0,7 % vzorcev ima ZF [l]		
ZDA (Yellowstone)					[g]
Območje geotermalnih pojavov	1996 – 1999	12 – 15	78 % vzorcev ima ZF [l], od tega 53 % vzorcev z izrazito ZF [i]		
Kontrolno območje			Ni ZF		

OPOMBE:
(a) Kierdorf H in sod., 1996a;
(b) Kierdorf U in Kierdorf H, 2000b;
(c) Vikøren in Stuve, 1996;
(d) Kierdorf in sod., 1999;
(e) Zemek in sod., 2006;
(f) Kierdorf U in Kierdorf H, 1999;
(g) Garrott in sod., 2002;
(h) ZF = zobna fluoroza.
(i) Delež čeljusti (od vseh vključenih vzorcev/čeljusti) z določeno intenziteto ZF (4. kategorije: ni ZF; rahla, zmerna in izrazita ZF).
(j) Delež posamezne ocene določenega tipa zoba (vsi vključeni vzorci/čeljusti); ocena se za vsak tip zoba giblje med 0 in 5 (glej preglednico 9); podane so le najpogostejše ocene za določen tip zoba.
(k) Stopnja ZF izražena z DLI indeksom.
(l) Delež čeljusti (izmed vseh vključenih vzorcev/čeljusti), ki izkazujejo kakršnekoli znake ZF (glej preglednico 9).

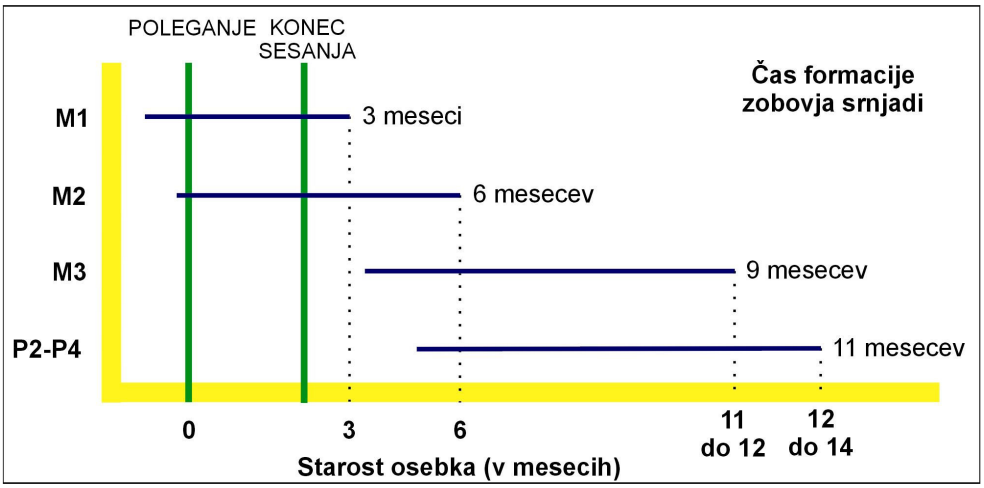
Vikøren in Stuve (1996) sta na Norveškem ocenjevala zobno fluorozo srnjadi, jelenjadi in losov ter ugotovila, da se zobna fluoroza pojavlja le pri srnjadi, ki je živela v neposredni bližini topilnic aluminija (<5 km), medtem ko se pri jelenjadi pojavlja pri osebkih, odvzetih tudi do 30 km stran od topilnic. Razlike so posledica različnega načina življenja obeh vrst, saj ima srnjad v primerjavi z jelenjadjo bistveno manjši areal in je bolj teritorialna vrsta, medtem ko je jelenjad migratorna vrsta (Andersen in sod., 1998; Apollonio in sod., 2010). Torej je kot bioindikatorska vrsta za določanje onesnaženosti okolja s fluoridi s pomočjo zobne fluoroze bolj primerna srnjad, ki je poleg omenjenega na splošno tudi bolj razširjena vrsta, ki se pojavlja v skoraj vseh ekosistemih Evrope (Andersen in sod., 1998; Pokorny, 2003). Skladno s tem so se Kierdorf in sod. (1999) prvič lotili veliko-površinskega/regionalnega biomonitoringa onesnaženosti okolja s fluoridi, in sicer na nivoju občin Zvezne republike Saške, z določitvijo stopnje zobne fluoroze srnjadi med leti 1995 in 1998. Največji delež zobne fluoroze je bil ocenjen pri srnjadi, odvzeti iz občin v bližini nemško-češke meje, blizu točkovnih virov emisij fluoridov na češki strani. Nadgradnjo omenjeni raziskavi so Zemek in sod. (2006) izvedli na češki strani Rudogorja (Severna Šlezija), kjer so poleg določitve obremenjenosti okolja s fluoridi na nivoju občin za pojasnitev vplivnih dejavnikov uporabili GIS orodja in potrdili visoko značilno soodvisnost med stopnjo poškodovanosti gozdov, talnimi tipi in zračnim usedom žvepla ter stopnjo zobne fluoroze (izraženo s povprečnim indeksom zobne poškodovanosti – povprečen DLI) srnjadi kot ciljne bioindikatorske vrste. Slednji so rezultate ocene stopnje zobne fluoroze grafično ponazorili s karto, kjer so vsako od lovišč uvrstili v eno od 8 kategorij zobne fluoroze glede na povprečen DLI in ugotovili, da se močna zobna fluoroza najpogosteje pojavlja v obliki otokov v okolici številnih termoenergetskih objektov, ki se nahajajo na tem območju.

Bioindikacija onesnaženosti okolja s fluoridi na osnovi določanja stopnje zobne fluoroze omogoča spremljanje tako precej natančnih prostorskih (npr. Kierdorf in sod., 1999; Zemek in sod., 2006; Jelenko in sod., 2010b) kot tudi časovnih sprememb v onesnaženosti okolja s fluoridi (Jelenko in sod., 2009). Upoštevaje prednosti ocenjevanja zobne fluoroze (velika dosegljivost vzorcev, cenovna ugodnost, možnost veliko-površinskega pristopa, a z dovolj veliko prostorsko ločljivostjo) le-ta omogoča vzpostavitev permanentnega biomonitoringa, ki je že ustaljena praksa v nekaterih evropskih državah, npr. v Nemčiji, na Češkem, v zadnjih letih pa tudi v Sloveniji (Jelenko in sod., 2009, 2010b).

2.3.3.2 Vpliv časa formacije zobovja na stopnjo zobne fluoroze

Fluoridi lahko vplivajo na poškodbe zobovja (nastanek zobne fluoroze) le v obdobju formiranja sklenine oz. rasti zobovja, zato je stopnja zobne fluoroze bioindikator pretekle izpostavljenosti osebkov povečanim koncentracijam fluoridov (Kierdorf U in Kierdorf H, 1999; Harrison, 2005; Bartlett in sod., 2005). Ko se formacija zob (sklenine) konča, se namreč fluoridi vanje ne morejo več vgraditi; v nasprotju z ostalimi kostnimi tkivi se sklenina po njenem nastanku ne more na novo oblikovati, zato so patološke spremembe sklenine zaradi izpostavljenosti fluoridom trajne in odražajo izpostavljenost živali v času oblikovanja le-te (Den Besten, 1994; Aoba in Fejerskov, 2002; Kierdorf in sod., 2004). V primeru vnosa večjih količin fluoridov v organizem osebka po končani formaciji stalnega zobovja so spremembe v smislu zobne fluoroze možne le na nivoji zobovine, ki se pri zdravih zobeh tvori skozi celotno življenje (Pindborg, 1970; Richter in sod., 2010). Vendar je le-ta pokrita s sklenino, tako da teh sprememb pri okularnem ocenjevanju zobne fluoroze ne moremo zaznati.

Zelo značilna variabilnost v pogostnosti in jakosti zobne fluoroze med različnimi stalnimi zobmi srnjadi in jelenjadi je tako posledica časovnih razlik v formiranju sklenine in kron različnih zob med obema vrstama. Tako npr. makroskopske preiskave prvih meljakov (M_1) srnjadi v večini primerov ne kažejo kliničnih znakov sprememb zaradi izpostavljenosti fluoridom (npr. Kierdorf U in Kierdorf H, 2000b), kar je posledica dejstva, da se zobna krona M_1 pri srnjadi začne formirati že pri plodu v maternici, formacija krone se nadaljuje po rojstvu in se konča že pri starosti dveh mesecev (*ibid.*), zobna korenina M_1 pa še raste do tretjega meseca starosti (Krže, 2000). V času formacije je sklenina M_1 srnjadi izpostavljeni majhnim vplivom fluoridov, saj placenta predstavlja delno bariero (pri velikih količinah zaužitih fluoridov se slednji lahko prenesejo iz matere v plod; Gupta in sod., 1993; Malhotra in sod., 1993) za vnos fluoridov v telo mladiča (Montherrat Carret in sod., 1996; Kierdorf U in Kierdorf H, 1999); poleg tega se mladiči prvi mesec prehranjujejo izključno z materinim mlekom, ki ne vsebuje velikih količin teh onesnažil (Kierdorf H in sod., 1996a; Richter in sod., 2010), ampak zaradi visoke vsebnosti kalcija pomembno vpliva na zmanjšanje biodostopnosti fluoridov iz drugih virov hrane (Spak in sod., 1982). Drugače je pri navadnem jelenu, pri katerem poteka formacija zobnih kron in sklenine M_1 skozi daljše obdobje in se zaključi šele pri starosti štirih mesecev (Hafner, 2008); v primerjavi s srnjadjo je zato zobna fluoroza M_1 pri jelenjadi bistveno pogostejši pojav (Kierdorf U in Kierdorf H, 2000b). Formacija zobne krone (s sklenino) drugih meljakov (M_2) srnjadi se začne skoraj istočasno kot formacija M_1, poteka pa nekoliko dlje – do starosti štirih mesecev (zob sicer popolnoma izraste pri šestih mesecih starosti osebka; Krže, 2000); posledično je stopnja fluoroze M_2 srnjadi bistveno večja, še večja pa je pri jelenjadi, pri kateri formacija M_2 v celoti poteka v času samostojnega hranjenja osebka. Tretji meljak (M_3) in vsi trije stalni predmeljaki (P_2 – P_4) začno pri obeh vrstah rasti bistveno kasneje, tj. v času intenzivnega prehranjevanja izključno z rastlinsko hrano (pri srnjadi od šestega do štirinajstega, pri jelenjadi od štirinajstega do osemnajstega meseca; Simonič, 1976; Hafner, 2008), zato je izpostavljenost fluoridom in posledično stopnja zobne fluoroze teh zob v primeru obeh vrst bistveno večja kot pri prvem in drugem meljaku (glej preglednico 3). Upoštevaje navedene razlike je pri uporabi različnih živalskih vrst za bioindikacijo onesnaženosti okolja s fluoridi s pomočjo določanja zobne fluoroze potrebno upoštevati tako medvrstno variabilnost kot tudi variabilnost med različnimi kočniki.



Slika 8: Čas formacije stalnega zobovja (kočnikov) srnjadi (povzeto po Kierdorf, 2010).
Figure 8: Tooth formation periods for permanent check teeth of roe deer (adapted by Kierdorf, 2010).

Skladno s tem sta Kierdorf U in Kierdorf H (1999) pri jelenjadi ugotovila večjo stopnjo zobne fluoroze pri stalnih predmeljakih ter drugem in tretjem meljaku, medtem ko je bil prvi meljak praviloma nepoškodovan ali pa je imel majhno stopnjo zobne fluoroze (ne več kot 2); podobno je P_2 v primerjavi s P_3 in P_4 običajno kazal manjšo stopnjo zobne fluoroze. Ista avtorja (Kierdorf U in Kierdorf H, 2000b) sta ugotovila tudi velike razlike v poškodovanosti homolognih zob srnjadi in jelenjadi iz istega območja (Saško Rudogorje). Pri srnjadi so največjo stopnjo zobne fluoroze izražali P_3, P_4 in M_3 (najpogostejši oceni 4 oz. 5); P_2 je najpogosteje izražal stopnjo 3 oz. 4, M_2 stopnjo 0 oz. 1, medtem ko je bil M_1 praviloma vedno (v 97 % primerov) nefluorozen. Pri jelenjadi je bila pri P_3, P_4 in M_3 stopnja zobne fluoroze najpogosteje ocenjena z oceno 4 in je bila v deležu nekoliko manjša kot pri srnjadi, medtem ko je M_2 (ocena 4 oz. 5) izražal statistično značilno večjo stopnjo in pojavnost zobne fluoroze kot pri srnjadi. Delež nefluoroznih M_1 je bil pri jelenjadi manjši, večji delež teh zob je izkazovalo stopnjo 1. Nasprotno je P_2 jelenjadi v povprečju izkazoval nekoliko manjšo stopnjo fluoroze, kot je bila določena pri srnjadi. Omenjene razlike med vrstama potrjujejo izreden vpliv obdobja formacije zob na pojavnost in jakost zobne fluoroze posameznih, funkcionalno sicer zelo primerljivih zob.

2.3.4 Soodvisnost med vsebnostjo fluoridov v čeljustih in zobno fluorozo

V preteklosti je bila večkrat proučevana tudi soodvisnost med vsebnostjo fluoridov v čeljustih kot merilom izpostavljenosti populacij in stopnjo zobne fluoroze teh populacij kot merilom njihovega odziva (Kierdorf, 1988; Boulton in sod., 1994; Kierdorf H in sod., 1996a, 1996b; Kierdorf U in sod., 1996; Vikøren in Stuve, 1996; Kierdorf U in Kierdorf H, 1999; Garrott in sod., 2002; Richter in sod., 2010). V splošnem velja, da je intenziteta in pogostnost zobne fluoroze v statistično visoko značilni pozitivni soodvisnosti z vsebnostmi fluoridov v čeljustih istih osebkov oz. populacij. Tako so npr. v že omenjeni raziskavi fluoroznih zob jelenjadi, odvzete iz območja Saškega Rudogorja (Nemčija), ki je precej onesnaženo s fluoridi, proučevali odnos med starostjo jelenov, vsebnostjo fluoridov v spodnjih čeljustih (akumulacijska bioindikacija) in stopnjo zobne fluoroze kot odzivom osebkov v času razvoja zobne sklenine (Kierdorf U in Kierdorf H, 1999). Dokazali so obstoj statistično značilne soodvisnosti med: (i) vsebnostjo fluoridov v spodnjih čeljustih in stopnjo zobne fluoroze; (ii) vsebnostjo fluoridov v spodnjih čeljustih in maksimalno oceno stopnje zobne fluoroze enega zoba. Podobno smo pozitivno soodvisnost med vsebnostmi fluoridov v čeljustih srnjadi in DLI istih osebkov ugotovili v Šaleški dolini (Jelenko in Pokorny, 2009).

Visoka vsebnost fluoridov v čeljustih in pojav zobne fluoroze praviloma kažeta na velike koncentracije fluoridov v okolju. Vendar omenjena kazalnika ne sovpadata vedno. Fluoridi se namreč kopičijo v kostnem tkivu skozi celotno življenje osebka, zato vsebnost fluoridov v kosteh predstavlja akumulacijo fluoridov iz okolja v celotnem času izpostavitve osebka. Nasprotno so znaki zobne fluoroze posledica izpostavljenosti osebkov fluoridom le v času razvoja zobovja (tj. v zgodnjem/mladostnem obdobju življenja). Zaradi tega močna soodvisnost med vsebnostjo fluoridov v kostnem tkivu in zobno fluorozo pomeni, da so bili osebki izpostavljeni visokim koncentracijam fluoridov v času zobne formacije, kasneje pa se izpostavljenost tej skupini onesnažil ni bistveno zmanjšala. Ko se proces nastajanja zobovja zaključi, se fluoridi v zobnem tkivu (sklenini) namreč ne kopičijo več (in tudi nimajo več vpliva na njen izgled), vendar se še naprej akumulirajo v kosteh/čeljustih (Den Besten, 1994; Bartlett in sod., 2005; Richter in sod., 2010).

Do podobnih ugotovitev so prišli tudi v že omenjeni raziskavi jelenjadi na Češkem in v Nemčiji (Kierdorf H in sod., 1996b), kjer so ugotovili, da se pri jelenjadi, izpostavljeni velikim koncentracijam fluoridov le v času, ko je stalno zobovje že formirano, povišane vsebnosti fluoridov kažejo le v kostnem tkivu, ni pa poškodovanosti zobne sklenine v smislu nastanka zobne fluoroze. Do takšnih primerov prihaja, ko osebki po zaključenem izraščanju zob emigrirajo iz neonesnaženega območja v območje, ki je s fluoridi močno onesnaženo. Vendar je v primeru uporabe srnjadi kot bioindikatorja onesnaženosti okolja potrebno poudariti, da do takšnih razlik v vsebnostih fluoridov in stopnji zobne fluoroze pri tej vrsti praviloma ne prihaja, saj gre za teritorialno vrsto, ki ni nagnjena k večjim migracijam, njen areal aktivnosti pa je velik nekaj 10 ha oz. praviloma manjši od 100 ha (Simonič, 1976; Krže, 2000). Tudi zaradi tovrstnega (teritorialnega) načina življenja je srnjad v kopenskih ekosistemih ena najprimernejših vrst za bioindikacijo onesnaženosti okolja z anorganskimi onesnažili, kot so npr. fluoridi.

2.3.5 Fluoridi v okolju kot element tveganja za zavarovane rastlinske in živalske vrste ter potencialna grožnja za zmanjšanje biodiverzitete

Pomembnejši vidiki varstva narave oz. biodiverzitete so v zadnjem času usmerjeni predvsem v spremembe rabe tal, klimatske spremembe in ugotavljanje vpliva invazivnih tujerodnih vrst na avtohtone vrste (Lovett in sod., 2009). Kljub temu, da je varstvo okolja tudi del varstva narave, se obe dejavnosti namreč prevečkrat načrtujeta oz. izvajata ločeno. Z vidika varstva biodiverzitete bi bilo potrebno vsa naravovarstveno pomembna območja učinkovito spremljati tudi v smislu njihovega onesnaženja z nevarnimi onesnažili (žveplo, dušik, PAH-i, težke kovine, ozon, fluoridi…), ki lahko negativno vplivajo bodisi na neživi oz. živi del narave, saj lahko zmanjšujejo ugodno ohranitveno stanje tako prednostnih rastlinskih oz. živalskih vrst kot tudi prednostnih habitatnih tipov.

Fluoridi oz. vodikov fluorid (HF) je najbolj fitotoksično zračno onesnažilo (Yu, 2005), ki lahko prek tal, vode oz. iz ozračja preide v rastline (Notcutt in Davies, 1989; Franzaring in sod., 2006) in iz njih v živali (Baars in sod., 1987; Vikøren, 1995; Notcutt in Davies, 2001; Yu, 2005). Kljub temu, da lahko manjše količine fluoridov v vodi oz. hrani živih organizmov prispevajo k večji trdoti kosti oz. pri ljudeh zmanjšajo pojavnost kariesa (npr. Fordyce in sod., 2007; Ozsvath, 2009), pa imajo fluoridi na žive organizme, tako rastline (npr. Hill, 1969; Sedláček in sod., 2001; Franzaring in sod., 2006) kot živali (npr. Baars in sod., 1987; Boulton in sod., 1994, 1999; Xie in Sun, 2003) praviloma močan negativen vpliv. Zaradi večjih količin fluoridov v kosteh prihaja do osteofluoroze, ki se odraža z močno zmanjšano gibljivostjo kostnih tkiv. V naslednjih stadijih sledijo poškodbe živčnega tkiva, izguba mišične mase in celo paraliza (Teotia in sod., 1998; Ozsvath, 2009). Tudi zobna fluoroza, ki se v večini primerov odraža kot zunanje poškodbe sklenine, lahko v svoji najhujši obliki (zlomi in prehitra obraba zobovja; Kierdorf U in Kierdorf H, 1999) privede do prezgodnje smrti živali (Garrott in sod., 2002). Poleg zmanjšanja življenjske dobe živali lahko fluoridi vplivajo tudi na manjšo reprodukcijsko sposobnost organizmov, zaradi negativnih vplivov na morfologijo in mobilnost spermijev oz. vplivov na nivo testosterona v krvi (Ghosh in sod., 2002). Zaradi negativnega vpliva fluoridov v času brejosti lahko prihaja tudi do večjega števila nepravilnosti v zgradbi skeleta ploda, kar so do sedaj odkrili pri laboratorijskih podganah (Collins in sod., 1995).

Zaradi onesnaženosti okolja s fluoridi so lahko tudi zavarovane rastlinske oz. živalske vrste podvržene omenjenim negativnim vplivom, kar lahko močno poslabša njihovo ohranitveno stanje, kot so zasledili, npr., pri vapitiju v narodnem parku Yellowstone (Garrott in sod., 2002), saj se je močno zmanjšala povprečna življenjska doba osebkov, izpostavljenih visokim koncentracijam fluoridov v okolju.

Vpliv fluoridov na rastline in živali je močno odvisen od vrste in njene odpornosti na to skupino onesnažil. Pri rastlinah so določene vrste bolj občutljive na fluoride v okolju in so kot take predlagane za ustrezne bioindikatorske vrste: npr čemaž (*Allium ursinum*), navadni češmin (*Berberis vulgaris*), šmarnica (*Convallaria majalis*), žafran (*Crocus spp*.), lilija (*Lilium spp*.), topol (*Populus tremuloides*), trta (*Vitis spp*.) (zbrano v Weinstein in Davison, 2004). Pri določenih občutljivih rastlinah pa lahko že minimalna količina fluoridov povzroča veliko poškodb (pri drevesnih vrstah je to, npr., pri smreki *Picea abies*), ki se odražajo predvsem kot odmiranje listov, iglic oz. v premajhni tvorbi klorofila; večkrat je bilo že zabeleženo odmiranje posamičnih dreves (Hill, 1969; Yu, 2005). Torej lahko velike koncentracije fluoridov v okolju povzročijo večje poškodbe določenih zavarovanih rastlinskih vrst in s tem zmanjšujejo biodiverziteto nekega območja ali pa pomenijo grožnjo posameznim naravnim vrednotam drevesne zvrsti. Po drugi strani so lahko določene rastline odporne na fluoride, kar so zabeležili pri nekaterih travnih vrstah na Nizozemskem (Baars in sod., 1987). Tudi pri živalih se pojavlja različna (ne)odpornost na ta onesnažila, ki je odvisna predvsem od prehrambene strategije, velikosti prehrambenega teritorija, življenjske dobe in trofičnega nivoja vrste. Majhni sesalci, kot so npr. rovke in miši, imajo relativno manjši vnos fluoridov v telo kot pa jelenjad oz. govedo, ki se pase na istem travniku, saj so bolj selektivne v načinu prehranjevanja (Weinstein in Davison, 2004; Fluorides …, 2009).

Zaradi količine in vrste hrane, ki jo zaužijejo, in velikosti njihovega areala so med živalmi fluoridom najbolj izpostavljeni veliki rastlinojedi (Baars in sod., 1987; Machoy in sod., 1991; Kierdorf H in sod., 1996a; Yu, 2005; Choubisa, 2008), pri katerih zaradi osteofluoroze pogosto prihaja do zlomov parkljev, šepavosti in posledično slabše vitalnosti osebka (Weinstein in Davison, 2004). Za razliko od nekaterih drugih onesnažil fluoridi nimajo tendence biomagnifikacije po prehranjevalni verigi, temveč je njihova vsebnost bolj odvisna od prebavnega sistema, njegovega pH in deleža kostnih tkiv. Posledično do bioakumulacije fluoridov v velikih zvereh (kot pogosto zavarovanih vrstah), ki se hranijo z velikimi rastlinojedi (predvsem z njihovim mesom in manj s kostmi, v katerih se fluoridi kopičijo), ne prihaja (Walton, 1984; Weinstein in Davison, 2004).

Medtem ko sta vsebnost fluoridov v kosteh in stopnja zobne fluoroze pri družini jelenov praviloma vedno v značilni pozitivni korelaciji (Kierdorf, 1988; Kierdorf H in sod., 1996a; Garrott in sod., 2002), to za večino drugih živalskih skupin ni pravilo, saj lahko določene vrste brez večjih posledic akumulirajo večje količine fluoridov. Slednje so ugotovili pri adelijskih pingvinih (*Pygoscelis adeliae*) in antarktičnih govnačkah (*Catharacta maccormicki*), pri katerih kljub visokim vsebnostim fluoridov v kosteh hrbtenice (Max = 7.454 mg/kg) ne prihaja do poškodb kostnih tkiv (radiografski pregled; Xie in Sun, 2003). Odpornost na fluoride so zabeležili tudi pri domačih kuncih (*Oryctolagus cuniculus*) in predvsem nekaterih ptičjih vrstah (specifična morfologija kosti), kot so japonska prepelica (*Coturnix coturnix japanica*), ameriška postovka (*Falco sparverius*), mala uharica (*Asio otus*) in kanadska gos (*Branta canadensis*) (Weinstein in Davison, 2004). Pri vodnih organizmih so tisti iz "mehkih" celinskih voda bolj podvrženi akumulaciji fluoridov v skeletu, kot tisti, ki žive v "trdih" celinskih vodah oz. v morjih; pri nobeni vrsti pa niso zaznali osteofluoroze, kar pomeni, da gre za na fluoride odporne vrste (Camargo, 2003).

2.4 VELIKOST SPODNJIH ČELJUSTI SRNJADI IN VITALNOST OSEBKOV

Kot merilo velikosti skeleta (in posledično osebka) se v primeru prežvekovalcev lahko zelo adekvatno uporabljajo enostavne linearne meritve spodnjih čeljusti (npr. Mitchell in sod., 1986; Azorit in sod., 2003; Wustinger in sod., 2005; Zannèse in sod., 2006a). Challies (1978) je tako ugotovil, da je dolžina spodnje čeljusti najboljši bioindikator sprememb v kakovosti prehrane navadnih jelenov. Ker je dednostni vpliv na razvoj te kosti neizrazit (Mitchell in sod., 1986), rast spodnje čeljusti pa je zelo hitra takoj po rojstvu (pri srnjadi se rast zaključi že v drugem letu življenja; Linnell in sod., 1998b), sta razvoj in posledično velikost spodnje čeljusti posebno občutljiva na prehranske razmere v začetnem obdobju rasti osebkov.

Natančneje sta Høye in Forchhammer (2006) ugotovila, da medioanteriorni del čeljusti srnjadi (dolžina med bradno odprtino in zadnjim delom četrtega predmeljaka) doseže 95 % končne dolžine že pri starosti 2 do 4 mesecev in tako odraža razmere v stanju okolja prvih štirih mesecev starosti osebka. Posteriorni del čeljusti (dolžina med zadnjim delom četrtega predmeljaka in zadnjim delom čeljusti) pa doseže 95 % končne dolžine nekje do starosti 14 do 16 mesecev in odraža razmere okolja med četrtim in 16 mesecem starosti. Povprečna velikost, natančneje celotna dolžina spodnje čeljusti srnjadi znotraj določene kohorte, torej odraža kakovost habitata v prvem letu (oz. letu in pol) starosti te živali, zato je primerjava med kohortami lahko zelo uporaben kazalec tako prostorske kot tudi časovne variabilnosti v velikosti okostja in posledično v kakovosti habitata oz. v gostoti populacij nekega območja. Medtem ko sta Nugent in Frampton (1994) za populacijo damjaka iz Nove Zelandije ugotovila, da je višina diasteme (del čeljusti med sekalci in predmeljaki) najbolj občutljiv indikator sprememb v velikosti spodnje čeljusti, so Hewison in sod. (1996) pri srnjadi iz Francije ugotovili ravno nasprotno; višina diasteme je kljub petkratnemu povečanju gostote srnjadi ostala skoraj nespremenjena, medtem ko se je skupna dolžina spodnje čeljusti izkazala kot zelo občutljiv bioindikator/kazalec oz. indeks velikosti osebka.

Velikosti/dolžine spodnjih čeljusti srnjadi so zelo uporaben pripomoček pri upravljanju s populacijami te vrste (Zannèse in sod., 2006a); še posebej, ker lahko že z meritvami, opravljenimi v enem letu, ob hkratni oceni starosti posameznih osebkov (npr. na podlagi metode obrabe zobovja) dobimo informacije o velikosti (vitalnosti) srnjadi za nekaj let nazaj (starost nam lahko pove leto poleganja osebka oz. določi obdobje v katerem je osebek rasel – vpliv takratnega okolja), kar ne zagotavlja noben drug bioindikator v kontrolni metodi upravljanja s populacijami divjadi.

Razlike v velikosti odraslih živali iste vrste so lahko posledica razlik v kakovosti habitata, gostoti populacij in vplivov genotipa na fenotip (Klein in Strandgaard, 1972; Pettorelli, 2002; Mysterud in Østbye, 2006a; Toïgo in sod, 2006; Kjellander in sod., 2006; Morellet in sod., 2007; Torres Porras in sod., 2009). Medtem ko so razlike med različnimi populacijami na nivoju celotnega območja razširjenosti vrst lahko tudi posledica razlik v genotipu, so morfometrične razlike med populacijami na manjših (sosednjih) območjih predvsem posledica sprememb v kakovosti habitata; razlike znotraj populacij iz istih območij pa so v različnih časovnih obdobjih lahko predvsem posledica razlik v gostoti populacij (Nugent in Frampton, 1994; Bertouille in De Crombrugghe, 1995; Hewison in sod., 1996; Post in sod., 1997; Couturier in sod., 2010).

2.4.1 Vpliv gostote populacije na velikost osebka

Veliko raziskav se ukvarja s proučevanjem vpliva populacijskih gostot in podnebnih dejavnikov na velikost živali, rezultati pa so različni, odvisni predvsem od območja proučevanja. Medtem ko sta Nugent in Frampton (1994) za populacijo damjaka z Nove Zelandije ugotovila, da je velikost spodnjih čeljusti odvisna predvsem od dostopnosti najbolj priljubljenih prehranskih virov in ne od gostote populacije, so Hewison in sod. (1996) v časovni analizi za populacijo srnjadi iz Francije ugotovili, da je velikost spodnjih čeljusti srnjadi močno odvisna od populacijske gostote v času rojstva posameznih kohort (velja tako za srnjake kot za srne). Hewison in sod. (1996) so ugotovili tudi zelo močno soodvisnost med povprečno dolžino spodnjih čeljusti in populacijsko gostoto različnih populacij srnjadi v Veliki Britaniji. Ob veliki gostoti populacije je namreč lahko prehranjenost srn manjša, kar posledično vpliva na slabo laktacijo in slabšo vitalnost mladičev ter celo na manjšo verjetnost njihovega preživetja (Vincent in sod., 1995; Focardi in sod., 2002; Cobben in sod., 2009).

Vincent in sod. (1995) so proučevali populacijo srnjadi na območju, kjer so leta 1979 prepovedali lov, in ugotovili, da je s kasnejšim močnim povečanjem številčnosti vrste močno upadla telesna masa (slednja pri mladičih sorazmerno dobro odraža velikost osebka) mladičev obeh spolov. Do podobne ugotovitve so prišli Cobben in sod. (2009), ki so na enem od norveških otokov ugotovili štirikratno povečanje gostote srnjadi ob začasnem prenehanju lova v obdobju proučevanja srnjadi (1991 – 1994) in skladno s tem močno zmanjšanje povprečne telesne mase mladičev. Pettorelli in sod. (2002) so v Franciji dokazali močno kohortno (generacijsko) specifičen negativen vpliv populacijske gostote na telesno maso odrasle srnjad v starosti 4 do 10 let; v letih z večjo spomladansko gostoto populacije so imeli omenjeni osebki kot mladiči namreč zaradi kompeticije slabše pogoje za rast in razvoj, zaradi česar so bili posledično manjši tudi kot odrasli osebki. Populacijska gostota v času poleganja je pri tem pojasnila 35 % variance telesne mase med kohortami.

Negativen vpliv gostote srnjadi na vitalnost (velikost) osebkov so do sedaj dokazali predvsem med različnimi časovnimi obdobji oz. med različnimi kohortami srnjadi iz istih območij. Različna gostota populacije med območji pa znotraj istega časovnega obdobja praviloma ne predstavlja tistega dejavnika, ki odločilno vpliva na velikost osebkov teh območij. Tako sta Mysterud in Østbye (2006a) dokazala, da populacijska gostota srnjadi iz območja južne Norveške, ki je na teh območjih sicer praviloma majhna, na telesno maso srnjadi ne vpliva. Še pomembnejša je raziskava narejena na podlagi proučevanja populacije srnjadi iz Francije, kjer so ugotovili, da so najtežji osebki srnjadi (v istem obdobju) ravno na območju največjih gostot populacije (območje najugodnejšega habitata za vrsto – najkvalitetnejši habitatni tipi) (Pettorelli in sod., 2001).

2.4.2 Vpliv okoljskih dejavnikov na velikost osebka

Od okoljskih dejavnikov imajo na velikost spodnjih čeljusti srnjadi največji vpliv klimatski dejavniki; vendar so ti vplivi močno odvisni od lokacije znotraj Evrope. Območja hladnejših podnebij, ki pomenijo višjo debelino snežne odeje, večje izgube energije, podhladitve ter težjo dostopnost hrane, ki je praviloma slabše kvalitete, predstavljajo predvsem za manjše parkljarje zelo težke pogoje za življenje (Mysterud in Østbye, 2006a; Melis in sod., 2009).

Srnjad, ki na sneg ni prilagojena vrsta, je temu še toliko bolj izpostavljena (Ratikainen in sod., 2007). Za populacijo srnjadi z območja južne Norveške sta Mysterud in Østbye (2006a) skladno s prejšnjo trditvijo ugotovila, da je predvsem zima kritično obdobje; nižje telesne mase mladičev srnjadi so se pojavljale po hudih zimah.

Na jugozahodnem delu Francije s prevladujočim oceanskim podnebjem in vplivi mediterana (mile zime, suha in vroča poletja) so ugotovili ravno obratno, tj. da telesna masa srnjadi linearno upada s povečevanjem suše v poletnih mesecih ter s povečevanjem gostote populacije srnjadi na tem območju (Toïgo in sod, 2006). Do popolnoma enakih rezultatov so prišli pri proučevanju populacije iberske jelenjadi (*Cervus elaphus hispanicus*), kjer so ravno tako ugotovili, da suša negativno vpliva na velikost osebka, kar je najizraziteje pri velikih populacijskih gostotah (Torres Porras in sod., 2009). Ravno tako so v raziskavi srnjadi, živeči v dveh različnih območjih Evrope, tj. na Švedskem in v Franciji (Kjellander in sod., 2006) ugotovili, da podnebje ni vplivalo na telesno maso mladičev na Švedskem, medtem ko so bili mladiči iz območja Francije po sušnih in vročih poletjih lažji. Na splošno so bili mladiči iz Švedske (skladno z Bergmannovim pravilom, ki pravi, da so na severni polobli osebki severnejših geografskih širin oz. višjih nadmorskih višin praviloma večji zaradi optimiziranja razmerja med površino in volumnom telesa, tj. zmanjšanjem oddajanja toplote prek površine telesa; za podrobnejši opis glej Tome, 2006) statistično značilno večji kot mladiči iz Francije. Kot je bilo že omenjeno, poletna suša namreč negativno vpliva na kvaliteto in količino hrane, ki jo imajo na razpolago doječe srne, kar pomeni manj mleka za mladiče in posledično njihove nižje telesne mase in v končni fazi manjšo velikost osebka (Toïgo in sod, 2006).

Poleg suše in snežne odeje na velikost osebkov vpliva tudi temperatura in/ali padavine. Na polotoku St. Kilda na Škotskem so pri proučevanju prostoživeče populacije soay ovac (*Ovis aries*) prišli do ugotovitve, da hladen zimski dež pogosto povzroča ohladitve, ki zahtevajo večjo porabo energije za termoregulacijsko izravnavo telesne temperature, kar pomeni večji delež smrtnosti v hladnejših zimah (Coulson in sod., 2001). Po drugi strani so Pettorelli in sod. (2002) ugotovili, da spomladansko in poletno deževje ne vpliva na vitalnost (maso) mladičev v Franciji. Post in sod. (1997) so pri populaciji jelenjadi na Norveškem ugotovili, da so bili mladiči, ki so se polegli po hladnejših zimah večji kot tisti, ki so se polegali po toplih, kar se je odražalo tudi v različni vitalnosti posameznih kohort populacije.

Na vitalnost osebkov negativno vpliva tudi medvrstna kompeticija (Latham in sod., 1996); Ferretti in sod. (2008) so dokazali, da je srnjad ob prisotnost damjaka na istem travniku bolj pozorna, pase se manj časa oz. v 50 % primerov je celo zapustila pasišče. Njena pozornost na simpatrično vrsto je bila zanemarljiva le v primeru, če je bila srnjad v tropu. Podobno so Richard in sod. (2010) ob izključitvi ostalih okoljskih dejavnikov dokazali, da ima velika gostota jelenjadi v rezervatu La Petite Pierre (Francija) močan negativen vpliv na telesno maso mladičev srnjadi (ne glede na spol) v letih velike gostote jelenjadi.

Časovne ali mikroprostorske spremembe v velikosti osebka v splošnem povezujejo tudi s kakovostjo habitata živali (Hewison in sod., 1996). Pettorelli in sod. (2001) so v Franciji dokazali močan vpliv habitata in kvalitete hrane na velikost (maso) mladičev. Slednji so bili najtežji na severu, na delu proučevanega območja, kjer so bile priljubljene rastline za prehrano srnjadi najbolj pogoste, ravno tako so bile tudi vsebnosti dušika (kot merilo

kvalitete hrane) v rastlinah na severu največje. Ugotovitev je toliko bolj pomembna, ker so bile tudi gostote srnjadi največje na tem delu, kar pomeni, da se negativen vpliv populacijskih gostot na velikost osebkov lahko kompenzira z ugodnimi prehranskimi razmerami. Bertouille in De Crombrugghe (1995) sta ugotavljala kako masa osebka, dolžina diasteme in dolžina zadnjega dela spodnje čeljusti jelenjadi odraža primernost habitata za to vrsto. Pri tem sta ugotovila, da je dolžina zadnjega dela spodnje čeljusti lanščakov lahko učinkovita alternativa masi osebka za ocenjevanje kakovosti habitata; le koeficient naraščanja te dolžine je bil namreč značilno odvisen od kvalitete habitata. Poleg tega so pri proučevanju več čred severnih jelenov (*Rangifer tarandus*) Couturier in sod. (2010) ugotovili, da je imela populacija teh živali iz migratorne črede v povprečju daljše spodnje čeljusti kot populacija jelenov, ki je živela stalno na enem prostoru, kar so povezovali z velikostjo teritorija in s tem povezanimi razlikami v habitatu (večji pritisk na habitat nemigratornega tropa).

Večina omenjenih študij, ki se nanašajo na vpliv okoljskih dejavnikov na maso srnjadi, kot odraz vitalnosti osebka, zajema le mladiče te vrste ter tako podaja vpliv teh dejavnikov le v prvih nekaj tednih (redkeje mesecih) starosti živali. Masa osebka je namreč močno odvisna tudi od nekaterih drugih, znotraj vrstnih dejavnikov in s sezono niha (npr. upad telesne mase srnjakov v času prska, upad mase srn po poleganju in v času intenzivnega dojenja; Pettorelli, 2002; Mysterud in Østbye, 2006a). Ker sezonska nihanja ne vplivajo na velikost čeljusti srnjadi in ker obstaja večkrat dokazana korelacija med velikostjo čeljusti osebka in okoljskimi dejavniki oz. maso mladičev, so slednje kot kazalec vitalnosti osebka bistveno bolj primerne ter kot take uporabljene tudi v pričujoči disertaciji.

Slika 9: Vremenske razmere, med katere sodi tudi huda zima z visoko ter dlje časa trajajočo snežno odejo, lahko negativno vplivajo na velikost osebka srnjadi (foto: R. McCombe, 2011).

Figure 9: Weather conditions, including harsh winters with deep and long lasting snow, can have a negative influence on the body size of roe deer (photo: R. McCombe, 2011).

3 MATERIAL IN METODE

Utečen in sistematičen način evidentiranja odvzema in zbiranja spodnjih čeljusti divjadi (večine parkljarjev, vključno s srnjadjo) v Sloveniji ima izjemen znanstveno-raziskovalni in upravljavski potencial zaradi velikega števila informacij, ki jih lahko dobimo na podlagi analiz zbranih čeljusti. Ker je lokacija odvzema (z izjemno natančno prostorsko ločljivostjo) vsakega posameznega osebka parkljarjev/srnjadi zabeležena tudi v elektronskih bazah, lahko na podlagi geografskih informacijskih sistemov in multivariatnih analiz to uporabno vrednost zbranih spodnjih čeljusti še dodatno izkoristimo s povezovanjem zbranih informacij z okoljskimi podatki.

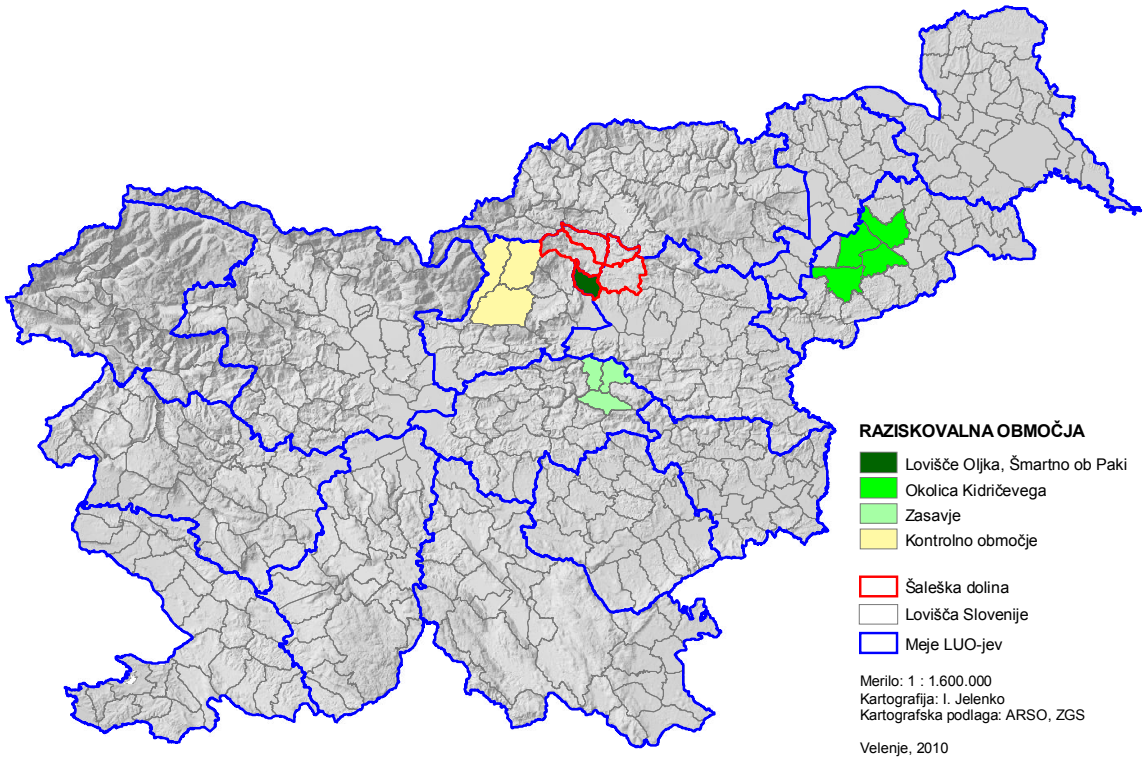
V ta namen smo januarja 2008 zbrali vse spodnje čeljusti srnjadi, izločene leta 2007 iz vseh slovenskih lovišč, in izvedli veliko-površinski biomonitoring onesnaženosti celotne Slovenije s fluoridi (za zgodovinsko bioindikacijo smo vključili tudi predhodno oz. naknadno zbrane čeljusti srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009) ter naredili analizo vplivov individualnih in okoljskih dejavnikov na vitalnost srnjadi celotne Slovenije. Zbrane podatke smo skušali tudi smiselno uporabiti za monitoring stanja kakovosti okolja naravovarstveno pomembnih območij. Kot dodaten segment smo podali še pregled parcialnega zdravstvenega stanja (spodnje čeljusti, zobovje) srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007.

3.1 OPIS RAZISKOVALNIH OBMOČIJ

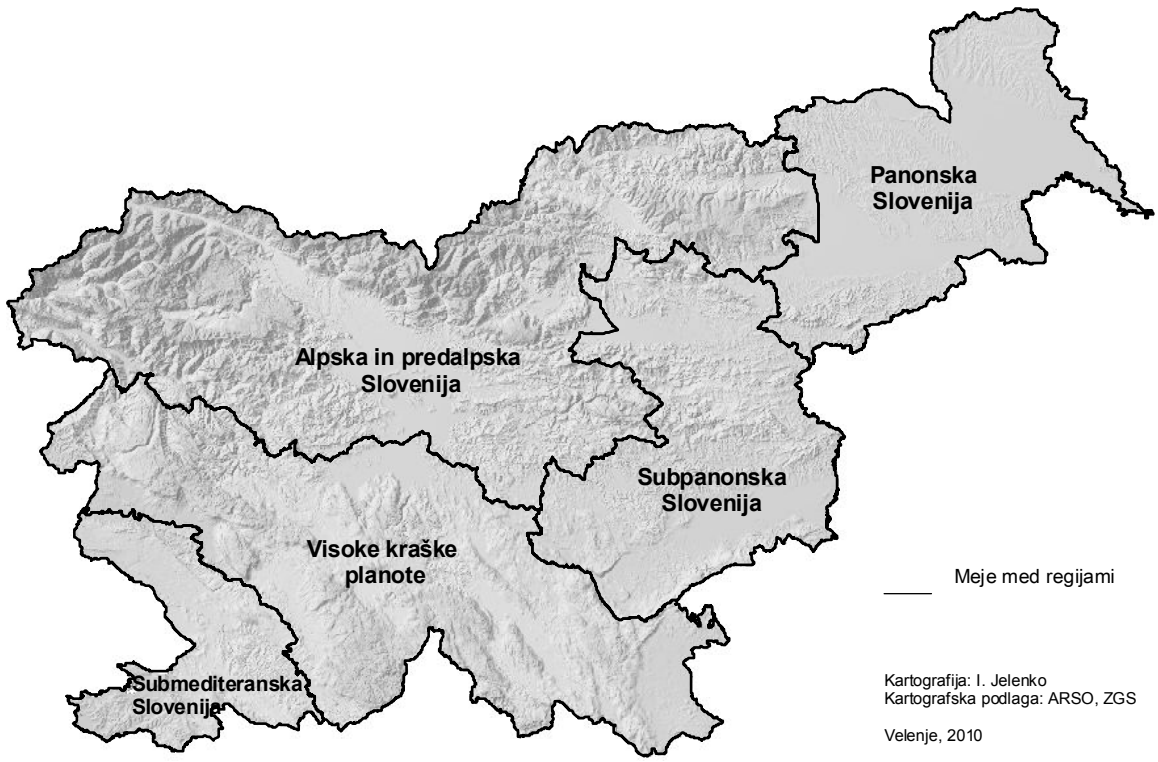
Raziskava je potekala na treh prostorskih nivojih. Na prvem nivoju smo zajeli *ozemlje celotne Slovenije* in v raziskavo zajeli spodnje čeljusti srnjadi, odvzete iz vseh slovenskih lovišč v letu 2007 ($n_{lovišč}$ = 420; slika 10). Na tem prostorskem nivoju smo izvedli naslednje vsebinske sklope: **(i)** oceno stopnje zobne fluoroze s pomočjo čeljusti vse odrasle (2+) srnjadi; **(ii)** meritve velikosti spodnjih čeljusti vse odvzete srnjadi; **(iii)** oceno zdravstvenega stanja srnjadi z določitvijo anomalij, obolenj in poškodb na vseh zbranih čeljustih.

Za prostorsko primerjavo onesnaženosti okolja Slovenije s fluoridi smo izbrali tri območja (nivo 2), ki so po podatkih Agencije RS za okolje (Zrak, 2010) izpostavljena največjim antropogenim emisijam teh snovi, saj se tukaj nahajajo trije največji emitenti fluoridov v ozračje. V ta del disertacije smo vključili *okolico Kidričevega* (tovarna aluminija Talum), *Šaleško dolino* (Termoelektrarna Šoštanj) in *Zasavje* (Termoelektrarna Trbovlje). Kot kontrolno območje smo vključili tudi tri lovišča *Zgornje Savinjske doline*, kjer točkovni viri emisij fluoridov v ozračje na podlagi evidenc ARSO (Zrak, 2010) niso prisotni.

V vsebinski sklop, ki zajema zgodovinski biomonitoring onesnaženosti okolja s fluoridi, smo zajeli le *Šaleško dolino*. Za analizo zobne fluoroze srnjadi v Šaleški dolini smo izbrali območje dolinskega dna in njenega obrobja, ki zajema prostor petih lovišč (glej poglavje 3.1.2). Vsebnosti fluoridov v zgodovinski seriji spodnjih čeljusti srnjadi smo na podlagi razpoložljivosti čeljusti in podatkov o odvzemu srnjadi izvedli le znotraj lovišča LD Oljka, Šmartno ob Paki (slika 10).



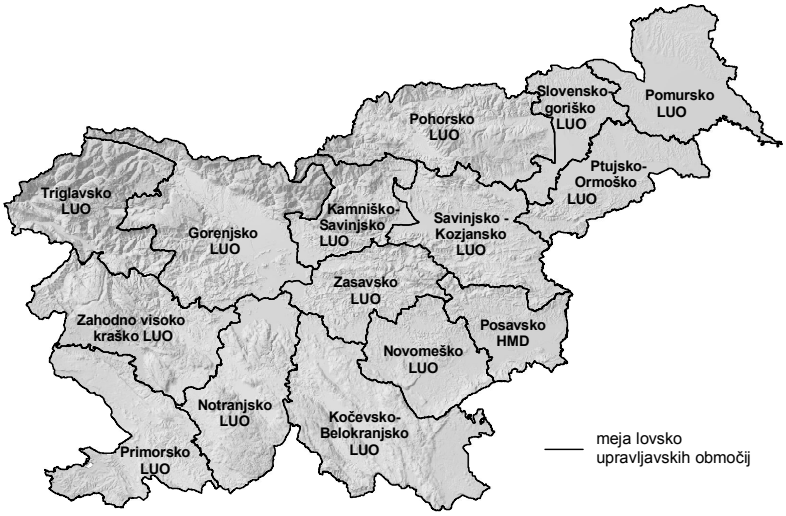
Slika 10: Območja, vključena v raziskavo onesnaženosti okolja s fluoridi.
Figure 10: Areas, included in bioindication of fluoride pollution.



Slika 11: Območja, vključena v raziskavo določanja vitalnosti srnjadi.
Figure 11: Areas, included in the research of fitness of roe deer population in Slovenia.

Velikost spodnjih čeljusti srnjadi smo merili na celotnem letnem odvzemu srnjadi, odvzete iz vseh slovenskih lovišč v letu 2007. Zaradi lažje interpretacije rezultatov smo podatke (ločeno po strukturnih kategorijah: spol in starost) prikazali s petimi regijami Slovenije: alpska in predalpska, panoska, subpanonska, submediteranska Slovenija ter visoke kraške planote (slika 11), ki smo jih dobili z združevanjem posameznih lovsko upravljavskih območij Slovenije (le-ta so poleg upravljavskih zahtev ustvarjena tudi na podlagi biogeografskih regij Slovenije) (slika 12). Omenjene regije sovpadajo z naravnogeografsko delitvijo države na panonsko, dinarsko, alpsko (predalpsko) in submediteransko Slovenijo.

Zadnji sklop dela v okviru doktorske disertacije, in sicer določevanje različnih anomalij, poškodb oz. obolenj čeljusti/zobovja srnjadi, odvzete iz celotne Slovenije leta 2007, je ravno tako potekal na nivoju cele države. Rezultati so zaradi večje preglednosti podani skupaj po posameznih (15) lovsko-upravljavskih območjih Slovenije – LUO (slika 12).



Slika 12: Območja, vključena v raziskavo določanj anomalij na čeljustih/zobovju srnjadi z opredeljenimi lovsko-upravljavskimi območji.

Figure 12: Areas, included in the research of the assessment of different anomalies on mandibles/teeth of roe deer, with defined Hunting Management Districts.

3.1.1 Kratek pregled naravnogeografskih značilnosti Slovenije

Naravnogeografske značilnosti Slovenije so detajlno predstavljene v monografijah *Geografski atlas Slovenije* (Fridl in sod., 1998), *Slovenija, pokrajine in ljudje* (Perko in Orožen Adamič, 1999) in *Atlas Slovenije* (Požar, 2005). V nadaljevanju podajamo le kratek oris teh značilnosti; za detajlnejši opis glej omenjeno gradivo.

Slovenija zajema 20.273 km^2 površja, povprečna nadmorska višina je 556,8 m, povprečen naklon 13,1º, najvišja točka pa je Triglav (2.684 m). Leži v srednji Evropi na stičišču štirih velikih naravnogeografskih enot: Alpe, Dinarsko gorovje, Panonska kotlina ter Jadransko morje, na podlagi česar jo delimo na štiri večje pokrajine. Alpski svet pokriva severozahodno in severno Slovenijo; za njega je značilno mogočno visokogorje pretežno grajeno iz apnencev in dolomitov, razčlenjeno z globokimi, ledeniško preoblikovanimi dolinami ter je pretežno neposeljeno. Predalpski svet zajema obrobje Alp v osrednji Sloveniji, ki je že nekoliko nižje, a prav tako razčlenjeno karbonatno gorovje, poraslo z gozdom. Med hribovjem se nahajajo alpske kotline in doline s prodnimi in peščenimi

nanosi, ki so pomembne tako za kmetijstvo, poselitev kot tudi gradnjo infrastrukture. Na jugozahodu države se nahaja sredozemski svet, kjer se povprečna temperatura najhladnejšega meseca zaradi blažilnega delovanja morja ne spusti pod ledišče. Gre za nizke kraške planote, ki jih zaznamuje pomanjkanje površinskih voda ter značilen veter burja. Del te pokrajine prestavljajo flišna Brda. Južno polovico Slovenije (z izjemo jugozahodnega dela) tvori dinarska pokrajina z visokimi kraškimi planotami, podolji in ravniki. Kraški svet, za katerega je značilno pomanjkanje površinskih voda, je pretežno pokrit z obsežnimi gozdovi. Vzhodno in severovzhodno Slovenijo tvori (sub)panonski nižinski oz. gričevnat svet, ki je gosto poseljen in intenzivno kmetijsko obdelan (povzeto po Perko in Orožen Adamič, 1999; Požar, 2005; Rejec Brancelj in Zupan, 2007).

V Sloveniji prevladujejo karbonatne sedimentne kamnine (prevladujeta apnenec >25 % in dolomit 14 %), ki se pojavljajo predvsem v njenem zahodnem in južnem delu, pa tudi na osrednjem območju. Na manjšem delu severovzhodne in severne Slovenije, predvsem na Pohorju, Strojni, Kozjaku in Kobanskem, se nahajajo magmatske (3 % površja) in metamorfne kamnine (4 % površja). Obsežnejšo skupino predstavljajo še kvartarni sedimenti v osrednji Ljubljanski kotlini, ki se razširjajo na Gorenjsko. Zaradi kamninske in podnebne pestrosti ter razgibanega reliefa so tudi tla zelo raznovrstna. Prevladujejo različne vrste rendzin in pokarbonatnih tal ter rankerjev in distričnih rjavih tal. Večje nižine Ljubljanskega barja, Dravsko-Ptujskega polja, Dolinskega in Ravenskega pokrivajo na silikatnih kamninah nastala distrična rjava tla ter na karbonatnih prodih in peskih nastala evtrična rjava tla (povzeto po Fridl in sod., 1998; Rejec Brancelj in Zupan, 2007). Za Slovenijo so značilni trije podnebni tipi, in sicer submediteransko, zmerno celinsko in gorsko podnebje. Povprečna količina padavin se močno spreminja, načeloma se proti vzhodu zmanjšuje. Zahodni in jugozahodni deli države, kjer pade v povprečju tudi do 2.500 mm padavin letno, spadajo med najbolj namočena območja v Evropi. Najmanj padavin je v Prekmurju (na Goričkem – pod 800 mm letno). Povprečna letna temperatura zraka je najnižja v alpskih in predalpskih pokrajinah (manj kot -2 ºC do 8 ºC) in narašča proti jugu in vzhodu. Najtopleje je ob obali (do 12 ºC), submediteranski Sloveniji ter dolinah in ravninah panonske Slovenije (10 ºC do 12 ºC). Tako za sredozemsko kot tudi panonsko pokrajino je značilna poletna suša in visoka evapotranspiracija (Fridl in sod., 1998).

Gozdovi skupaj z grmičevjem pokrivajo okoli 60 % slovenskega ozemlja, kmetijske površine nekaj manj kakor tretjino, tri odstotke površine pa je pozidane (Rejec Brancelj in Zupan, 2007). Zaradi pestrega prepleta omenjenih naravnogeografskih značilnosti se v Sloveniji pojavljajo številne rastlinske združbe. V višje ležečih predelih panonske Slovenije, vzhodnem predalpskem hribovju in obronkih Pohorja prevladuje kisloljubni gozd bukve, kostanja in hrastov. Na Pohorju in Kobanskem se pojavlja kisloljubni višjegorski gozd bukve in bekic ter gozd jelke in okroglolistne lakote. V delu Karavank in v Kamniško-Savinjskih Alpah se nahajajo sekundarni smrekovi gozdovi, medtem ko so v Julijskih Alpah predvsem predalpski gozdovi bukve, jelke in gozdnega planinščka, gozdovi bukve in trilistne vetrnice ter subalpsko grmišče ruševja in navadnega slečnika. V Posočju in na Idrijskem je toploljubni gozd bukve in gabrovca. V osrednjem delu predalpskega hribovja se nahaja predvsem gozd bukve in rebrenjače. Visoke kraške planote so pokrite z dinarskimi gozdovi bukve, jelke in pomladanske torilnice. Submediteranska Slovenija ima v višjih delih predvsem gozd puhastega hrasta in jesenske vilovine, v nižjih delih pa gozd gradna in senčnega šaša. Na vzhodu Slovenije, v nižinah, večjih dolinah in kraških podoljih se nahajajo predvsem naselja, obdelovalne površine in travišča (Fridl in sod., 1998).

3.1.1.2 Onesnaženost Slovenije s fluoridi

Na podlagi Zakona o varstvu okolja (2004), Direktive Parlamenta in Sveta Evrope o dostopu javnosti do okoljskih informacij (2003) ter Zakona o dostopu do informacij javnega značaja (2003) Agencija RS za okolje (ARSO) vzdržuje *Katalog podatkovnih virov* (KPV), kjer so zbrani vsi podatki o emisijah v okolje, ki jih zbirajo tako državne kot tudi druge ustanove. S tem Slovenija od leta 2004 dalje izpolnjuje zahteve okoljske zakonodaje – dolžnost organa, da redno vzdržuje katalog informacij javnega značaja.

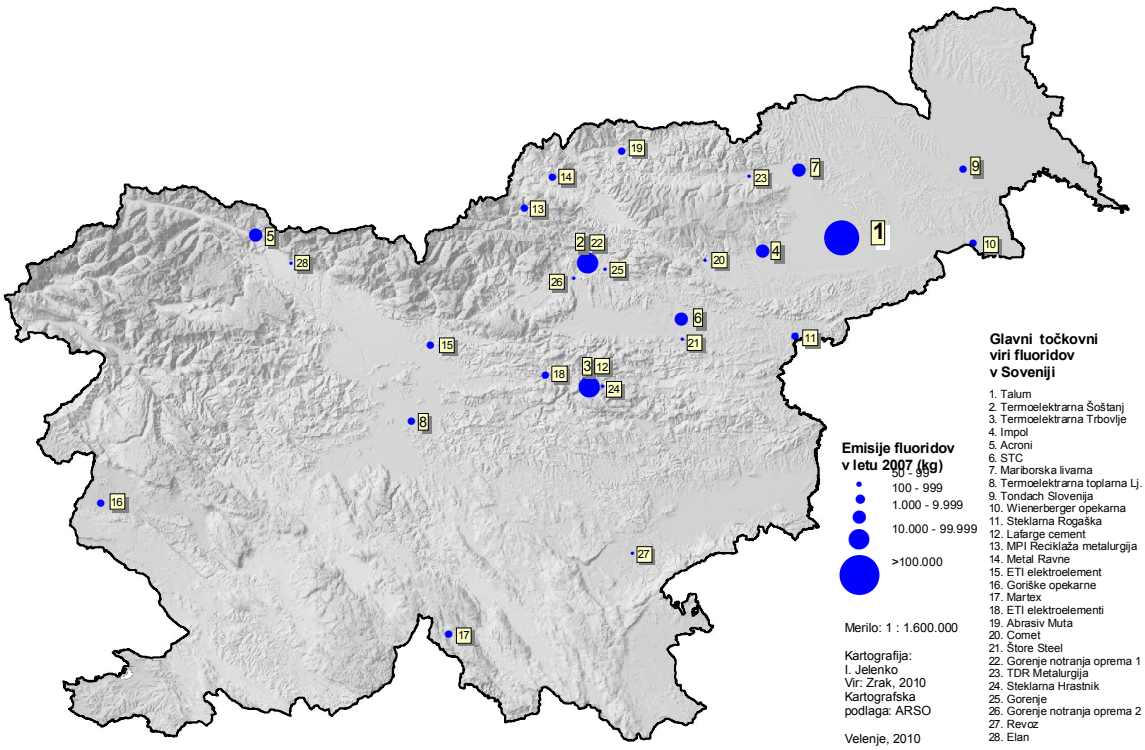
Tako je bilo po podatkih KPV v Sloveniji leta 2004 v ozračje skupaj sproščenih 537 t fluoridov; v letu 2005 so te emisije znašale 605 t. V naslednjih dveh letih so emisije fluoridov v okolje začele upadati, predvsem na račun sanacijskih ukrepov na največjem onesnaževalcu okolja Slovenije s temi snovmi. V letu 2006 so tako emisije vseh fluoridov v Sloveniji znašale 473 t in v letu 2007 le še 357 t. Največji emitent fluoridov v ozračje pri nas je tovarna aluminija Talum d.d., ki leži v neposredni bližini Kidričevega; na podlagi dostopnih podatkov za obdobje 2002 – 2007 je največje količine fluoridov v ozračje sprostila leta 2004, in sicer 420 t. Drugi največji onesnaževalec okolja s fluoridi v Sloveniji je Termoelektrarna Šoštanj (TEŠ), ki je v obdobju 2002 – 2007 največ fluoridov sprostila leta 2005 (100 t). Tretji največji onesnaževalec je Termoelektrarna Trbovlje (TET); v obdobju 2002 – 2007 so bile emisije fluoridov iz TET ravno tako najvišje leta 2005 (86 t). V letu 2007 (leto, ko smo ugotavljali zobno fluorozo srnjadi) so emisije iz teh treh glavnih virov znašale: 258 t fluoridov in 3,8 t vodikovih fluoridov iz Taluma; 57,7 t vodikovih fluoridov iz TEŠ in 18,2 t vodikovih fluoridov iz TET (povzeto po Zrak, 2010).

Poleg omenjenih virov so se po podatkih ARSO v obdobju 2004 – 2007 v Sloveniji nahajali še nekateri manjši viri fluoridov v ozračje. To so predvsem različne metalurške tovarne (Mariborska livarna, Metal Ravne, TDR Metalurgija Ruše; MPI Reciklaža metalurgija Žerjav), proizvodni obrati opečnatih izdelkov (STC Celje, Opečne kritine Križevci, Wienerberger opekarna Ormož), steklarne (Steklarna Rogaška) in ostale tovarne (Impol Slovenska Bistrica ipd.) (povzeto po Zrak, 2010). Emisije fluoridov sedmih največjih onesnaževalcev Slovenije s fluoridi so za obdobje 2002 – 2007 prikazane v preglednici 4; 28 največjih emitentov fluoridov v ozračje v letu 2007 pa je prostorsko prikazanih na sliki 13.

Preglednica 4: Emisije fluoridov (izraženih kot F^- oz. HF) v ozračje sedmih največjih slovenskih emitentov za obdobje 2002 – 2007 (Zrak, 2010).

Table 4: Fluoride emissions (both F^- and HF) into the atmosphere from seven main pollution sources in Slovenia, period 2002-2007 (Zrak, 2010).

VIR	**Talum**		**TEŠ**	**TET**	**Impol**	**Livarna**	**Steklarna**	**Lafarge**
Območje	**Kidričevo**		**Šaleška dolina**	**Zasavje**	**Sloven. Bistrica**	**Maribor**	**Rogaška Slatina**	**Zasavje**
Emisije (kg)	**F^-**	**HF**	**HF**	**HF**	**HF**	**HF**	**HF**	**HF**
2002	175.190	292	/	/	4.053	/	294	/
2003	248.289	/	/	/	1.043	246	12	252
2004	419.802	/	91.290	17.619	446	404	295	204
2005	395.897	6.128	99.552	85.750	5.171	215	437	280
2006	371.531	3.957	57.040	18.000	9.005	1.267	2.912	160
2007	258.076	3.780	57.700	18.200	8.775	1.384	394	360
Skupaj	**1.868.785**	**14.157**	**305.582**	**139.569**	**28.493**	**3.516**	**4.344**	**1.256**



Slika 13: Glavni točkovni viri fluoridov v Sloveniji v letu 2007.
Figure 13: Main point sources of fluorides in Slovenia in the year 2007.

V Sloveniji je bilo do sedaj narejenih le malo raziskav o onesnaženosti okolja s fluoridi, in sicer raziskave onesnaženosti tal (Zupan in sod., 2006, 2008) ter raziskave fluoridov na vplivnih območjih termoenergetskih objektov Slovenije (Beričnik Vrbovšek, 1999, 2000, 2002; Pokorny in Justin, 2004).

V svetu se povprečna vsebnost skupnih fluoridov v tleh giblje med 200 in 400 mg/kg (Fuge in Andrews, 1988) oz. pod 300 mg/kg (Archer in Hodgson, 1987). V Sloveniji se monitoring skupnih fluoridov v tleh ne izvaja sistematično; raziskave onesnaženosti tal s fluoridi (Zupan in sod., 2008) so bile v obdobju 1989 – 2007 narejene le za posamezna območja Slovenije (*cca*. 10 % vseh vzorčnih lokacij), ki pa se nahajajo predvsem v bližini točkovnih virov teh onesnažil (Zupan in sod., 2006). Vsebnosti skupnih fluoridov v površinskih vzorcih tal (do globine 5 cm) so se v omenjenem obdobju gibale med 64 in 824 mg/kg (Me = 280 mg/kg; n = 41), v podpovršinskih vzorcih na globini od 5 do 20 cm pa med 67 in 520 mg/kg (Me = 265 mg/kg; n = 28); na večini lokacij so bile zabeležene višje vsebnosti fluoridov v zgornjem sloju tal. V obdelovalnem sloju tal so vsebnosti fluoridov najnižje (79 – 350 mg/kg, Me = 260 mg/kg), kar pomeni, da kmetijstvo v Sloveniji ne prispeva k povišanim vsebnostim fluoridov v tleh. Mejna imisijska vrednost za fluoride v tleh (450 mg/kg; Uredba o mejnih …, 1996) je bila presežena v 17 % (n = 7) površinskih in 11 % (n = 3) podpovršinskih vzorcev, in sicer na Dravskem polju v okolici Kidričevega, v Zasavju, na Blokah in v Podgrajskem podolju (Zupan in sod., 2006). Po teh podatkih tla v Sloveniji v splošnem niso onesnažena s fluoridi.

Prve dokazane poškodbe na rastlinah kot posledica škodljivega delovanja fluoridov v Sloveniji so zabeležili v bližini tovarne za brušenje stekla na Kozjem. Na tem območju je v letu 1997 prišlo do nenadnega ožiga iglic smreke (*Picea abies* L.), ki je na fluoride občutljiva vrsta, saj se poškodbe iglic pojavijo že pri vsebnostih fluoridov v iglicah, ki znašajo 20 mg/kg (Bergmann, 1992). Rezultati meritev vsebnosti fluoridov v vzorcih iglic dreves te vrste, lociranih na razdalji 150 do 250 m od tovarne, so pokazali močno presežene mejne vrednosti (10 mg/kg za iglice smreke prvega letnika in 8 mg/kg za iglice smreke tekočega letnika; povzeto po avstrijskem razglasu o gozdu škodljivi onesnaženosti zraka; Bundesgesetzblatt ..., 1984) predvsem v vzorcih iglic prvega letnika (31,4 mg/kg pri mlajših drevesih in 45,0 mg/kg pri starejših drevesih), kar pomeni, da je bilo okolje okoli omenjene tovarne že dlje časa izpostavljeno imisijam fluoridov (povzeto po Kalan, 1997). Takšne visoke vsebnosti fluoridov v smrekovih iglicah na omenjenem območju so bile nedvomno posledica neposredne bližine tovarne.

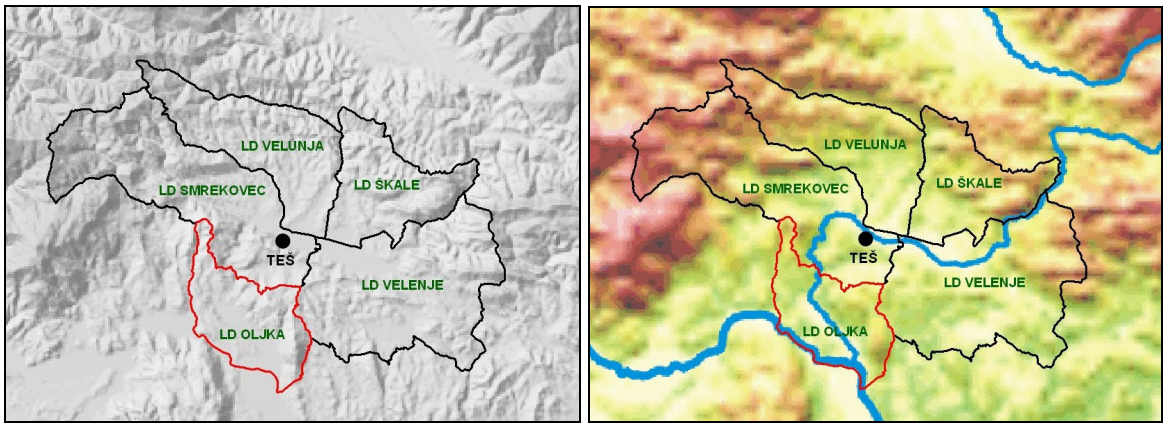
V raziskavah *Fluoridi na vplivnih območjih termoenergetskih objektov v Sloveniji* (Beričnik Vrbovšek, 1999, 2000, 2002) so v obdobju 1999 – 2001 proučevali vsebnost fluoridov v tleh in njihov vpliv na smrekove iglice v območjih Šaleške doline, Zasavja, Ljubljanske kotline ter na Pokljuki. V onesnaženih območjih, ki so bila pod vplivom emisij iz termoenergetskih objektov, so se s starostjo iglic večinoma povečevale vsebnosti fluoridov. Največje vsebnosti so izmerili v iglicah prvega letnika na vplivnem območju TET (Max = 22,1 mg/kg; glej poglavje 3.1.4.2). Vsebnosti fluoridov v iglicah smreke na vplivnem območju TEŠ so bile nekoliko nižje (iglice prvega letnika: Max = 15,9; glej poglavje 3.1.2.2). Vsebnosti fluoridov v iglicah smreke na vplivnem območju Termoelektrarne – toplarne Ljubljana so bile izmerjene le v letu 1999 in so bile nižje kot v obeh omenjenih območjih (v tekočem letniku: 3,2 – 10,9 mg/kg; v prvem letniku: 5,0 – 13,6 mg/kg), in so pri nekaterih vzorcih še vedno presegale že omenjene mejne vrednosti. Najnižje vsebnosti, in sicer v tekočem letniku med 1,8 in 7,7 mg/kg ter v prvem letniku med <1,6 in 9,5 mg/kg, so izmerili na območju Triglavskega narodnega parka, na Pokljuki. Tukaj so bile izmerjene tudi najnižje vsebnosti fluoridov v tleh (309 in 334 mg/kg).

V raziskavi *Srnjad kot bioindikator onesnaženosti okolja z anorganskimi onesnažili* (Pokorny in Justin, 2004) so bile izmerjene tudi vsebnosti fluoridov v rogovju srnjakov iz Šaleške doline (glej poglavje 3.1.2.2) ter Zgornje Mežiške doline. Na območju slednje je bilo analiziranih 33 vzorcev rogovja srnjakov, uplenjenih v obdobju 1920 – 2003. Izmerjene vsebnosti so se gibale med 50 in 1.080 mg/kg svežega vzorca ($\bar{a}$ = 350 ± 90 mg/kg; Me = 330 mg/kg) in predstavljajo najnižje poznane vsebnosti fluoridov v rogovju srnjakov evropskega prostora (Kierdorf in Kierdorf, 2005). Pokorny in Justin (2004) na podlagi bioindikacije onesnaženosti okolja s fluoridi s pomočjo rogovja srnjakov ugotavljata, da Mežiška dolina ni in nikoli ni bila onesnažena s temi snovmi; še več, izmerjene vsebnosti fluoridov iz Zgornje Mežiške doline v vzorcih iz 20-tih in 30-tih letih 20. stoletja predlagata kot "ničelne vrednosti" vsebnosti fluoridov v rogovju srnjakov.

3.1.2 Šaleška dolina

3.1.2.1 Geografski opis območja

V disertaciji z izrazom "Šaleška dolina" ne obravnavamo le doline v njenem ožjem pomenu besede (samo dolinsko dno), temveč zajemamo njeno širše območje, ki zajema tudi višje ležeče okoliške hribe in planote (slika 14). Poleg tega smo v raziskavo vključili tudi občino Šmartno ob Paki, ki sicer geografsko spada v Spodnjo Savinjsko dolino, a vpliv emisij iz Termoelektrarne Šoštanj (kot največjega onesnaževalca zraka v Šaleški dolini; Zrak, 2010) nakazuje, da je tudi to območje neposredno izpostavljeno onesnažilom iz TEŠ in ga je kot takega smiselno vključiti v raziskavo (Pokorny, 2003, 2006a, 2006b; Al Sayegh Petkovšek in sod., 2006, 2008; Poličnik in Batič, 2007; Al Sayegh Petkovšek, 2008; Poličnik, 2008).



Slika 14: Lokacija Termoelektrarne Šoštanj (TEŠ) in lovišča Šaleške doline, ki so vključena v raziskavo.
Figure 14: Location of the Šoštanj Thermal Power Plant (TEŠ) and hunting grounds of the Šalek Valley.

Geografski opis Šaleške doline je bil že velikokrat sintezno opisan v delih raziskovalcev iz ERICo Velenje, Inštituta za ekološke raziskave (npr. Šalej, 1999; Svetina, 1999; Pavšek in sod., 2000; Janžovnik in sod., 2003); v tem delu raziskave povzemamo njihove glavne ugotovitve z nekaterimi dopolnitvami iz ostale literature.

Šaleška dolina je predalpska kotlina ob srednjem toku reke Pake. Široka je okoli dva kilometra in dolga osem kilometrov, meri pa nekaj manj kot 20 km^2 ter poteka v smeri vzhod-jugovzhod proti smeri zahod-severozahod (Šalej, 1999). Dno doline je rahlo razgibano in na določenih mestih močno spremenjeno zaradi premogovništva. Leži na nadmorski višini med 355 in 390 m ter se od severa proti jugu postopoma znižuje (Janžovnik in sod., 2003). Na severu se od 150 do 200 m nad dolinskim dnom v obliki stopenj dvigujejo zložni griči. Za njimi so na nadmorskih višinah med 600 in 1.000 m hribi in planote, ki zapirajo kotlino proti severu ter prehajajo v gorski svet vzhodnih odrastkov Karavank in Kamniško-Savinjskih Alp. Južni rob Šaleške doline predstavljajo severni odrastki Ložniškega gričevja, ki reliefno ločujejo Velenjsko in Celjsko kotlino ter pomenijo klimatsko ločnico med subpanonsko Spodnjo Savinjsko dolino ter predalpsko Šaleško dolino (povzeto po Perko in Orožen Adamič, 1999).

Po geomorfološkem/geološkem nastanku predstavlja Šaleška dolina velenjsko udornino, ki je za udornino Ljubljanskega barja druga najmlajša v Sloveniji. Je del večje velenjsko-dobrniške udornine, katere nastanek sega v pozni pliocen, ko se je ugreznila gruda med smrekovškim neotektonskim prelomom na severu in šoštanjskim neotektonskim termalnim prelomom na jugu (Janžovnik in sod., 2003). Obravnavano območje je bilo dvakrat zalito z vodo. Prvič je bilo to v miocenu, ko so se na dnu doline odlagale debele plasti melja in gline. Drugič je jezero zalilo Šaleško dolino v pliocenu; takrat so nastale debele plasti premoga – lignita; kasneje je voda odtekla in vodotoki so dolino zapolnili z debelimi plastmi peska in proda (Hribernik, 1998).

Šaleška dolina z okolico je po geološki strukturi prava posebnost. Redkokje v Sloveniji zasledimo toliko različnih vrst kamnin, še posebej magmatskih in metamorfnih. Južni obod doline gradijo trdne kamnine, predvsem mezozojski karbonatni in oligocenski tufi ter miocenski peščeni laporji. Jugozahodni ter vzhodni del oboda predstavljajo sivi apnenci in dolomiti iz mlajšega paleozoika ter triasa. Na severu poteka tri kilometre široka tonalitna proga, nastala v paleogenu, in sega preko Slemena in Zavodenj prav v severni rob doline. Južno od te proge se nahajajo triasni apnenci in dolomiti. Severovzhodno od tonalitnega pasu je večje območje slabo vezanega konglomerata iz terciarja. Severozahodno najdemo najprej pas granita, dlje proti severu pa še pas zelenkastega in vijoličnega skrilavca, oba po času nastanka iz paleozoika. Na jugovzhodnem delu oboda Šaleške doline najdemo pas peščenjaka terciarne starosti (Osnovna geološka …, 1977). Danes je celotno dno Šaleške doline zasuto s pliocenskimi sedimenti, pod katerimi se nahajajo debele plasti lignita. Ob reki Paki in njenih pritokih se nahajajo aluvialne plasti peska in proda (Šalej, 1999).

Šaleška dolina pripada zmerno celinskemu podnebju osrednje Slovenije. Za temperature je značilen velik razpon, ki je posledica lege v zmerni geografski širini, sorazmerni oddaljenosti od morja ter celinskosti. Na mikroklimatske razmere močno vplivajo relief, naklon in ekspozicija površja ter rastje (Janžovnik in sod., 2003). Velik vpliv, predvsem na mikroklimo dolinskega dna, imajo tudi urbanizacija, rudarstvo, industrija ter nenazadnje tudi novo nastala umetna jezera. Zaradi njih je danes pojavljanje nizke talne megle pogostejše; vplivajo tudi na temperaturo okolice (Pavšek in sod., 2000). Hribovito in gorato obrobje ima hladnejše podnebje ter varuje Šaleško dolino pred mrzlimi vetrovi s severa. Kljub temu je občasno čutiti vpliv mrzlih zračnih gmot, ki skozi Slovenjgraško kotlino prihajajo iz Celovške kotline (Perko in Orožen Adamič, 1999). Zahodni, gorati del preprečuje izjemne situacije in blaži vpliv zahodne zračne cirkulacije (Šalej, 1999).

Povprečna letna temperatura na dnu Šaleške doline (Velenje, 420 m n.v.) je bila v obdobju 1961 – 1990 9,2 °C. Najhladnejši mesec je bil januar, ko je bila povprečna temperatura -1 °C, najtoplejši pa julij s povprečno temperaturo 18,8 °C (Pavšek in sod., 2000). Za obdobje 1925 – 1940 so na voljo tudi podatki meteorološke postaje Bele Vode, ki se nahaja na severozahodnem obrobju doline, na nadmorski višini 797 m. Tu je bila za januar izmerjena povprečna mesečna temperatura -4,1 °C, za julij pa 13,3 °C. Povprečna letna temperatura je znašala 8,2 °C (Kvaliteta okolja ..., 2002). Največje razlike v temperaturi se kažejo v hladni polovici leta, zlasti med dobro in slabo prevetrenimi območji na isti nadmorski višini. Konec jeseni in pozimi je v območju pogosta temperaturna inverzija, ki je poleg smeri vetrov glavni vzrok za zelo veliko izpostavljenost onesnažilom v hribovitem obrobju doline. V Šaleški dolini se namreč pojavljata dve inverzijski plasti: (a) prizemna

inverzija na nadmorski višini med 360 in 460 m; (b) subsidenčna temperaturna inverzija na nadmorski višini med 750 in 1.000 m. Prizemna inverzijska plast je pomembna predvsem, ker ščiti dno doline pred emisijami iz Termoelektrarne Šoštanj, saj že najnižji dimnik presega višino 100 m in tako sega nad zgornjo plast te inverzije. Po drugi strani pa zgornja plast subsidenčne inverzije zapre pot dimnim plinom; le-ti se kopičijo pod vrhom plasti zraka s temperaturno inverzijo in se nato s pobočnimi vetrovi pomikajo navzdol po pobočjih hribovitega obrobja Šaleške doline. Onesnažilom so zato najbolj izpostavljeni predeli, ki ležijo na nadmorski višini med 460 in 750/1.000 m (Kvaliteta okolja ..., 2002). Večinoma vsi osebki srnjadi, odvzeti iz Šaleške doline (z izjemo tistih, ki so bili odvzeti v južnem delu lovišča Oljka, Šmartno ob Paki), katerih čeljusti smo vključili v raziskavo, so bili uplenjeni ravno na območjih, ki ležijo med obema omenjenima inverzijskima plastema.

Obravnavano območje leži izven območij izrazitejših padavinskih pasov, ki se na tem delu Slovenije raztezajo preko Savinjskih Alp in Pohorja. Povprečna letna količina padavin (obdobje 1961 – 1990) na severozahodnem obrobju Šaleške doline znaša preko 1.300 mm, na dnu Šaleške doline (v Velenju) pa 1.233 mm. Tako se padavine od vzhoda Šaleške doline proti zahodu z višino stopnjujejo (Perko in Orožen Adamič, 1999). Šaleška dolina ima kontinentalen padavinski režim; najmanj padavin je pozimi (januar, februar), največ pa v poletnih mesecih (junij, julij) (Šalej, 1999). Le-te se pojavljajo predvsem v obliki ploh in neviht, ki jih pogosto spremljata toča in močan veter. V Šaleški dolini je v preteklosti TEŠ močno vplivala na kislost padavin. Le-ta je praviloma naraščala z oddaljenostjo od termoelektrarne, saj je v njeni neposredni bližini največ prašnih delcev, ki zaradi svoje bazičnosti dvigujejo pH padavinam. Sicer je bil zaradi visokih emisij najnižji pH izmerjen ravno na merilnem mestu Veliki Vrh, ki leži tik nad elektrarno (zbrano v Jelenko, 2005). Smer in hitrost vetra sta močno spremenljiva elementa, saj sta odvisna od konfiguracije terena in splošnih vremenskih razmer. Od šibkih vetrov so pomembni lokalni vetrovi. Ponoči zaradi ohlajanja zraka pihajo vetrovi po pobočju oz. dolini navzdol, podnevi pa zaradi ogrevanja po prisojnih pobočjih navzgor. V višjih predelih so hitrosti večje, v nižjih legah (predvsem na dnu kotline) pa manjše. Na dnu doline prevladujejo vetrovi zahodnega in vzhodnega kvadranta, kar se ujema s smerjo same doline (Pavšek in sod., 2000).

Tla v Šaleški dolini so zelo raznolika. Na ravninskem delu, na pliocenskih usedlinah in v dolinah potokov, ki pritečejo iz severnega obrobja doline, so se razvila psevdooglejena in oglejena tla, na katerih se nahajajo večinoma travniki. Ob reki Paki in njenih pritokih se na kvartarnih rečnih nanosih nahajajo rjava aluvialna tla, na katerih prevladujejo njive. V hribovitem svetu so se na triasnih apnencih in dolomitih razvila rjava tla in rendzine, poraščene predvsem z gozdovi. Na silikatnih kamninah se nahajajo kisla rjava tla, ki so na osojnih pobočjih poraščeni z gozdovi, na prisojnih pa so njive, sadovnjaki ter vse redkejši vinogradi. Gozdno rastje se spreminja z nadmorsko višino. V hribskem pasu med 350 in 750 m nadmorske višine se je prvotno nahajal bukov gozd, ki ga danes zaradi posegov človeka izpodriva mešani in iglasti gozd. Nad tem pasom se nahajajo obsežni in strnjeni gozdovi, ki pokrivajo kar tri četrtine površja (povzeto po Perko in Orožen Adamič, 1999); zaradi selektivnega redčenja listavcev prevladujejo iglavci; najpogosteje zastopana drevesna vrsta je smreka; pogoste vrste pa so še bukev, rdeči bor, jelka, graden in kostanj (Pokorny in Ribarič Lasnik, 2002).

3.1.2.2 Onesnaženost Šaleške doline, s poudarkom na fluoridih

Termoelektrarna Šoštanj (TEŠ) je največji termoenergetski objekt v Sloveniji. Danes s skupno inštalirano močjo 779 MW proizvede okoli eno tretjino električne energije v Sloveniji, v kriznih obdobjih pa celo polovico slovenske porabe. Povprečna letna proizvodnja električne energije se giblje med 3.500 in 3.800 GWh; za obratovanje letno porabi med 3,5 in 4,2 milijonov ton premoga ter okoli 60 milijonov m^3 zemeljskega plina (Termoelektrarna Šoštanj, 2010).

V preteklosti je pridobivanje električne energije povzročilo velike količine emisij, ki so negativno vplivale na stanje okolja Šaleške doline. Najintenzivneje je bilo onesnaževanje zraka, vode in tal; zlasti problematične so bile emisije SO_2 ter težkih kovin. Negativni vplivi na okolje so bili konec 80-tih let 20. stoletja že zelo očitni; pojavljali so se ožigi smrekovih iglic, t. i. plinska pozeba, osutost krošenj ter sušenje smreke. Velenjsko jezero in reka Paka sta bila brez prisotnih živih organizmov (Miklavc, 2001).

Na kritičnost posledic so opozarjali gozdarji, lovci, kmetje, še zlasti pa lokalno zdravstvo. Vzporedno z naraščajočo škodo na okolju je med lokalnim prebivalstvom in med vodstvom TEŠ rasla tudi okoljska osveščenost in zavest, da je potrebno negativne vplive elektrarne zmanjšati na mejo, sprejemljivo za okolje (Termoelektrarna Šoštanj, 2010). Posledično so v 90-tih letih pričeli z okoljsko sanacijo termoelektrarne, kar je pripomoglo k opaznemu izboljšanju stanja posameznih pokrajinotvornih sestavin Šaleške doline (Jelenko, 2005). Za zmanjšanje emisij fluoridov v ozračje je izmed izvedenih ukrepov najpomembnejša izgradnja dveh razžveplalnih naprav, in sicer na bloku 4 v letu 1995 ter na bloku 5 v letu 2000. Posledično so se močno zmanjšale emisije SO_2 in za to raziskavo še pomembneje emisije prahu (preglednica 5) – del fluoridov, ki se v ozračje sproščajo v obliki prašnih delcev, je bil s tem v veliki meri prestrežen.

Slika 15: Šaleška dolina s svojim hribovitim obrobjem – pogled s severozahoda (foto: I. Jelenko, 2010).
Figure 15: The Šalek Valley with its mountainous surroundings – view from the north-west (photo: I. Jelenko, 2010).

Preglednica 5: Proizvodnja električne energije, količina sežganega premoga in emisije iz TEŠ v obdobju 1990 – 2009 (Termoelektrarna Šoštanj, 2010).

Table 5: Production of electricity, coal combustion, and emissions from the ŠTPP in the period 1990-2009 (Termoelektrarna Šoštanj, 2010).

Leto[a]	**Elektrika (MWh)**	**Premog (t)**	**SO_2 (t)**	**NO_X (t)**	**CO_2 (t)**	**Prah (t)**
1980	3.511.683	4.032.561	89.168	10.322	4.084.055	3.151
1981	4.127.072	4.791.563	97.599	11.808	4.695.472	3.419
1982	4.170.014	4.975.633	118.124	11.832	4.750.702	4.980
1983	4.467.065	5.244.070	123.382	12.221	4.931.174	3.741
1984	3.955.766	4.649.297	105.166	10.936	4.402.365	3.617
1985	3.703.913	4.563.274	107.021	10.630	4.262.893	3.343
1986	3.811.079	4.617.161	106.645	10.809	4.342.170	3.630
1987	3.032.540	3.720.927	82.690	9.135	3.659.247	2.550
1988	3.464.098	4.180.618	97.402	9.804	3.945.283	3.161
1989	3.308.736	3.901.697	93.630	10.360	4.054.472	4.604
1990	3.433.551	3.909.290	92.964	12.389	3.782.023	5.731
1991	2.928.942	3.393.968	80.390	11.057	3.142.725	7.495
1992	3.327.908	3.769.382	79.988	9.009	3.587.029	6.085
1993	3.414.135	3.920.132	86.101	9.770	3.731.473	8.121
1994	3.237.233	3.617.408	80.516	9.483	3.434.461	4.917
1995	3.288.014	3.647.368	51.663	10.025	3.581.956	2.765
1996	3.182.124	3.594.074	51.804	10.154	3.287.774	1.845
1997	3.565.017	4.043.530	53.093	11.572	3.698.747	2.377
1998	3.681.289	4.105.638	55.053	11.963	3.821.570	2.316
1999	3.307.712	3.726.093	47.665	9.096	3.334.732	1.077
2000	3.453.379	3.717.714	44.253	10.379	3.540.040	460
2001	3.784.525	3.981.257	18.071	11.403	3.887.053	467
2002	4.146.288	4.210.130	22.871	12.779	4.740.476	632
2003	3.951.564	3.934.502	13.334	10.936	4.366.652	480
2004	4.044.140	4.022.626	7.951	8.877	4.536.876	419
2005	4.138.660	3.871.295	10.341	9.054	4.622.632	332
2006	4.268.949	3.863.167	6.190	9.130	4.662.431	158
2007	3.756.100	3.951.925	5.285	8.450	4.906.889	254
2008	3.850.000	3.911.015	4.592	8.380	4.749.069	216
2009	/	4.362.965	4.125	7.381	4.573.388	202
Povprečje	***3.665.914***	***4.074.343***	***61.236***	***10.305***	***4.103.861***	***2.752***
Skupaj	**106.311.496**	**122.230.280**	**1.837.077**	**309.144**	**123.115.829**	**82.545**

OPOMBA:
(a) Za obdobje 1980 – 1989 so vrednosti za prah ocenjene iz garancijskih meritev za elektrofiltre, ki so bile izvedene pod idealnimi pogoji; ocene so zato nezanesljive in verjetno močno podcenjene. Posebej sta označeni leti zagona čistilnih naprav TEŠ na bloku 4 in 5.

Skupaj z okoljsko sanacijo TEŠ so raziskovalci ERICo Velenje, Inštituta za ekološke raziskave, ter nekateri drugi raziskovalci z Inštituta Jožef Štefan, Gozdarskega inštituta Slovenije ter Biotehniške fakultete začeli z intenzivnimi okoljskimi raziskavami. S tem je stanje kakovosti okolja Šaleške doline med enimi najbolje proučenih tako v slovenskem kot tudi v svetovnem merilu. Raziskave so se v večini primerov osredotočale na vsebnosti težkih kovin tako v anorganskih medijih (npr. Svetina in sod., 1994; Beričnik Vrbovšek, 2002; Vrbič Kugonič, 2009) kot tudi v rastlinah (npr. Pokorny in Al Sayegh Petkovšek, 2005; Poličnik in Batič, 2007; Poličnik, 2008) in živalih (npr. Pokorny, 2003, 2006a; 2006b; Pokorny in Justin, 2004; Pokorny in sod., 2004b; Pokorny in Zaluberšek, 2007; Zaluberšek in Pokorny, 2009); na stanje kakovosti vodnih teles (Ramšak, 2005; Mazej in sod., 2009, 2010) oz. na onesnaženost zraka (npr. Poličnik, 2005; Savinek in Kopušar, 2010) ter posledično na vplive na gozdne ekosisteme (npr. Al Sayegh Petkovšek in sod., 2008).

Velenjski lignit vsebuje v povprečju 126 – 138 mg/kg fluoridov (odvisno od leta vzorčenja), kar je manj kot rjavi premog iz Zasavja (136 – 180 mg/kg), a bistveno več kot indonezijski črni premog (6 – 7 mg/kg), ki ga kurijo v ljubljanski toplarni (Beričnik Vrbovšek, 1999, 2000). Velike količine porabljenega lignita in visok delež fluoridov v njem sta razloga, da je Termoelektrarna Šoštanj oz. sežiganje premoga v njej brez dvoma najpomembnejši vir emisij fluoridov v Šaleški dolini. V obdobju 2004 – 2007 je bilo iz TEŠ v ozračje sproščenih 305.582 kg fluoridov, kar slednjo uvršča na drugo mesto po količini sproščenih fluoridov v ozračje v Sloveniji (preglednica 4).

Z raziskavo *Fluoridi na vplivnih območjih termoenergetskih objektov v Sloveniji* (Beričnik Vrbovšek, 2002), ki je potekala v letu 2001, so ugotovili, da so po izgradnji naprave za razžveplanje dimnih plinov na 5. bloku TEŠ vsebnosti fluoridov v dimnih plinih tega bloka močno upadle, in sicer z 8,1 mg/m^3 v januarju 2001 na približno 1,0 mg/m^3 v juliju in septembru 2001. Na bloku 4, kjer je bila razžveplalna naprava konstruirana že leta 1995, so bile emisijske koncentracije v celotnem letu 2001 zelo nizke v primerjavi s plini bloka 5 (približno 0,2 mg/m^3). Še vedno pa so bile zabeležene visoke emisije fluoridov na bloku 3 (10 – 13 mg/m^3).

Zaradi relativno velikih emisij iz TEŠ so v letu 1999 iglice smreke iz imisijskega območja TEŠ vsebovale več fluoridov (Max = 11,4 mg/kg v tekočem letniku; Max = 15,9 mg/kg v prvem letniku) kot tiste iz okolice Ljubljane (Max = 10,9 mg/kg oz. Max = 13,6 mg/kg) ali s Pokljuke (Max = 7,7 mg/kg oz. Max = 9,5 mg/kg). Ravno tako so obstajale razlike znotraj različnih vzorčnih lokacij Šaleške doline. Vsebnosti fluoridov v iglicah smrek na Velikem Vrhu in Zavodnjah so presegale že omenjeni mejni vrednosti za fluoride (10 mg/kg za iglice smreke prvega letnika; 8 mg/kg za iglice smreke tekočega letnika; Bundesgesetzblatt …, 1984) (Beričnik Vrbovšek, 2000). Po izgradnji razžveplalne naprave na bloku 5 so se v letu 2001 znižale tudi vsebnosti fluoridov v iglicah smreke. Kljub omenjenemu sanacijskemu ukrepu so v najbolj izpostavljenih predelih le-te še vedno ostale na meji dovoljenih vrednosti, in sicer na Velikem Vrhu (Max = 7,7 mg/kg v tekočem letniku; Max = 9,8 mg/kg v prvem letniku) in v Zavodnjah (Max = 7,5 mg/kg v tekočem letniku; Max = 10,0 mg/kg v prvem letniku) (Beričnik Vrbovšek, 2002).

Vsebnosti fluoridov v tleh pred izgradnjo razžveplalne naprave so bile najvišje na lokaciji Veliki vrh, in sicer je bila na globini 10 do 20 cm presežena (462 mg/kg, leto 1999) v Sloveniji veljavna mejna imisijska vrednost za tla (450 mg/kg; Uredba o mejnih …, 1996). Na tej lokaciji so tla vsebovala približno dvakrat več fluoridov kot v Zavodnjah ali na Kopah (povzeto po Beričnik Vrbovšek 1999, 2000).

Emisije iz TEŠ so se po letu 2000 drastično zmanjšale (predvsem prah in SO_2), vendar pa pri polni obremenitvi elektrarne zaradi omejene zmogljivosti razžveplalnih naprav občasno še vedno prihaja do povečanih emisij, ki imajo največji vpliv ravno na višje ležeče lokacije v bližini termoelektrarne, predvsem zaradi vpliva vetra določene smeri v višjih plasteh ozračja (Veliki Vrh) oz. zaradi nastanka temperaturne inverzije v zimskem času (Zavodnje) (Poličnik, 2008).

Raziskava vsebnosti fluoridov v rogovju srnjakov iz Šaleške doline (Pokorny in Justin, 2004) je pokazala, da vsebnosti fluoridov v rogovju odlično odražajo upad emisij plinastih onesnažil in prahu iz TEŠ ter posledično potrjujejo tudi uspešnost izvedenih sanacijskih ukrepov na njej. Najvišje vsebnosti so bile izmerjene v vzorcih iz začetka osemdesetih let prejšnjega stoletja ($\bar{a}$ = 1.464 ± 330 mg/kg; Me = 1.520 mg/kg; Max = 2.590 mg/kg), ko so bile največje tudi emisije iz šoštanjske termoelektrarne. Po letu 1990 so pričele emisije iz TEŠ upadati; vzporedno z njimi so se pričele kontinuirano zmanjševati tudi vsebnosti fluoridov v rogovju srnjakov, pri čemer sta bila zlasti izrazita mejnika v letih 1995 in 2000, tj. po začetku obratovanja naprav za razžveplanje dimnih plinov na 4. in 5. bloku TEŠ. Primerjava vsebnosti fluoridov v rogovju srnjakov iz Šaleške doline z vsebnostmi fluoridov iz nekaterih drugih območij Evrope (Porurje; Kierdorf U in Kierdorf H, 1999, 2000a, 2005) je pokazala, da Šaleška dolina kljub emisijam iz TEŠ in povišanim vsebnostim fluoridov ni bila nikoli ekstremno onesnažena s fluoridi.

Poleg TEŠ so v Šaleški dolini in v njeni okolici prisotni še drugi, nekaj velikostnih razredov manjši točkovni viri fluoridov. Po podatkih ARSO (Zrak, 2010) sem spadajo različni obrati podjetja Gorenje (proizvodnja gospodinjskih aparatov ter notranje opreme), in sicer na lokacijah Velenje, Šoštanj in Gorenje. V preteklosti je k povišanju emisij fluoridov v ozračje pripomoglo tudi kurjenje lokalnega premoga – velenjskega lignita v individualnih kuriščih, kar pa se je z začetkom proizvodnje toplotne energije ter izgradnjo daljinskega ogrevanja postopno končalo po letu 1971 (Rotnik, 2007).

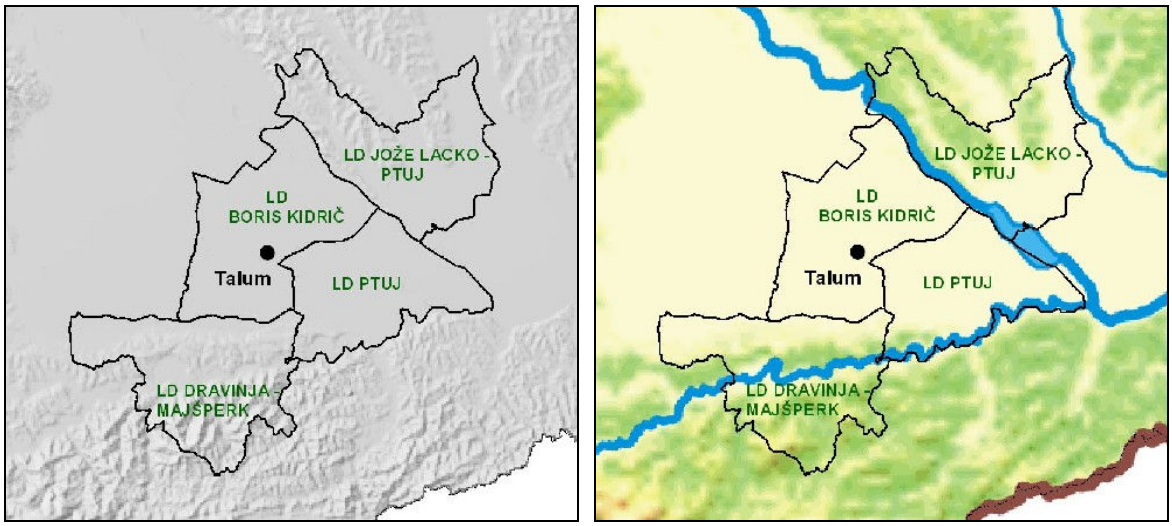
Slika 16: Termoelektrarna Šoštanj je največji vir fluoridov v ozračje v Šaleški dolini in drugi največji vir teh emisij v Sloveniji (foto: I. Jelenko, 2010).

Figure 16: The Šoštanj Thermal Power Plant is the major source of fluorides in the Šalek Valley and the second largest source of these pollutants in Slovenia (photo: I. Jelenko, 2010).

3.1.3 Okolica Kidričevega: Dravsko-Ptujsko polje, Dravinjske gorice, Haloze in Slovenske gorice

3.1.3.1 Geografski opis območja

Območje Kidričevega je v tej raziskavi umetno oblikovana prostorska enota, ki zajema območje lovišč štirih lovskih družin, ki ležijo v neposredni bližini največjega vira fluoridov v Sloveniji, tj. tovarne aluminija Talum d.d.. Le-ta se nahaja na robu naselja Kidričevo (od tod privzeto ime). Obravnavano območje zajema vzhodno polovico Dravskega polja, znotraj katerega ležita lovišči Boris Kidrič in Ptuj ter del lovišča Dravinja-Majšperk; del Dravinjskih goric in Haloz na jugu (lovišče Dravinja-Majšperk) ter del Slovenskih goric s severozahodnim delom Ptujskega polja (lovišče Jože Lacko – Ptuj) (slika 17).



Slika 17: Lokacija tovarne aluminija Talum in lovišča iz okolice Kidričevega, ki so vključena v raziskavo.
Figure 17: Location of the aluminium smelter Talum and hunting grounds of the Kidričevo area that are included in the research.

Dravsko polje je široka rečna dolina, v osrednjem delu zasuta z glacio-fluvialnim silikatnim prodom. Neposredno ob reki Dravi se vleče pas popolnoma nerazvitih tal, rambole, kjer kmetijska raba ni mogoča. Na holocenski ravnici ob Dravi so razvita siva aluvialna tla, z veliko vsebnostjo drobnega silikatno-karbonatnega peska. Večji del višje ležeče terase pokrivajo nekoliko bolj razvita in globoka siva aluvialna tla, kjer dobro uspevajo žita, krompir, koruza in detelja; tukaj prevladuje kmetijska raba. Osrednji prodnati del Dravskega polja sestavljajo oligotrofna tla, ki so precej plitva in manj primerna za kmetijsko obdelavo, zaradi česar prevladuje gozd. V preteklosti je bilo območje poraščeno z listnatimi gozdovi s hrastom dobom, gradnom in bukvijo. Danes prevladuje rdeči bor nizke rasti, pojavljajo se še smreka, dob, graden, breza, trepetlika in prav redko tudi bukev. Na južnem obrobju Dravskega polja se nahajajo mokrotni Čreti z zgoščeno rečno mrežo in neprepustnimi ilovnatimi nanosi. Tukaj so prvotno prisotne gozdove črne jelše danes spremenili v pašnike. Glavna vodna žila, ki na severu tudi omejuje Dravsko polje, je reka Drava, na kateri so zaradi njenega velikega pretoka številne hidroelektrarne (povzeto po Fridl in sod., 1998; Perko in Orožen Adamič, 1999; Atlas okolja, 2010).

Dravsko polje se na jugozahodu postopno dviguje v Dravinjske gorice in še južneje v Haloze (lovišče Dravinja-Majšperk). Dravinjske gorice so rahlo valovit nizek gričevnat svet na nadmorski višini med 200 in 300 m. Na neprepustnih ilovnatih nanosih Dravinje oz. njenih pritokov so se razvila siva oglejena tla, primerna za kmetijsko obdelavo. Južni del Dravinjskih goric leži na pleistocenskih sedimentih gline in melja, prekritih s pobočnim psevdoglejem, ki ga porašča kisloljuben gozd bukve, hrasta in kostanja. Reka Dravinja loči Dravinjske gorice od Haloz, ki predstavljajo višji gričevnat svet in hribovje na nadmorski višini med 400 in 650 m. Tukaj so se na laporju razvile plitve rendzine in evtrična rjava tla, ki so pokrita z ekstenzivnimi travniki in zmerno kisloljubnimi gozdovi bukve, hrasta in kostanja (povzeto po Fridl in sod., 1998; Perko in Orožen Adamič, 1999).

Lovišče Jože Lacko – Ptuj je edino, ki leži na levem bregu reke Drave, in sicer na Ptujskem polju ter jugozahodnem delu Slovenskih goric. Slednje so sestavljene iz nizkih slemen in gričev s pogostimi uravnavami na nadmorski višini okoli 400 m, ki so erodirani ostanki nekoč enotnega miocenskega ravnika. Med kamninami prevladujejo peski, gline in laporji, kjer so se razvila rodovitna evtrična rjava tla. Na območju prevladuje vinogradništvo; gozdovi so skoraj popolnoma izkrčeni (Fridl in sod., 1998; Perko in Orožen Adamič, 1999).

Za celotno obravnavano območje je značilno zmerno celinsko podnebje vzhodne Slovenije z vročimi poletji in sorazmerno hladnimi zimami (Fridl in sod., 1998). Povprečna letna temperatura znaša med 9,7 in 9,9 ºC; povprečna letna količina padavin se giblje med 950 mm na vzhodu do 1.110 mm na jugozahodu. Največ padavin pade v poletnih in tudi jesenskih mesecih, kar je ugodno za rastje, a so te padavine pogoste v obliki poletnih nalivov, nemalokrat z nevihto in točo. Na obravnavanem območju so pogoste tudi poletne suše, ki prizadenejo naravno rastje in kmetijstvo. Debelina snežne odeje običajno ne presega 50 cm; njeno trajanje se proti vzhodu zmanjšuje. Za Dravsko polje je značilna precejšnja vetrovnost; prevladujejo zahodno vetrovi. Zlasti jeseni pihajo močnejši severni oz. severovzhodni vetrovi kot značilen mrzel veter, krivec (Perko in Orožen Adamič, 1999; Zych in Mihelač, 2004).

Slika 18: Satelitska slika območja okolice Kidričevega (Google Maps, 2010).
Figure 18: Satellite image of the Kidričevo area (Google Maps, 2010).

3.1.3.2 Onesnaženost okolice Kidričevega s fluoridi

Nekaj kilometrov južno od naselja Kidričevo se znotraj gozdnega kompleksa nahaja velik industrijski obrat Talum, tovarna aluminija d.d. Kidričevo, ki je po podatkih ARSO (Zrak, 2010) največji točkovni vir fluoridov v ozračje v Sloveniji (preglednica 4). V letu 2009 so proizvedli 35.148 t elektroliznega aluminija (41 % polne zmogljivosti) ter ustvarili 88.389 t blagovne proizvodnje proizvodov iz aluminija (livarske zlitine, drogovi, rondelice, izparilniki, ulitki) (Toplek, 2010).

Zgodovina proizvodnje aluminija v tovarni aluminija Talum

Začetki industrijske dejavnosti na območju Kidričevega so se začeli leta 1942, ko so pričeli z gradnjo prve tovarne glinice (aluminijev oksid; Al_2O_3). To območje je bilo primerno za gradnjo večjega industrijskega kompleksa, saj je bilo zaradi nerodovitne zemlje kmetijsko nezanimivo, poleg tega je bilo komunalno že opremljeno. Leta 1946 so začeli s konstrukcijo nove tovarne, ki je bila končana leta 1954. Redna proizvodnja glinice in aluminija je stekla v letu 1955, takratna zmogljivost tovarne je bila 45.000 t glinice in 15.000 t aluminija na leto. Že leta 1957 so s francoskim podjetjem sklenili pogodbo za povečanje zmogljivosti na 80.000 t glinice na leto; leta 1963 je bila končana tudi gradnja elektrolizne hale B z zmogljivostjo 42.000 t aluminija letno. Leta 1983 je uporabo mazuta zamenjal zemeljski plin.

Novo vodstvo tovarne je leta 1984 pričelo z obsežno prenovo proizvodnih procesov (modernizacija proizvodnje primarnega aluminija: MPPAl) in jo razdelilo v dve fazi. V okviru prve faze MPPAl sta bili leta 1988 zgrajeni elektrolizna hala C1 na predpečeno anodo s čistilno napravo in tovarna anodnih blokov; ravno tako je bil obrat za elektrolizno halo B rekonstruiran na predpečeno anodo. Leta 1989 je začela obratovati nova livarna s klasičnim livarskim programom. Z novo tehnologijo se je Tovarna glinice in aluminija Boris Kidrič uvrstila med najsodobnejše svetovne proizvajalce aluminija.

Proizvodnjo glinice in aluminija v Kidričevem so na začetku devetdesetih let 20. stoletja zaznamovale velike spremembe. Odločilen preobrat na področju varovanja okolja in hkrati simboličen dogodek v letu 1991 je bila ukinitev elektrolizne hale A, v kateri so od leta 1954 proizvedli 663.000 t Al. Leta 1991 so ukinili tudi proizvodnjo metalurške glinice; skupaj so jo do takrat proizvedli 3,4 milijone t.

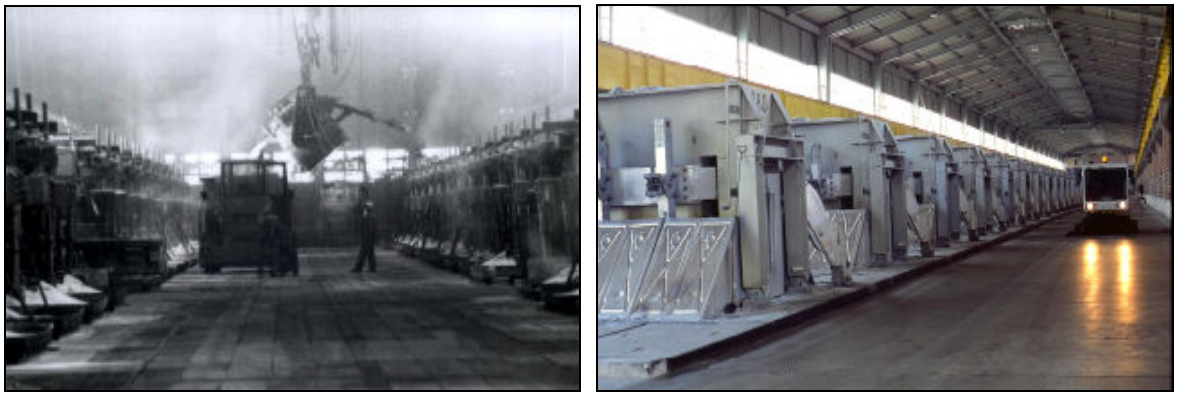
V drugo fazo programov za modernizacijo proizvodnje primarnega aluminija je sodila gradnja elektrolizne hale C2; prva zemeljska dela so stekla leta 2001, obratovati pa je začela maja 2002. Do avgusta 2004 so v elektroliznih halah C1 in C2 proizvedli 756.336 t primarnega aluminija, vsa proizvodnja aluminija od začetkov v letu 1954 do avgusta 2004 pa je znašala zavidljivih 2.560.069 t. Leta 2003 so zgradili sodobno livarno livarskih zlitin, v proizvodnjo pa v vedno večjih količinah vključujejo sekundarni aluminij. Po 44-tih letih so morali konec leta 2007 zaradi pridobitve okoljevarstvenega dovoljenja s strani ARSO ustaviti proizvodnjo aluminija v elektrolizni hali B. Tako so zaključili proces prestrukturiranja proizvodnje ter prestopili v novo strategijo razvoja, ki pomeni povečano uporabo sekundarnega aluminija v proizvodnji in posledično okolju prijaznejše delovanje (opis poglavja je povzet po Levanič, 2007; Toplek, 2008; Talum, 2010).

Proces pridobivanja aluminija

V tovarni aluminija Talum pridobivajo aluminij z elektro-kemijskim procesom v elektroliznih celicah, kjer se glinica (Al_2O_3) razkraja na svoje komponente, in sicer na aluminij in kisik. Proces poteka pri temperaturi med 950 in 970 °C v raztopini elektrolita, čigar glavna sestavina je kriolit (Na_3AlF_6; 82,5 – 84 %), preostale spojine pa so AlF_3 (12 – 13 %), CaF_2 (3 – 4,5 %) in Al_2O_3 (1 – 3 %).

Za potek procesa je potreben enosmerni električni tok, ki teče skozi elektrolizno celico od anode na katodo in na svoji poti razgrajuje glinico. Tekoči aluminij se zbira na katodi v katodnem koritu. Ko količina tekočega aluminija v katodi doseže določeno višino, se del tega aluminija v točno določenih časovnih presledkih izčrpa v posebne lonce. V njih aluminij prepeljejo v livarne. Druga komponenta glinice, kisik, se pri procesu veže z ogljikom iz anode, zaradi česar se anode obrabijo in jih je potrebno v ciklusu menjavati z novimi.

Kot surovina se **pri procesu elektrolize pojavljajo tudi fluorove soli** (kriolit, aluminijev in kalcijev fluorid), ki tvorijo elektrolit. **Te soli se na visokih temperaturah porabljajo oziroma hlapijo in v obliki plinov emitirajo v okolje** (slika 19). Pri sodobnih celicah se plini zbirajo in vodijo skozi čistilni sistem, kje se v dotiku z aktivno glinico absorbirajo in ponovno vrnejo v proces elektrolize. Drugi manjši del fluorovih soli prodira na dno celice v katodo.



Slika 19: Elektroliza B (levo) in elektroliza C (desno) v tovarni aluminija Talum (Levanič, 2007).
Figure 19: Potline B (left) and potline C (right) in the aluminium factory Talum (Levanič, 2007).

S prenehanjem delovanja elektrolize B v letu 2007 se je močno zmanjšal negativen vpliv Taluma na okolje, saj primarni aluminij proizvajajo samo še v pečeh elektrolize C (slika 19). Tukaj je proizvodni proces skoraj popolnoma avtomatiziran in deluje na podlagi trenutno najsodobnejše tehnologije, ki jo je razvilo francosko podjetje Aluminium Pechiney. Z okoljskega vidika je pomembno predvsem dejstvo, da so pri tem postopku vse elektrolizne celice pokrite in priključene na odvlek plinov preko zbirnih plinovodov. Čiščenje plinov poteka po suhem postopku; sveža glinica absorbira fluor, ki hlapi in se preko vrečastih filtrov zbira in transportira v proces na elektrolizne peči. Učinkovitost takega sistema je izredno velika, saj je zbiranje plinov učinkovito do 97 %, čiščenje pa skoraj do 99 % (povzeto po Levanič, 2007; Verdenik, 2008; Talum, 2010).

Emisije fluoridov in onesnaženost okolja s temi snovmi

V Talumu se pri procesih pridobivanja aluminija sproščajo predvsem prah, prašni in plinski fluoridi, ogljikov dioksid in organski ogljik. Od leta 2003 do 2006 so po povečanju proizvodnje primarnega aluminija v ozračje izpustili 15 do 20 kg prahu na tono aluminija (35 kg/t aluminija leta 2000), 8 do 10 kg žveplovega dioksida (5,6 kg/t SO_2 leta 2000) in 1,4 kg/t plinskih fluoridov (3,2 kg/t leta 2000) (Homšak, 2007). Slednje presega v letu 2007 novo določeno mejno vrednost plinastih fluoridov (izraženih kot F^-) za naprave za elektrolizno proizvodnjo aluminija (0,5 kg/t Al; Uredba o emisiji …, 2007).

Talum Kidričevo je v obdobju 2002 – 2007 v ozračje emitiral 1.868.785 kg elementarnega fluora ter 14.157 kg vodikovih fluoridov (HF) (Zrak, 2010), kar je neprimerljivo več kot drugi največji vir teh snovi v Sloveniji (TEŠ (2004 – 2007): 305.582 kg HF) oz. tretji največji vir (TET (2004 – 2007): 139.569 kg HF). Letno so v omenjenem obdobju v ozračje izpustili med 175.190 in 419.802 kg F^- ter med 3.780 in 6.128 kg HF. Zaradi prenehanja delovanja elektrolize B v letu 2007 so emisije fluoridov v letu 2008 izjemno upadle, in sicer na 4.102 kg F^- (*sic!*) in 1.338 kg HF (*ibid*.).

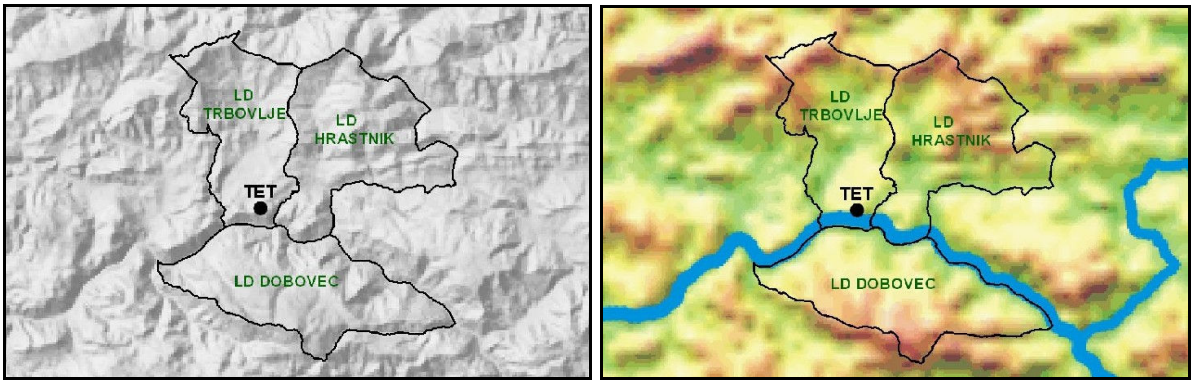
Kljub temu, da Talum že 10 let sistematično opravlja monitoring plinastih fluoridov na območju Kidričevega (Talum, 2010) ter redno objavlja okoljska poročila, so dostopni podatki o vplivih fluoridov na okolje v okolici Kidričevega zelo redki. V raziskavi onesnaženosti tal Slovenije (ROTS) so v letu 1991 na štirih lokacijah izmerili vsebnosti fluoridov v tleh v okolici Kidričevega med 320 in 480 mg/kg. V letu 2005 so poleg običajne sheme vzorčenja ROTS opravili še dodaten odvzem vzorcev tal in rastlin. V talnih vzorcih so izmerili vsebnosti fluoridov med 310 in 480 mg/kg na globini 0 do 5 cm ter med 440 in 520 mg/kg na globini 5 do 20 cm (Zupan in sod., 2006). Pri tem so štirje od desetih vzorcev presegali dovoljeno mejno imisijsko vrednost za fluoride v tleh (450 mg/kg; Uredba o mejnih …, 1996). Nižje vsebnosti se načeloma pojavljajo v gozdni pokrajini (Zupan in sod., 2006), predvsem zaradi prestrezanja zračnega useda fluoridov prek drevesnih krošenj (Notcutt in Davies, 2001; Franzaring in sod., 2006).

V preteklosti je bila narejene tudi ocena vpliva onesnaženosti zraka na vplivnem območju industrijske cone Kidričevo (Cigler, 2000, cit. po Zupan in sod., 2006). Ugotovili so, da je znotraj premera 1 km od Taluma zaznati precejšnje onesnaženje rastlin s fluoridi (>200 mg/kg suhe snovi), z razdaljo pa se te koncentracije hitro nižajo ter na razdalji 5 km od tovarne znašajo le še 30 mg/kg s.s.

3.1.4 Zasavje

3.1.4.1 Geografski opis območja

Območje Zasavja v tej raziskavi zajema tri lovišča, in sicer lovišča Hrastnik, Trbovlje ter Dobovec (slika 20). V nadaljevanju tega dela je izraz Zasavje uporabljen predvsem za prostorsko enoto omenjenih treh lovišč.



Slika 20: Lokacija Termoelektrarne Trbovlje (TET) in lovišča Zasavja, ki so vključena v raziskavo.
Figure 20: Location of the Trbovlje Thermal Power Plant (TET) and hunting grounds of Zasavje area that are included in the research.

Zasavje leži v osrčju Posavskega hribovja, v porečju reke Save med Litijo in Radečami. Zajema tri ozke doline, ki so locirane pravokotno na dolino Save, skozi katero poteka vsa glavna (tranzitna) infrastruktura. Omenjene doline obdaja okoliško hribovje s povprečno nadmorsko višino med 500 in 1.000 m; nekoliko višje se vzpenjajo le posamezni vrhovi na severu (Čemšeniška planina – 1.204 m; Mrzlica – 1.122 m) in jugu (Kum – 1.220 m). Severni del obravnavanega območja sestavljajo karbonski in permski glinasti skrilavci, peščenjaki ter konglomerati, delno tudi triasni dolomiti ter miocenski laporji. Južni del območja sestavljajo triasni dolomiti in apnenci. Dno savske doline pokriva glacio-fluvialni prod.

Na silikatnih glinavcih, peščenjakih in konglomeratih so se razvila kisla rjava tla in ponekod rankerji; strma apnenčasta in dolomitna pobočja prekrivajo plitve rendzine; na savskih terasah se nahajajo plitva in srednje globoka karbonatna obrečna tla. Zaradi pestre kamninske ter talne sestave je raznovrstno tudi rastje. Skoraj dve tretjini pokrajine pokriva listnati oz. mešani gozd. Od drevesnih vrst lahko tukaj zasledimo predvsem bukev, kostanj, hrast, rdeči bor in gaber.

Zasavje ima zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije s povprečno količino padavin med 1.200 in 1.300 mm. Povprečna letna temperatura znaša med 8 in 10 ºC; na najvišjih predelih med 6 in 8 ºC. Snežna odeja obleži med 50 in 60 dni, v višjih lega lahko tudi bistveno dlje (100 dni). Prevetrenost omenjenih treh zasavskih dolin je majhna, kar pripomore k slabim razmeram okolja v Zasavju. Najbolj kritične razmere so v zimskih mesecih, ko se zaradi temperaturne inverzije onesnažen zrak več dni zadržuje nad dolinskim dnom (opis poglavja je povzet po Fridl in sod., 1998; Perko in Orožen Adamič, 1999; Bienelli Kalpič, 2002).

3.1.4.2 Onesnaženost Zasavja, s poudarkom na fluoridih

Regija Zasavje, predvsem pa njena ekološka problematika, je bila v zadnjih dveh desetletjih precej proučevana; med drugim obstajajo številne študije, elaborati in strokovne podlage, narejene na temo poškodovanosti gozdov (Kalan in Simončič, 1994; Bienelli Kalpič, 2002, 2004), kartiranje lišajev (Poličnik, 2008) ter vsebnosti težkih kovin tako v anorganskih (Kugonič, 1998; Kugonič in Šešerko, 1998) kot tudi v organskih medijih (Kugonič in Grčman, 1999; Pokorny, 2000, 2003; Pokorny in Al Sayegh Petkovšek, 2005; Al Sayegh Petkovšek, 2008). Narejene so bile tudi celovite študije o vplivu TET oz. ostalih industrijskih objektov na okolje v Zasavju (npr. Flis in sod., 2002).

Zasavje je močno zaznamovano z rudarjenjem in vzporednim razvojem industrije. Prav tradicionalna zasavska navezanost na premog, bazična industrija in neugodne meteorološke razmere so poglavitni razlogi za veliko onesnaženost tega območja. V Zasavju začetek pravega rudarjenja sega v leto 1804, ko so odprli prvi dnevni kop. Leta 1906 je začela obratovati prva kalorična elektrarna na premog, ki so jo postopno dograjevali. Leta 1939 je pričela obratovati povečana in modernizirana elektrarna (Termoelektrarna Trbovlje; TET 1 – 56,5 MW) s 45 m visokim dimnikom. Le-tega so leta 1942 zamenjali z novim, 110-metrskim, kar je imelo za posledico močno onesnaženje okoliškega hribovja. Posledično so leta 1943 namestili elektrofiltre. TET 1 je bila v 50-tih letih 20. stoletja največja elektrarna tedanje Jugoslavije, z dnevnimi emisijami SO_2 okoli 60 t. Leta 1968 je pričela obratovati TET 2 (125 MW) z 80-metrskim dimnikom; emisije SO_2 so se povečale na 150 t/dan, kar je že po nekaj mesecih povzročilo propad lokalne vegetacije. Posledično so leta 1976 zgradili 360 m visok dimnik, ki je segal nad inverzijsko plast, kar pomeni, da se je onesnaženost razporedila na bistveno širše območje. Leta 2005 je začela obratovati naprava za čiščenje dimnih plinov, s čimer so zaključili okoljsko sanacijo družbe. Posledično so se letne emisije SO_2 zmanjšale s 30.000 t/letno pod 2.000 t/letno. Hkrati so se zmanjšale tudi emisije skupnega prahu in težkih kovin. Uvedba razžveplanja dimnih plinov je tako pripomogla k izboljšanju kakovosti zraka v zasavski regiji (povzeto po Flis in sod., 1998; Pokorny, 2003; Poličnik, 2008; Termoelektrarna Trbovlje, 2010).

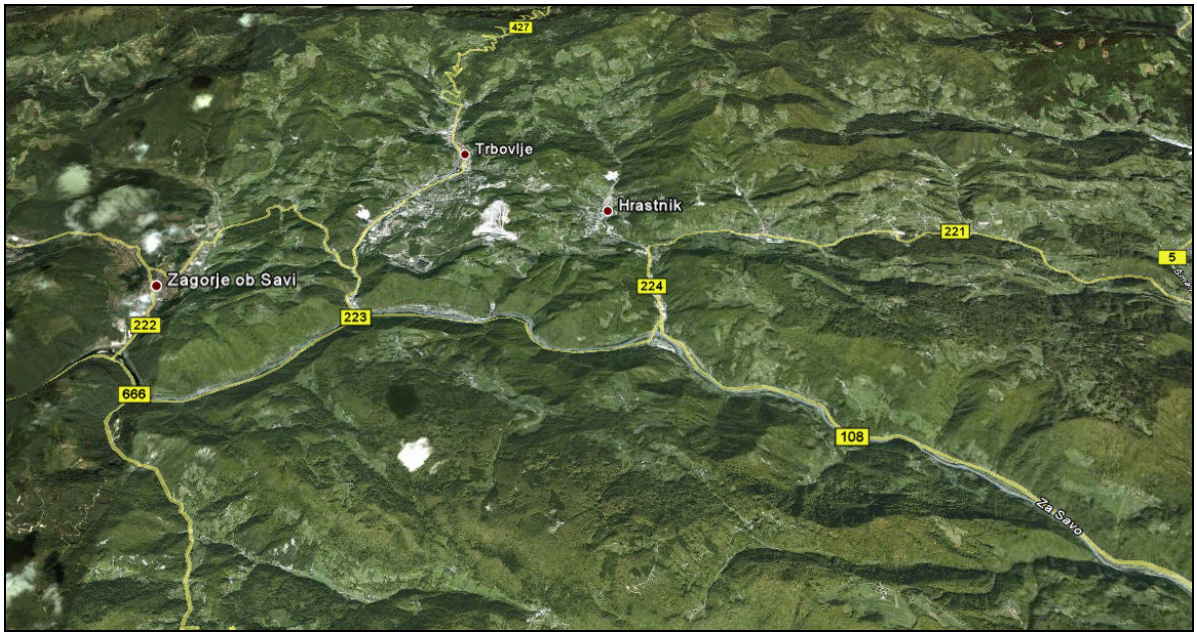
Danes je TET največji elektroenergetski objekt v Zasavju, ki proizvede eno šestino električne energije v Sloveniji. V letu 2007 so proizvedli 629 GWh električne energije in pri tem porabili 597.600 t premoga, 2.500 t biomase ter 669.500 l ekstra lahkega kurilnega olja – v dveh plinskih blokih (Termoelektrarna Trbovlje, 2010). Zasavski premog, ki ga kurijo v TET, ima visoke vsebnosti fluoridov (136 – 180 mg/kg), in sicer celo več kot velenjski lignit (126 – 138 mg/kg), ki ga kurijo v TEŠ (Beričnik Vrbovšek, 1999, 2000), zaradi česar so bili negativni vplivi emisij fluoridov v Zasavju vse do leta 2005, ko je začela obratovati naprava za čiščenje dimnih plinov, precej velik. Žal konkretnih podatkov o preteklih emisijah fluoridov ne poznamo; po podatkih ARSO (Zrak, 2010) pa je opazen upad emisij teh snovi iz 85.750 kg v letu 2005 na le 18.000 kg v letu 2006 (preglednica 4). V obdobju 2004 – 2007 je bilo iz TET v ozračje tako skupaj sproščenih 139.569 kg vodikovih fluoridov (*ibid.*), kar TET uvršča na tretje mesto po količini sproščenih fluoridov v ozračje v Sloveniji.

Drugi vir onesnaženosti zraka s fluoridi v Zasavju predstavlja Lafarge Cement (v preteklosti Cementarna Trbovlje). Slednji je v obdobju 2003 – 2007 sprostil v ozračje letno med 160 in 360 kg vodikovih fluoridov (Zrak, 2010). Poleg tega se v Zasavju nahaja še Steklarna Hrastnik, ki pa letno v ozračje sprosti manj kot 50 kg vodikovih fluoridov (*ibid*.).

Onesnaženost zraka v Zasavju spremljajo postaje analitsko-nadzornega alarmnega sistema, t. i. sistem ANAS postaj, ki je voden s strani ARSO. Poleg tega se na območju Zasavja meritve onesnaženosti zraka spremljajo tudi z dopolnilno mrežo Termoelektrarne Trbovlje, t. i. EIS-TET (ekološko-informacijski sistem Termoelektrarne Trbovlje) (Bienelli Kalpič, 2002). Žal na nobeni izmed merilnih postaj ne spremljajo imisij fluoridov. Poleg tega je kljub številnim raziskavam, opravljenim v tej regiji, poznavanje koncentracij fluoridov v okolju Zasavja oz. poznavanje vplivov teh snovi na žive organizme slabo proučeno. Obstajajo le določeni podatki o vsebnostih fluoridov v tleh ter študija o vsebnosti fluoridov v iglicah smreke.

Analize vsebnosti skupnih fluoridov v tleh na podlagi ROTS, ki so bile narejene v obdobju 1989 – 2007, so pokazale, da ima Zasavje višje vsebnosti fluoridov v tleh ($\bar{a}$ = 411 mg/kg; n = 10), kot je povprečje za celotno Slovenijo ($\bar{a}$ = 310 mg/kg; n = 20; Zupan in sod., 2008). Podatkov je žal za statistično obdelavo premalo, kljub temu pa nakazujejo na antropogeni vpliv na tem območju, saj izmerjene vsebnosti fluoridov v tleh Zasavja v štirih od desetih vzorcev prekoračujejo mejno imisijsko vrednost za fluoride v tleh (450 mg/kg; Uredba o mejnih…, 1996) (Zupan in sod., 2006). Po podatkih raziskave *Fluoridi na vplivnih območjih termoenergetskih objektov v Sloveniji* (Beričnik Vrbovšek, 2000) so bile ravno tako skoraj vse izmerjene vsebnosti fluoridov v tleh treh lokacij Zasavja na globini 0 do 10 cm (Kovk: 741 mg/kg; Čeče: 284 mg/kg; Dobovec: 478 mg/kg) ter tudi na globini 10 do 20 cm (Kovk: 704 mg/kg; Čeče: 636 mg/kg; Dobovec: 787 mg/kg) višje od mejnih imisijskih vrednosti.

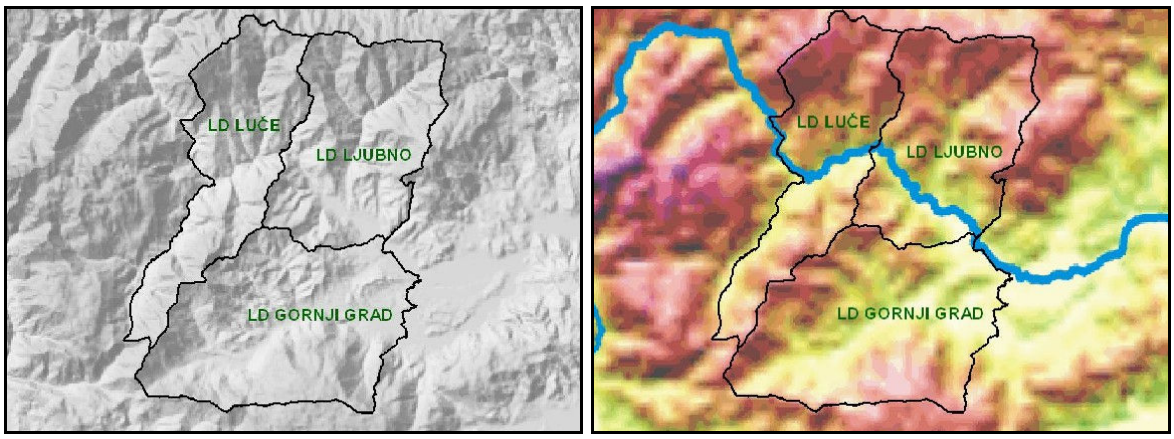
V že omenjeni raziskavi Beričnik Vrbovškove (2000) so največje vsebnosti fluoridov v iglicah smreke iz štirih različnih območij Slovenije podali ravno za Zasavje, in sicer med 3,6 in 11,5 mg/kg v iglicah tekočega letnika ter med 6,4 in 22,1 mg/kg v iglicah prvega letnika. Pri tem so bile mejne imisijske vrednosti presežene na vseh treh lokacijah vzorčenja smreke, in sicer tako pri iglicah smreke tekočega letnika kot tudi pri iglicah smreke prvega letnika.



Slika 21: Satelitska slika Zasavja (Google Maps, 2010).
Figure 21: Satellite image of the Zasavje area (Google Maps, 2010).

3.1.5 Zgornja Savinjska dolina

Termin Zgornja Savinjska dolina v disertaciji uporabljamo le za območje treh lovišč, in sicer Ljubno, Luče ter Gornji Grad, ki ležijo v centralnem delu same Zgornje Savinjske doline (slika 22). Zgornja Savinjska dolina v tej raziskavi predstavlja referenčno oz. kontrolno območje, za katero je značilno gozdarstvo, živinoreja in turizem. Večjih industrijskih obratov na tem območju ni; antropogene emisije fluoridov v okolje niso zabeležene (Zrak, 2010).



Slika 22: Lovišča Zgornje Savinjske doline, ki so vključena v raziskavo.
Figure 22: Hunting grounds of the Upper Savinja Valley that are included in the research.

Kontrolno območje Zgornje Savinjske doline v tej raziskavi zajema južni del Raduhe (2.062 m) in Travnika (1.637 m), zahodni del Mozirskih planin in Smrekovca (1.517 m), dolino Savinje od Robanovega kota do Radmirja, Rogatec (1.557 m) in Lepenatko, dolini Lučnice in Drete ter severni del Menine (1.508 m). Gre za strm, hribovit svet z vmesnimi ozkimi hudourniškimi dolinami. Geološka starost kamnin je precej različna. Zahodni del območja tvorijo oligocenske predornine s tufi (Smrekovec, Travnik, Krnica); Raduha in Menina sta predvsem iz apnenca in dolomita triasne starosti, medtem ko je Rogatec (osrednji del območja) kamninsko zelo pester, saj ga tvorijo tako triasni dolomiti, glinovci in meljevci, starejše predornine s tufi in na zahodu tudi pas peščenjakov in konglomeratov triasne oz. oligocenske starosti. V nižjih legah ob Savinji in Dreti se nahajajo mlajše prodne usedline. Na silikatnih kamninah so se razvila kisla rjava tla, na skalnem površju karbonatnih kamnin pa prevladujejo nerazvita surova tla, regosoli. Na bolj položnih delih karbonatnih pobočij najdemo rendzino, pa tudi rjava pokarbonatna tla. Na ravninskih prodnih nanosih prevladujejo rjava tla različne debeline in zakisanosti. Zgornja Savinjska dolina je ena izmed najbolj gozdnatih območij Slovenije, a so ostanki naravnih gozdov redki, saj prvotne listnate in mešane sestoje izpodrivajo umetno nasajeni iglasti sestoji. Prevladujoči drevesni vrsti sta bukev in smreka. Severovzhodni del območja ima zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije, jugozahodni del (Rogatec, Menina) pa podnebje višjega gorskega sveta. Povprečna količina padavin se giblje med 1.400 in 1.800 mm; povprečna letna temperatura zraka je med 6 in 8 ºC, le na najvišjih vrhovih med 2 in 4 ºC. Poselitev na tem območju je skoncentrirana znotraj rečnih dolin, na okoliškem hribovju so posamezni zaselki in samotne kmetije v celkih (povzeto po Fridl in sod., 1998; Perko in Orožen Adamič, 1999; Zych in Mihelač, 2004).

Slika 23: Satelitska slika Zgornje Savinjske doline (Google Maps, 2010).
Figure 23: Satellite image of the Upper Savinja Valley (Google Maps, 2010).

3.1.6 Naravovarstveno pomembna območja Slovenije

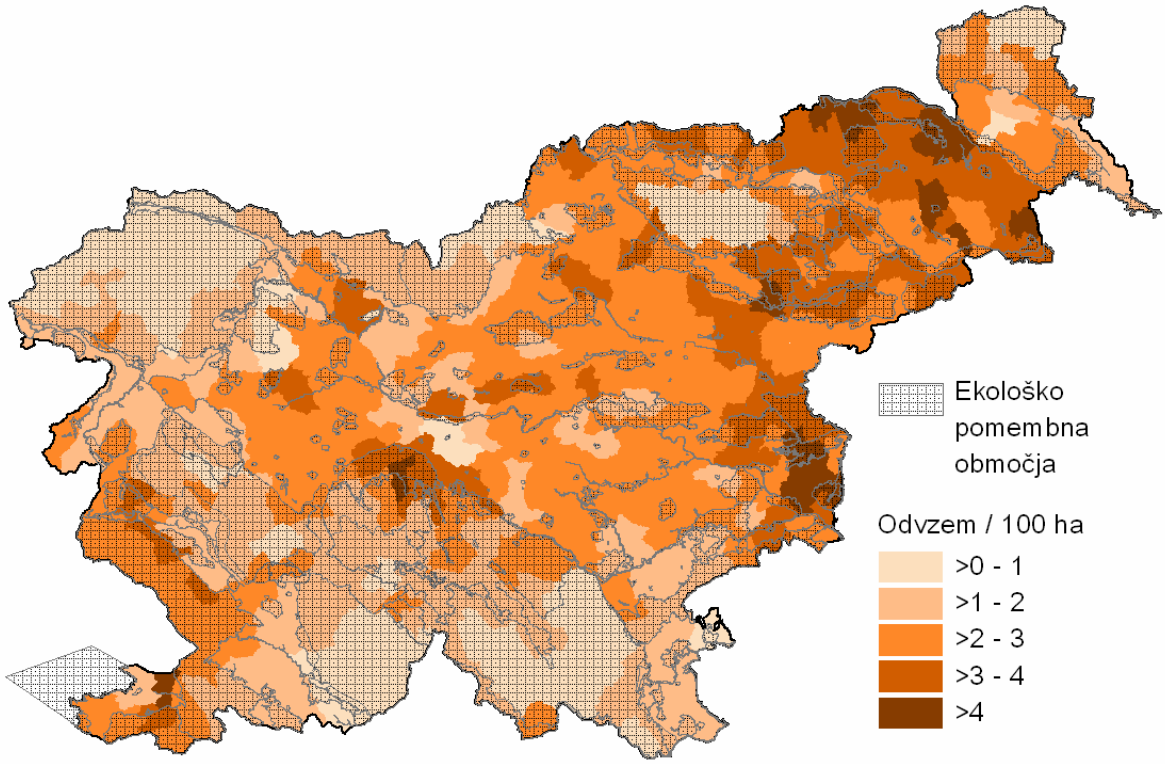
Kljub temu, da je Slovenija ena najmanjših držav v Evropi, je po ohranjenosti ekosistemov in biodiverziteti med enimi najpomembnejših "vročih točk" ohranjenosti narave. Zaradi stika štirih naravnogeografskih enot je pokrajina zelo raznolika z različnimi ekosistemi in habitatnimi tipi. Posledično je velika diverziteta rastlinskih in živalskih vrst (med 13.000 in 15.000 živalskih vrst, več kot 3.200 vrst višjih rastlin; Mršič, 1997), med katerimi je tudi veliko zavarovanih (npr. 41 vrst sesalcev, 136 vrst ptic, 20 vrst plazilcev, 19 vrst dvoživk, 635 vrst višjih rastlin; Pravilnik o uvrstitvi …, 2002).

Z doktorskim delom smo se v naravovarstvenem smislu usmerili na naravovarstveno pomembna območja (ekosistemi, habitati) Slovenije, in sicer le na prostorsko večje enote, ki jih lahko relevantno vključimo v analize. Opredelitev, pravni status in varstvo teh območij je opredeljen z Zakonom o ohranjanju narave (2004), Uredbo o ekološko pomembnih območjih (2004), Uredbo o posebnih varstvenih območjih (območja Natura 2000) (2004) ter dodatnimi individualnimi pravnimi akti, ki zadevajo posamezna območja (npr. Zakon o Triglavskem narodnem parku, 2010). Način in strategija varstva narave (ohranjanje biotske raznovrstnosti in varstvo naravnih vrednot) v Sloveniji je podrobneje predstavljeno v publikacijah *Strategija ohranjanja biotske raznovrstnosti v Sloveniji* (2002), *Organiziranost varstva narave v Sloveniji* (Skoberne, 2005) ter *Sistem varstva narave v Sloveniji* (Berginc in sod., 2007). V nadaljevanju po teh ter še nekaterih drugih delih na kratko povzemamo pregled naravovarstveno pomembnih območij Slovenije, vključenih v raziskavo.

3.1.6.1 Ekološko pomembna območja

Ekološko pomembna območja (EPO) so območja, ki so na strokovni ravni prepoznana kot biotsko najvrednejša in najpomembnejša ter pomembno prispevajo k ohranjanju biotske raznovrstnosti. Njihova opredelitev (Uredba o ekološko …, 2004) je ena od bistvenih nalog varstva slovenske biotske raznovrstnosti. Varstveni režimi v teh območjih so blagi, zlasti v obliki usmeritev za načrtovanje rabe prostora in naravnih dobrin ter izvajanjem spodbujevalnih ukrepov, s čimer se zagotavlja širše ohranjanje biotske raznovrstnosti na obsežnih površinah, povezanost območij Natura 2000 in zagotavljanje tamponskih con okoli njih (Berginc in sod., 2007).

Za EPO območja so opredeljena tista, kjer so: (i) habitatni tipi redki ali ogroženi, visoko reprezentativni, obsežno razširjeni ali dobro ohranjeni; (ii) habitati ali deli habitatov rastlinskih ali živalskih vrst, ki so ogrožene; (iii) raznolika območja z nadpovprečno velikim številom različnih habitatnih tipov oz. habitatov vrst; (iv) pomembne selitvene poti živali; (v) območja, pomembna za zagotavljanje genske povezanosti populacij; (vi) območja, ki s svojo uravnoteženo biogeografsko razporejenostjo pomembno prispevajo k celovitosti ekološkega omrežja in s tem k ohranjanju naravnega ravnovesja; (vi) območja, ki izpolnjujejo merila za opredelitev območij Natura 2000 (povzeto po Uredbi o ekološko …, 2004; Berginc in sod., 2007). Ekološko pomembna območja so eno izmed izhodišč za izdelavo naravovarstvenih smernic in so obvezno izhodišče pri urejanju prostora in rabi naravnih dobrin (Strategija ohranjanja …, 2002; Narava, 2010).



Slika 24: Ekološko pomembna območja v primerjavi z gostoto odvzema srnjadi v letu 2007.
Figure 24: Ecologically important areas with the mortality of roe deer in 2007.

Na podlagi Uredbe o ekološko pomembnih območjih (2004) je bilo v letu 2004 v Sloveniji opredeljenih 307 ekološko pomembnih območij različne velikosti, ki skupaj predstavljajo 45 % ozemlja države. Največje ekološko pomembno območje, ki se prekriva z nekaterimi ostalimi, je osrednje območje življenjskega prostora velikih zveri, ki zavzema 17 % Slovenije (Berginc in sod., 2007). Na sliki 24 so prikazana vsa ekološko pomembna območja v Sloveniji; zaradi namena te disertacije je podana tudi gostota odvzema srnjadi leta 2007.

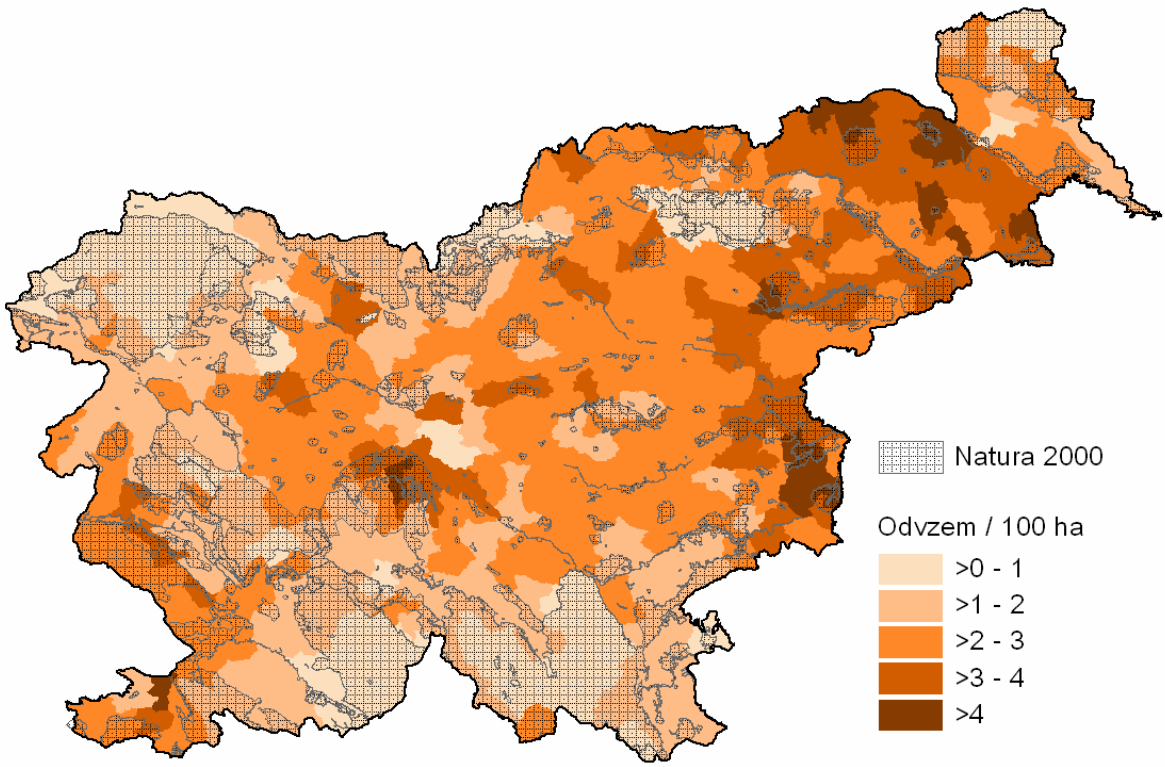
3.1.6.2 Posebna varstvena območja (območja Natura 2000)

Območja Natura 2000 so ekološko pomembna območja, ki so na ozemlju Evropske unije pomembna za ohranitev ali doseganje ugodnega stanja ptic in drugih rastlinskih in živalskih vrst, njihovih habitatov in habitatnih tipov (Skoberne, 2003; Berginc in sod., 2007). Pravno podlago za vzpostavljanje teh območij predstavljata evropski direktivi *Direktiva o ohranjanju naravnih habitatov ter prostoživečih živalskih in rastlinskih vrst* (1992) (v nadaljevanju Habitatna direktiva) in *Direktiva o ohranjanju prostoživečih ptic* (2009) (v nadaljevanju Ptičja direktiva).

V Sloveniji smo na podlagi teh dveh direktiv sprejeli Uredbo o posebnih varstvenih območjih (območja Natura 2000) (2004), na podlagi katere so se osnovala posebna ohranitvena območja (SAC – *special area of conservation*) za ohranjanje prostoživečih stalnih in redno pojavljajočih se migratornih vrst ptic ter posebna območja varstva (SPA – *special protected areas*) za ohranjanje rastlin, živali in habitatnih tipov; SPA in SAC skupaj predstavljajo posebna varstvena območja ali območja Natura 2000. Z omenjeno uredbo je bilo določenih 286 Natura 2000 območij, od tega 26 SPA območij (22,8 %), katerih vključitev v evropsko omrežje Natura 2000 je že zaključeno, ter 260 pSCI (potencialna posebna ohranitvena območja, predstavljajo SAC), ki zajemajo 31,6 % države in katerih proces vključitve v evropsko omrežje še poteka. Ker se območja SPA in pSCI precej prekrivajo, zajema omrežje Natura 2000 35,5 % Slovenije; 25 % skupne površine Natura 2000 območij predstavljajo zavarovana območja Slovenije (TNP, regijski in krajinski parki ter rezervati in naravni spomeniki) (Skoberne, 2003, 2005; Berginc in sod., 2007).

Posebna varstvena območja so ustanovljena za zavarovanje in ohranitev 43 vrst ptic, 112 vrst rastlin in živali ter 56 habitatnih tipov (povzeto po Uredbi o posebnih …, 2004; Nose Marolt, 2005; Berginc in sod., 2007; Metapodatkovni …, 2010).

Varstveni cilj Natura 2000 območij je dosegati in ohranjati ugodno ohranitveno stanje rastlinskih in živalskih vrst ter habitatnih tipov, zaradi katerih je opredeljeno območje Natura 2000, medtem ko je na Potencialnih posebnih ohranitvenih območjih (pSCI) varstveni cilj preprečevati poslabšanje stanja rastlinskih in živalskih vrst ter habitatnih tipov, zaradi katerih je opredeljeno potencialno območje Natura 2000. Na obeh območjih se varstvo zagotavlja na enak način, in sicer: (i) z varstvenimi usmeritvami za načrtovanje in izvajanje posegov, dejavnosti in drugih ravnanj, ter z vključevanjem ciljev v načrte urejanja prostora in rabe naravnih virov; (ii) s presojami sprejemljivosti; (iii) s pripravo, koordiniranjem in izvajanjem programov upravljanja Natura območij s spremljanjem stanja rastlinskih in živalskih vrst ter habitatnih tipov; (iv) z izvajanjem ukrepov varstva (Nose Marolt, 2005; Berginc in sod., 2007).



Slika 25: Posebna varstvena območja (območja Natura 2000) z gostoto odvzema srnjadi v letu 2007.
Figure 25: Special conservation areas (Natura 2000 sites) with the mortality of roe deer in 2007.

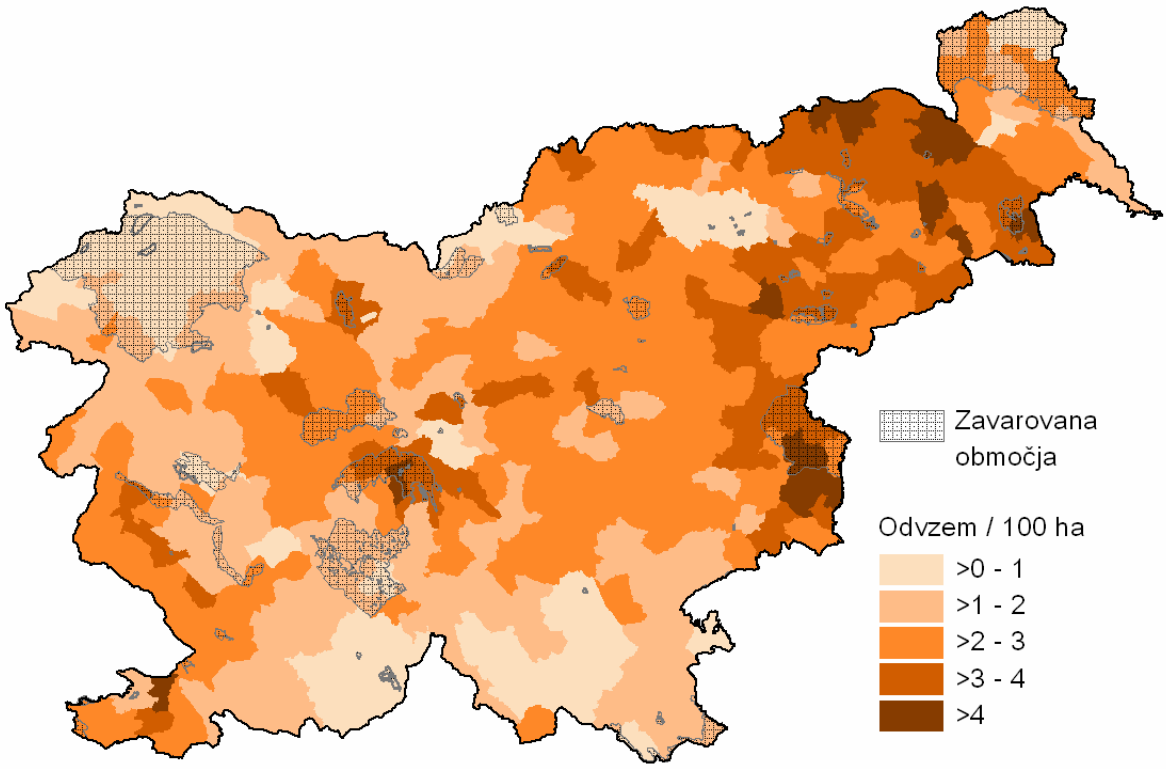
Za upravljanje Posebnih varstvenih območij je vlada v oktobru 2007 sprejela Operativni program – program upravljanja območij Natura 2000 za obdobje 2007 – 2013, ki podrobneje opredeljuje varstvene zahteve, cilje in ukrepe za vsako območje posebej. Pri tem so opredeljeni neposredni ukrepi za upravljavske načrte (za zavarovana območja), ukrepi prilagojene rabe (gospodarjenje z gozdovi, kmetijstvo, lov…), določitev sektorjev in nosilcev, ki bodo okvir za to upravljanje, podatki o finančnih mehanizmih ter potrebne dodatne raziskave. Osnovni cilj tega programa je omogočiti in olajšati izvajanje Direktive o habitatih, s čimer se konkretno opredeli, kaj pomeni "zagotoviti ustrezne korake za preprečevanja slabšanja stanja" (Skoberne in Bibič, 2008; Operativni program …, 2010).

Sicer je v omenjenem operativnem programu ciljev na območjih Natura 2000, povezanih z lovstvom oz. upravljanjem prostoživečih živali kot naravnim virom (vključno s srnjadjo), relativno malo. Slednji se dosegajo s prilagojeno rabo divjadi, ki jo urejajo predpisi o divjadi in lovstvu. V splošnem dejavnosti upravljanja habitatov divjadi na mnogih območjih Natura 2000 prispevajo k doseganju varstvenih ciljev, povezanih s kmetijstvom, gozdarstvom, upravljanjem voda, itd. V Prilogi 4.2 operativnega programa so po območjih Natura 2000 določene podrobne varstvene usmeritve prilagojene rabe divjadi; načrti, v katerih se določajo ukrepi kot izvedba teh usmeritev, so v skladu s predpisi o lovstvu opredeljeni v Prilogi 4.3 (Operativni program …, 2010).

3.1.6.3 Zavarovana območja

Za doseganje ciljev varstva narave država in lokalne skupnosti izvajajo številne pravne in fizične ukrepe varstva narave, ki so zelo raznoliki, kot so raznolike tudi značilnosti predmetov varstva. Ukrepi varstva narave se izvajajo predvsem na območjih, ki so opredeljena kot naravovarstveno pomembnejša, to so območja: (i) s statusom varovanih območij; (ii) s statusom zavarovanih območij; (iii) s statusom mednarodno varovanih območij. Eden izmed najpomembnejših in najstarejših ukrepov varstva narave je **zavarovanje**, ki se vzpostavi s pravnim aktom – aktom o zavarovanju, ki je rezultat politične odločitve, da je ohranitev narave določenega območja v javnem interesu, ki prevlada nad zasebnim (glej Berginc in sod., 2007: 69-71). Zavarovanje je ukrep varstva, s katerim varujemo in ohranjamo tako naravne vrednote kot tudi biotsko raznovrstnost (Hlad in Skoberne, 2001; Strategija ohranjanja …, 2002).

V Sloveniji smo do sedaj z različnimi akti o zavarovanju ustanovili 1.379 zavarovanih območij, od tega 1.277 naravnih spomenikov, 1 strogi naravni rezervat, 54 naravnih rezervatov (ožja zavarovana območja), 1 narodni park (TNP; Zakon o Triglavskem …, 2010), 3 regijske parke in 43 krajinskih parkov (širša zavarovana območja ali naravni parki). Površina zavarovanih območij v Sloveniji se je v zadnjih dveh desetletjih stalno povečevala (iz 6,75 % v letu 1992 na 12,57 % v letu 2010); danes zavarovana območja pokrivajo 254.847 ha države, cilj pa je doseči zavarovanje 17 % ozemlja Slovenije do leta 2012 (Turk in Mežan, 2009; Mežan, 2010; Metapodatkovni …, 2010). Za opis posameznih zavarovanih območij glej Habjan in Skoberne (2004), Bizjak (2008), Zavarovana območja (2010).



Slika 26: Izbrana zavarovana območja z gostoto odvzema srnjadi v letu 2007.
Figure 26: Selected protected areas with the mortality of roe deer in 2007.

3.2 VZORČENJE, DELO Z VZORCI IN MAKROSKOPSKE/KEMIJSKE ANALIZE

3.2.1 Zbiranje spodnjih čeljusti srnjadi

Vsako leto se na t. i. "bazenskih pregledih" na podlagi Pravilnika o evidentiranju … (2005) zberejo vse leve polovice spodnjih čeljusti parkljarjev (srnjad, jelenjad, divji prašič, damjak, muflon), ki so bili v preteklem koledarskem letu izločeni iz posameznega lovišča na podlagi rednega (z lovsko-upravljavskimi načrti predpisanega) odvzema divjadi za posamezno lovišče/lovsko upravljavsko območje (LUO). Vzorce levih polovic spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz vseh lovišč Slovenije v letu 2007, smo zbirali v januarju 2008 neposredno na bazenskih pregledih v sodelovanju s predstavniki vseh slovenskih lovišč, z *Inšpektoratom Republike Slovenije za kmetijstvo, gozdarstvo in hrano* ter *Komisijo za pregled odstrela in izgub območnih združenj upravljavcev lovišč*. Zbiranje vzorcev je torej potekalo v sklopu s strani države predpisanih postopkov ravnanja z uplenjeno divjadjo in kot tako etično ni sporno.

Vse zbrane čeljusti (terminološko je sicer ustreznejši izraz "čeljustnice", vendar smo zaradi vsakodnevne, splošno uveljavljene uporabe izraza "spodnje čeljusti" v strokovnih krogih zaradi lažje sledljivosti vsebine uporabili izraz "čeljusti"; v nadaljevanju se ta izraz zaradi dosegljivosti vzorcev nanaša praviloma na levo polovico spodnje čeljusti, tj. *left hemi-mandible*) so bile predhodno s strani lovcev oz. lovskih organizacij ustrezno pripravljene, tj. prekuhane, očiščene mišičnega in živčnega tkiva ter razmaščene/obeljene z vodikovim peroksidom (H_2O_2; 30 % conc.). Čeljusti smo zbirali ločeno za posamezna lovišča ($n_{lovišč}$ = 420) in skupine označili s številko lovišča. Znotraj posameznega lovišča so bile čeljusti v večini primerov ustrezno označene z evidenčnimi številkami iz *Evidenčnih knjig odstrela velike divjadi*, ki je hkrati tudi zaporedna številka osebka, izločenega v posameznem lovišču, zabeležena v elektronski bazi podatkov *Lisjak, Osrednji slovenski register lovnih vrst divjadi in velikih zveri* (v nadaljevanju "osrednji register"; glej poglavje 3.4.1). Vsako posamezno čeljust smo troznačno označili, in sicer smo ji pripisali lastno številko, sestavljeno iz številke lovišča, zaporedne številka odvzema ter leta odvzema (npr. 1406/22-07), s čimer smo dobili popolno sledljivost vzorcev s pridobljenimi (ocenjenimi) in atributnimi podatki o osebku.

Zgodovinsko serijo vzorcev spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2006, smo imeli predhodno že zbrano v sklopu vzorčenja za projekt *Srnjad kot bioindikator onesnaženosti okolja z anorganskimi onesnažili*, ki je v preteklosti potekal na inštitutu ERICo. Poleg tega smo za dopolnitev zgodovinske serije v januarju 2009 in 2010 dodatno zbrali vse spodnje čeljusti srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v letih 2008 in 2009.

Skladno s Pravilnikom o evidentiranju … (2005) se morajo na bazenske preglede dostaviti le leve spodnje čeljusti, zato smo celotno raziskavo praviloma omejili le nanje. Izjema so že zbrane čeljusti iz Šaleške doline (za obdobje 1997 – 2006), za katere imamo za posamezna leta na razpolago samo desne polovice spodnjih čeljusti. V tem primeru smo v sklop raziskave bioindikacija onesnaženosti okolja s fluoridi vključili slednje, saj med levimi in desnimi polovicami ni pričakovati razlik v stopnji zobne fluoroze oz. v vsebnostih fluoridov, zato je vključitev desnih polovic namesto manjkajočih levih povsem običajna praksa (npr. Kierdorf H in Kierdorf U, 1999; Kierdorf U in Kierdorf H, 1999).

3.2.2 Določanje starosti živali

Za večino raziskovalnih sklopov te raziskave je nujno potrebno poznavanje približne starosti posameznih osebkov (npr. določitev obdobja, na katerega se nanašajo podatki o akumulaciji fluoridov; določitev starostnih skupin pri meritvah velikosti čeljusti), zaradi česar smo s pregledom zbranih vzorcev/spodnjih čeljusti srnjadi ocenili starost živali. Ocenjevanje starosti je potekalo po metodi razvojne stopnje in obrabe zobovja (Simonič, 1976; Prior, 1995; Høye, 2006). Na podlagi te metode lahko posamezen osebek dokaj natančno uvrstimo v določeno starostno kategorijo glede na izraščenost zobovja (mladiči oz. lanščaki/mladice; nekje do 15. meseca starosti) oz. glede na obrabo stalnih kočnikov (odrasla srnjad) (Simonič, 1976).

Določevanje starosti srnjadi z metodo razvojne stopnje in obrabe zobovja je v primeru odrasle srnjadi sicer precej nezanesljivo (Ratclife in Mayle, 1992; Høye, 2006), saj temelji na stopnji obrabljenosti stalnih kočnikov, katerih obraba je odvisna tudi od nekaterih drugih dejavnikov (trdote posameznikovega zobovja; okolja, v katerem posamezen osebek živi, s poudarkom na kamninski sestavi; vrste hrane, s katero se hrani) in seveda tudi subjektivne napake ocenjevalca (Hewison in sod., 1999). Zaradi tega starosti odrasle srnjadi nismo določali na leto natančno, temveč smo odraslo srnjad po starosti razdelili v tri starostne kategorije, in sicer: **mlada** (dvo- do štiriletna), **srednje stara** (pet- do sedemletna) in **stara** (osem- in večletna) **žival**. V nekaterih sklopih raziskave smo zadnji dve kategoriji združili. Natančno poznavanje starosti odraslih živali (na posamezno leto) za veliko večino opredeljenih ciljev ni potrebno.

Osebke prvega leta starosti, ki so imeli še mlečne predmeljake in so bili še brez izraščenega tretjega meljaka, smo opredelili kot kategorijo **mladiči** (srnjački in srnice). Osebke v drugem letu starosti, ki so imeli mlečne predmeljake v menjavi oz. so bili le-ti že menjani, M_3 pa je ravnokar dorasel (obrabe stalnih kočnikov skoraj ni bilo), smo opredelili v starostno kategorijo **enoletnih osebkov** (lanščaki in mladice).

Za datum, s katerim mladiči preidejo v enoletne osebke, smo privzeli 1. april tekočega leta, kot je v praksi v sedanjem lovsko-upravljavskem načrtovanju. V tem primeru lahko pride do neskladij, da je določen osebek, ki je bil odvzet 31. marca tekočega leta, ocenjen kot mladič, in naslednji osebek, ki je bil odvzet 1. aprila tekočega leta, ocenjen kot enoletni osebek, kljub temu, da oba biološko pripadata isti kohorti. Vendar pa to prepletanje kohort z vidika naše raziskave praviloma ni problematično, ker je posledica tako velike sinhroniziranosti polaganja mladičev srnjadi (Andersen in sod., 1998) kot tudi lovne dobe za to vrsto. Lovna doba za mladiče je namreč med 1. 9. in 31. 12., lovna doba za enoletne osebke moškega spola (lanščake) med 1. 5. in 31. 10. ter za enoletne osebke ženskega spola med 1. 5. in 31. 12. To pomeni, da so bili mladiči določenega leta odvzeti (tisti, ki so bili odstreljeni) večinoma v jesenskem in zimskem času, medtem ko so bili enoletni osebki večinoma odvzeti (odstreljeni) med pomladjo in zimo tega leta, zaradi česar gre za dve ločeni kohorti (ker vemo, da se mladiči srnjadi polegajo v spomladanskih mesecih nekje med 15. 4 in 15. 6.; zbrano v Pokorny, 2003). Še vedno pa obstaja določen delež odvzema srnjadi izven lovnih dob, ki ga tvorijo predvsem naravne in nenaravne izgube; vzorce spodnjih čeljusti teh osebkov smo v večini sklopov te raziskave izključili.

Ujemanje ocene starosti živali smo preverili pri obdelavi podatkov. Pri tem smo primerjali ocenjeno starost osebka, določeno po opisanem postopku, z oceno starosti, ki je bila opredeljena v osrednjem registru (ocenjena s strani lovcev). Vse podatke, pri katerih se ocena starosti ni ujemala (napaka v strukturnem razredu), smo izključili iz nadaljnjih analiz, in sicer zlasti zato, ker je pri teh osebkih obstajal dvom, da so upravljavci z lovišči naredili napako pri kategorizaciji, zaradi česar dostopni atributni podatki o teh osebkih niso nujno pravilni (zamenjava določenih čeljusti oz. napačna označitev osebka).

3.2.3 Akumulacijska bioindikacija – vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi

V tem sklopu raziskave (vsebnost fluoridov v čeljustih srnjadi kot metoda akumulacijske bioindikacije – tako zgodovinska kot tudi prostorska bioindikacija) smo spodnje čeljusti odraslih osebkov (zaradi majhnega števila vzorcev) razdelili le v dve starostni kategoriji, in sicer mlada (dvo- do štiriletna) ter stara (pet- in večletna) srnjad.

Vzorčenje pri starostnih kategorijah mladiči in odrasla srnjad je potekalo tako, da je bila zastopanost obeh spolov čimbolj enakomerna, medtem ko smo pri izboru enoletnih osebkov zbrali le spodnje čeljusti lanščakov, saj je ocena njihove starosti zaradi sekundarnih spolnih znakov (rogovje) bolj zanesljiva kot ocena starosti pri mladicah. Odstrel lanščakov poteka ravno v mesecih, ko poteka menjava mlečnega zobovja s stalnim, kar omogoča tudi zanesljivejšo oceno starosti na podlagi izraščenosti zobovja v tej starostni kategoriji. Poleg tega je časovna dinamika odstrela pri lanščakih bolj homogena, saj se le-ti kljub lovni dobi med 1. 5. in 31. 10. v večini primerov odstrelijo v spomladanskem in poletnem času (maj – julij). Mladice se lovijo znotraj daljše lovne dobe (1. 5. – 31. 12.), z večjo tendenco odstrela v jesenskih mesecih, ko je dovoljen odstrel tudi starejših srn (problem ločevanja mladic od starejših srn v naravi). Izbor lanščakov tako zagotavlja precej večjo standardizacijo vzorcev (razlika v časovnem oknu 2 do 3 mesece), kot pa je le-ta pri mladicah (razlika tudi do sedem mesecev).

Slika 27: Pridobivanje vzorcev kostnega tkiva za analize vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi (foto: S. Al Sayegh Petkovšek, I. Jelenko, 2009).

Figure 27: Sampling of bone tissue for the analyses of fluoride contents in roe deer mandibles (photo: S. Al Sayegh Petkovšek, I. Jelenko, 2009).

3.2.3.1 Vzorčenje znotraj Šaleške doline – zgodovinska bioindikacija

Z namenom ugotavljanja časovnih sprememb v onesnaženosti okolja Šaleške doline s fluoridi in spremljanja učinkovitosti sanacijskih ukrepov v TEŠ smo vsebnost fluoridov določili v 220 vzorcih spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz lovišča Oljka, Šmartno ob Paki (slika 10) v obdobju 1997 – 2009, in sicer tako, da je mogoča tako mikroprostorska kot tudi retrospektivna bioindikacija.

Za vsako leto, vključeno v raziskavo, smo naključno izbrali 7 do 12 vzorcev čeljusti enoletne srnjadi moškega spola. Takšen nabor vzorcev nam omogoča že omenjeno časovno standardizirano vzorčenje (vnos onesnažil je pri vseh živalih potekal v enako dolgem obdobju, in sicer *cca*. 12 do 14 mesecev, tj. od poleganja do uplenitve v obdobju maj – junij), zaradi česar je mogoča neposredna primerjava vsebnosti fluoridov med posameznimi leti vzorčenja. Vsebnosti fluoridov smo določili tudi v čeljustih mladičev in odraslih osebkov, in sicer pri srnjadi, odvzeti v letih 1997, 2003 in 2007. Za ta leta smo se odločili, ker smo glede na starost živali želeli kot primerjalno leto vključiti obdobje pred izgradnjo razžveplevalne naprave na 4. bloku TEŠ (v letu 1995), pred izgradnjo takšne naprave na 5. bloku (v letu 2000) in obdobje po končani ekološki sanaciji TEŠ. Za vsako leto smo naključno izbrali med 9 in 13 vzorcev čeljusti mladičev ter med 22 in 27 vzorcev čeljusti odrasle srnjadi. Pregled vzorčenja po posameznih letih je podan v preglednici 6.

Preglednica 6: Število izbranih vzorcev spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz Šaleške doline (lovišče Oljka, Šmartno ob Paki) v obdobju 1997 – 2009 po starostnih kategorijah in po posameznih letih (zgodovinska bioindikacija onesnaženosti s fluoridi).

Table 6: Number of mandibles of roe deer, culled in the Šalek Valley in the period 1997-2009 by age categories and the year of the cull (historical bioindication of fluoride pollution).

Leto	**Mladiči**	**Lanščaki**	**Mlada srnjad** (2 – 4 leta)	**Stara srnjad** (5 in več let)	**Skupaj**
1997	/	10	/	/	**10**
1998	9	7	17	5	**38**
1999	/	10	/	/	**10**
2001	/	10	/	/	**10**
2002	/	10	/	/	**10**
2003	13	12	16	6	**47**
2004	/	10	/	/	**10**
2005	/	8	/	/	**8**
2006	/	10	/	/	**10**
2007	12	8	22	5	**47**
2008	/	10	/	/	**10**
2009	/	10	/	/	**10**
Skupaj	**34**	**115**	**55**	**16**	**220**

Vzorčenje znotraj lovišča Oljka, Šmarno ob Paki smo izvedli znotraj treh revirjev (za namen mikroprostorske analize): Veliki Vrh, Skorno in Slatine. Poleg Velikega Vrha (2,5 – 5 km južno od TEŠ), ki z nadmorsko višino 520 do 620 m leži tik pod zgornjo plastjo zračne inverzije in predstavlja eno najbolj onesnaženih območij Šaleške doline (Pokorny in Justin, 2004; Poličnik, 2008), se v višinskem pasu izpostavljenosti emisijam iz TEŠ nahaja tudi revir Skorno (nadmorska višina 500 – 650 m, 4 – 6 km jugozahodno od TEŠ). Revir Slatine, ki se nahaja južno od Velikega Vrha in je geografsko gledano že del Savinjske doline, je emisijam iz elektrarne manj izpostavljen (nadmorska višina 320 – 430 m, oddaljenost 8 – 10 km) (Pokorny in Justin, 2004).

3.2.3.2 Vzorčenje znotraj Slovenije – prostorska bioindikacija

Za namene prostorskih primerjav onesnaženosti Slovenije s fluoridi smo izbrali 268 vzorcev spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete v letu 2007 iz treh s fluoridi najbolj onesnaženih območij Slovenije (določeno na podlagi lokacij točkovnih virov emisij fluoridov; Zrak, 2010) in iz enega kontrolnega območja (glej preglednico 7).

Preglednica 7: Število izbranih vzorcev spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz štirih območij Slovenije v letu 2007, ločeno po starostnih kategorijah (prostorska bioindikacija onesnaženosti s fluoridi).

Table 7: Number of mandibles of roe deer, culled in four regions of Slovenia in 2007, separated by age categories (spatial bioindication of fluoride pollution).

Lovišče	**Mladiči**	**Lanščaki**	**Mlada srnjad** (2 – 4 leta)	**Stara srnjad** (5 in več let)	**Skupaj**
Okolica Kidričevega					
Boris Kidrič	6	8	15	4	**33**
Jože Lacko – Ptuj	6	8	8	12	**34**
Dravinja-Majšperk	6	8	10	9	**33**
Ptuj	6	8	9	8	**31**
Skupaj	***24***	***32***	***42***	***33***	***131***
Šaleška dolina					
Oljka, Šmartno ob Paki	***12***	***8***	***22***	***5***	***47***
Zasavje					
Hrastnik	5	5	3	2	**15**
Trbovlje	5	5	3	2	**15**
Dobovec	5	5	2	3	**15**
Skupaj	***15***	***15***	***8***	***7***	***45***
Zgornja Savinjska dolina (kontrolno območje)					
Ljubno	5	5	3	2	**15**
Luče	5	5	2	3	**15**
Gornji Grad	5	5	3	2	**15**
Skupaj	***15***	***15***	***8***	***7***	***45***
VSE SKUPAJ:	**66**	**70**	**80**	**52**	**268**

3.2.3.3 Priprava vzorcev in kemijske analize

Vzorce za kemijske analize smo pridobili z uveljavljeno **metodo vrtanja** (Machoy in sod., 1991; Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a; Zakrzewska in sod., 2005). Že očiščene in obeljene čeljusti smo najprej očistili s čopičem. Na zunanji strani čeljusti smo s samostoječim vrtalnim strojem in 8 mm svedrom iz nerjaveče kovine na petih do sedmih mestih najprej odstranili zgornjo plast kosti ter se s tem izognili sekundarnemu onesnaženju vzorca. Nato smo z vrtanjem v globino na teh mestih za vsak vzorec pridobili 2 do 3 g kostnega tkiva (slika 27). Vse vzorce kostnega tkiva smo z visokofrekvenčnim vodnim mlinčkom (*A-10 Kika Labortehnik*) zmleli v prah ter jih s tem homogenizirali. Vsebnosti fluoridov smo po kombiniranem suhem (zatehta: 200 mg; T: 560 °C) in kislinskem sežigu (reagenti: 10 ml NaOH, 4 ml HCl konc.; čas: 92 min; T_{max}: 560 °C) določali v raztopini s pomočjo ionselektivne elektrode (*Metrohm 6.0258*) v laboratoriju ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave. Kakovost analitskih meritev smo preizkušali z vzporednimi določitvami fluoridov v ustreznem certificiranem referenčnem materialu (*Coalspec 48*, ki izhaja iz medlaboratorijske primerjave), in sicer na vsakih 10 izmerjenih vzorcev kostnega tkiva. Referenčna vrednost fluoridov je znašala ā (skupna negotovost, k = 2) = 210 (51) mg/kg; vsi rezultati so bili skladni s priporočeno referenčno vrednostjo, tj. z odstopanjem, ki je bilo vedno <10 %.

3.2.4 Odzivna bioindikacija – zobna fluoroza srnjadi

3.2.4.1 Vzorčenje in priprava vzorcev

Zobna fluoroza je odraz pretekle izpostavitve osebkov fluoridom, saj nastaja v času formacije stalnega zobovja, vendar pa se zunanji znaki te bolezni izražajo z zamikom, in sicer šele pri odraslih osebkih (Vikøren in Stuve, 1996; Jelenko in sod., 2010a). Zaradi tega smo v ta sklop raziskave praviloma vključili le odrasle osebke obeh spolov. Ker pa smo želeli preveriti pojavljanje zobne fluoroze tudi pri enoletnih osebkih, smo v oceno vključili dodatnih 2.122 čeljusti enoletne srnjadi z že zaključeno menjavo zobovja, odvzete iz severovzhodne Slovenije. Upoštevaje metodo ocenjevanja smo v raziskavo vključili le čeljusti, na katerih so bili prisotni vsi stalni kočniki (predmeljaki in meljaki), saj ocena stopnje zobne fluoroze zajema skupno oceno vseh šestih omenjenih zob.

V glavnem delu sklopa odzivne bioindikacije, ki predstavlja tudi osrednji del doktorske disertacije, smo si zastavili zelo ambiciozen cilj, saj smo želeli na nivoju celotne Slovenije izvesti **veliko-površinski biomonitoring onesnaženosti okolja s fluoridi s pomočjo ocene zobne fluoroze vse v Sloveniji izločene srnjadi v določenem letu.** Tako smo v analizo vključili celotni letni odvzem vse odrasle srnjadi, odvzete iz vseh 420 lovišč Slovenije v letu 2007, kar znaša skupaj 14.672 čeljusti. Pregled števila vzorcev spodnjih čeljusti srnjadi za določanje stopnje zobne fluoroze po treh starostnih kategorijah je podan v preglednici 8. Dodatno smo v ta del raziskave vključili še 2.122 vzorcev spodnjih čeljusti enoletne srnjadi, odvzete iz severovzhodne Slovenije (Pomursko, Slovenskogoriško, Ptujsko-Ormoško, Savinjsko-Kozjansko, Kamniško-Savinjsko in Zasavsko LUO).

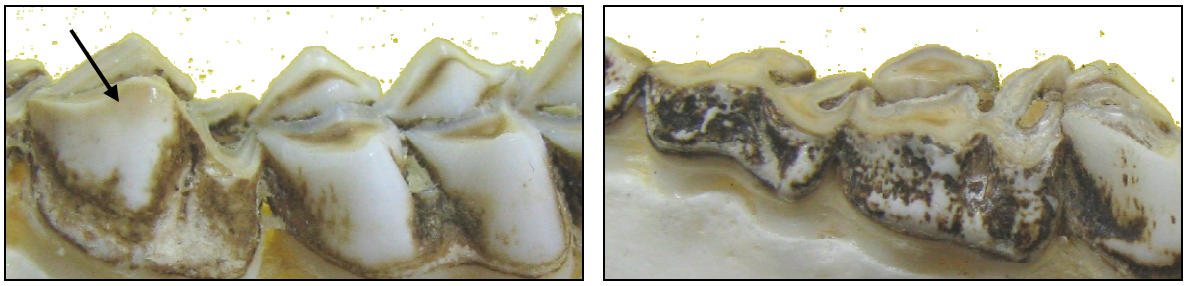
V drugem delu sklopa odzivne bioindikacije onesnaženosti okolja s fluoridi s pomočjo čeljusti srnjadi smo ugotavljali vpliv sanacijskih ukrepov TEŠ na obremenjevanje ekosistemov Šaleške doline s temi snovmi. V ta del smo vključili celotno serijo zbranih vzorcev spodnjih čeljusti odrasle srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009.

Preglednica 8: Pregled vzorcev spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz lovišč celotne Slovenije (leto 2007) in Šaleške doline (obdobje 1997 – 2007), na katerih smo določali stopnjo zobne fluoroze.
Table 8: Review of samples of mandibles of roe deer, culled in all hunting grounds of Slovenia (2007), and in the Šalek Valley (period 1997–2007), included in the assessment of dental fluorosis.

Območje/Lovišče	**Leto vzorčenja**	**Starost srnjadi**				**Skupaj**
		1	**2 – 4**	**5 – 7**	**8+**	
		Slovenija				
Vsa lovišča Slovenije (n = 420)	2007	/	8.756	4.445	1.471	**14.672**
Severovzhodna Slovenija (n = 196)	2007	2.122	/	/	/	**2.122**
		Šaleška dolina				
Škale	1997, 2001, 2002, 2005, 2007 – 2009		110	59	29	***198***
Oljka	1997 – 2009		314	78	34	***426***
Velenje	1997, 2001, 2007 – 2009		171	79	28	***278***
Smrekovec	1997, 1999, 2001, 2003, 2007 – 2009		184	81	42	***307***
Velunja	1997, 2001, 2007 – 2009		97	46	19	***162***
Skupaj	***1997 – 2009***		***876***	***343***	***152***	**1.371**

3.2.4.2 Opredelitev metode določanja stopnje zobne fluoroze

Ocena stopnje zobne fluoroze temelji na pregledu patoloških sprememb zobne sklenine, ki so posledica izpostavljenosti živali fluoridom v času rasti zob (slika 28). Ko se formacija zobovja konča, se fluoridi vanje ne morejo več vgraditi; v nasprotju z ostalimi kostnimi tkivi se sklenina po njenem nastanku ne more na novo oblikovati, zato so spremembe sklenine zaradi izpostavljenosti fluoridom trajne in odražajo izpostavljenost živali v času oblikovanja le-te (Appleton in sod., 2000; Tataruch in Kierdorf, 2003; Richter in sod., 2010). Stopnja zobne fluoroze se zaradi tega določa le na čeljustih srnjadi z dokončno razvitim zobovjem, tj. pri odraslih (dvo- in večletnih) živalih.



Slika 28: Znaki zobne fluoroze na zobovju srnjadi: levo – rahlo fluorozen P_4, na katerem je vidna obarvanost sklenine vrha zoba (puščica) kot prvi znak zobne fluoroze, M_1 je popolnoma zdrav zob; desno – močno fluorozna P_3 in P_4, pri obeh je vidna izguba grebenov grizne ploskve in prisotnost hudih poškodb/razjedenosti površine sklenine (foto: I. Jelenko, 2009).

Figure 28: Signs of dental fluorosis on roe deer teeth: left – slightly fluorosed P_4 on which discoloration on the tip can be seen as a first sign of fluorosis and M_1 as perfectly healthy tooth; right – severely fluorosed P_3 and P_4, on both the loss of enamel ridges can be seen, as well as severe pitting of the surface of the enamel (photo: I. Jelenko, 2009).

Za oceno zobne fluoroze prostoživečih sesalcev so v Nemčiji razvili točkovalni sistem, ki temelji na pogostnosti in resnosti makroskopsko vidnih znakov zobne fluoroze pri cervidih (predstavnikih družine jelenov), in sicer z modifikacijo že obstoječega točkovalnega sistema za govedo (Kierdorf U in Kierdorf H, 1999; Kierdorf in sod., 1999). Ocena temelji na makroskopskem pregledu spektra patoloških sprememb zobne sklenine stalnih kočnikov, ki se kažejo kot motnost, razbarvanost in pegavost sklenine, v hujši obliki tudi kot razjedenost le-te oz. celo kot zlomi ali izpadanje zob (Kierdorf in sod., 1999, 2004; Choubisa, 2008).

Sistem temelji na vrstilni merski skali, in sicer se v eno izmed šestih kategorij (0: nefluorozen zob; 5: močno poškodovan zob; preglednica 9) uvrsti vsak izmed šestih stalnih kočnikov, tj. treh stalnih predmeljakov (P_2 – P_4) in treh meljakov (M_1 – M_3). Zobovje se označi kot fluorozno (osebek ima zobno fluorozo – **ZF**), če je vsaj en zob točkovan z 1 ali več (Kierdorf U in Kierdorf H, 1999).

Za bioindikacijo onesnaženosti okolja s fluoridi se lahko uporablja kar ta preprosti kazalnik, pri čemer se oceni vzorce v smislu prisotnosti oz. odsotnosti zobne fluoroze (pri tem ni pomembna ocena posameznega zoba, temveč le prisotnost zobne fluoroze v kakršnikoli obliki, opisani v preglednici 9) ter navede frekvenco zobne fluoroze. Ta način se sicer v raziskavah zobne fluoroze srnjadi/jelenjadi uporablja le kot prvi pregled nad rezultati (npr. Vikøren in Stuve, 1996; Garrott in sod., 2002; Zemek in sod., 2006), je pa utečena praksa za ocenjevanje/prikaz zobne fluoroze pri divjih prašičih (npr. Kierdorf H in sod., 2000).

Preglednica 9: Točkovalni sistem za klasifikacijo zaradi fluoridov povzročene poškodovanosti stalnih predmeljakov in meljakov srnjadi (Kierdorf in sod., 1999).

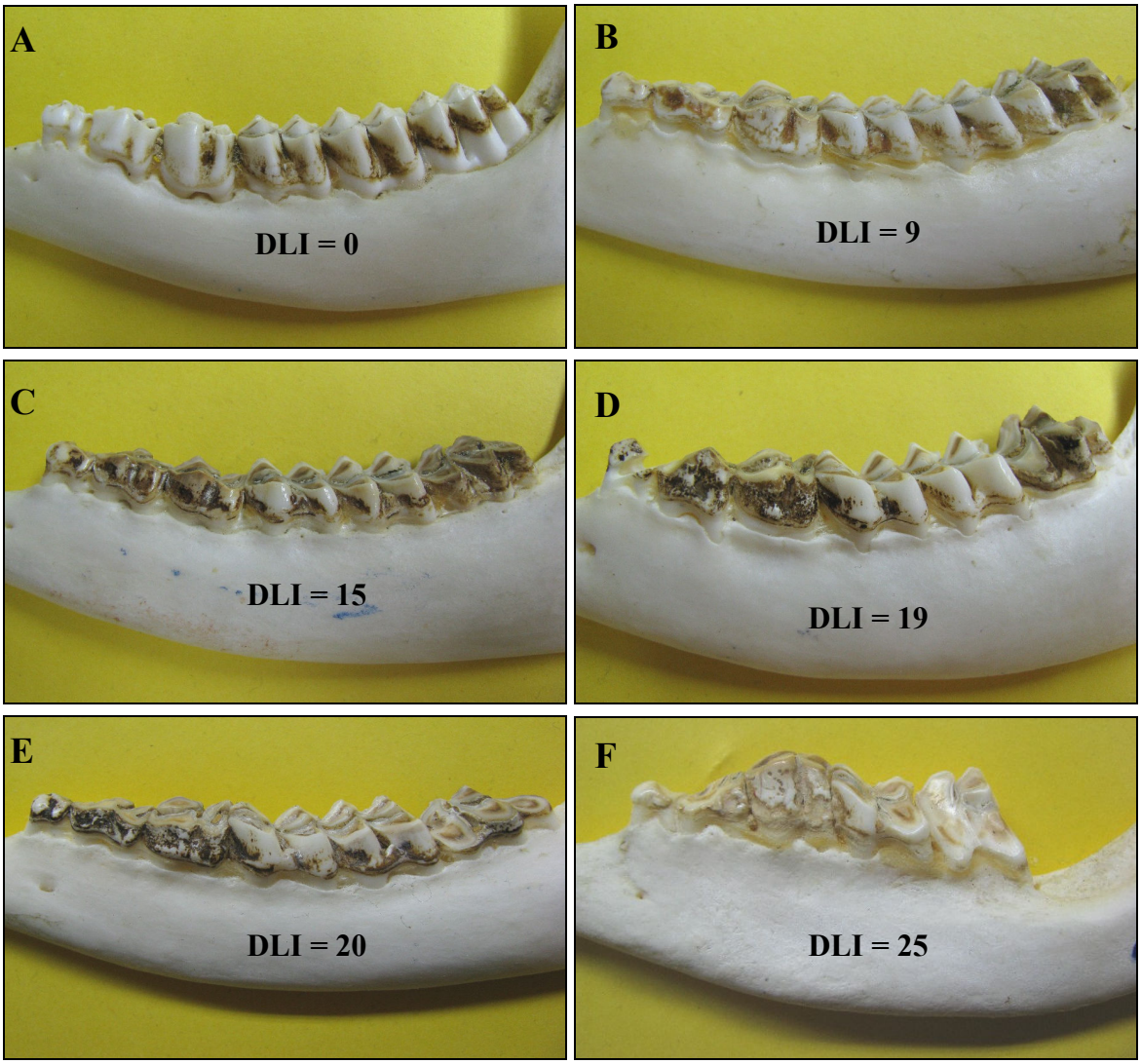
Table 9: Scoring system for classification of fluoride induced lesions in permanent premolars and molars of roe deer (Kierdorf et al., 1999).

Kategorija	Opis kategorije (znaki prisotnosti zobne fluoroze)
0	Normalna (bela in prozorna) sklenina. Sklenina tvori razločne grebene na grizni ploskvi. Obraba zoba je fiziološko (starostno) pogojena. Nefluorozen zob.
1	Prisotnost motnosti in razbarvanje sklenine. Spremembe so omejene predvsem na koničaste dele zob, včasih so vidne tudi kot vodoravni pasovi na stranskem delu zob.
2	Za celotno zobno krono je značilna motna in razbarvana sklenina. Zmanjšana je višina zob, pogosto izginejo tudi grebeni.
3	Popolna izguba grebenov ima za posledico sploščitev grizne ploskve. Poškodbe površine sklenine so prisotne na manj kot 5 % zobne krone.
4	Patološko pospešena obraba zob ima za posledico nenormalno obliko zob. Poškodbe površine sklenine so prisotne na 5 – 25 % zobne krone.
5	Neprepoznavna oblika zob zaradi njihove skrajno povečane obrabe. Zobje so zlomljeni ali popolnoma manjkajo. Več kot 25 % zobne krone ima poškodbe površine sklenine.

Za natančnejši pregled nad učinki fluoridov na zobovje srnjadi/jelenjadi oz. na intenziteto vpliva fluoridov se uporabljata dve metodi, ki sta nadgradnja preprosti oceni prisotnosti zobne fluoroze. Na podlagi ocen zobne fluoroze vseh šestih kočnikov lahko določimo **najvišjo oceno poškodovanosti posameznega kočnika** ali *maximum tooth score of fluorosis* – **MTS,** pri katerem vsakemu vzorcu/čeljusti pripišemo najvišjo oceno, ki se pojavi pri enem od šestih kočnikov (rang: 0 – 5) (Kierdorf U in Kierdorf H, 1999).

Še natančnejšo oceno intenzitete vpliva fluoridov na zobovje srnjadi oz. jakost zobne fluoroze nam poda **indeks zobne poškodovanosti** ali *dental lesion index of fluorosis* – **DLI**, ki pomeni vsoto posameznih ocen za vseh šest kočnikov v eni izmed polovic spodnje čeljusti (levi ali desni); rang: 0 – 30 (Kierdorf U in Kierdorf H, 1999; Kierdorf in sod., 1999, Zemek in sod., 2006). Ta kazalec, ki je izmed vseh možnih daleč najbolj občutljiv, smo v disertaciji uporabili tudi sami. Kot rečeno temelji na seštevku ocen zobne fluoroze vsakega posameznega stalnega kočnika, pri čemer je pri ocenjevanju pozornost potrebno nameniti: (i) barvi oz. obarvanosti zob (predvsem vrhov); (ii) razjedenosti površine sklenine oz. prisotnosti hipoplazije ("luknjičavost" sklenine); (iii) obliki grizne ploskve oz. obrabi grebenov; (iv) obliki in morebitnemu izpadu zob (preglednica 9, slika 29).

Nekateri avtorji za prikaz rezultatov zobne fluoroze uporabljajo spremenjene različice omenjenih klasifikacij, pri čemer je osnova vedno točkovalni sistem za klasifikacijo posameznega kočnika (preglednica 9), in sicer: (i) prikaz 6 kategorij zobne fluoroze na podlagi povprečne ocene posameznih zob (Vikøren in Stuve, 1996); (ii) prikaz 3 kategorij zobne fluoroze (1. kat.: ni ZF; 2. kat.: MTS = do vključno 3 (rahla do zmerna ZF); 3. kat.: MTS = 4 ali 5 (močna oz. izrazita ZF)) (Kierdorf H in sod., 1996a); (iii) prikaz frekvence posamezne ocene vseh šestih kočnikov (Kierdorf U in Kierdorf H., 2000b).



Slika 29: Različne stopnje zobne fluoroze srnjadi (foto: I. Jelenko, 2008).
Figure 29: Different severity of dental fluorosis of roe deer (photo: I. Jelenko, 2008).

Na sliki 29 so prikazane različne stopnje zobne fluoroze na nekaj primerih čeljusti srnjadi. Slika 29A prikazuje nefluorozno zobovje, vsi zobje so normalno razviti in izkazujejo le fiziološko pogojeno obrabo – DLI = 0. Na sliki 29B P_2 – P_4 in M_3 izkazujejo 2. stopnjo zobne fluoroze (obarvanost vrhov zob in odsotnost brazd zaradi hitrejše obrabe), M_2 pa 1. stopnjo (rahla obarvanost) – DLI = 9. Na sliki 29C P_2 – P_4 izkazujejo 3. stopnjo zobne fluoroze (razjedenost sklenine je prisotna na manj kot 5 % površine), M_2 stopnjo 2 in M_3 stopnjo 4 (razjedenost sklenine prisotna na 5 % do 25 % površine) – DLI = 15. Na sliki 29D P_3, P_4 in M_3 izkazujejo maksimalno stopnjo zobne fluoroze (5) (neprepoznavna oblika zob, razjedenost sklenine prisotna na več kot 25 % površine), P_2 izkazuje 4. stopnjo, M_1 in M_2 pa nista fluorozna – DLI = 19. Na sliki 29E P_3, P_4 in M_3 izkazujejo 5. stopnjo zobne fluoroze, P_2 stopnjo 3, M_2 stopnjo 2, M_1 pa ni fluorozen – DLI = 20. Na sliki 29F P_2 - P_4, M_2 in M_3 ravno tako izkazujejo maksimalno stopnjo zobne fluoroze (neprepoznavna oblika zob, M_3 je celo izpadel), M_1 stopnjo 0 (ni fluorozen; nepravilna oblika zoba je posledica nepravilne obrabe, ki je nastala zaradi različne obrabljenosti ostalih (fluoroznih) zob) – DLI = 25.

3.2.5 Meritve velikosti čeljusti

3.2.5.1 Vzorčenje

V meritve velikosti (dolžin) spodnjih čeljusti srnjadi smo vključili celoten letni odvzem srnjadi, odvzete leta 2007 iz vseh lovišč Slovenije. Pri tem smo zbrali okoli 40.000 spodnjih čeljusti (vseh starostnih kategorij); ker so bile določene čeljusti poškodovane oz. zlomljene, kar onemogoča izvajanje meritev, smo le-te opravili na skupno 35.897 čeljustih (preglednica 10). Nekatere čeljusti so bile pomanjkljivo označene, zaradi česar jih nismo mogli povezati s podatki iz osrednjega registra (manjkajo podatki o spolu in starost), zato so te čeljusti iz nadaljnjih analiz izvzete. Tako smo vse statistične in prostorske primerjave izvajali na podlagi 21.633 opravljenih meritev dolžin spodnjih čeljusti srnjadi.

Preglednica 10: Število vzorcev čeljusti srnjadi, odvzete iz lovišč celotne Slovenije (leto 2007), na katerih smo izvajali meritve velikosti čeljusti.
Table 10: Number of mandibles of roe deer, culled in all hunting grounds of Slovenia (year 2007), included in the measurements of mandible sizes.

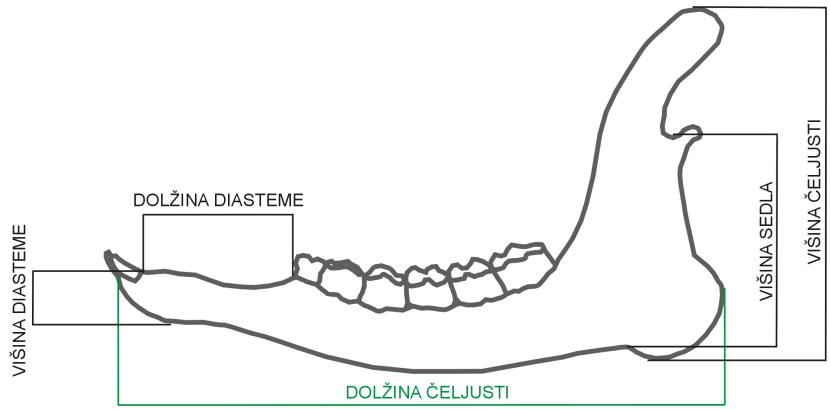
	Starost srnjadi						Skupaj
	mladiči	enoletni	2 – 4 leta	5 – 7 let	8 in več let	2+ (nedoločeno)	
Opravljene meritve	12.300	8.189	8.515	4.492	1.535	866	**35.897**
Meritve vključene v analize	8.117	5.186	4.946	2.566	818	/	**21.633**

Podobno kot v primeru določanja zobne fluoroze smo meritve velikosti omejili predvsem na leve polovice spodnjih čeljusti. Za tiste čeljusti, za katere smo imeli na razpolago samo desne polovice, smo v raziskavo vključili slednje, saj obstaja med levimi in desnimi polovicami zelo visoko značilna pozitivna soodvisnost v dolžini čeljusti, relativne razlike med njima pa v povprečju ne presegajo 1 % (Pokorny in Justin, 2004).

3.2.5.2 Metoda meritev velikosti spodnjih čeljusti srnjadi

Kot merilo velikosti spodnjih čeljusti srnjadi se lahko uporabljajo skupna dolžina čeljusti, višina čeljusti, višina sedla, dolžina diasteme in višina diasteme (Nugent in Frampton, 1994; Hewison in sod., 1996; slika 30). Medtem ko sta Nugent in Frampton (1994) pri damjaku ugotovila, da je višina diasteme najbolj občutljiv indikator vitalnosti osebka, je pri srnjadi to skoraj izključno skupna dolžina čeljusti (Hewison in sod., 1996; Høye in Forchhammer, 2006; Zor, 2009), ki je lahko zelo uporaben pripomoček pri upravljanju z vrsto (Zannèse in sod., 2006a). Na podlagi tega smo tudi mi kot relevanten kazalec vitalnosti osebka uporabili **skupne dolžine čeljusti**.

Čeprav se lahko dolžine čeljusti merijo avtomatizirano s predhodnim fotografiranjem materiala ter s kasnejšim preračunavanjem razdalj s pomočjo ustrezne programske opreme (Zor, 2009), smo se sami zaradi ekstremno velikega števila vzorcev odločili za ročne meritve velikosti čeljusti. Tako smo skupno dolžino čeljusti merili z merskim trakom (na 1 mm natančno), in sicer smo določevali razdaljo med sprednjim delom čeljusti pod sekalci in zadnjim delom čeljusti (zadnji del sklepne ploskve) kot kaže slika 30.



Slika 30: Najpogosteje merjeni parametri morfoloških značilnosti spodnjih čeljusti srnjadi; z zeleno barvo je označen znak, ki smo ga vključili v raziskavo (prirejeno po Nugent in Frampton, 1994).

Figure 30: The most important parameters for measuring morfometric characteristics of roe deer mandibles; green colour indicates the parameter included in this study (adapted from Nugent and Frampton, 1994).

3.2.6 Določanje anomalij, poškodb in obolenj spodnjih čeljusti srnjadi

Na podlagi vseh zbranih čeljusti srnjadi, izločene iz vseh slovenskih lovišč v letu 2007, smo izvedli celovit veliko-površinski monitoring zdravstvenega stanja žvekalnega aparata srnjadi Slovenije, in sicer z določitvijo določenih bolezenskih znakov, ki se pojavljajo na spodnjih čeljustih in pripadajočem zobovju. Pri tem smo beležili prisotnost, pojavljanje in prostorsko razporeditev različnih bolezni (aktinomikozo, hipoplazijo, vnetje s posledičnimi odebelitvami kosti, parodontozo, izgubo kostnega tkiva ob zobovju (*horizontal bone loss*)), poškodb (popolni in nepopolni zlom zoba, zlom kosti) in anomalij (rotacija kočnika, nagib kočnika, zamik zobne linije kočnikov, odsotnost drugega predmeljaka (P_2), prisotnost prvega predmeljaka (P_1), prisotnost dodatnega kočnika (nadštevilčnost), nepravilna obraba kočnikov, nepravilna oblika kočnikov, nepravilna oblika čeljusti), ki se pojavljajo na spodnjih čeljustih/zobovju in ki lahko potencialno negativno vplivajo na vitalnost osebka. V ta del raziskave smo vključili >40.000 spodnjih čeljusti srnjadi (preglednica 11). Rezultate smo podali ločeno po posameznih lovsko upravljavskih območjih Slovenije.

V sklopu disertacije smo se pri predstavitvi osredotočili predvsem na dva najbolj pogosta bolezenska znaka, in sicer na aktinomikozo (pomembno bakterijsko obolenje srnjadi), ki povzroča razjedanje kostnega tkiva in lahko dolgoročno močno škoduje živali, ter hipoplazijo, ki poškoduje predvsem zobno sklenino kočnikov. Poleg teh dveh obolenj smo predstavili še dve anomaliji, in sicer odsotnost drugega predmeljaka (P_2) ter prisotnost prvega predmeljaka (P_1), ki sta izjemno zanimivi predvsem iz evolucijskega vidika vrste.

Preglednica 11: Število vzorcev čeljusti srnjadi, odvzete iz lovišč celotne Slovenije v letu 2007, na katerih smo ugotavljali anomalije, poškodbe in obolenja čeljusti/zobovja.

Table 11: Number of mandibles of roe deer, culled in Slovenia in the year 2007, included in the assessment of the presence of anomalies, diseases and lesions of mandibles/teeth.

Območje	**Starost srnjadi**			**Skupaj**
	mladiči	enoletni	2 in več let	
Celotna Slovenija	14.679	11.869	15.347	**41.895**

3.3 METODA PROSTORSKEGA PRIKAZA REZULTATOV ANALIZ

3.3.1 Metoda prostorskega prikaza zobne fluoroze

Do sedaj sta bili v Evropi narejeni dve raziskavi, s katerima so prostorsko prikazali pojav zobne fluoroze pri srnjadi, in sicer na nivoju občin nemške zvezne države Saške (Kierdorf in sod., 1999) oz. kot dopolnitev te raziskave še na nivoju lovišč Severne Šlezije na češki strani meje (Zemek in sod., 2006). Za prostorsko ponazoritev stopnje zobne fluoroze pri srnjadi, odvzete iz lovišč Slovenije v letu 2007, smo se oprli na metodologijo, ki so jo uporabili Zemek in sod. (2006). V tej raziskavi so razlike v stopnji zobne fluoroze med posameznimi lovišči (Češka) in občinami (Nemčija) prikazali z osmimi kategorijami, določenimi na podlagi povprečnega indeksa zobne poškodovanosti (povprečen DLI) za posamezno enoto, tj. občino oz. lovišče (preglednica 12A). Ker je stopnja zobne fluoroze (DLI) v Sloveniji bistveno manjša kot na omenjenem območju, smo to klasifikacijo za ponazoritev ZF znotraj območja Šaleške doline oz. predvsem za prikaz razlik v ZF med posameznimi starostnimi kategorijami odrasle srnjadi, odvzete iz cele Slovenije, za namene naše raziskave nekoliko priredili (preglednica 12B). Prostorsko primerjavo ZF srnjadi za celotno Slovenijo smo naredili tudi na podlagi klasifikacije Zemek in sod. (2006); za bolj natančen prikaz jakosti ZF pa smo poleg aritmetične sredine uporabili tudi tretji kvartil oz. deveti decil DLI.

Preglednica 12: Razmerje med povprečnim DLI (na lovišče) in kategorijo zobne fluoroze po metodologij: A – Zemek in sod., 2006; B – prirejena lastna klasifikacija.

Table 12: Relationship between average DLI (on a hunting ground) and the category of dental fluorosis: A: methodology of Zemek et al., 2006; B – our modified classification.

A:		**B:**	
Povprečen DLI	**Kategorija zobne fluoroze, uporabljena na Češkem**	**Povprečen DLI**	**Slovenska kategorija zobne fluoroze**
0	1	0	1
>0 – 3	2	>0 – 1	2
>3 – 6	3	>1 – 2	3
>6 – 9	4	>2 – 3	4
>9 – 12	5	>3 – 4	5
>12 – 15	6	>4	6
>15 – 18	7		
>18	8		

Izdelava prostorskega prikaza zobne fluoroze srnjadi Slovenije na nivoju lovišč

Pri izdelavi prostorskih prikazov zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz celotne Slovenije v letu 2007, smo se oprli na metodologijo Zemek in sod. (2006), ki smo jo zaradi majhne stopnje zobne fluoroze nekoliko priredili (preglednica 12B). Za celotno Slovenijo smo tako izdelali karte povprečne stopnje zobne fluoroze (povprečen DLI) srnjadi po loviščih (6 kategorij ZF; slovenska klasifikacija) in s tem **izvedli veliko-površinski biomonitoring Slovenije na mezoprostorskem nivoju**. Na slikah 45 – 47 smo prikazali povprečno zobno fluorozo: (i) mlade srnjadi (2 – 4 letne živali); (ii) stare srnjadi (5+ živali); (iii) vse odrasle srnjadi skupaj (2+ živali).

Dodatno smo želeli preveriti, kako se zobna fluoroza pojavlja pri enoletnih osebkih (tistih s popolnoma izraščenim zobovjem), na podlagi česar smo ocenili 2.122 čeljusti iz severovzhodne Slovenije. Ker se je pri tej starostni kategoriji zobna fluoroza pojavljala z izredno majhno frekvenco, ZF za enoletno srnjad ostale Slovenije (kjer ni večjih virov emisij fluoridov; Zrak, 2010) nismo ocenjevali.

Onesnaženost okolja Slovenije s fluoridi smo želeli primerjati z rezultati obeh omenjenih prostorskih študij, zato smo zobno fluorozo srnjadi prikazali (priloga C) tudi po metodologiji Zemek in sod. (2006), kjer smo vsako lovišče na podlagi povprečnega DLI uvrstili v eno od 8 kategorij ZF (preglednica 12A). S takšnim prikazom sicer nimamo najbolj natančnega vpogleda v dejansko višino ocenjene zobne fluoroze pri prizadetih osebkih; DLI se na nivoju lovišč namreč razporeja logaritemsko, zato bi bilo sicer korektneje prikazati mediane DLI, a to do sedaj ni bila praksa v nobeni izmed omenjenih študij (Kierdorf in sod., 1999; Zemek in sod., 2006). Zaradi narave te metode odzivne bioindikacije (DLI = 0: če ni prisotnih znakov zobne fluoroze) so namreč na območjih, kjer ni prisotnih večjih virov emisij fluoridov, mediane izjemno nizke oz. znašajo Me = 0,0. Za natančnejši vpogled v višino ocen zobne fluoroze (intenziteto zobne fluoroze) srnjadi, kjer je le-ta prisotna (DLI > 0), se ponekod uporablja prikaz najvišjih ocen poškodovanosti posameznih kočnikov (MTS). Podobno smo se v našem primeru odločili za prikaz tretjega kvartila DLI (slika 48) oz. devetega decila DLI (priloga D). Slednja predstavljata vrednost, od katere je višje ocenjenih še 25 % oz. 10 % vzorcev, in ki zaradi manjše možnosti slučajnega vpliva natančneje odražata večjo izpostavljenost osebkov kot absolutni maksimum zobne fluoroze (MTS).

Izdelava prostorskega prikaza zobne fluoroze srnjadi Slovenije na nivoju mreže 1 x 1 km

V poglavju 3.4.1 predstavljeni način zbiranja čeljusti, predvsem pa njihova možna povezava z vsemi atributnimi podatki o izvornem osebku, vključno s kvadrantom uplenitve (v Sloveniji v 1 x 1 km rastrski mreži), nam omogoča nadgradnjo predstavljenega mezoprostorskega prikaza (nivo lovišč) zobne fluoroze srnjadi. Ta povezava s podatki o odvzemu srnjadi v 1 x 1 km kvadrantih, kar je možno storiti le v Sloveniji in nikjer drugje na svetu, nam omogoča izvedbo izjemno natančnega, do sedaj še nikoli izvedenega velikopovršinskega biomonitoringa onesnaženosti celotne države s fluoridi na mikroprostorskem nivoju.

Pomemben del pričujoče raziskave predstavlja torej priprava podrobne karte zobne fluoroze srnjadi celotne Slovenije, saj le-ta vizualno razkriva potencialna, prej nepoznana območja onesnaženosti okolja s fluoridi v Sloveniji in prostorsko prikazuje lokalne obremenjenosti te živalske vrste oz. njenega habitata (ekosistemov) s temi snovmi. Glede na velikost raziskovalnega območja in gostoto (izjemno številčnost) analiziranih podatkov smo se odločili za rastrsko kartiranje v mogoči prostorski ločljivosti 1 km^2, pri čemer vsaka celica (ki dejansko ponazarja kvadrant odvzema srnjadi) podaja tretji kvartil zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz tega kvadranta in najbližjih sosednjih kvadrantov v velikosti okna 7 × 7 km (skupaj 49 rastrskih celic). Z uporabo tretjega kvartila DLI se višja ocena zobne fluoroze pri določenih čeljustih srnjadi ne izgubi v izračunih povprečja, hkrati pa smo se tako izognili naključnim napakam, ki bi lahko izhajale iz naključnih dogodkov (npr. emigracije/imigracije živali) pri prikazu maksimalnih vrednosti. Za izbiro večjega iskalnega okna smo se odločili zato, da smo v oknu povečali vzorec srnjadi in s tem omilili vplive naključnih dogodkov.

Izdelava prostorskega prikaza zobne fluoroze srnjadi Šaleške doline

Prostorsko smo zobno fluorozo srnjadi, odvzete iz Šaleške doline, prikazali ločeno za pet lovišč tega območja (Škale, Oljka, Velenje, Smrekovec in Velunja; glej sliko 12) za tri izbrana leta v obravnavanem obdobju 1997 – 2009. Naredili smo tri karte povprečne stopnje zobne fluoroze (povprečen DLI) srnjadi, odvzete iz omenjenih lovišč v letih 1997, 2001 in 2007 (slika 55). Pri tem smo se opirali na metodologijo Zemek in sod. (2006), ki smo jo, podobno kot za celotno Slovenijo, nekoliko priredili (glej preglednico 12B). Ker smo želeli imeti primerljive rezultate z obema do sedaj poznanima prostorskima biomonitoringoma nekega širšega območja (Kierdorf in sod., 1999; Zemek in sod., 2006), smo v vzorec vključili (združili) vse tri starostne kategorije odrasle srnjadi. Tudi tukaj smo se za prikaz intenzitete ZF odločili tudi za prikaz devetega decila DLI (slika 56), ki bolje odraža maksimalne vrednosti kot absolutni maksimum (manjše možnosti slučajnega vpliva).

Izdelava prostorskega prikaza zobne fluoroze srnjadi naravovarstveno pomembnih območij Slovenije

Način zbiranja spodnjih čeljusti srnjadi in njihova možna povezava z vsemi atributnimi podatki o izvornem osebku, vključno z lokacijo uplenitve, ki je natančno predstavljeno v poglavju 3.4.1, nam omogoča precej natančno določitev stopnje zobne fluoroze srnjadi tudi na naravovarstveno pomembnih območjih in s tem določitev možne obremenjenosti naravovarstveno pomembnih ekosistemov s fluoridi. V ta namen smo povezali podatke o zobni fluorozi (povprečen DLI) posameznih osebkov srnjadi (na podlagi natančne lokacije njihovega odvzema – 1 x 1 km velika mreža) s tremi tipi zavarovanih območij v Sloveniji, in sicer: (i) z ekološko pomembnimi območji (EPO); (ii) s posebnimi varstvenimi območji ali območji Natura 2000; (iii) z zavarovanimi območji Slovenije. Pri tem smo se, upoštevaje življenjske navade ter velikost areala srnjadi (Krže, 2000), odločili za nabor le večjih strnjenih naravovarstveno pomembnih območij (minimalne površine 1.000 ha), ki predstavljajo vsaj 10 rastrskih celic velikosti 1 km^2. Vključili smo le območja, za katera smo lahko pridobili dovolj veliko/reprezentativno število vzorcev znotraj območja, in sicer območja/prostorske enote, ki vsebujejo vsaj 5 georeferenciranih vzorcev čeljusti srnjadi.

Tako smo znotraj EPO v analizo vključili 70 območij (najmanjša velikost: 11,5 km^2; največja velikost: 3.477,8 km^2); iz analiz smo izključili nehabitat srnjadi: morje, soline in linijska območja večjih rek. Pri območjih Natura 2000 smo vključili 23 SPA območij in 48 pSCI območij (najmanjša velikost: 10,9 km^2; največja velikost: 1.063 km^2). Pri analizah zobne fluoroze zavarovanih območij smo se odločili za nabor enega narodnega, dveh regijskih in 20 krajinskih parkov; ostala zavarovana območja so bodisi točkovna/linijska oz. so premajhna za relevantno vključitev v analize.

Znotraj vseh treh podatkovnih plasti smo vsakemu individualnemu območju pripisali povprečno vrednost zobne fluoroze srnjadi, ki je bila odvzeta znotraj tega območja. Pri tem smo v EPO območjih zajeli 5.233 vzorcev čeljusti, v območjih Natura 2000 3.642 čeljusti in pri zavarovanih območjih 1.229 spodnjih čeljusti srnjadi. Prostorski prikaz zobne fluoroze srnjadi znotraj vseh treh tipov varovanih območij smo prikazali z lastno metodologijo prikaza (glej preglednico 12B) na podlagi povprečnega DLI srnjadi v dotičnem območju.

3.3.2 Metoda prostorskega prikaza dolžin spodnjih čeljusti srnjadi

Izdelava prostorskega prikaza velikosti srnjadi Slovenije na nivoju lovišč

Vitalnost srnjadi, ki jo zelo adekvatno odražajo dolžine kosti v skeletu osebka (npr. Challies, 1978; Zannèse in sod., 2006a), tj. tudi dolžine spodnjih čeljusti (npr. Hewison in sod., 1996; Høye in Forchhammer, 2006), smo skušali prikazati na nivoju celotne Slovenije. Tako smo na podlagi povprečnih dolžin spodnjih čeljusti različnih starostnih in spolnih kategorij srnjadi po loviščih izdelali pet prostorskih prikazov vitalnosti srnjadi, in sicer združeno za mladiče (med spoloma ni značilnih razlik v dolžini spodnjih čeljusti; slika 67), mladice (slika 68), lanščake (slika 69), srne (slika 70) ter srnjake (slika 71). Ker se pri mladičih pojavlja različen odvzem po mesecih med posameznimi območji, smo za to kategorijo prikazali le povprečne dolžine čeljusti mladičev, odvzetih v mesecu oktobru 2007.

Izdelava prostorskega prikaza vitalnosti srnjadi naravovarstveno pomembnih območij Slovenije

Pomemben del disertacije zajema tudi prostorski prikaz vitalnosti srnjadi znotraj naravovarstveno pomembnih območij Slovenije. Tudi v tem primeru smo skušali povezati podatke o dolžini spodnjih čeljusti srnjadi: (i) z ekološko pomembnimi območji; (ii) s posebnimi varstvenimi območji ali območji Natura 2000; (iii) z zavarovanimi območji Slovenije. Ravno tako smo se odločili le za nabor večjih strnjenih območij (minimalne površine 1.000 ha), in sicer zaradi upoštevanja življenjskih navad in velikosti areala srnjadi (Krže, 2000) ter reprezentativnosti vzorcev.

Ker velikost spodnjih čeljusti srnjadi odraža le razmere v prvem letu in pol starosti (Linnell in sod., 1998b), smo prostorski prikaz vitalnosti srnjadi znotraj teh območij omejili le na mladiče srnjadi (oba spola), ki odražajo razmere okolja in gostote populacije v točno določenem letu, tj. v letu njihovega poleganja in odvzema (leto 2007). Za to starostno kategorijo smo se odločili, ker le-ta odraža vplivne dejavnike okolja v *cca.* prvi polovici prvega leta osebka, ki jih pri 2+ srnjadi (zaradi nenatančnega poznavanja starosti oz. leta poleganja) ne moremo natančneje določiti oz. izključiti različnih vplivov okolja npr. v dveh zaporednih letih.

V analizo smo vključili območja oz. enote znotraj območij, kot je opredeljeno v poglavju 3.3.1. Pri tem smo v EPO območjih zajeli 2.962, v območjih Natura 2000 2.530 in v zavarovanih območjih 548 čeljusti mladičev srnjadi.

3.3.3 Metoda prostorskega prikaza anomalij, poškodb in obolenj čeljusti

Pojavljanje štirih anomalij (aktinomikoze, hipoplazije sklenine, prisotnost prvega predmeljaka, odsotnost drugega predmeljaka) spodnjih čeljusti oz. pripadajočega zobovja srnjadi smo (zaradi njihove majhne frekvence) prostorsko prikazali na podlagi absolutnega števila primerov določene anomalije po loviščih. Rezultati so podani na slikah 75 – 78.

3.4 ZBIRANJE, PRIPRAVA IN ANALIZA PODATKOV O POTENCIALNIH VPLIVNIH OKOLJSKIH DEJAVNIKIH

Najpomembnejše orodje za zajemanje, shranjevanje, iskanje, analiziranje, prikazovanje in obdelavo prostorskih podatkov so v zadnjih letih geografski informacijski sistemi (GIS). Prvi zametki GIS orodij so se pojavili v Kanadi v 60-tih letih 20. stoletja; danes so rezultat vzporednega razvoja različnih prostorskih znanosti in disciplin (kartografije, geografije, geodezije, fotogrametrije, prostorske statistike, informatike, daljinskega zaznavanja ipd.). GIS orodja so detajlno predstavljena v knjigi Geografski informacijski sistemi (Kvamme in sod., 1997). Uporaba GIS orodij za prostorske/statistične raziskave na področju prostoživečih živali se v zadnjih letih tako v Sloveniji kot tudi po svetu močno povečuje in postaja nepogrešljiv del proučevanja ekologije prostoživečih parkljarjev, vključno s srnjadjo (npr. Massei in sod., 1997; Jerina in sod., 2002; O'Brien in sod., 2005; Zemek in sod., 2006; Jerina, 2006a, 2006b, 2007; Kamler in sod., 2007; La Morgia in sod., 2008; Austin in sod., 2009; Stergar in sod., 2009a; McKinney in sod., 2009; Vall Ilosera in Sol, 2009).

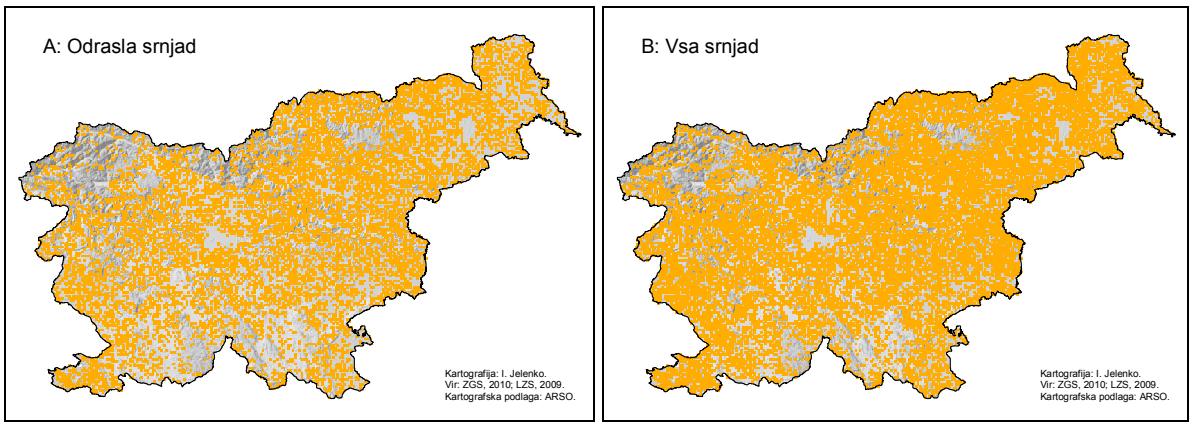
Vpliv tako zunanjih (okoljskih) kot tudi notranjih (individualnih) dejavnikov na pojav zobne fluoroze oz. velikost spodnjih čeljusti srnjadi smo želeli proučiti z uporabo GIS orodij in kompleksnih multivariatnih statističnih analiz. S prekrivanjem različnih podatkovnih plasti odvisnih in neodvisnih spremenljivk smo izdelali podatkovne nize, ki smo jih nato uporabili za omenjene analize. Pri tem smo se opirali na doktorsko delo *Prostorska razporeditev, območja aktivnosti in telesna masa jelenjadi (*Cervus elaphus *L.) glede na okoljske dejavnike* (Jerina, 2006a), kjer je podrobneje predstavljeno tako zbiranje/zajemanje kot tudi obdelava podatkov določenih okoljskih dejavnikov, ki so bili kot GIS plasti uporabljeni tudi v tej disertaciji. Sklicevanje na omenjeno delo je v sklopu pričujoče disertacije vsakič ponovno navedeno.

Po Jerini (2006a) ima uporaba GIS za zajemanje prostorskih spremenljivk pred klasičnim načinom zajemanja podatkov (terenske meritve) več prednosti, in sicer: (i) zajemanje vrednosti spremenljivk je praviloma cenejše in hitrejše; (ii) ugotovljene zakonitosti je mogoče brez dodatnih meritev ekstrapolirati na širši prostor; (iii) nekatere spremenljivke (ki močno variirajo v prostoru) je s klasičnim pristopom skorajda nemogoče zajeti; (iv) postopki izdelave izhodiščnih baz so praviloma standardizirani, kar pomeni, da so rezultati različnih študij lažje primerljivi; (v) zaradi hitrejšega in cenejšega zajemanje neodvisnih spremenljivk jih je mogoče obravnavati več in s tem problematiko bolj celostno preučiti. Sem bi dodali še eno prednost, in sicer: določeni okoljski podatki se praviloma bistveno ne spreminjajo (geološka in pedološka podlaga, količina padavin, osončenost, povprečna temperatura…), zato lahko izdelamo osnovno bazo podatkov, ki jo naknadno nadgrajujemo; posledično so vse naslednje raziskave bistveno cenejše, hitrejše in še bolj natančne.

3.4.1 Zbiranje podatkov o srnjadi

V Sloveniji se po letu 2003 podatke o vsej izločeni veliki divjadi, vključno s srnjadjo, georeferencira s kilometrsko prostorsko ločljivostjo (Virjent in Jerina, 2004; Jerina, 2006a). Kot je bilo že omenjeno se v informacijskih sistemih Lisjak (Osrednji slovenski register velike lovne divjadi in velikih zveri – ta pokriva vsa lovišča, s katerimi upravljajo lovske družine – LD) oz. X-Lov (pokriva vsa lovišča s posebnim namenom – LPN) za vsak izločeni

osebek poleg mesta izločitve (šifra kvadranta) vodijo trajne evidence o njegovem spolu in ocenjeni starosti oz. strukturnem razredu, telesni masi, datumu in vzroku izločitve, kar je povezano z zaporedno številko iz evidenčne knjige odvzema. Zaradi sledljivosti pri kategorizacijah se pri velikih rastlinojedih parkljarjih del teh podatkov, praviloma zaporedna številka iz evidenčne knjige odvzema, zapisuje na same čeljusti. Tako je mogoče vse podatke, povezane s posamezno čeljustjo (ocena stopnje zobne fluoroze, ocena starosti osebka in tudi morfometrične lastnosti), povezati s podatki o živali, ki ji ta čeljust pripada in ki se zbirajo v obeh omenjenih bazah Lisjak oz. X-Lov (osrednji register). Vsi kvadranti, v katerih je bila zabeležena vsaj ena izločitev srnjadi v Sloveniji v letu 2007, so prikazani na slikah 31A, 31B; skupaj je takšnih 9.271 kvadrantov (odrasla srnjad) oz. 12.975 kvadrantov (vse starosti srnjadi) od skupno 21.404 kvadrantov Slovenije.



Slika 31: Prostorski prikaz kilometrskih kvadrantov Slovenije, v katerih je bil v letu 2007 izločen vsaj en osebek srnjadi: A – odrasla (2+) srnjad; B – vse starostne kategorije.

Figure 31: Spatial presentation of one kilometre square grids, in which at least one roe deer was culled in 2007: A – adult (2+) roe deer; B – all age categories.

Pred izvedbo statističnih analiz smo vse zbrane podatke o ocenjeni zobni fluorozi oz. izmerjenih morfometričnih značilnostih in ocenjeni starosti osebka povezali s posameznim osebkom in njegovimi podatki iz elektronske baze. Pri tem smo vključili le tiste čeljusti, ki so bile ustrezno in nedvoumno označene (z ustrezno zaporedno številko odvzema za znano lovišče). Na podlagi izdelanih logičnih filtrov (z uporabo programa *Microsoft Excel*) smo povezane podatke prečistili. Preverili smo morebitno podvajanje zaporednih številk in takšne primere popolnoma izključili. Izključili smo tudi osebke, katerih starost oz. strukturni razred, zabeležen v osrednjem registru, se ni ujemal s podatki o ocenjeni starosti, dobljeni z okularno oceno po metodi izraščenosti oz. obrabe zobovja (Krže, 2000). Poleg neoznačenih čeljusti smo izločili tudi vse tiste, ki so imele v bazah zapisan nepravilen kvadrant odvzema, tj. takšen kvadrant, ki ne leži v dotičnem lovišču, kamor je osebek spadal (glej Jerina, 2006a). Del teh podatkov smo sicer uspeli popraviti in vključiti v analize na podlagi dejstva, da sta pogosto koordinati kvadranta zamenjani (ponoven zagon logičnih filtrov za preverjanje zamenjanih kvadrantov). Zaradi težav s povezovanjem zaporednih številk, zabeleženih na čeljustih s podatki iz baze X-Lov (lovišča s posebnim namenom, ki imajo vsako posebej svoj sistem označevanja, ki poteka bodisi po revirjih, bodisi po strukturnem razredu), smo iz nadaljnjih obdelav izločili tudi srnjad, uplenjeno v loviščih s posebnim namenom.

3.4.2 Zobna fluoroza

Analizo vpliva okoljskih dejavnikov na pojav in intenziteto stopnje zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz celotne Slovenije leta 2007, smo opravljali na podlagi multivariatnih statističnih analiz. V ta del raziskave smo praviloma vključili vse leve spodnje čeljusti vse odrasle srnjadi, odvzete iz vseh lovišč Slovenije, kar znaša 14.672 čeljusti. Na podlagi povezovanja podatkov z elektronskimi podatkovnimi bazami in njihovega "čiščenja" se vsi podatki za srnjad v novo tvorjenih GIS plasteh nanašajo na **11.733** georeferenciranih čeljusti.

3.4.2.1 Zbiranje in priprava podatkov o potencialnih vplivnih okoljskih dejavnikih

S pričujočo raziskavo smo želeli celostno preučiti, kateri dejavniki najbolj vplivajo na pojavnost in stopnjo zobne fluoroze pri srnjadi. V analize smo zato vključili več individualno in okoljsko pogojenih ter potencialno pomembnih naravnih in antropogenih spremenljivk (preglednica 13). Pri tem smo izhajali iz osnovne baze okoljskih podatkov, ki jo imajo na Biotehniški fakulteti, Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, ter jo dopolnili s potencialno pomembnimi okoljskimi spremenljivkami, ki vplivajo na pojav in intenziteto zobne fluoroze, iz javno dostopnih podatkovnih baz (viri podatkov so navedeni v preglednici 13). Pri izboru spremenljivk smo izhajali iz ugotovitev drugih podobnih raziskav po Evropi (npr. Kierdorf in sod., 1999; Weinstein in Davison, 2004; Zemek in sod., 2006).

Emisije fluoridov

Povečane koncentracije fluoridov v ozračju so poleg vulkanske aktivnosti največkrat posledica antropogenih virov (Weinstein in Davison, 2004; Fluorides …, 2009). Njihov prenos na daljše razdalje je odvisen predvsem od količine emisij, meteoroloških razmer, višine vira izpusta in reliefa (*ibid*.). Prostorsko variiranje jakosti vplivov točkovnih virov emisij fluoridov v Sloveniji smo ponazorili s tremi spremenljivkami. Prva spremenljivka so modelne imisijske koncentracije fluoridov (**F_MOD**) kot posledica emisij iz glavnih točkovnih virov fluoridov v Sloveniji (Talum, Termoelektrarna Šoštanj, Termoelektrarna Trbovlje, Impol, STC, Mariborska livarna itn.; skupaj 21 virov, ki ležijo v vzhodni Sloveniji; oz. skupaj 28 virov, ki se nahajajo v celotni Sloveniji), pri čemer smo upoštevali povprečne letne emisije iz teh virov v obdobju 2005 – 2007 (Zrak, 2010). Pri pripravi te spremenljivke smo predpostavili, da se imisijske koncentracije fluoridov z oddaljenostjo od točkovnega vira eksponentno zmanjšujejo, absolutno pa so premosorazmerno odvisne od skupnih letnih emisij iz tega vira. Prostorsko porazdelitveno funkcijo imisijskih koncentracij ($y = 2{,}3213 \times e^{-0{,}7802 \text{ x razdalja}}$) smo parametizirali na osnovi podatkov iz literature (glej Weinstein in Davison, 2004). Poleg tega smo upoštevali, da se emisije iz več točkovnih virov seštevajo.

Omenjena spremenljivka torej hkrati zajema emisije iz vseh točkovnih virov obravnavanega območja, vendar pa je njena natančnost povsem odvisna od realnosti funkcije, ki ponazarja upadanje količine fluoridov z oddaljenostjo od točkovnega vira. Zaradi tega smo v raziskavo vključili še dve bolj preprosti spremenljivki, in sicer: (i) oddaljenost od treh glavnih točkovnih virov fluoridov (Talum, Termoelektrarna Šoštanj, Termoelektrarna Trbovlje; **F_ODD**); na podlagi prostorske razmestitve centroidov (koordinat teh treh virov) smo s pomočjo Thiesseneovih poligonov izdelali vplivno območje posameznega vira in z ukazom

distance (*Idrisi 32.2*) dobili zvezno spremenljivko oddaljenosti od posameznega relevantnega vira znotraj vplivnega območja; (ii) oddaljenost od tovarne aluminija Talum Kidričevo (**TALUM_ODD**), ki smo jo podobno kot F_ODD izdelali z ukazom *distance* (zvezna spremenljivka). Zadnji dve spremenljivki se vsebinsko prekrivata, vključitev obeh pa je pomembna, ker smo želeli poleg ugotavljanja vpliva oddaljenosti od vira emisij ugotoviti tudi hkraten vpliv same količine emisij. Zaradi tega smo kot posebno spremenljivko dodali TALUM_ODD, s čimer smo dosegli, da se pomen oz. vpliv izjemno velikih emisij iz tega največjega vira v Sloveniji ne zmanjša na račun 4,5-krat oz. 14-krat manjših emisij iz drugega oz. tretjega največjega vira emisij fluoridov v Sloveniji.

Preglednica 13: Seznam analiziranih spremenljivk za ugotavljanje vpliva različnih dejavnikov na pojavljanje zobne fluoroze srnjadi s šiframi, vrsto spremenljivke in osnovnimi viri.

Table 13: List of analysed variables employed for the assessment of the influence of different factors on dental fluorosis with codes, type of the variable and data sources.

Spremenljivka	**Koda spremenljivke**	**Vrsta spremenljivke**	**Enota**	**Vir podatkov**
Povprečna letna količina padavin	PADAV	Zvezna	mm	Modelna …, 2004a
Delež pozidanih površin	URB%	Zvezna	%	Vektorska …, 2002; Vektorska …, 2004
Delež gozda in zaraščajočih površin (MKGP 2002, šifre 1410, 1420,1500, 2000)	GOZD%	Zvezna	%	
Oddaljenost od najbližjih negozdnih površin	ODD_NEG	Zvezna	m	
Oddaljenost od najbližjega naselja	ODD_URB	Zvezna	m	Statistični …, 1999
Modelne imisijske koncentracije fluoridov	F_MOD	Zvezna	kg/km^2	Pričujoča disertacija
Oddaljenost od treh glavnih točkovnih virov fluoridov	F_ODD	Zvezna	m	
Oddaljenost od Taluma	TALUM_ODD	Zvezna	m	
Pedološka podlaga	PEDOL	Kategorialna	evtrična rjava tla, distrična rjava tla, pokarbonatna rjava tla, hidromorfna tla, antropogena tla	Pedološka …, 2009
Geološka podlaga	GEOL	Kategorialna	magmatske kamnine, metamorfne kamnine, apnenec in dolomit, mlajše nesprijete sedimentne kamnine, starejše sprijete sedimentne kamnine	Digitalna …, 2009
Spol	SPOL	Kategorialna	M, Ž	Statistični …, 2009; Statistični …, 2010
Starostna kategorija	STAR	Ordinalna	2 – 4, 5 – 7, 8 in več let	Makroskopsko ocenjevanje v sklopu disertacije
Indeks zobne fluoroze	DLI	Ordinalna	0 – 30	

Padavine

Iz atmosfere se fluoridi odstranijo s suhim ali mokrim depozitom (Notcutt in Davies, 2001; Fluorides …, 2010). Padavine s spiranjem fluoridov iz atmosfere ter s spiranjem odloženih prašnih delcev z vegetacije (Kinnunen in sod., 2003; Khandare in Rao, 2006; Franzaring in sod., 2006) močno vplivajo na količino zaužitih fluoridov, če vemo da je glavni vnos fluoridov v telo srnjadi ravno zračni depozit fluoridov na rastlinju (Kierdorf U in Kierdorf H, 1999; Franzaring in sod., 2006). Prostorsko variiranje vplivov padavin smo ponazarjali s spremenljivko povprečna letna količina padavin (**PADAV**) (za izdelavo spremenljivke glej Jerina, 2006a).

Gozdnatost

Pomemben del plinastih fluoridov iz ozračja prevzamejo rastline s procesom difuzije, pri čemer se fluoridi kopičijo predvsem v listih rastlin. Po drugi strani krošnje dreves delujejo kot streha, ki prestreže del prašnih delcev in s tem tudi imisij fluoridov v obliki trdnih delcev (Notcutt in Davies, 2001; Franzaring in sod., 2006). Vpliv gozda smo analizirali prek spremenljivk delež gozda in oddaljenost od najbližjih negozdnih površin (**GOZD%; ODD_NEG**) (za izdelavo spremenljivke glej Jerina, 2006a).

Poselitev, urbanizacija

Fluoridi nastajajo tudi med kurjenjem premoga v individualnih ogrevalnih napravah oz. kuriščih (Yang in sod., 2009). Vpliv tega vira fluoridov v okolje smo aproksimirali s spremenljivkama delež pozidanih površin in oddaljenost od najbližjih urbanih površin (**URB%; ODD_URB**). Ker sta obe spremenljivki ocenjeni na ravni kvadrantov, prva ne more zaznati prenosa fluoridov med kvadranti, druga pa zaznava razlike med kvadranti glede na delež pozidanih površin (za izdelavo spremenljivke glej Jerina, 2006a).

Kamnine in tla

Na količino fluoridov lahko, bodisi prek pufrskega delovanja bodisi kot vir, potencialno vplivajo tudi kamninska podlaga in tla (Harrison, 2005; Zemek in sod., 2006; Bellomo in sod., 2007). Obe podatkovni plasti smo upoštevaje namen tega dela iz osnovnih baz (tla: Pedološka …, 2009; kamnine: Digitalna …, 2009) prekategorizirali v pet skupin in ustvarili dve kategorialni spremenljivki **PEDOL** in **GEOL**.

Na vsebnost fluoridov v tleh in dostopnost le-teh rastlinam ter naprej rastlinojedim sesalcem (v našem primeru srnjadi) vplivajo dejanske vsebnosti fluoridov v tleh, pH tal in vsebnosti gline ter organskih delcev (Baars in sod., 1987; Kinnunen in sod., 2003; Harrison, 2005). Temu ustrezno smo pedološko sestavo tal Slovenije prekategorizirali predvsem glede na teksturo in pH tal ter glede na delež organskih delcev v naslednjih pet skupin: evtrična rjava tla, distrična rjava tla, pokarbonatna rjava tla, hidromorfna tla in antropogena tla (preglednica 14).

Preglednica 14: Izdelava kategorične spremenljivke pedologija (PEDOL) s klasifikacijo pedosistematskih enot v pet kategorij talnih tipov.

Table 14: Composition of the categorical variable pedology (PEDOL) with the classification of pedosystematic units into five categories of soil type.

Pedosistematske enote (PSE)	Ime kategorije	Kategorija
21, 23, 414, 415, 418, 419, 421, 422, 444–626, 682–685, 699, 700, 727–730, 739–748, 884–887, 890	hidromorfna tla	1
5–8, 14, 15, 20, 50–53, 58–216, 637–652, 657–664, 673–680, 686–694, 727, 728, 731–738, 862–864, 877–883, 897–904	evtrična rjava tla	2
9–11, 16–19, 22, 54–57, 217–357, 413, 417, 420, 423-429, 671, 672, 681, 718–726, 749, 750, 754–861, 865–876, 894–896, 905–919, 924–935	distrična rjava tla	3
1–4, 12, 13, 24–49, 358–400, 401–412, 631–636, 654, 656, 665–670, 695–698, 701–717, 727, 751–753, 920–923	pokarbonatna rjava tla	4
416, 430-443, 889	antropogena tla	5

Podobno smo kamninsko sestavo obravnavanega območja razdelili v pet kategorij (magmatske kamnine, metamorfne kamnine, apnenec in dolomit, mlajše nesprijete sedimentne kamnine, starejše sprijete sedimentne kamnine), in sicer na podlagi vrste/nastanka kamnin (določa pH) in strukturo kamnin (določa vsebnost gline); slednja pospešuje ionsko izmenjavo in s tem omogoča večjo biodostopnost močno elektronegativnih fluoridnih ionov (Ponikvar, 2008). Klasifikacijo smo naredili za vsak geološki list posebej, kar pomeni, da se posamezne šifre geoloških enot podvajajo, zaradi česar te klasifikacije nismo podali v preglednici.

Za vse naštete spremenljivke smo po ustaljenih postopkih (glej tudi Jerina, 2006a) pripravili rastrske GIS-plasti s kilometrsko prostorsko ločljivostjo. Za takšno velikost rastrskih celic smo se odločili, ker se ujemajo z velikostjo individualnih območij aktivnosti srnjadi (Krže, 2000), poleg tega je tudi neodvisna spremenljivka (DLI) georeferencirana na takšno ločljivost. Pri kategorialnih spremenljivkah so za rastrske celice podane vrednosti tiste kategorije, ki v tej celici po površini prevladuje. Za pripravo vseh podatkovnih plasti in izpeljavo podatkovnih nizov za nadaljnje statistične analize smo uporabili programe *Idrisi 32.2, ArcView GIS 3.2* in programe paketa *MS Office 2003*. S prekrivanjem GIS plasti smo za vsak izločeni osebek srnjadi pridobili podatkovni niz z eno odvisno (DLI), dvema individualnima (SPOL, STAR) in desetimi okoljskimi neodvisnimi spremenljivkami (preglednica 13), ki smo jih uporabili v multivariatnih statističnih analizah. Pri tem smo za analizo vpliva okoljskih dejavnikov na zobno fluorozo srnjadi Slovenije dobili **10.880** ustreznih podatkovnih nizov odvisne – neodvisnih spremenljivk.

Analizo vpliva okoljskih dejavnikov na zobno fluorozo srnjadi smo izvajali z dvema različnima statističnima analizama. Najprej smo vpliv neodvisnih okoljskih spremenljivk na zobno fluorozo srnjadi Slovenije ugotavljali z multivariatno analizo s "splošnim regresijskim modelom" (GRM-model: *Forward Stepwise algoritem*). Prednost slednjega je, da so lahko neodvisne spremenljivke tako zvezne, diskretne kot tudi atributne (StatSoft Inc., 2010). V primeru izvedene analize z GRM-modelom so vhodne spremenljivke pedološka in geološka podlaga ter spol nastopali kot atributne spremenljivke, starost in odvisna spremenljivka DLI kot ordinalni, vse ostale pa so bile zvezne. Vsi pomembnejši parametri neodvisnih spremenljivk, vključenih v analizo z GRM-modelom o vplivih okoljskih in individualnih dejavnikov na DLI srnjadi Slovenije, so podani v preglednici 15.

Preglednica 15: Osnovni statistični parametri spremenljivk, vključenih v analizo vplivov okoljskih dejavnikov na zobno fluorozo srnjadi celotne Slovenije.

Table 15: Basic statistical parameters of variables included in analyses of influences of environmental factors on dental fluorosis of roe deer from whole Slovenia.

Neodvisne spremenljivke	**ā**	**Min**	**Max**	**Percentil 10 %**	**Me**	**Percentil 90 %**	**Interval zaupanja - 0,95 %**	**+ 0,95 %**
PADAV (mm)	1.358	800	3.244	901	1.250	1.898	1.350	1.365
URB% (%)	0,06	0,00	0,68	0,02	0,05	0,11	0,06	0,06
GOZD% (%)	0,56	0,01	1,00	0,27	0,58	0,83	0,56	0,57
ODD_NEG (m)	136	26	1.289	55	109	241	134	138
ODD_URB (m)	1.108	103	8.171	420	775	2.195	1.090	1.126
F_MOD (kg/km^2)	318	0	134.583	0	0	38	248	388
F_ODD (m)[a]	9.787	420	10.000	10.000	10.000	10.000	9.768	9.806
TALUM_ODD (m)[a]	21.684	822	22.500	22.500	22.500	22.500	21.627	21.741
PEDOL [b]	/	/	/	/	/	/	/	/
GEOL [b]	/	/	/	/	/	/	/	/
SPOL [b]	/	/	/	/	/	/	/	/
STAR [b]	/	/	/	/	/	/	/	/

OPOMBA:

(a) Obe spremenljivki imata določeni končni vrednosti.

(b) Neodvisni spremenljivki pedološka in geološka podlaga ter individualni spremenljivki spol ter starost so kategorične oz. ordinalne spremenljivke (glej preglednico 13).

Pred izvedbo multivariatnih analiz smo spremenljivki TALUM_ODD in F_ODD zaradi omejenega prostorskega vpliva emisij fluoridov iz točkovnih virov (glej poglavje 5.1.3; Weinstein in Davison, 2004) nekoliko priredili. Za spremenljivko TALUM_ODD smo določili končno razdaljo vpliva na 22.500 m, katero smo pripisali vsem celicam, ki so na tej oz. večji oddaljenosti od tovarne aluminija Talum. Ker so imisijske koncentracije fluoridov povezane s količino emisij iz točkovnega vira (Kierdorf in sod., 1999; Zemek in sod., 2006), smo spremenljivki F_ODD, ki poleg Taluma zajema še 27 večjih oz. manjših točkovnih virov fluoridov, kot končno razdaljo določili 10.000 m.

Ker oblike povezav neodvisnih spremenljivk z odvisno spremenljivko nismo poznali, smo pred izvedbo multivariatne analize z GRM-modelom vse pare neodvisnih in odvisne spremenljivke tudi grafično analizirali. Ker se je vpliv neodvisnih spremenljivke na odvisno vzdolž gradienta neodvisne spremenljivke pri vseh parih linearno spreminjal, smo neodvisne spremenljivke v analizo vključili v nespremenjeni obliki.

Analizo vpliva okoljskih dejavnikov na pojav zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz celotne Slovenije, smo ugotavljali tudi z "metodo regresijskih dreves". Takšne analize predhodno ne zahtevajo transformacije neodvisnih spremenljivk (De'Ath in Fabricius, 2000; StatSoft Inc., 2010), zaradi česar smo slednje ravno tako vključili v analizo v osnovni, netransformirani obliki. Pri tem smo vključili enake neodvisne spremenljivke kot pri analizi z GRM-modelom (preglednica 15).

3.4.3 Dolžine spodnjih čeljusti srnjadi

Analizo vplivnih okoljskih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti srnjadi smo opravljali v dveh sklopih, in sicer: (i) za mladiče srnjadi, poležene in odvzete v letu 2007; (ii) za enoletne osebke srnjadi, odvzete v letu 2007 (poležene v letu 2006). Zaradi nepoznavanja natančne starosti odraslih osebkov smo le-te iz analiz izključili, saj smo se želeli izogniti morebitnemu variiranju okoljskih dejavnikov med leti. Medtem ko smo pri prvi analizi ugotavljali vpliv okoljskih dejavnikov na hitro rast mladičev v prvih nekaj mesecih življenja, smo pri drugi analizi ugotavljali vpliv okolja na velikost osebkov v njihovem prvem letu starosti, ki hkrati pomeni tudi 95 % dosežene velikosti osebka (v kasnejših letih okoljski dejavniki nimajo večjega vpliva na velikost osebka; Høye in Forchhammer, 2006).

V ta del raziskave smo praviloma vključili vse leve spodnje čeljusti: (i) vseh mladičev srnjadi, odvzetih med septembrom in decembrom leta 2007; kar skupaj znaša 12.300 spodnjih čeljusti; (ii) vseh enoletnih osebkov, odvzetih med majem in oktobrom/decembrom 2007, kar znaša 8.189 čeljusti. Na podlagi povezovanja podatkov z elektronskimi podatkovnimi bazami in njihovega "čiščenja" se vsi podatki za srnjad v novo tvorjenih GIS plasteh nanašajo na 7.690 georeferenciranih čeljusti mladičev srnjadi in 5.186 georeferenciranih čeljusti enoletne srnjadi; zaradi večje natančnosti podatkov je pri obeh starostnih razredih vključen le čisti odstrel.

3.4.3.1 Zbiranje in priprava podatkov o potencialnih vplivnih okoljskih dejavnikih

V analize dolžin spodnjih čeljusti srnjadi (oba starostna razreda) smo vključili več individualno in okoljsko pogojenih ter potencialno pomembnih naravnih in antropogenih spremenljivk (preglednica 16). Tudi tukaj smo izhajali iz osnovne baze okoljskih podatkov, ki jo imajo na Biotehniški fakulteti, Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire (osnovni viri podatkov so navedeni v preglednici 16). Pri izboru spremenljivk smo izhajali iz ugotovitev različnih raziskav o vplivu okolja na vitalnost srnjadi (glej poglavje 2.4).

Klimatski dejavniki

Od okoljskih dejavnikov imajo na velikost spodnjih čeljusti srnjadi največji vpliv klimatski dejavniki (Mysterud in Østbye, 2006a; Melis in sod., 2009). Skladno s tem smo v analize vključili večje število neodvisnih spremenljivk, ki bodisi lokalno bodisi globalno podajajo klimatske razmere. Tako smo vključili spremenljivko povprečna letna količina padavin (**PADAV**) kot zvezno spremenljivko ter povprečno letno temperaturo (**TEMP**) ravno tako kot zvezno spremenljivko. Ker na velikost čeljusti srnjadi v veliki meri vpliva suša (Toïgo in sod., 2006), o kateri nimamo podatkov, smo slednjo skušali podati s spremenljivko povprečna julijska temperatura (**TEMP_J**) kot ordinalno spremenljivko. Na dolžine čeljusti srnjadi vpliva tudi snežna odeja (Mysterud in Østbye, 2006a), ki smo jo podali z ordinalno spremenljivko najvišja višina snežne odeje s povratno dobo 50 let – spodnja meja (**SNEG**). Lokalno klimatsko primernost smo skušali ponazarjati še z neodvisnima zveznima spremenljivkama jakost sončnega obsevanja (**JAK_SONC**) in delež toplih leg **(%T_LEG**). Tvorba vseh omenjenih spremenljivk je natančno podana v Jerina (2006a), z izjemo spremenljivk SNEG ter TEMP_J, ki smo ju ustvarili s prekrivanjem istoimenskih kart, ki so na razpolago na metapodatkovnem portalu ARSO, s slojem kvadrantov.

Preglednica 16: Seznam analiziranih spremenljivk za ugotavljanje vpliva različnih dejavnikov na velikost čeljusti srnjadi, s šiframi, vrsto spremenljivke in osnovnimi viri.

Table 16: : List of analysed variables employed for the assessment of the influence of different factors on the size of roe deer mandibles, with codes, type of the variable and data sources.

Spremenljivka	**Koda spremenljivke**	**Vrsta Spremenljivke**	**Enota**	**Vir podatkov**[a]
Povprečna nadmorska višina	NV	Zvezna	m	Digitalni …, 1995
Mediana naklonskih razredov	NAKL	Zvezna	º	
Delež toplih leg	%T_LEG	Zvezna	%	
Jakost sončnega obsevanja	JAK_SONC	Zvezna	W/m^2	Gabrovec, 1996
Povprečna letna količina padavin	PADAV	Zvezna	mm	Modelna …, 2004a
Najvišja višina snežne odeje	SNEG	Ordinalna	cm	Najvišja …, 2010
Povprečna letna temperatura	TEMP	Zvezna	º C	Modelna …, 2004b
Povprečna julijska temperatura	TEMP_J	Ordinalna	º C	Povprečna …, 2010
Delež gozda in plantaž gozdnega drevja	%GOZD	Zvezna	%	Vektorska …, 2002 Vektorska …, 2004 Popis …, 1990
Oddaljenost od najbližjih gozdnih površin	ODD_GOZD	Zvezna	m	
Oddaljenost od najbližjih negozdnih površin	ODD_NEG	Zvezna	m	
Dolžina gozdnega roba	GOZD_ROB	Zvezna	m	
Delež listavcev v lesni zalogi	%LIST	Zvezna	%	
Delež nedostopnih površin	%NEHAB	Zvezna	%	Vektorska …, 2002
Delež obdelovalnih površin	%OBDEL	Zvezna	%	
Delež travniških površin	%TRAV	Zvezna	%	
Oddaljenost od najbližje glavne ceste	ODD_CEST	Zvezna	m	Statistični …, 1999
Oddaljenost od najbližjega naselja	ODD_URB	Zvezna	m	
Model verjetnosti ugodnega habitata za srnjad	VER_SRN	Zvezna	/	Stergar in Jerina, neobjavljeno
Petletna gostota odvzema srnjadi (2004 –2008)	G_SRN	Zvezna	n/100 ha	Statistični …, 2009; Statistični …, 2010
Petletna gostota odvzema jelenjadi (2004 –2008) – povprečje 3 x 3 km	G_JEL	Zvezna	n/100 ha	
Petletna gostota odvzema gamsa (2004 – 2008) – povprečje 3 x 3 km	G_GAMS	Zvezna	n/100 ha	
Zaporedni dan odvzema	DAN	Ordinalna	30 – 275	
Mesec odvzema	MESEC	Ordinalna	5 – 12	
Spol	SPOL	Kategorialna	M, Ž	
Dolžina spodnje čeljusti	DOLŽ	Zvezna	mm	Lastne meritve

Individualni dejavniki

Na samo velikost osebka in s tem velikost spodnjih čeljusti v največji meri vpliva starost osebka (Høye in Forchhammer, 2006), zato smo slednjo podali z dvema spremenljivkama, in sicer s spremenljivko zaporedni dan odvzema (DAN), ki je podan s številom dni od 1. 4. 2007 (datum, ko osebek formalno preide v naslednjo starostno kategorijo) do dneva odvzema. Dodatno smo vključili še mesec odvzema (MESEC).

Relief

Vpliv reliefa na velikost osebkov smo skušali prikazati s spremenljivko povprečna nadmorska višina (**NV**) ter spremenljivko mediana naklonskih razredov (**NAKL**). Tudi izdelava teh dveh spremenljivk je podana v Jerina (2006a).

Kakovost habitata

Srnjad je vrsta gozdnega roba in je visoko specializiran rastlinojedi izbiralec (Simonič, 1976; Gaillard in sod., 2000), kar pomeni, da ima na velikost osebkov srnjadi velik vpliv tudi izbira habitata in količina ter kvaliteta hrane (Nuget in Frampton, 1994; Hewison in sod., 1996; Pettorelli in sod., 2001). Skladno s tem smo vključili več spremenljivk, ki pojasnijo kvaliteto in količino hrane, in sicer: delež listavcev v lesni zalogi (**%LIST**), delež obdelovalnih površin (**%OBDEL**), delež travniških površin (**%TRAV**) ter oddaljenost od najbližjih gozdnih površin (**ODD_GOZD**) (glej Jerina, 2006a). Z izbiro habitatnih tipov, ki lahko srnjadi nudijo ustrezno hrano in tudi nujno potrebno kritje (Mysterud, 1998), so povezane še spremenljivke, ki se nanašajo na gozdnatost: delež gozda in plantaž gozdnega drevja (**%GOZD**), oddaljenost od najbližjih negozdnih površin (**ODD_NEG**), dolžina gozdnega roba (**GOZD_ROB**) (Jerina, 2006a). Poleg tega smo dodali še spremenljivko modelno napoved verjetnosti ugodnega habitata za srnjad (**VER_SRN**) (Stergar in Jerina, neobjavljeno). Za srnjad neustrezen habitat predstavlja spremenljivka delež nedostopnih površin (**%NEHAB**: pozidane površine, golo, odprta vodna telesa).

Urbanizacija, promet

Moteči dejavnik za srnjad v okolju je tudi človek, katerega vpliv ponazarjamo s spremenljivkama oddaljenost od najbližjega naselja (**ODD_URB**) in oddaljenost od najbližje glavne ceste (**ODD_CEST**) (Jerina, 2006a).

Gostota srnjadi in ostalih vrst parkljaste divjadi

Na velikost osebkov ima poleg dostopnosti hrane in klimatskih dejavnikov enega največjih vplivov tudi gostota populacije (Hewison in sod., 1996; Pettorelli in sod., 2002). Ta vpliv smo skušali prikazati s spremenljivko petletna gostota odvzema srnjadi (**G_SRN**), ki relevantno odraža dejansko gostoto in je izdelana na podlagi skupnega (petletnega) odvzema srnjadi v določenem kvadrantu za obdobje 2004 – 2008 (Stergar in sod., 2009b).

Želeli smo določiti tudi morebiten vpliv ostalih vrst parkljaste divjadi na vitalnost osebkov (negativen medvrstni vpliv je bil že večkrat dokazan; npr. Latham in sod., 1996; Ferretti in sod., 2008; Richard in sod., 2010), zato smo v analizo vključili tudi spremenljivki petletna gostota odvzema jelenjadi (**G_JEL**) ter petletna gostota odvzema gamsa (**G_GAMS**). Gams je namreč ravno tako kot srnjad visoko specializiran rastlinojedi izbiralec (npr. La Morgia in Bassano, 2009), ki ima podobno ekološko nišo kot srnjad. Po drugi strani je jelenjad pašna vrsta, ki se hrani s hrano slabše kakovosti (Hafner, 2008) in srnjadi neposredno ne pomeni tekmeca v smislu zasedanja iste ekološke niše. Kljub temu v času, ko je dostopnost ustrezne hrane v okolju težja, med jelenjadjo in srnjadjo prihaja do medvrstne kompeticije za hrano (Latham in sod., 1996; Ferretti in sod., 2008; Richard in sod., 2010). Obe spremenljivki

(G_JEL in G_GAMS) sta ravno tako narejeni na podlagi petletnega odvzema teh dveh vrst na kvadrant (obdobje 2004 – 2008) (Stergar in sod., 2009b). Pri tem sta obe spremenljivki ustvarjeni z uporabo *mean filtra* z iskalnim oknom velikim 3 x 3 rastrske celice, kar pomeni, da celica predstavlja povprečje vseh vrednosti relevantne in devetih sosednjih celic. Takšna modifikacija je potrebna zaradi tega, ker imata obe vrsti večji areal kot srnjad.

3.4.3.2 Analiza potencialnih vplivnih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti srnjadi

Pred izvedbo multivariatnih statističnih analiz vpliva okoljskih in individualnih dejavnikov na velikost/dolžino spodnjih čeljusti mladičev in enoletne srnjadi smo analizirali še posamezne neodvisne spremenljivke. Večina vhodnih spremenljivk je bila zveznih, le individualni spremenljivki DAN ter MESEC in okoljski spremenljivki TEMP_J ter SNEG so nastopale kot diskretne ordinalne spremenljivke. Dodatno smo vključili še spremenljivko SPOL, ki je kategorična. Osnovni statistični parametri vključenih spremenljivk so podani v preglednici 17. Oblike povezav neodvisnih spremenljivk z odvisno nismo poznali, zato smo pred izvedbo analiz (za mladiče in enoletne osebke posebej) vse pare neodvisnih in odvisne spremenljivke tudi grafično analizirali. Ker se je vpliv neodvisne spremenljivke na odvisno vzdolž gradienta neodvisne spremenljivke linearno spreminjal za vse pare neodvisna – odvisna spremenljivka, smo vse neodvisne spremenljivke v analizo vključili v nespremenjeni obliki.

Preglednica 17: Osnovni statistični parametri spremenljivk, vključenih v analizo vplivov različnih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti mladičev in enoletne srnjadi.

Table 17: Basic statistical parameters of variables included in analyses of influence of different factors on the length of mandibles of roe deer fawns and yearlings.

Neodvisne spremenljivke	ā	Min	Max	Percentil 10 %	Me	Percentil 90 %	Interval zaupanja - 0,95 %	+ 0,95 %
NV (m)	447	32	2229	213	382	752	442	452
NAKL (º)	9,22	0,00	44,00	1,00	8,00	18,00	9,09	9,36
%TOP_LEG (%)	31,46	0,00	99,00	0,00	29,00	70,00	30,92	32,00
JAK_SONC (W/m^2)	4084	2106	5105	3743	4129	4357	4078	4089
PADAV (mm)	1319	800	3200	900	1200	1800	1311	1327
SNEG (cm)[a]	/	/	/	/	/	/	/	/
TEMP (º C)	8,9	0,0	13,0	7,0	9,0	10,0	8,9	9,0
TEMP_J (º C)[a]	/	/	/	/	/	/	/	/
%GOZD (%)	0,52	0,00	1,00	0,12	0,54	0,89	0,51	0,53
ODD_GOZD (m)	101	25	1359	35	67	198	99	103
ODD_NEG (m)	110	25	1453	38	80	207	108	112
GOZD_ ROB (m)	5537	0	15562	1462	5638	9270	5477	5596
%LIST (%)	0,63	0,00	1,00	0,16	0,67	0,98	0,62	0,63
%NEHAB (%)	0,06	0,00	1,00	0,01	0,04	0,13	0,06	0,06
%OBDEL (%)	0,17	0,00	1,00	0,00	0,07	0,50	0,16	0,17
%TRAV (%)	0,23	0,00	0,96	0,03	0,21	0,44	0,22	0,23
ODD_CEST (m)	1352	90	7433	259	1094	2784	1330	1374
ODD_URB (m)	1104	69	8498	304	766	2316	1083	1125
VER_SRN	0,92	0,10	0,96	0,88	0,93	0,95	0,92	0,92
G_SRN (n/100 ha)[a]	20,9	0,0	121,0	6,0	18,0	38,0	20,6	21,2
G_JEL (n/100 ha)[a]	0,5	0,0	27,0	0,0	0,0	2,0	0,5	0,6
G_GAMS (n/100 ha)[a]	0,3	0,0	20,0	0,0	0,0	1,0	0,3	0,4
DAN [b]	/	/	/	/	/	/	/	/
MESEC [b]	/	/	/	/	/	/	/	/
SPOL [b]	/	/	/	/	/	/	/	/

OPOMBA:
(a) Gostota odvzema populacij zajema petletno obdobje (2004 – 2008).
(b) Ordinalne in kategorična neodvisna spremenljivka.

3.5 STATISTIČNE METODE

Vse statistične analize smo naredili s pomočjo programskega paketa *Statistica for Windows 7.0* (Statsoft Inc., 2010). Kot statistično značilne smo privzeli rezultate, če je bila velikost statističnega tveganja $p < 0,05$.

3.5.1 Vsebnost fluoridov

Vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi imajo desno asimetrično porazdelitev (*Shapiro-Wilks' W test:* $W = 0,72$; $p < 0,0001$). Homogenost varianc smo testirali z *Brown-Forsythe testom* homogenosti varianc (med območji Slovenije: $F_{(11, 429)} = 5,77$; $p < 0,0001$; med leti znotraj Šaleške doline: $F_{(3, 264)} = 32,58$; $p < 0,0001$). Zaradi nenormalne porazdelitve vzorcev in nehomogenosti varianc smo se odločili za izvedbo neparametričnih statističnih analiz. Pri vsebnostih fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi smo kot enoto uporabljali mg/kg suhe snovi vzorca; v nadaljevanju so vse podane vsebnosti izražene v mg/kg suhe snovi.

Praviloma so v nadaljevanju vedno podane dejanske (netransformirane) vrednosti tako v preglednicah kot tudi na slikah. Izjema je le izračun linearne regresije (za katero je pogoj normalnost porazdelitev vzorcev; Statsoft Inc., 2010) med vsebnostjo fluoridov in starostjo mladičev v dneh, kjer smo vsebnosti fluoridov predhodno logaritemsko transformirali in tako dosegli normalno porazdelitev vzorcev.

Za določitev vpliva spola na vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljusti srnjadi smo uporabili *Mann-Whitney U-test*, ki je neparametričen test za ugotavljanje razlik med dvema skupinama vzorcev. Zaradi dovolj velikega števila vzorcev smo se osredotočili le na območje Kidričevo ($n = 52$).

Za določitev vpliva starosti na vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljusti srnjadi smo opravili *Kruskal-Wallis ANOVA*, ki je neparametrična različica enostavne analize variance *(one-way ANOVA). Kruskal-Wallis ANOVA* smo izvedli za vsa štiri vzorčna območja. Ker smo želeli preveriti, kako intenziven je dejansko vpliv starosti na vsebnost fluoridov v čeljustih, smo izračunali tudi korelacijo med vsebnostjo fluoridov in starostno kategorijo, in sicer z izračunom *Spearmanovega korelacijskega koeficienta rangov*. Med območji smo preverjali tudi hitrost akumulacije fluoridov v čeljustih mladičev s starostjo; za ugotavljanje slednje smo izvedli izračun linearne regresije s *Pearsonovim korelacijskim koeficientom.*

Za določitev razlik med posameznimi leti znotraj območja Šaleške doline smo opravili neparametrično analizo variance *Kruskal-Wallis ANOVA*. Ravno tako smo razlike med revirji Šaleške doline, razlike med štirimi območji Slovenije ter razlike med revirji območja Kidričevo preizkušali s *Kruskal-Wallis ANOVA*.

Morebitno korelacijo med oddaljenostjo od tovarne aluminija Talum in vsebnostjo fluoridov v čeljustih srnjadi, uplenjene v letu 2007 v okolici Kidričevega, smo ugotavljali s *Spearmanovim korelacijskim koeficientom*. *Pearsonov korelacijski koeficient linearne regresije* smo uporabili za določitev povezav med letnimi emisijami iz TEŠ in med povprečno letno vsebnostjo fluoridov v čeljustih enoletnih osebkov moškega spola (lanščakov).

3.5.2 Stopnja zobne fluoroze

Indeks zobne poškodovanosti (DLI) se nenormalno razporeja (*Kolmogorov-Smirnov test:* $d = 0,48$; $p < 0,01$). Homogenost varianc smo testirali z *Brown-Forsythe testom* ($F_{(3, 1.367)} = 30,67$; $p < 0,0001$). Podobno kot pri vsebnostih fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi smo se tudi pri stopnji zobne fluoroze (DLI) zaradi nenormalne porazdelitve vzorcev in nehomogenosti varianc odločili za izvedbo neparametričnih statističnih analiz.

Za preizkus značilnosti razlik med DLI znotraj posameznih starostnih kategorij srnjadi tako Šaleške doline kot tudi celotne Slovenije smo uporabili *Mann-Whitney U-test*. S slednjim smo preverjali tudi značilnost razlik med DLI srnjadi, izločene iz Šaleške doline v različnih obdobjih, ter značilnost razlik v stopnji zobne fluoroze srnjadi celotne Slovenije med spoloma.

Za določitev soodvisnosti med letnimi emisijami iz TEŠ in povprečnim letnim DLI odrasle srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009, smo uporabili *Pearsonov korelacijski koeficient linearne regresije.*

Značilnost razlik v oceni poškodovanosti posameznega kočnika srnjadi ($P_2 – P_4$ in $M_1 – M_3$) smo preverjali s *Friedman ANOVA by ranks* (test za odvisne vzorce).

Analiza z GRM-modelom

Vpliv okoljskih dejavnikov na stopnjo zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz Slovenije v letu 2007, smo želeli ugotoviti z eno od multivariatnih statističnih analiz. Ker je odvisna spremenljivka DLI ordinalen znak, ekvidistanca med vrednostmi spremenljivke in normalnost porazdeljevanja ni zagotovljena. Zato bi bilo njene multivariatne povezave z neodvisnimi spremenljivkami statistično korektno lahko analizirati le z določenimi neparametričnimi statistikami, npr. z *GLM-modelom* (*Ordinal Multinomial* porazdelitev odvisne spremenljivke in log-povezovalna funkcija; Zemek in sod., 2006; StatSoft Inc., 2010). Vendar GLM-modeli ob algoritmu vključevanja spremenljivk *Forward stepwise* niso konvergirani. Zato smo model zgradili s parametričnim *GRM-modelom* (*Forward stepwise* algoritem oz. metoda vključevanja spremenljivk) in ga testirali s prej opisanim GLM-modelom (glej StatSoft Inc., 2010). Pri tem je treba poudariti, da je število kategorij pri naši ordinalni spremenljivki veliko (30), kar pomeni, da njena aproksimacija z zvezno spremenljivko (pogoj za GRM-model) verjetno ni več tako groba.

Povezave med ordinalno odvisno (DLI) in zveznimi ter ordinalnimi neodvisnimi spremenljivkami smo predhodno analizirali tudi z bivariatno korelacijsko analizo, in sicer s *Kendallovo neparametrično korelacijo,* ki ima v primerjavi s parametrično korelacijo to prednost, da je občutljiva za vse monotone in ne le na linearno povezavo, poleg tega je njena raba metodološko korektna tudi pri ordinalnih spremenljivkah. Vplive atributnih spremenljivk smo analizirali s *Kruskal-Wallis testom*.

Analiza z metodo regresijskih dreves

Vpliv okoljskih dejavnikov na stopnjo zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz Slovenije v letu 2007, smo poleg bivariatne korelacijske analize ugotavljali z multivariatnimi statistikami, pri čemer smo se poleg splošnega regresijskega modela (GRM-model) poslužili v svetu vse bolj priljubljenih t. i. *regresijskih dreves*, ki se sedaj veliko uporabljajo bodisi na področju onesnaženosti okolja (npr. Smyth in sod., 2006; Neto in sod., 2009; Govarts in sod., 2010), bodisi na področju raziskav prostoživečih živali (npr. Stankovski in sod., 1998; De'Ath in Fabricius, 2000; Morrison in sod., 2003; Ungar in sod., 2005; O'Brien in sod., 2005; Vall Ilosera in Sol, 2009).

Proučevanje povezav med odvisnimi in neodvisnimi okoljskimi spremenljivkami je večkrat zaradi velike koreliranosti spremenljivk oz. njihove močne nelinearnosti težje ugotavljati z multivariatnimi statističnimi analizami. Zaradi tega se v zadnjem času vedno bolj uporabljajo klasifikacijska in regresijska drevesa (C&RT), neparametrične metode (možna uporaba tako zveznih kot kategoričnih spremenljivk), ki zelo dobro odražajo povezave tudi med tistimi odvisnimi – neodvisnimi spremenljivkami, katerih odziv ni linearen. Medtem ko lahko pri GRM- ali GLM-modelih ugotavljamo le linearne povezave zveznih oz. kategoričnih neodvisnih spremenljivk z odvisno spremenljivko, lahko z metodo dreves ugotavljamo povezave tudi tistih neodvisnih spremenljivk z odvisno, katerih odziv na odvisno spremenljivko ni niti monoton (npr. nekatere zvezne neodvisne spremenljivke so lahko z odvisno spremenljivko v pozitivni soodvisnosti, nato pa se ta pri določeni vrednosti prevesi v negativno soodvisnost). Na podlagi tega so metode dreves zelo uporabne za podatkovne poizvedbe pri tistih raziskavah, kjer so povezave med posameznimi spremenljivkami še nepoznane in kjer ne vemo, kaj vpliva na odvisno spremenljivko in kako. Z metodo dreves lahko v takšnih analizah pogosto odkrijemo enostavne povezave med nekaj spremenljivkami, ki bi lahko bile z drugimi metodami prezrte. Druga prednost C&RT je hkratno vključevanje velikega števila spremenljivk. Nenazadnje je podajanje rezultatov s to metodo zelo hitro in razumljivo ter podano z enostavnim modelom. Na podlagi slednjega lahko že z nekaj "in če je" trditvami ("*if than*" *statements*) razložimo, kaj in kako vpliva na odvisno spremenljivko (povzeto po Breiman in sod., 1984; Morisson in sod., 2003; StatSoft Inc., 2010).

Tvorba klasifikacijskih oz. regresijskih dreves poteka postopno, s ponavljajočo delitvijo podatkov, ki so vedno posledica enega enostavnega "pravila" oz. *"if-than"* pogoja, ki bazira na eni neodvisni spremenljivki. Pri tem model vedno vključuje spremenljivke po njihovem pomenu oz. moči vpliva na odvisno spremenljivko, posamezno spremenljivko pa lahko vključi tudi večkrat. Pri vsaki cepitvi so podatki razvrščeni v dve specifični skupini, s težnjo po tem, da sta obe skupini čim bolj homogeni (v povezavi z delitvenim pogojem). Naslednja delitev poteka za vsako izmed teh dveh skupin posebej, upoštevaje nove značilnosti te skupine. Glavni pomen metode dreves je, da se vrednosti odvisne spremenljivke razporedi v čim bolj homogene skupine, vendar z izdelavo dovolj majhnega modela. Končni rezultat te metode je grafični prikaz z različnim številom vozlov (*nodes*), ki predstavljajo osnovne podatke na vrhu (prvi vozel), ki se vsakič znova deli na dva naslednja vozla; vsak nedeljeni (končni) vozel predstavlja eno od končnih skupin odvisne spremenljivke (povzeto po De'Ath in Fabricius, 2000; Morisson in sod., 2003; O'Brien in sod., 2005; StatSoft Inc., 2010).

Pri tem se klasifikacijska drevesa uporabljajo za napovedovanje vrednosti kategorične oz. ordinalne odvisne spremenljivke na podlagi ene ali več zveznih ali kategoričnih neodvisnih spremenljivk, medtem ko se regresijska drevesa uporabljajo za napoved zvezne odvisne spremenljivke (StatSoft Inc., 2010). Tukaj smo se zopet na podlagi dejstva, da ima obravnavana ordinalna odvisna spremenljivka veliko število kategorij (30) in gre tako za približek zvezni funkciji, odločili za uporabo metode regresijskih dreves.

Model regresijskega drevesa smo zgradili s programom *Statistica for Windows 7.0*. Za izdelavo modela smo vnesli odvisno spremenljivko DLI, posamezne neodvisne spremenljivke glede na njihovo vrsto (ordinalne, zvezne), določili minimalno število vzorcev v posameznem končnem listu/vozlu (*nodu*), in sicer 500 (minimalno priporočeno število je 100). Poleg tega smo kot ključni pogoj za zaključitev modela regresijskega drevesa določili število tvorjenih vozlov (10); zaradi jasnosti modela je namreč priporočljivo majhno število končnih vozlov (StatSoft Inc., 2010).

3.5.3 Dolžina spodnjih čeljusti srnjadi

Rezultati meritev dolžin spodnjih čeljusti srnjadi imajo nenormalno porazdelitev (zamik v desno; *Kolmogorov-Smirnov test:* $d = 0{,}11$; $p < 0{,}01$). Homogenost varianc smo testirali z *Brown-Forsythe testom* med območji in strukturnimi razredi ($F_{(29,\ 21.981)} = 48{,}43$; $p < 0{,}0001$) ter med LUO ($F_{(89,\ 21.921)} = 29{,}55$ $p < 0{,}0001$). Zaradi nenormalne porazdelitve in nehomogenosti varianc smo se tudi tokrat odločili za izvedbo neparametričnih statističnih analiz. Kljub temu so vse grafične ponazoritve zaradi večje nazornosti v nadaljevanju podane na podlagi povprečne vrednosti dolžin in ne na podlagi njihovih median.

Za preizkus značilnosti razlik med spoloma po posameznih starostnih kategorijah smo uporabili *Mann-Whitney U-test*, za določitev razlik med starostnimi kategorijami pa *Kruskal-Wallis ANOVA*. S slednjo smo preverjali tudi značilnost razlik v dolžini spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz petih različnih naravnogeografskih območij Slovenije. Naraščanje dolžin spodnjih čeljusti mladičev srnjadi s starostjo osebkov smo določali s *Pearsonovim korelacijskim koeficientom linearne regresije*.

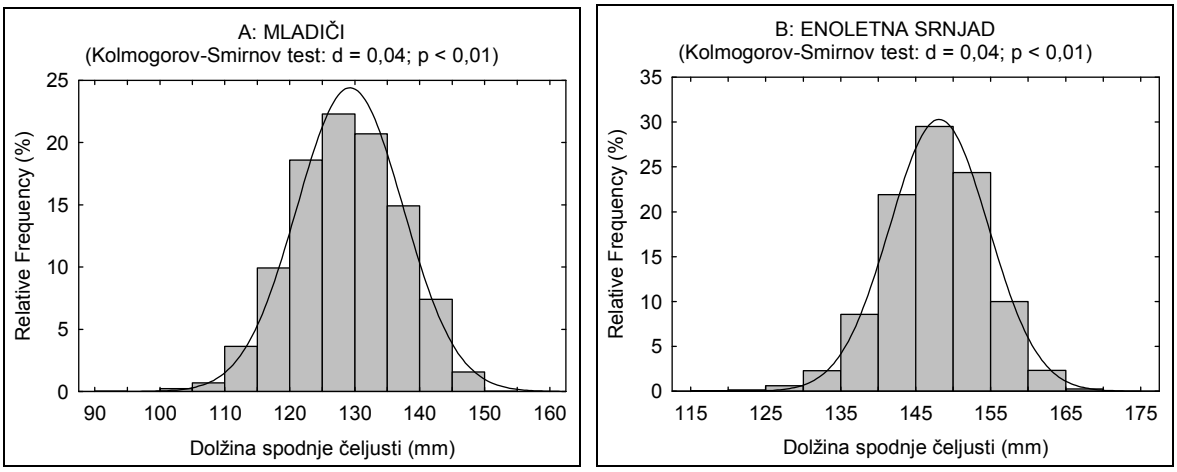
Bivariatne in multivariatne analize

Vpliv okoljskih in individualnih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti mladičev in enoletne srnjadi (DOLŽ), odvzete v Sloveniji leta 2007, smo najprej določali z biavariatnimi korelacijskimi analizami (*Kendallova neparametrična korelacija*); za spremenljivko SPOL smo uporabili *Kruskal-Wallis test*. Za mladiče smo korelacije podali združeno za oba spola (med spoloma ni značilnih razlik), medtem ko smo za enoletne osebke bivariatne analize podali ločeno po spolu.

Vpliv okoljskih in individualnih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti mladičev in enoletne srnjadi smo ugotavljali tudi s pomočjo multivariatnih analiz, in sicer smo tudi tokrat uporabili GRM-model (odvisna spremenljivka je zvezna, kar je pogoj za ta model; StatSoft Inc, 2010). Pri tem smo v analizo tako pri mladičih kot tudi pri enoletnih osebkih vključili vse neodvisne spremenljivke, podane v preglednici 16.

Smer vpliva neodvisnih spremenljivk na odvisno (DOLŽ) je pri moškem in ženskem spolu enoletnih osebkov enak (ista smer vpliva), zato smo model za enoletne osebke naredili združeno za oba spola in spremenljivko SPOL dodali kot kategorično neodvisno spremenljivko. Poleg tega smo za vsak spol posebej še dodatno zgradili GRM-model; oba sta podajala podobne rezultate kot model za oba spola skupaj, le da sta imela nižjo pojasnitveno moč.

Pri mladičih smo predhodno dokazali (poglavje 4.3.1), da spol ne vpliva značilno na dolžine spodnjih čeljusti, zaradi česar smo to spremenljivko vključili le v multivariatne analize in jo iz bivariatnih analiz izključili. Za vključevanje neodvisnih spremenljiv smo zaradi nenormalne porazdelitve odvisne spremenljivke DOLŽ (kljub transformacijam nismo uspeli doseči homogenosti varianc med grupami) za vključevanje in izključevanje spremenljivk v regresijski model pripisali stroge kriterije (p = 0,01). Za vključevanje spremenljivk v model smo uporabili algoritem *Forward Stepwise.*



Slika 32: Frekvenčna porazdelitev dolžin spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz celotne Slovenije leta 2007: A – mladiči obeh spolov; B – enoletni osebki obeh spolov (mm).

Figure 32: Frequency distribution of mandible lengths of roe deer, culled in entire Slovenia in 2007: A – fawns of both genders; B – yearlings of both genders (mm).

4 REZULTATI

4.1 VSEBNOST FLUORIDOV V SPODNJIH ČELJUSTIH SRNJADI

4.1.1 Vpliv spola na vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi

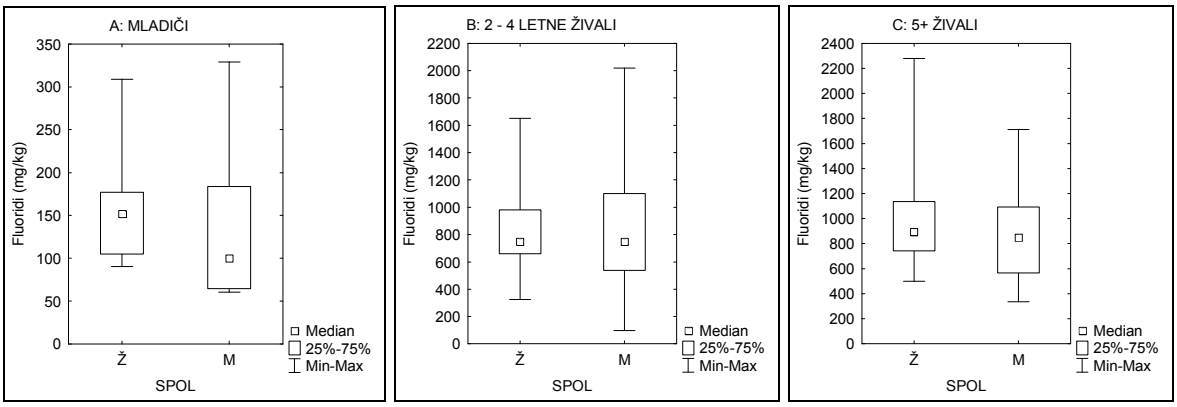
Na podlagi obstoječih raziskav o vsebnostih fluoridov v spodnjih čeljustih parkljarjev (npr. Kierdorf in sod., 1989; Machoy in sod., 1995) do sedaj ni bilo ugotovljenih razlik med spoloma. V pričujoči raziskavi smo primerjavo vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi med spoloma zaradi dovolj velikega števila vzorcev izvedli le znotraj območja Kidričevo. Primerjavo smo naredili z *Mann-Whitney U-testom,* in sicer ločeno za starostne kategorije mladiči, mlada (2 – 4 leta) in stara srnjad (5 in več let), s čimer smo želeli preveriti tudi vpliv starosti na morebitne razlike med spoloma oz. izločiti razlike, ki bi lahko izhajale iz različne starostne strukture vzorcev obeh spolov. Zaradi načina vzorčenja, kjer smo zaradi večje standardizacije kot enoletne osebke izbirali le lanščake (le-ti so v večini primerov odstreljeni spomladi/poleti, mladice pa z večjo tendenco v jesenskih mesecih), primerjave med spoloma za to starostno kategorijo nismo izvedli.

Razlike v vsebnostih fluoridov med spoloma niso pri nobeni od omenjenih starostnih kategorij statistično značilne (preglednica 18, slika 33). Ugotovili smo torej, da spol ne vpliva na vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, zato smo vse nadaljnje primerjave vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi opravili združeno za oba spola.

Preglednica 18: Vpliv spola na vsebnost fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz območja Kidričevo leta 2007 (Mann-Whitney U-test).

Table 18: Influence of gender on fluoride levels in mandibles of roe deer, culled in Kidričevo area in 2007 (Mann-Whitney U-test).

Starostna kategorija / Spol	Moški (n)	Ženski (n)	Z	Stopnja tveganja (p)
Mladiči	11	13	1,36	0,17
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	21	21	0,18	0,85
Stara srnjad (5 in več let)	20	13	1,03	0,30



Slika 33: Vpliv spola (Ž: ženski; M: moški) na vsebnost fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz območja okolice Kidričevega leta 2007 (za n glej preglednico 22). Pozor: skale na y osi niso poenotene.

Figure 33: Influence of gender (Ž: female; M: male) on fluoride levels in mandibles of roe deer, culled in Kidričevo area in 2007 (for n, see table 22). Attention: scales on the y axis are not uniform.

4.1.2 Vpliv starosti na vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi

Fluoridi se kopičijo v kostnih tkivih parkljarjev skozi njihovo celotno življenjsko obdobje (Kay in sod., 1976; Kierdorf in Kierdorf, 1989; Pokorny in Justin, 2004). Na podlagi tega dejstva je pred izvedbo prostorskih in časovnih analiz (bioindikacije) nujno potrebno ugotoviti vpliv starosti na akumulacijo fluoridov v kostnem tkivu srnjadi. Vpliv starosti na kopičenje fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi smo zaradi različne obremenjenosti ekosistemov izvedli ločeno za vsa štiri raziskovalna območja.

Parametri statistične primerjave vsebnosti fluoridov med starostnimi kategorijami so ločeno po območjih podani v preglednici 19. Razlike so statistično značilne v vseh območjih med starostnimi kategorijami mladiči *vs.* odrasla srnjad ter med mladiči *vs.* lanščaki (neznačilno le v Šaleški dolini). Ravno tako so razlike značilne med lanščaki *vs*. odrasla srnjad v okolici Kidričevega in v Šaleški dolini; v Zasavju in v Zgornji Savinjski dolini so razlike le med lanščaki *vs.* stara (5+) srnjad. Nasprotno med obema starostnima kategorijama odrasle srnjadi nismo ugotovili statistično značilnih razlik v nobenem izmed območij.

Preglednica 19: Značilnost razlik v vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi med starostnimi kategorijami (Kruskal-Wallis ANOVA; za n glej preglednico 7).
Table 19: Significance of differences in fluoride levels in roe deer mandibles between age categories (Kruskal-Wallis ANOVA; for n, see table 7).

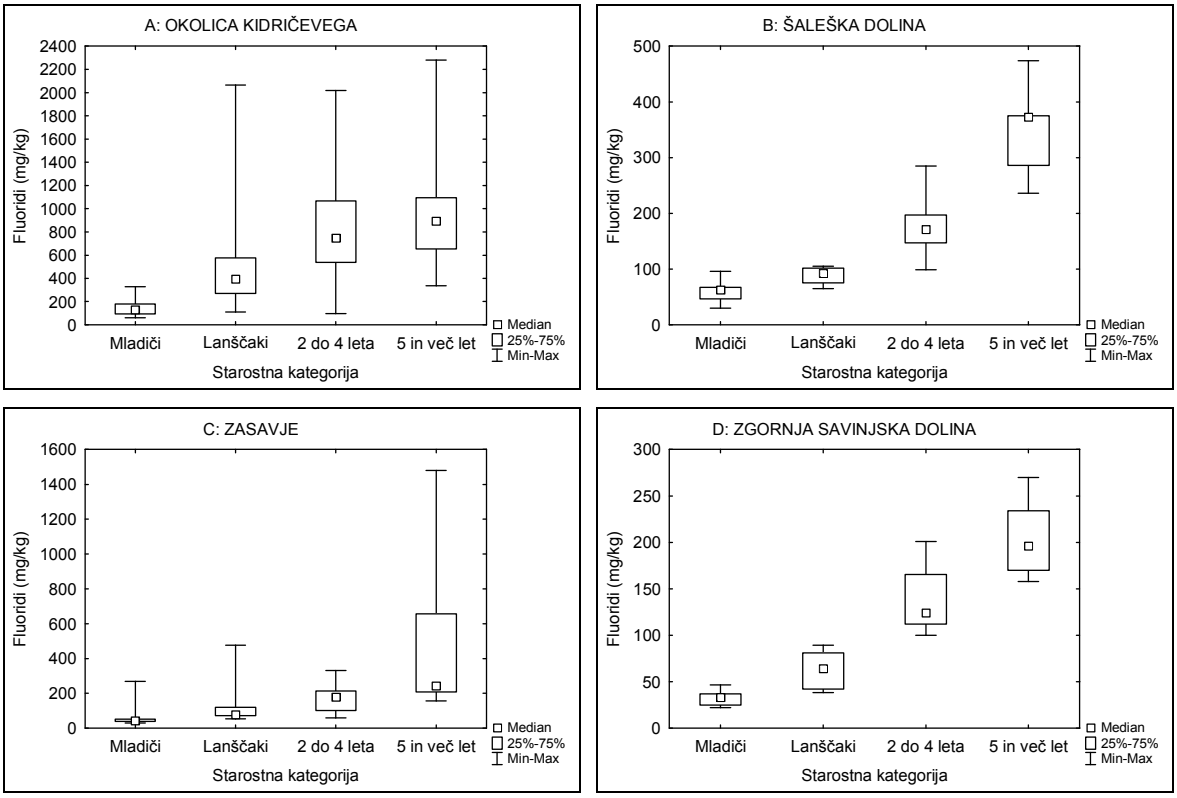
Starostna kat.	**Lanščaki**	**2 – 4 leta**	**5 in več let**	**Lanščaki**	**2 – 4 leta**	**5 in več let**
	okolica Kidričevega: $H_{(3, 131)} = 72,83$ ****			**Šaleška d.:** $H_{(3, 47)} = 38,68$ ****		
Mladiči	**	****	****	p = 0,86	****	****
Lanščaki		**	***		*	**
2 – 4 leta			p = 1,00			p = 0,31
	Zasavje: $H_{(3, 45)} = 28,29$ ****			**Zg. Savinjska d.:** $H_{(3, 45)} = 38,47$ ****		
Mladiči	*	**	****	*	****	****
Lanščaki		p = 1,00	*		p = 0,15	*
2 – 4 leta			p = 1,00			p = 1,00

OPOMBE:
p: ****: $p < 0,0001$; ***: $p < 0,001$; **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$.

Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi so v odvisnosti od starosti prikazane na sliki 34. V vseh obravnavanih območjih so bile najnižje vsebnosti izmerjene pri mladičih, sledijo lanščaki, mlada srnjad in stara srnjad. Slika 34D kaže "normalno" stopnjo akumulacije fluoridov in "normalne" razlike med starostnimi kategorijami, saj gre za čeljusti srnjadi, odvzete iz s fluoridi neonesnaženega kontrolnega območja Zgornje Savinjske doline.

V okolici Kidričevega vsebnosti fluoridov naraščajo s starostjo, podobno kot v kontrolnem območju, vendar je intenziteta kopičenja precej večja. Za območje Šaleške doline in Zasavja je razlika v vsebnostih fluoridov med starostnima kategorijama mladiči in lanščaki enaka kot pri srnjadi kontrolnega območja (*cca.* 30 mg/kg; le začetne vrednosti so večje; preglednica 26); razlika med lanščaki in mlado srnjadjo pa je že nekoliko večja kot v referenčnem območju. Razlika v vsebnostih fluoridov med mlado in staro srnjadjo je zelo izrazita v obeh omenjenih območjih in je izmed vseh štirih obravnavanih območjih tako relativno kot tudi dejansko največja pri srnjadi Šaleške doline (102 mg/kg med medianama). Vendar velja pri tem opozoriti na morebitno napako ocene starosti srnjadi v okolici Kidričevega; zaradi

izrazite zobne fluoroze (glej poglavje 4.2) je namreč pri številnih osebkih obraba zobovja precej hitrejša, zaradi česar je lahko starost živali precenjena. Zaradi tega je lahko v tem območju kategorija stare srnjadi (5 in več let) obremenjena z napako ocene starosti (vanjo so vključene tudi posamezne živali z nenormalno obrabo zobovja), zaradi česar so med tema dvema starostnima kategorijama razlike v vsebnostih fluoridov dejansko večje, kot so prikazane na sliki 34A.



Slika 34: Vpliv starosti na vsebnost fluoridov v čeljustih srnjadi štirih območij Slovenije (za n glej preglednico 7). Pozor: skale na y osi niso poenotene.

Figure 34: Influence of age on fluoride levels in roe deer mandibles of four regions of Slovenia (for n, see table 7). Attention: scales on the y axis are not uniform.

Za okvirno določitev akumulacije fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi s starostjo smo najprej ustvarili novo zvezno spremenljivko *starost1*. Pri tem smo osnovne starostne kategorije srnjadi uvrstili na numerično mersko skalo (0 do 6 let; korak 0,5 let), in sicer smo mladičem pripisali starost 0,5 let, lanščakom starost 1,0 let, mladi srnjadi (2 – 4 leta) smo določili povprečno starost 3,0 let, stari srnjadi (5 in več let) pa povprečno starost 6,0 let. V naslednjem koraku smo preverili, kakšen je odziv odvisne spremenljivke *vsebnost fluoridov* na neodvisno spremenljivko *starost1*. Statistično pomembnost naraščanja vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi s starostjo smo preverjali z izračunom *Spearmanovega korelacijskega koeficienta rangov* (pri tem izračunu linearen odziv odvisne spremenljivke ni pogoj; StatSoft Inc., 2010); pri čemer smo za neodvisno spremenljivko vzeli zvezno spremenljivko *starost1*. Korelacija med obema spremenljivkama je zelo velika pri srnjadi, odvzeti iz Šaleške doline in pri srnjadi, odvzeti iz Zgornje Savinjske doline; ravno tako je velika korelacija pri srnjadi iz Zasavja. V okolici Kidričevega je ta korelacija najmanjša (zmerna), a je tako kot pri ostalih treh območjih statistično značilna (preglednica 20).

Preglednica 20: Korelacija med vsebnostjo fluoridov v čeljustih srnjadi in starostjo živali v letih (zvezna spremenljivka) za posamezna območja Slovenije (leto 2007).

Table 20: Correlation between fluoride levels in roe deer mandibles and age of animals in years (continuous variable) for different areas of Slovenia (year 2007).

Območje	n	Korelacijski koeficient (R)	Stopnja tveganja (p)
Okolica Kidričevega	131	0,70	0,000
Šaleška dolina	47	0,92	0,000
Zasavje	45	0,80	0,000
Zgornja Savinjska dolina	45	0,93	0,000

4.1.3 Dnevna akumulacija fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi

Srnjad je vrsta, za katero je značilna velika sinhroniziranost poleganja mladičev. Skoraj vsi mladiči se v določenem letu poležejo v intervalu manj kot 30 dni; več kot polovica le-teh se jih poleže znotraj dveh tednov (Gaillard in sod., 1993; Andersen in Linell, 1997). Ker v Sloveniji ne poznamo natančno obdobja (meseca) poleganja in ker je le-ta odvisen tudi od nekaterih okoljskih dejavnikov (predvsem temperature med brejostjo srn, reliefa, geografske pozicije, nadmorske višine; zbrano v Pokorny, 2003), smo se odločili, da za prvi dan (dan ničelne starosti) vzamemo datum 1.4.2007. 1. april tekočega leta se v Sloveniji uporablja pri upravljanju z vrsto in pomeni datum, ko ena starostna kategorija srnjadi (kot tudi ostalih vrst divjadi) preide v naslednjo kategorijo (mladiči v enoletne osebke, enoletne živali v 2+ živali). Pri tem je potrebno omeniti, da za potrebe te raziskave poznavanje natančne starosti mladičev ni pomembno za interpretacijo rezultatov, ker nas zanima stopnja akumulacije in razlika le-te med območji, ne pa sama absolutna vsebnost fluoridov v čeljusti posameznega mladiča neke starosti.

Preglednica 21: Regresijski parametri med vsebnostjo fluoridov v čeljustih mladičev srnjadi in privzeto starostjo živali v dneh (zaporedni dan odvzema) za posamezna območja Slovenije v letu 2007 (dan 1: 1. 4. 2007).

Table 21: Regression parameters between fluoride levels in mandibles of roe deer fawns and adjusted age in days (successive day of the cull) for different areas of Slovenia in the year 2007 (day 1: 1.4.2007).

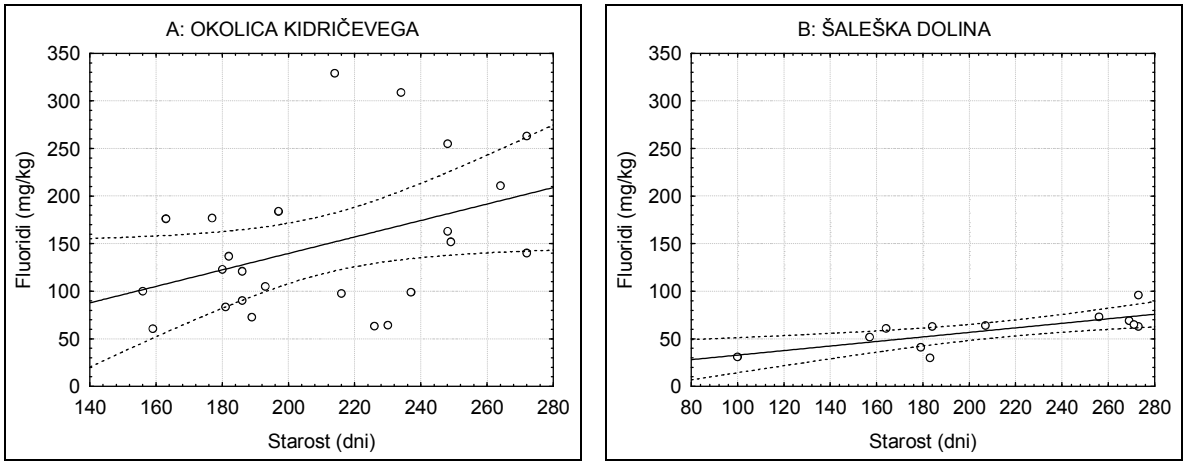
Območje	n	Korelacijski koeficient (r)	Stopnja tveganja (p)	Regresijski koeficient [a] (b)
Okolica Kidričevega	24	0,40	*	0,0024
Šaleška dolina	12	0,74	**	0,0019
Zasavje	15	-0,01	0,993	/
Zgor. Savinjska dolina	15	0,37	0,158	/

OPOMBE:
(a) Regresijski koeficient je izračunan na podlagi logaritmiranih vsebnosti fluoridov.
p: **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$.

Dnevno akumulacijo fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi smo določali z izračunom linearne regresije med prirejeno starostjo mladičev v dnevih in vsebnostjo fluoridov v čeljustih. Kot neodvisno spremenljivko smo določili zaporedni dan odvzema (*zap_dan*), ki smo ga opredelili kot preteklo število dni od datuma 1.4.2007 do datuma uplenitve (vzorci mladičev, odvzeti leta 2007). Ker se vsebnosti fluoridov nenormalno razporejajo, smo odvisno spremenljivko predhodno transformirali z logaritemsko funkcijo ($Log_{10}(F^-)$), s čimer smo dosegli normalnost porazdelitve. Vsebnosti fluoridov v čeljustih mladičev srnjadi

visoko statistično značilno linearno naraščajo le v Šaleški dolini. Na območju Kidričevega je ta povezava nizka in je na meji statistične značilnosti. V Zasavju ni povezave med spremenljivkama, predvsem zaradi enega vzorca z visoko vsebnostjo fluoridov (268 mg/kg), ki pomembno odstopa od mediane za to območje (Me = 42,3 mg/kg). Ravno tako je neznačilna tudi povezava med spremenljivkama v Zgornji Savinjski dolini (preglednica 21).

Na sliki 35 sta prikazana razsevna grafikona akumulacije fluoridov v čeljustih mladičev srnjadi na območju Kidričevega in na območju Šaleške doline. Že iz večjega naklona premice (večji regresijski koeficient; preglednica 21) lahko ugotovimo izrazito večjo stopnjo akumulacije fluoridov v prvem območju.



Slika 35: Naraščanje vsebnosti fluoridov v čeljustih mladičev srnjadi s prirejeno starostjo (zaporedni dan odvzema): A – okolica Kidričevega; B – Šaleška dolina (dan 1: 1. 4. 2007; na sliki so prikazani netransformirani podatki).

Figure 35: Increase of fluoride levels in mandibles of roe deer fawns with their adjusted age in days (successive day of the cull): A – area in the vicinity of *Kidričevo; B – the Šalek Valley (day 1: 1.4.2007; absolute contents are presented).*

4.1.4 Vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 - 2009

Vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi, uplenjene v obdobju 1997 – 2009 v Šaleški dolini, tj. v lovišču LD Oljka, Šmartno ob Paki (za podroben opis lokacije glej poglavje 3.1.2; za opis vzorčenja pa poglavje 3.2.3.1), so ločeno po posameznih letih in po starostnih kategorijah živali prikazane v preglednici 22.

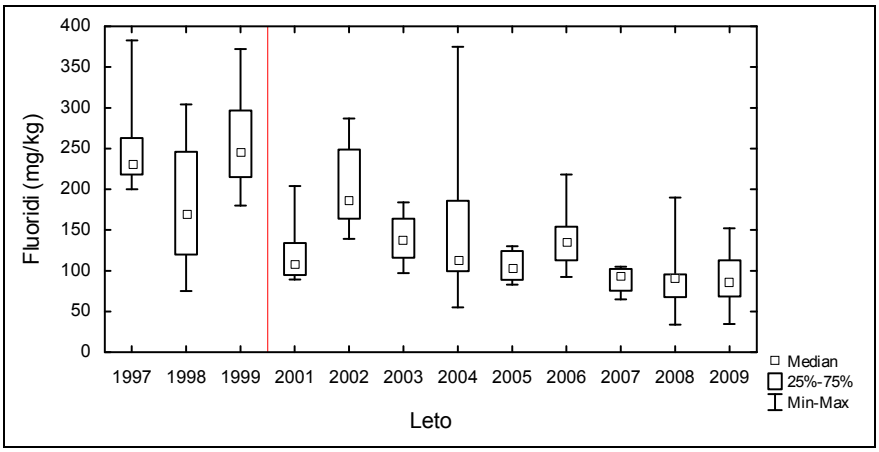
Izmerjene vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi iz Šaleške doline se v celotnem obdobju 1997 – 2009 v združenem vzorcu za vse starostne kategorije (n = 220) gibljejo med 30,0 in 1.020 mg/kg (Me = 147,5 mg/kg). Najnižje vsebnosti so bile izmerjene pri mladičih, najvišje pa pri najstarejših osebkih, pri pet- in večletni srnjadi (preglednica 22).

Preglednica 22: Vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009 (mg/kg suhe snovi).

Table 22: Fluoride levels in mandibles of roe deer, culled in the Šalek Valley in the period 1997–2009 (mg/kg dry weight).

Starostna kategorija / leto	n	$\bar{a} \pm t_{0.05}$*SE	SD	Me	Min	Max
Lanščaki						
1997	10	255 ± 19	61	231	200	383
1998	7	179 ± 29	77	169	75,1	304
1999	10	260 ± 19	60	245	180	372
2001	10	118 ± 11	35	108	89,2	204
2002	10	200 ± 16	51	188	139	287
2003	12	139 ± 8	28	138	97,0	184
2004	10	150 ± 29	91	114	54,9	375
2005	8	105 ± 7	19	103	82,9	130
2006	10	138 ± 11	35	135	92,1	218
2007	8	88,8 ± 5,6	16	93	65,0	105
2008	10	89,9 ± 14,0	43	91	33,8	190
2009	10	91,8 ± 11,0	36	85	34,7	152
SKUPAJ 1997 – 2009	**115**	**152 ± 7**	**76**	**131**	**33,8**	**383**
Mladiči in odrasle živali						
1998						
Mladiči	9	103 ± 21	64	75	32,4	227
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	17	279 ± 26	107	295	61,5	433
Stara srnjad (5 in več let)	5	458 ± 62	138	448	295	658
2003						
Mladiči	13	79,5 ± 4,6	16	79	56,0	105
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	16	274 ± 33	134	249	85,0	549
Stara srnjad (5 in več let)	6	471 ± 130	318	356	134	1020
2007						
Mladiči	12	59,0 ± 5,3	19	63	30,0	96,0
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	22	175 ± 9	44	171	99,0	285
Stara srnjad (5 in več let)	5	349 ± 41	92	373	236	474
SKUPAJ 1998 – 2007						
Mladiči	***34***	***78,6 ± 6,6***	***39***	***70***	***30,0***	***227***
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	***55***	***236 ± 15***	***108***	***210***	***61,5***	***549***
Stara srnjad (5 in več let)	***16***	***429 ± 53***	***210***	***376***	***134***	***1.020***
SKUPAJ	**220**	**182 ± 9**	**128**	**148**	**30,0**	**1.020**

Pri lanščakih, za katere imamo na razpolago podatke za vsa leta v obravnavanem obdobju (razen za leto 2000), so bile izmerjene vsebnosti fluoridov višje kot vsebnosti pri mladičih in nižje kot vsebnosti pri odrasli srnjadi. Najvišje vsebnosti so bile izmerjene v najstarejših vzorcih, tj. v letu 1997 oz. 1999, najnižje pa v letu 2007 oz. 2009 (preglednica 22). Pri lanščakih je bil trend upada vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi statistično značilen za celotno obdobje 1997 – 2009 (izračun *Spearmanovega koeficienta rangov* s povprečnimi vsebnostmi fluoridov v čeljustih v posameznem letu: $R = -0,67$; $p < 0,05$) (slika 36).



Slika 36: Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih lanščakov iz Šaleške doline, obdobje 1997 – 2009 (pokončna črta pomeni začetek obratovanja čistilne naprave; za n glej preglednico 6).

Figure 36: Fluoride levels in mandibles of yearling roe bucks from the Šalek Valley, period 1997-2009 (vertical line represents the year of installation of the air cleaning device; for n, see table 6).

Značilnost razlik med posameznimi leti se izmed vseh starostnih kategorij srnjadi iz Šaleške doline najizraziteje kaže pri enoletnih osebkih, za katere smo imeli na razpolago podatke za celotno obdobje 1997 – 2009 (Kruskal-Wallis ANOVA: $H_{(11,\ 115)} = 71,98$; $p < 0,0001$). Dejanske razlike, ki so tudi statistično značilne, se pojavljajo med leti 2007, 2008 in 2009 *vs*. leta 1997, 1999 in 2002 (preglednica 23).

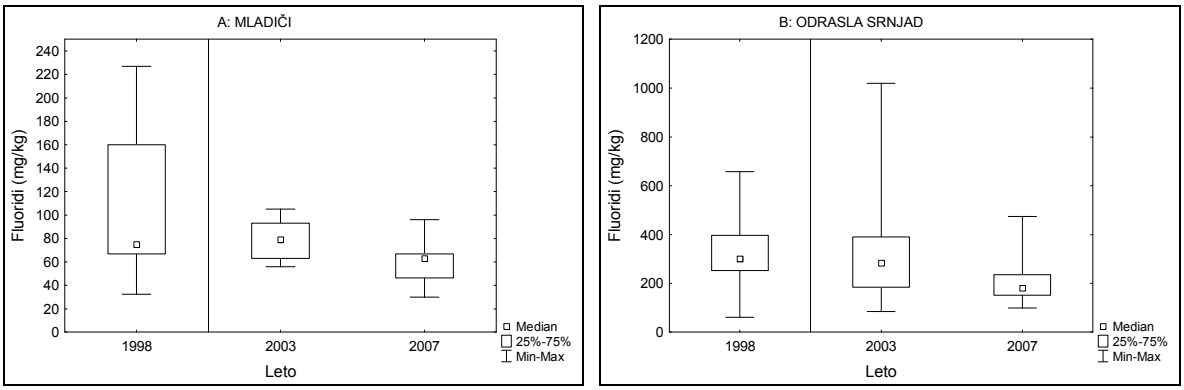
Preglednica 23: Značilnost razlik v vsebnostih fluoridov v čeljustih lanščakov iz Šaleške doline, obdobje 1997 – 2009 (Kruskal-Wallis ANOVA; za n glej preglednico 6).

Table 23: Significance of differences in fluoride levels in mandibles of yearling roe bucks, period 1997-2009 (Kruskal-Wallis ANOVA; for n, see table 6).

Leto	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1997	p= 1,00	p= 1,00	*	p= 1,00	p= 0,35	p= 0,15	p= 0,00	p= 0,39	****	****	****
1998		p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 0,32	p= 0,28	p= 0,41
1999			**	p= 1,00	p= 0,32	p= 0,14	p= 0,00	p= 0,36	****	****	****
2001				p= 0,31	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00
2002					p= 1,00	p= 1,00	p= 0,12	p= 1,00	**	**	**
2003						p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00
2004							p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00
2005								p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00
2006									p= 1,00	p= 1,00	p= 1,00
2007										p= 1,00	p= 1,00
2008											p= 1,00

OPOMBE:
p: ****: $p < 0,0001$; **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$.

Tudi pri starostnih kategorijah mladiči in odrasla srnjad (združeni kategoriji mlada in stara srnjad, zaradi neznačilnih razlik med tema dvema kategorijama; preglednica 19) so bile najvišje vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih izmerjene pri osebkih, odvzetih v najstarejšem obdobju (leto 1998); v letu 2003 so bile vsebnosti fluoridov primerljive z letom 1998 (pri mladičih sicer precej manjša varianca). V letu 2007 so bile vsebnosti fluoridov tako pri mladičih kot tudi pri odraslih osebkih v primerjavi s predhodnima letoma najnižje (slika 37).



Slika 37: Vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v letih 1998, 2003 in 2007: A – mladiči; B – odrasla srnjad (pokončna črta pomeni začetek obratovanja čistilne naprave; za n *glej preglednico 6*). Pozor: skale na y osi niso poenotene.

Figure 37: Fluoride levels in mandibles of roe deer from the Šalek Valley, years 1998, 2003, 2007, respectively: A – fawns; B – adults (vertical line represents the year of installation of the air cleaning device; for n, see table 6). Attention: scales on the y axis are not uniform.

Razlike med leti so bile tako pri mladičih kot tudi pri odraslih osebkih statistično značilne (preglednica 24). Pri slednjih se statistične razlike pojavljajo med letom 2007 in 1998 oz. 2003. Pri mladičih so razlike med istimi leti, a so na meji statistične značilnosti.

Preglednica 24: Značilnost razlik v vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi (mladiči in odrasli osebki) iz Šaleške doline med leti 1998, 2003 in 2007 (Kruskal-Wallis ANOVA; n: glej *preglednico 6*).

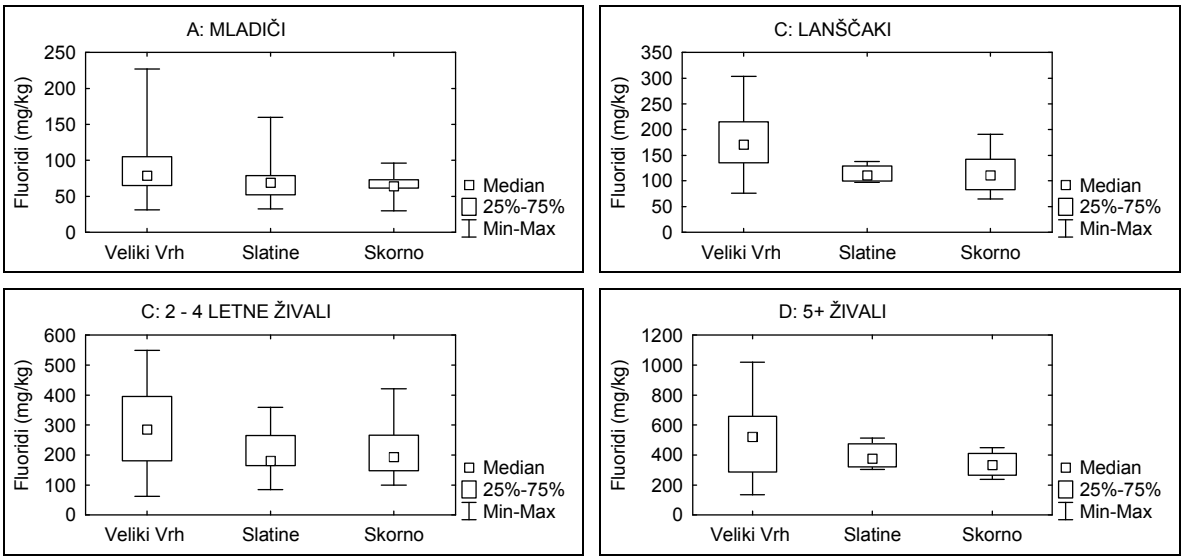
Table 24: Significance of differences in fluoride levels in roe deer mandibles (fawns and adults) between the years 1998, 2003 and 2007 (Kruskal-Wallis ANOVA; for n, see table 6).

Mladiči: $H_{(2; 34)} = 6,65$ *			
Leto	**1998**	**2003**	**2007**
1998		p = 1,00	p = 0,09
2003	p = 1,00		p = 0,07
2007	**	*	
Odrasle živali: $H_{(2; 71)} = 12,11$ **			

OPOMBE:
p: **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$.

4.1.4.1 Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi iz Šaleške doline po revirjih

V Šaleški dolini so bili vsi vzorci čeljusti srnjadi, vključeni v določitev vsebnosti fluoridov, odvzeti znotraj treh revirjev lovišča LD Oljka: Veliki Vrh (n = 73), Skorno (n = 86) in Slatine (n = 61). Rezultati so po starostnih kategorijah (združeno za vsa tri leta vzorčenja: 1998, 2003 in 2007) prikazani v prilogi A. Najvišje vsebnosti fluoridov se pojavljajo v revirju Veliki Vrh (le-ta je najbolj izpostavljen emisijam iz TEŠ), kjer je tudi največja varianca vzorcev. Poleg tega so pri vseh starostnih kategorijah najvišje maksimalne vsebnosti izmerjene ravno v tem revirju. Med ostalima dvema revirjema ni opaznih razlik v vsebnostih fluoridov. Največje razlike so pri lanščakih, najmanjše pa pri mladičih (slika 38).



Slika 38: Primerjava vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi iz Šaleške doline med tremi revirji LD Oljka (vzorci iz let 1998, 2003 in 2007; za n glej prilogo A). Pozor: skale na y osi niso poenotene.

Figure 38: Comparison of fluoride levels in roe deer mandibles from the Šalek Valley between three different hunting districts of HG Oljka (samples from 1998, 2003, and 2007; for n, see annex A). Attention: scales on the y axis are not uniform.

Razlike v vsebnostih fluoridov med revirji LD Oljka so statistično visoko značilne znotraj starostne kategorije enoletnih živali (značilnost razlik se pojavi med revirjema Veliki Vrh in Skorno) ter na meji statistične značilnosti znotraj kategorije mlada srnjad (preglednica 25).

Preglednica 25: Značilnost razlik v vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi Šaleške doline med revirji (Kruskal-Wallis ANOVA; za n glej prilogo A).

Table 25: Significance of differences in fluoride levels in mandibles of roe deer from the Šalek Valley among hunting districts (Kruskal-Wallis ANOVA; for n, see annex A).

Revir	**Slatine**	**Veliki Vrh**	**Slatine**	**Veliki Vrh**
	Mladiči: $H_{(2;\ 34)}$ = 3,27; p = 0,19		**Lanščaki:** $H_{(2;\ 115)}$ = 12,74 **	
Skorno	p = 1,00	p = 0,29	p = 0,72	**
Slatine		p = 0,44		p = 0,16
	2-4 letne živali: $H_{(2;\ 55)}$ = 5,01; p = 0,08		**5+ živali:** $H_{(2;\ 16)}$ = 1,60; p = 0,45	
Skorno	p = 1,00	p = 0,16	p = 1,00	p = 0,64
Slatine		p = 0,16		p = 1,00

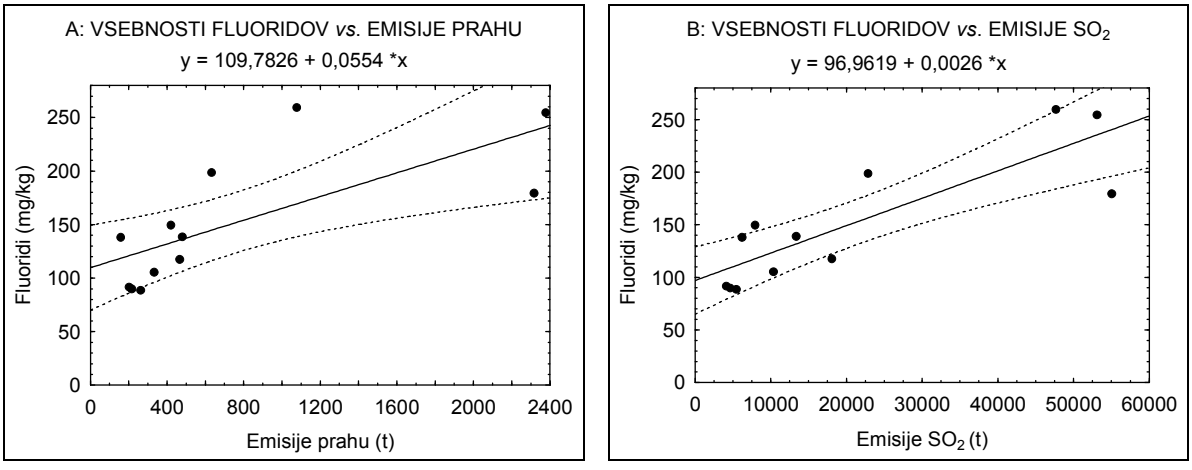
OPOMBE:
p: **: p < 0,01.

4.1.4.2 Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v odvisnosti od letnih emisij TEŠ

Za potrditev uporabe spodnjih čeljusti srnjadi kot zanesljivega bioindikatorja onesnaženosti okolja s fluoridi, ki zaradi svoje občutljivosti hitro odraža spremembe v onesnaženosti ekosistemov s temi snovmi skozi čas, smo ugotavljali soodvisnost med povprečnimi vsebnostmi fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi in letnimi emisijami iz TEŠ (kot najpomembnejšim virom emisij v ozračje v tem okolju; Pokorny in sod., 2004a; Poličnik 2008; Al Sayegh Petkovšek in sod., 2008; Jelenko in Pokorny, 2010). Upoštevaje dejstvo, da starost pomembno vpliva na vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, smo v analizo vključili le enoletne osebke, za slednje imamo na razpolago tudi vse podatke o vsebnostih fluoridov za celotno obdobje 1997 – 2009 (z izjemo leta 2000).

S strani ARSO se emisije fluoridov iz TEŠ sistematično spremljajo šele od leta 2004 dalje; za predhodna leta natančni podatki ne obstajajo (preglednica 4). Soodvisnost med povprečno vsebnostjo fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 2004 – 2007, in med letnimi emisijami fluoridov iz TEŠ (Zrak, 2010) tako predvsem zaradi majhne časovne serije podatkov ni statistično značilna ($r = 0,18$; $p = 0,82$).

Na emisije fluoridov iz TEŠ lahko sklepamo tudi na podlagi emisij drugih plinastih onesnažil, kot so npr. emisije SO_2 (Zemek in sod., 2006) oz. emisije prašnih delcev istega točkovnega vira (Weinstein in Davison, 2004). V primeru enoletne srnjadi, odvzete iz Šaleške doline smo ugotovili, da je soodvisnost med povprečnimi (mediane) letnimi vsebnostmi fluoridov v čeljustih enoletne srnjadi in letnimi emisijami prahu iz TEŠ za obdobje 1997 – 2009 (Rotnik, 2009) statistično značilna ($r = 0,72$; $p < 0,01$; slika 39A), značilnost med vsebnostmi fluoridov v čeljustih enoletne srnjadi in letnimi emisijami SO_2 iz tega vira (*ibid.*) pa je še izrazitejša ($r = 0,86$; $p < 0,001$; slika 39B).



Slika 39: Soodvisnost med letnimi emisijami prahu (A) oz. emisijami SO_2 (B) iz TEŠ in povprečnimi letnimi vsebnostmi fluoridov (mediane) v spodnjih čeljustih enoletne srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009.

Figure 39: Correlation between annual emissions of dust (A) or annual emissions of SO_2 from the ŠTPP and the median annual fluoride levels in mandibles of yearling roe deer, culled in the Šalek Valley in the period 1997-2009.

4.1.5 Vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz štirih območij Slovenije leta 2007

Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz štirih različnih območij Slovenije (okolica Kidričevega, Šaleška dolina, Zasavje in Zgornja Savinjska dolina) v letu 2007, so ločeno po starostnih kategorijah živali prikazane v preglednici 26. Natančen opis lokacij je podan v poglavju 3.1; opis vzorčenja in število vzorcev pa v poglavju 3.2.3.2. Podatki za Šaleško dolino so za leto 2007 podani že v preglednici 24, a so zaradi lažjih primerjav ponovno navedeni tudi v preglednici 26.

Preglednica 26: Vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz štirih območij Slovenije v letu 2007 (mg/kg suhe snovi).

Table 26: Fluoride levels in mandibles of roe deer, culled in four regions of Slovenia in 2007 (mg/kg dry weight).

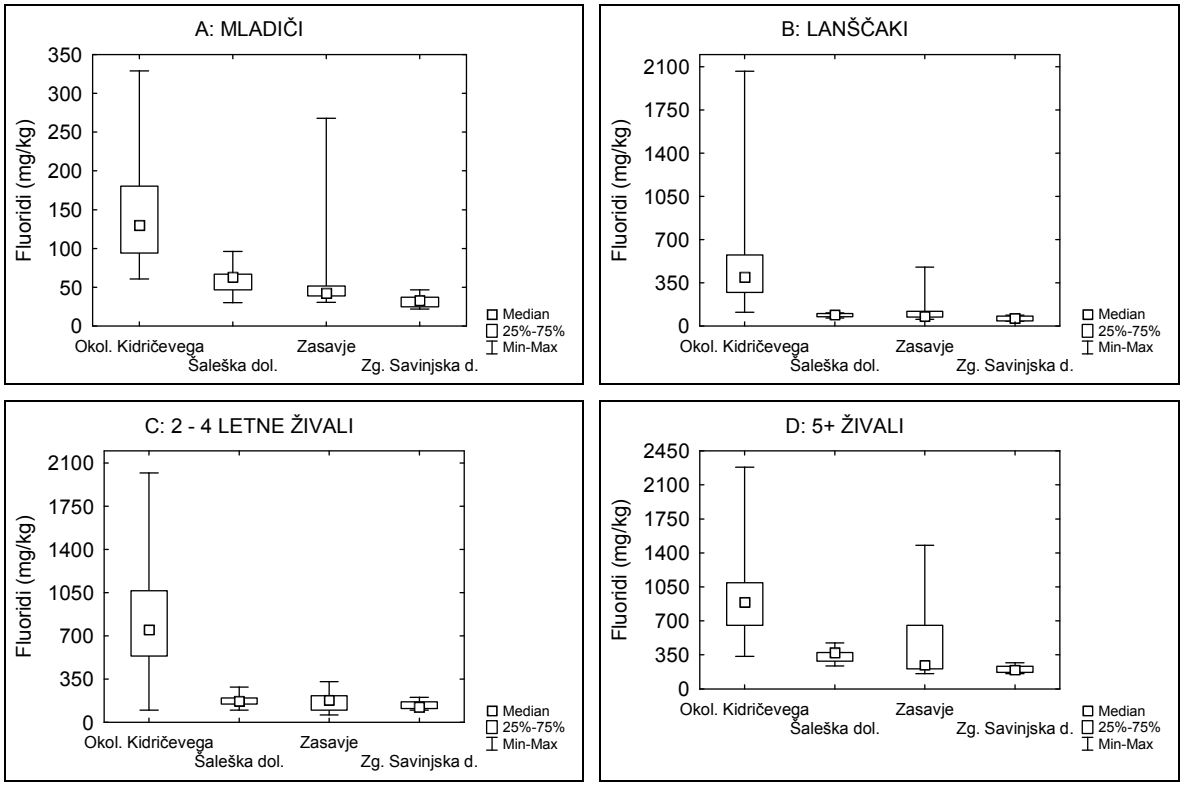
Starostna kategorija	n	$\bar{a} \pm t_{0.05}$*SE	SD	Me	Min	Max
Okolica Kidričevega						
Mladiči	24	149 ± 16	77	130	60,6	329
Lanščaki	32	485 ± 66	374	395	112	2.066
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	42	840 ± 64	416	748	97,9	2.020
Stara srnjad (5 in več let)	33	912 ± 69	397	893	337	2.280
Skupaj	***131***	***645 ± 40***	***458***	***569***	***60,6***	***2.280***
Šaleška dolina [a]						
Mladiči	12	59,0 ± 5,3	19	63	30,0	96,0
Lanščaki	8	88,8 ± 5,6	16	93	65,0	105
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	22	175 ± 10	44	171	99,0	285
Stara srnjad (5 in več let)	5	349 ± 41	92	373	236	474
Skupaj	***47***	***149 ± 14***	***96***	***135***	***30,0***	***474***
Zasavje						
Mladiči	15	59,8 ± 15,0	59	42	30,5	268
Lanščaki	15	113 ± 27	104	78	54,0	477
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	8	172 ± 31	87	179	58,6	330
Stara srnjad (5 in več let)	7	515 ± 179	473	244	157	1.480
Skupaj	***45***	***168 ± 37***	***246***	***78***	***30,5***	***1.480***
Zgornja Savinjska dolina [b]						
Mladiči	15	31,8 ± 1,9	74	33	22,1	46,6
Lanščaki	15	62,0 ± 4,7	18	64	38,2	89,2
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	8	138 ± 13	36	124	100	201
Stara srnjad (5 in več let)	7	203 ± 15	40	196	158	270
Skupaj	***45***	***87,4 ± 9,9***	***67***	***64***	***22,1***	***270***
VSA OBMOČJA SKUPAJ						
Mladiči	*66*	*86,0 ± 9,0*	*73*	*61*	*22,1*	*329*
Lanščaki	*70*	*269 ± 39*	*324*	*116*	*38,2*	*2.066*
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	*80*	*520 ± 51*	*453*	*327*	*58,6*	*2.020*
Stara srnjad (5 in več let)	*52*	*709 ± 63*	*454*	*655*	*157*	*2.280*
SKUPAJ	**268**	**384 ± 26**	**424**	**197**	**22,1**	**2.280**

OPOMBE:

(a) Za lažjo primerjavo so ponovno navedeni podatki o vsebnostih fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v letu 2007 (preglednica 22).

(b) Kontrolno območje.

Vsebnosti fluoridov v 268 vzorcih čeljusti srnjadi, odvzete iz štirih območij Slovenije leta 2007, se v združenem vzorcu za vsa območja in vse starostne kategorije gibljejo med 22,1 in 2.280 mg/kg (Me = 197 mg/kg). Kot je bilo glede na emisije fluoridov v okolje v obravnavanih območjih (Zrak, 2010) pričakovati, so bile najvišje izmerjene vsebnosti fluoridov za vse starostne kategorije izmerjene pri srnjadi, odvzeti iz lovišč iz okolice Kidričevega. Tako Šaleška dolina kot Zasavje imata povišane vsebnosti fluoridov v primerjavi s kontrolnim območjem, vendar so v primerjavi z okolico Kidričevega vsebnosti v teh dveh območjih precej nižje (slika 40).



Slika 40: Vsebnost fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz štirih območij Slovenije leta 2007 (za n glej preglednico 26). Pozor: skale na y osi niso poenotene.

Figure 40: Fluoride levels in mandibles of roe deer, culled in four regions of Slovenia in the year 2007 (for n, see table 26). Attention: scales on the y axis are not uniform.

Preglednica 27: Značilnost razlik v vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi štirih območij Slovenije v letu 2007 (Kruskal-Wallis ANOVA; za n glej preglednico 26).

Table 27: Significance of differences in fluoride levels in roe deer mandibles from four regions of Slovenia in 2007 (Kruskal-Wallis ANOVA; for n, see table 26).

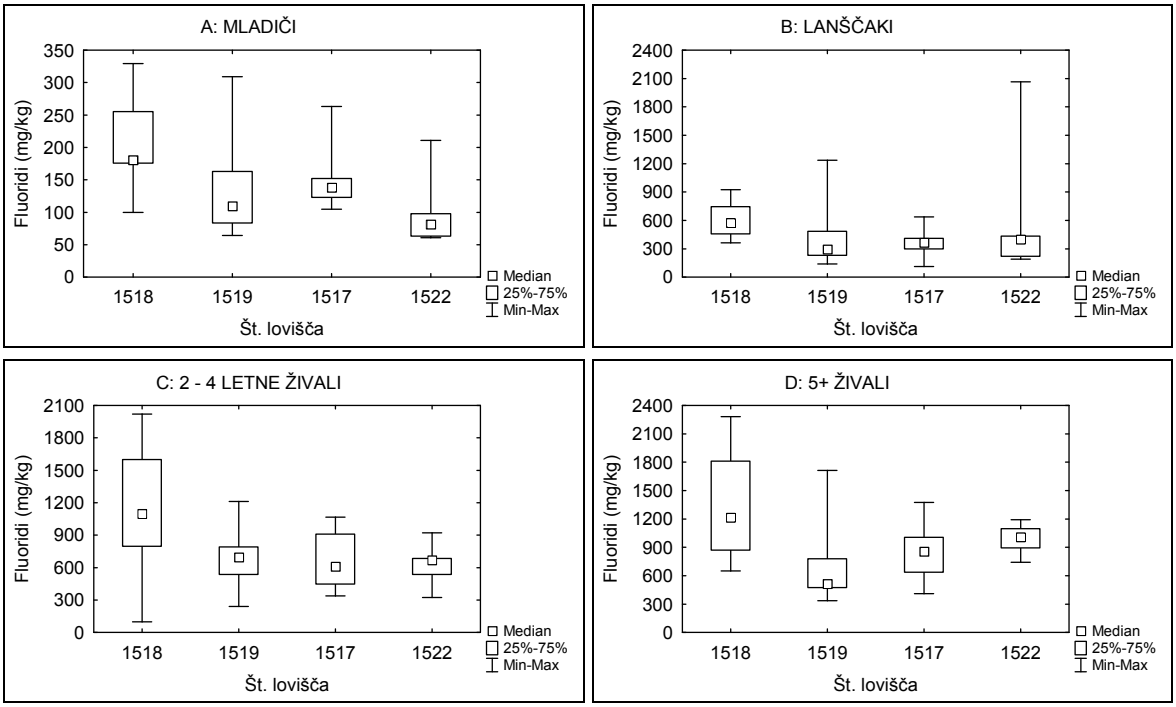
Območje	**Šaleška d.**	**Zasavje**	**okol. Kidrič.**	**Šaleška d.**	**Zasavje**	**okol. Kidrič.**
	Mladiči: $H_{(3, 66)} = 46,02$ ****			**Lanščaki:** $H_{(3, 70)} = 50,51$****		
Z. Savinjska d.	*	p = 0,17	****	p = 0,96	p = 0,49	****
Šaleška dolina		p = 1,00	*		p = 1,00	**
Zasavje			***			****
	2-4 letne živali: $H_{(3, 80)} = 54,06$ ****			**5+ živali:** $H_{(3, 52)} = 26,90$ ****		
Z. Savinjska d.	p = 1,00	p = 1,00	****	p = 1,00	p = 0,78	****
Šaleška dolina		p = 1,00	****		p = 1,00	*
Zasavje			***			p = 0,06

OPOMBE:
p: ****: $p < 0,0001$; ***: $p < 0,001$; **: $p < 0,01$; *: $p < 0,05$.

Razlike v vsebnostih fluoridov med območji Slovenije so pri vseh starostnih kategorijah statistično visoko značilne (preglednica 27). Izstopa območje okolice Kidričevega, ki se najbolj razlikuje od Zgornje Savinjske doline (vse starostne kategorije). Zelo značilne so tudi razlike med okolico Kidričevega in Zasavjem; le pri starostni kategoriji starejše srnjadi so te razlike na meji statistične značilnosti. Ravno tako obstajajo značilne razlike med okolico Kidričevega in Šaleško dolino, predvsem pri mladi srnjadi (2 – 4 letne živali). Med ostalimi območji se značilne razlike ne pojavljajo; nakazane so le pri mladičih iz Zgornje Savinjske doline in iz Šaleške doline.

4.1.5.1 Primerjava vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi med lovišči znotraj območja okolice Kidričevega

Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz okolice Kidričevega v letu 2007, se v združenem vzorcu za vsa lovišča in vse starostne kategorije skupaj (n = 131) gibljejo med 60,6 in 2.280 mg/kg (Me = 569 mg/kg). Najnižje vsebnosti so bile izmerjene pri mladičih, najvišje pa pri najstarejših osebkih, pri pet- in večletni srnjadi (priloga B). Najvišje izmerjene vsebnosti pri vseh starostnih kategorijah so bile pri srnjadi, odvzeti iz lovišča Boris Kidrič (Dravsko polje), kjer se nahaja tovarna aluminija Talum (sliki 17 in 41). Znotraj tega lovišča je tudi največja variabilnost v vsebnostih fluoridov med vzorci. Med ostalimi tremi lovišči ni večjih razlik; nekoliko višje vsebnosti fluoridov se pojavljajo pri mladičih znotraj lovišča Jože Lacko – Ptuj, ki leži severovzhodno od Taluma. Pri stari (5+) srnjadi so še nekoliko višje vsebnosti fluoridov znotraj lovišča Dravinja-Majšperk.



Slika 41: Primerjava vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi med lovišči iz okolice Kidričevega (1518: Boris Kidrič; 1519: Ptuj; 1517: Jože Lacko – Ptuj; 1522: Dravinja-Majšperk). Pozor: skale na y osi niso poenotene.

Figure 41: Comparison of fluoride levels in roe deer mandibles among hunting grounds of the area in the vicinity of Kidričevo (1518: Boris Kidrič; 1519: Ptuj; 1517: Jože Lacko – Ptuj; 1522: Dravinja-Majšperk). Attention: scales on the y axis are not uniform.

Preglednica 28: Značilnost razlik v vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz lovišč z območja okolice Kidričevega v letu 2007 (Kruskal-Wallis ANOVA; za n glej prilogo B).

Table 28: Significance of differences in fluoride levels in roe deer mandibles between HG of Kidričevo area in 2007 (Kruskal-Wallis ANOVA; for n, see annex B).

Lovišče	**Ptuj**	**Jože Lacko – Ptuj**	**Dravinja-Majšperk**	**Ptuj**	**Jože Lacko –Ptuj**	**Dravinja-Majšperk**
	Mladiči: $H_{(3; 24)} = 8,39$ *			**Lanščaki :** $H_{(3; 32)} = 7,41$; p = 0,06		
Boris Kidrič	p = 0,51	p = 1,00	*	p = 0,09	p = 0,16	p = 0,32
Ptuj		p = 1,00	p = 1,00		p = 1,00	p = 1,00
Jože Lacko – Ptuj			p = 1,00			p = 1,00
	2-4 letne živali: $H_{(3; 42)} = 11,43$ *			**5+ živali:** $H_{(3; 33)} = 8,47$ *		
Boris Kidrič	p = 0,16	p = 0,07	*	p = 0,09	p = 0,99	p = 1,00
Ptuj		p = 1,00	p = 1,00		p = 0,84	p = 0,08
Jože Lacko – Ptuj			p = 1,00			p = 1,00

OPOMBE:
p: *: $p < 0,05$.

Razlike v vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi med posameznimi lovišči so značilne pri vseh starostnih kategorijah, razen pri lanščakih, kjer so le-te na meji značilnosti (preglednica 28). Pri mladičih in dvo- do štiriletnih živalih se razlike pojavljajo med loviščema Boris Kidrič in Dravinja-Majšperk. Pri lanščakih ter pet in večletnih osebkih se pojavljajo razlike na meji značilnosti med loviščema Boris Kidrič in Ptuj; pri pet in večletnih živali so te razlike na meji značilnosti tudi med loviščema Dravinja-Majšperk in Ptuj.

4.1.5.2 Vpliv oddaljenosti od Taluma na vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi iz okolice Kidričevega

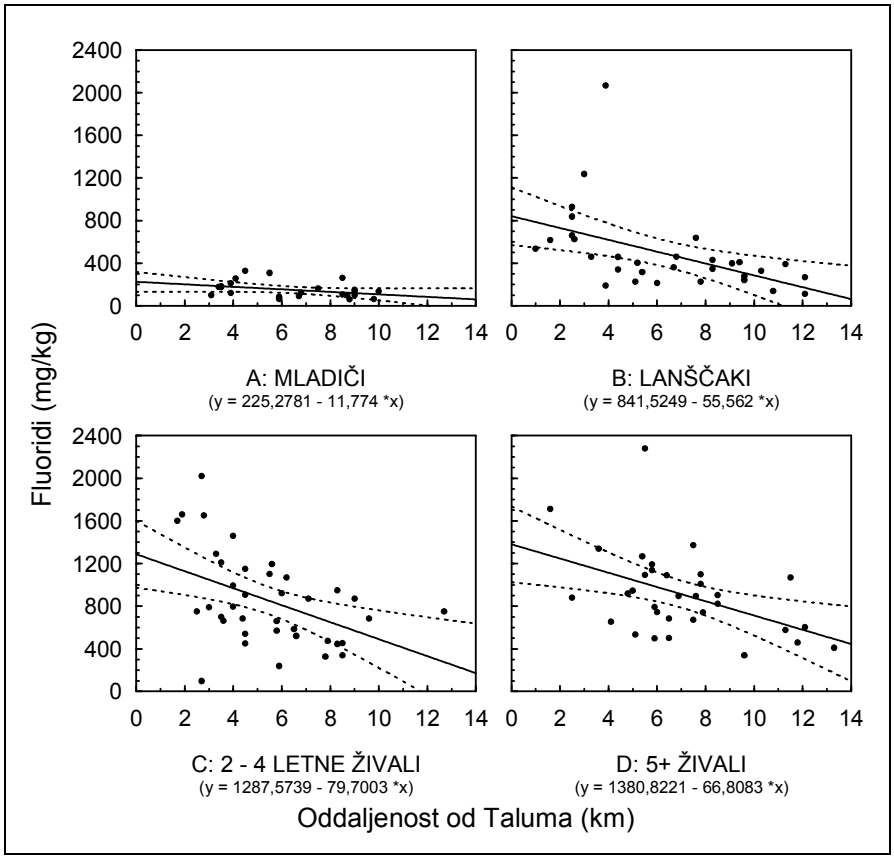
V okviru disertacije smo ugotavljali tudi vpliv Taluma (najpomembnejšega vira emisij fluoridov v Sloveniji) na vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi. Zaradi tega smo za namene statistične analize ustvarili novo spremenljivko oddaljenost od Taluma (*Odd Talum1*), pri čemer smo za vsako posamezno odvisno spremenljivko (n = 126) izmerili razdaljo med Talumom (koordinate: Atlas okolja, 2010) in kvadrantom uplenitve osebka. Za vsak kvadrant smo izbrali središčno točko celice, ki meri 1 x 1 km. Razdalje smo merili s programskim orodjem *ArcView GIS Version 3.1*. Obstajajo določena odstopanja med dejansko lokacijo odstrela in središčno točko kvadranta, kar pomeni, da so naše izmerjene razdalje obremenjene z napako *cca*. do 700 m. Glede na to, da je srnjad mobilna vrsta, ki se giblje v arealu nekaj 10 ha do največ 100 ha (zbrano v Al Sayegh Petkovšek in Pokorny, 2009), ta odstopanja meritev ne vplivajo pomembno na samo interpretacijo rezultatov.

Preglednica 29: Korelacija med oddaljenostjo mesta uplenitve osebka od tovarne aluminija Talum in vsebnostjo fluoridov v čeljustih srnjadi iz okolice Kidričevega (leto 2007).

Table 29: Correlation between the distance of the site of the cull from the aluminium plant Talum and fluoride levels in mandibles of roe deer from the vicinity of Kidričevo (year 2007).

Starostna kategorija	**n**	**Korelacijski koeficient (R)**	**(R^2)**	**Stopnja tveganja (p)**
Mladiči	24	-0,38	0,14	0,086
Lanščaki	31	-0,64	0,41	0,006
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	38	-0,47	0,22	0,004
Stara srnjad (5 in več let)	33	-0,45	0,20	0,007

Zaradi nenormalne porazdelitve vzorcev fluoridov in dejstva, da je srnjad mobilna vrsta, smo za ugotavljanje soodvisnosti med oddaljenostjo od Taluma in vsebnostjo fluoridov uporabili *Spearmanov korelacijski koeficient* (R), s katerim računamo korelacije na podlagi rangov in ne na podlagi absolutnih vrednosti. Za vse starostne kategorije z izjemo mladičev (na meji značilnosti) smo ugotovili značilen upad vsebnosti z oddaljenostjo od Taluma, pri čemer pa so bili korelacijski koeficienti relativno majhni in pojasnjujejo največ do 41 % variabilnosti vsebnosti fluoridov (pri lanščakih; preglednica 29).



Slika 42: Zmanjševanje vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz okolice Kidričevega, z oddaljevanjem mesta uplenitve osebka od Taluma (n = 126).

Figure 42: Decrease of fluoride levels in mandibles of roe deer, culled in the vicinity of Kidričevo, with the distance of the site of the cull from Talum (n = 126).

4.2 ZOBNA FLUOROZA SRNJADI

4.2.1 Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz vseh lovišč Slovenije leta 2007

V tem delu disertacije je predstavljena zobna fluoroza srnjadi, ocenjena na podlagi točkovalnega sistema, opredeljenega v poglavju 3.2.4.2 v preglednici 9. Pri tem so bile ocenjene vse dostopne in primerne čeljusti (s prisotnostjo vseh šestih stalnih kočnikov) odraslih osebkov (n = 14.672), odvzetih v letu 2007 iz vseh lovišč Slovenije. Zaradi relativno majhnega spolnega dimorfizma (Simonič, 1976; do sedaj še ni bilo zaznano, da bi razlike med samci in samicami vplivale na stopnjo zobne fluoroze; Vikøren in sod.,1996; Jelenko in sod., 2010a, 2010b) so vse čeljusti moških in ženskih osebkov srnjadi združene. V preglednici 30 je tako podano število vzorcev, frekvenca oz. delež čeljusti s prisotno zobno fluorozo (% ZF) in DLI oz. indeks zobne poškodovanosti (aritmetične sredine z odkloni zaupanja ($\bar{a} \pm t_{0,05}$*SE); standardni odkloni (SD); maksimalna vrednost (Max); deveti decil, tj. vrednost, od katere je višjih še 10 % vrednosti).

Preglednica 30: Zobna fluoroza (frekvenca, DLI) srnjadi, odvzete iz vseh lovišč Slovenije v letu 2007.
Table 30: Dental fluorosis (frequency, DLI) of roe deer, culled in all Slovenian hunting gr. in 2007.

Starostna kategorija	n	% ZF	DLI			
			$\bar{a} \pm t_{0,05}$*SE	SD	Max	9. decil [a]
Severovzhodna Slovenija						
Enoletni osebki	2.122	4,2	0,1 ± 0,0	0,7	14	0
Celotna Slovenija						
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	8.756	11,4	0,4 ± 0,0	1,4	21	1
Srednje stara srnjad (5 – 7 let)	4.445	18,9	0,7 ± 0,0	1,8	25	4
Stara srnjad (8 in več let)	1.471	24,0	1,0 ± 0,1	2,0	16	4
Skupaj	**14.672**	**14,9**	**0,6 ± 0,0**	**1,6**	**25**	**3**

OPOMBA:
(a) DLI se logaritemsko porazdeljuje, zaradi česar bi bilo primerneje podati mediane, a so le-te za vsa leta iste: Me = 0. Za natančnejšo primerjavo intenzitete zobne fluoroze smo zato podali deveti decil DLI.

Kierdorf in sod. (1999) ter Zemek in sod. (2006) trdijo, da starost osebkov (zaradi dejstva, da lahko do poškodb sklenine pride le v obdobju rasti zob) ne vpliva na pojav vidnih znakov zobne fluoroze, temveč da so razlike, ki se kljub temu pojavljajo v stopnji zobne fluoroze med posameznimi starostnimi kategorijami, posledica različne onesnaženosti okolja s fluoridi v času odraščanja osebkov ter rasti zob. Zaradi tega in zaradi primerljivosti s poznanimi raziskavami po svetu so rezultati podani ločeno za tri starostne kategorije (mlada srnjad: 2-4 leta, srednje stara srnjad: 5-7 let, stara srnjad: 8 in več let). Tako povprečna ocenjena stopnja zobne fluoroze (povprečen DLI) kot tudi frekvenca zobne fluoroze je bila največja pri najstarejših osebkih, in sicer pri stari (8+) srnjadi, nato pri srednja stari (5 – 7 let) in najmanjša pri mladi srnjadi (2 – 4 leta).

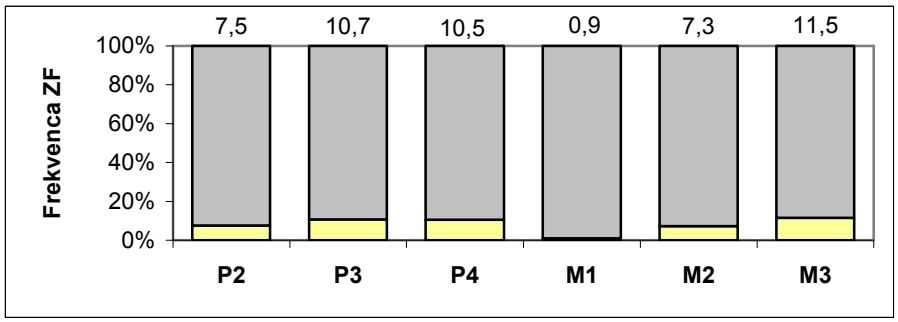
Razlike v stopnji zobne fluoroze (povprečen DLI) med posameznimi starostnimi kategorijami so statistično visoko značilne (*Kruskal-Wallis ANOVA:* $H_{(2;\ 16.472)} = 259,87$; $p < 0,0001$). Primerjavo parov povprečne zobne fluoroze po starostnih kategorijah smo naredili z *Mann-Whitney U-testom*, ki podaja statistično visoko značilne razlike med vsemi tremi starostnimi kategorijami (preglednica 31).

Preglednica 31: Značilnost razlik povprečnega DLI srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 med starostnimi kategorijami (Mann-Whitney U-test; za n glej preglednico 30).
Table 31: Significance of differences in average DLI of roe deer, culled in Slovenia in 2007 among age categories (Mann-Whitney U-test; for n, see table 30).

Starost	**Srednje stara srnjad** (5 – 7 let)	**Stara srnjad** (8 in več let)
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	Z = -7,46 ****	Z = -8,14 ****
Srednje stara srnjad (5 – 7 let)		Z = -3,00 **

OPOMBA:
p: **: p < 0,01; ****: p < 0,0001.

4.2.1.1 Razporeditev ocen zobne fluoroze srnjadi po posameznih kočnikih

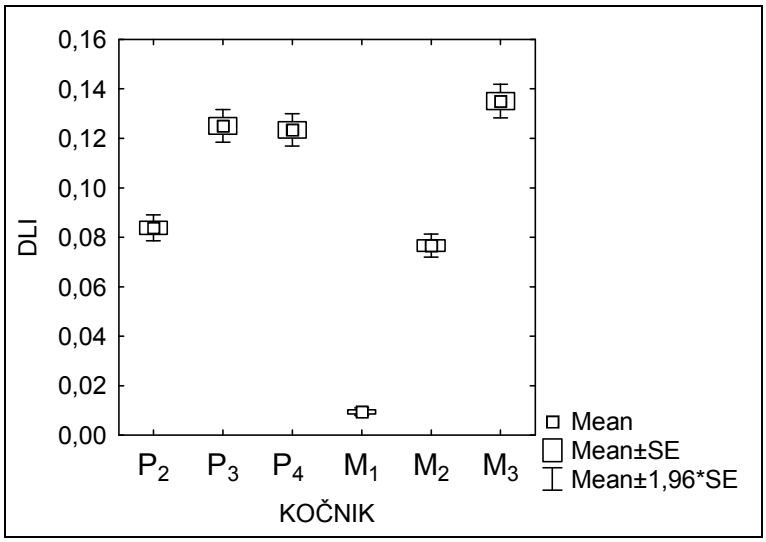


Slika 43: Frekvence zobne fluoroze stalnih kočnikov srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007.
Figure 43: Frequency of dental fluorosis of permanent check teeth of roe deer, culled in Slovenia in 2007.

Pri srnjadi, odvzeti iz celotne Slovenije v letu 2007, se je zobna fluoroza največkrat pojavljala pri tretjem in četrtem predmeljaku ter tretjem meljaku, medtem ko je bila najmanj pogosta pri prvem meljaku (slika 43). Pri vseh kočnikih je bila zaznana zobna fluoroza največkrat ocenjena z oceno 1, ki odraža le prve znake zobne fluoroze; pri M_1 je bila ta ocena tudi edina (z izjemo dveh zob z oceno 2). Tudi najvišja ocena (5) zobne fluoroze posameznih zob se je pojavila predvsem pri P_3, P_4 in M_3, medtem ko se je ocena 4 poleg omenjenih treh zob večkrat pojavila tudi pri P_2. Pri M_2 sta poleg ocene 0 oz. 1 najpogostejši oceni 2 in 3 (preglednica 32).

Preglednica 32: Čas formacije zobne krone stalnih kočnikov (po Kierdorf U in Kierdorf H, 2000b) in pogostost posameznih ocen fluoroze teh zob pri odrasli srnjadi, odvzeti leta 2007 v Sloveniji.
Table 32: Time of crown formation of roe deer check teeth (adapted by Kierdorf U and Kierdorf H, 2000b) and appearance of fluorosis of mentioned teeth by adult roe deer, culled in Slovenia in 2007.

	P_2	**P_3**	**P_4**	**M_1**	**M_2**	**M_3**
Formacija zobovja						
Čas formacije zobne krone (v mesecih)	<6 – 11	<6 – 11	<6 – 11	*in utero* – ≤2	*in utero* – ≤4	4 – 9
Starost osebka ob popolni izraščenosti zoba (v mesecih)	12 – 14	12 – 14	12 – 14	3	6	11 – 12
Ocena zobne fluoroze posameznih zob						
Ocena 0	13.574	13.110	13.126	14.537	13.608	12.982
Ocena 1	1.027	1.388	1.382	135	1.026	1.502
Ocena 2	29	115	102	2	25	126
Ocena 3	30	36	40	0	12	38
Ocena 4	10	17	15	0	2	16
Ocena 5	4	8	9	0	1	10



Slika 44: Razlike v oceni zobne fluoroze (DLI) posameznih kočnikov srnjadi.
Figure 44: Differences in scores of dental fluorosis (DLI) among permanent cheek teeth of roe deer.

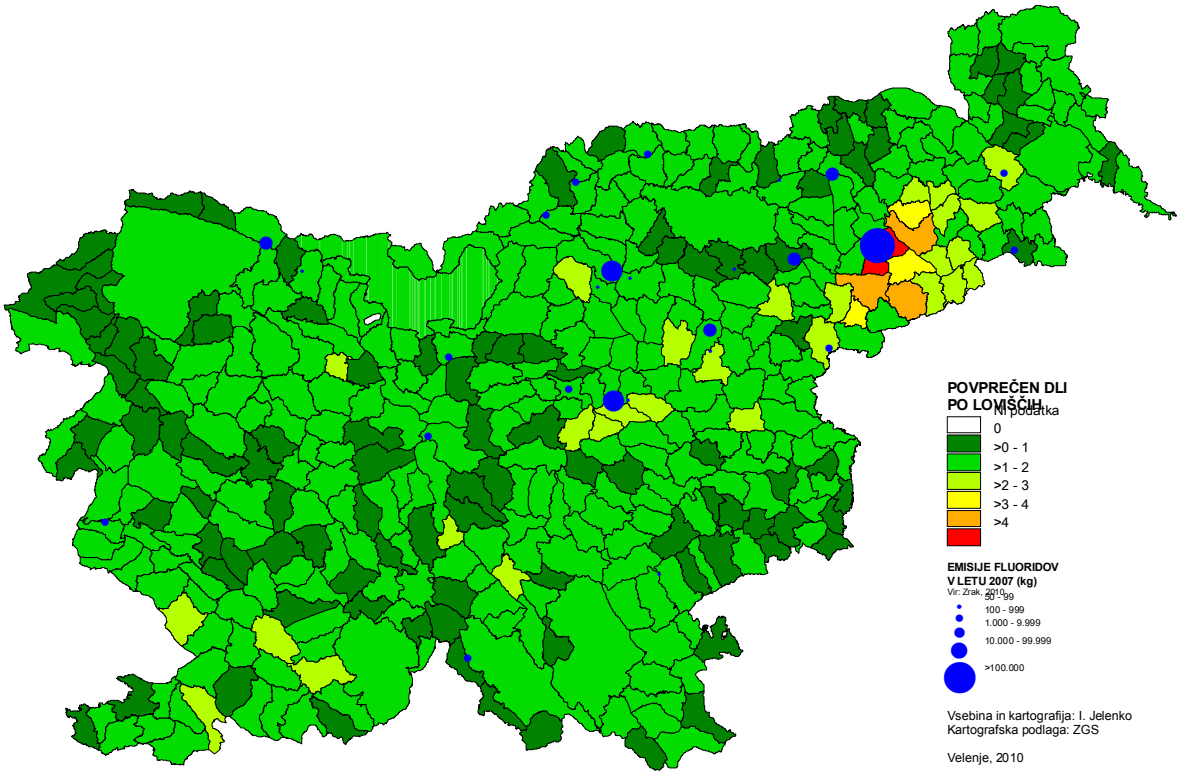
Razlike v pojavnosti in intenziteti (povprečen DLI) zobne fluoroze med posameznimi kočniki so statistično visoko značilne (*Friedman ANOVA by ranks:* $\lambda^2_{(5,\ 14.674)} = 3272{,}44$; $p < 0{,}0001$). Razlike se pojavljajo predvsem med M_1 *vs.* ostali zobje, med P_2 *vs.* P_3, P_4 in M_3 ter med M_2 *vs.* P_3, P_4 in M_3 (slika 44).

4.2.2 Prostorski prikaz zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz celotne Slovenije leta 2007

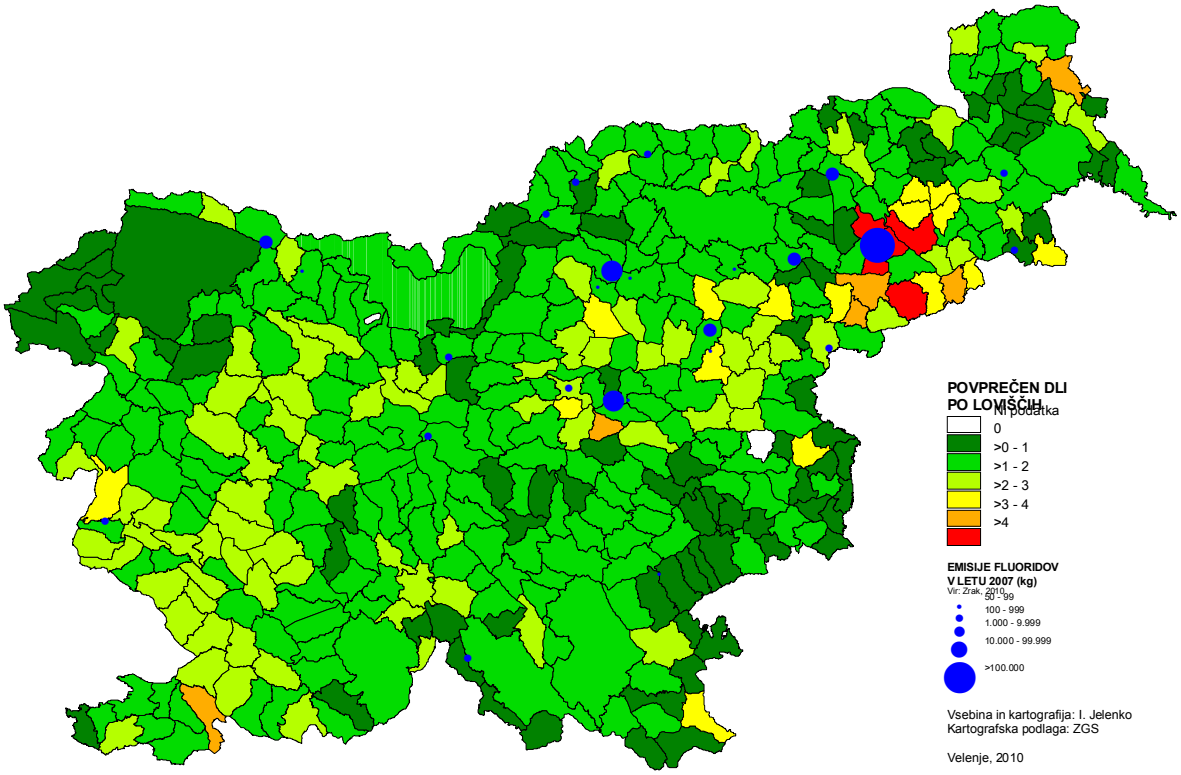
Mezoprostorski prikaz: prikaz na nivoju lovišč

Z izvedbo ocenjevanja zobne fluoroze vse odrasle srnjadi, odvzete iz vseh slovenskih lovišč v letu 2007 (preglednica 30), smo izvedli izjemno obširno, v svetu do sedaj še nikoli narejeno analizo zobne fluoroze srnjadi (ali katerekoli druge vrste) na nivoju celotne države. Na podlagi dobljenih rezultatov in popolne sledljivosti čeljusti na nivoju lovišč smo izdelali mezo-prostorske prikaze povprečne stopnje zobne fluoroze srnjadi Slovenije, ki nakazujejo na onesnaženost države s temi snovmi (slike 45 – 48).

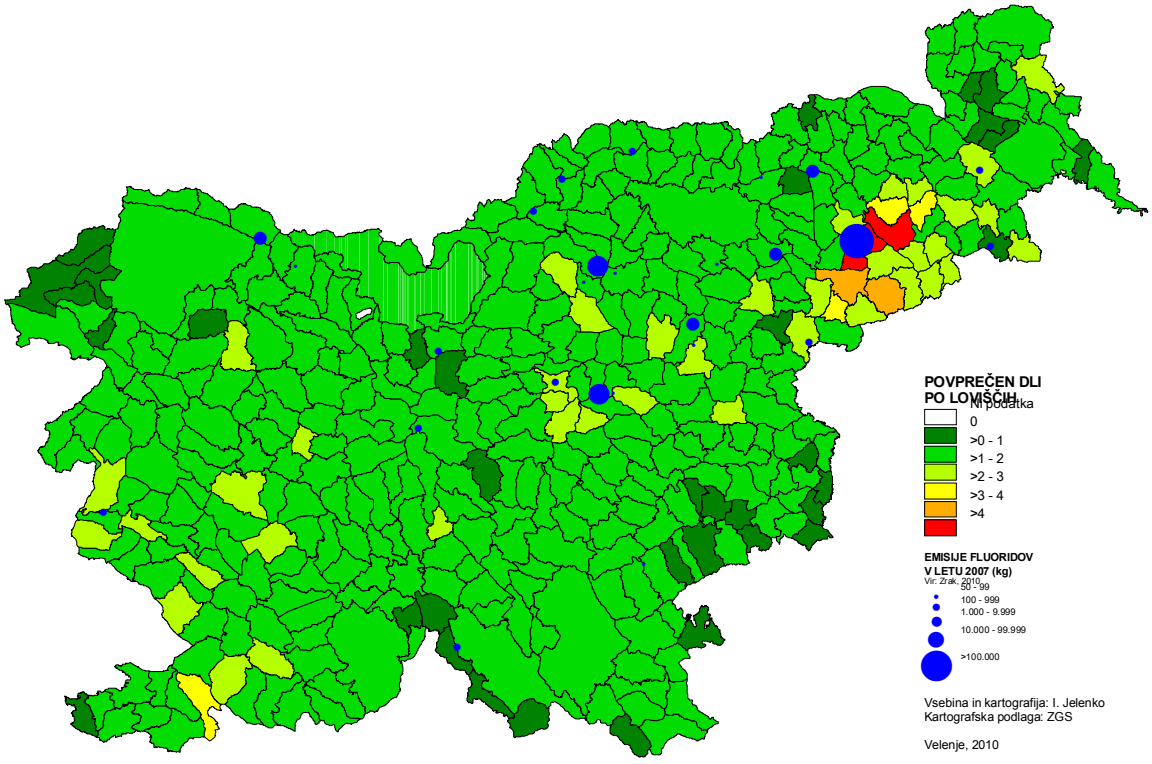
Ta del disertacije predstavlja izredno pomemben prispevek k bioindikaciji onesnaženosti okolja Slovenije s fluoridi kot zelo problematično skupino onesnažil, saj gre za relevanten prostorski prikaz podatkov, ki ga ni mogočne izvesti z nobeno drugo poznano metodo. Zaradi večje preglednosti je prikazano večje število kart, in sicer: (i) aritmetične sredine za različne starostne kategorije odrasle srnjadi (po lastni klasifikaciji; glej preglednico 12); (ii) tretji kvartil za vse starostne kategorije odrasle srnjadi skupaj (po klasifikaciji Zemek in sod., 2006; glej preglednico 12).



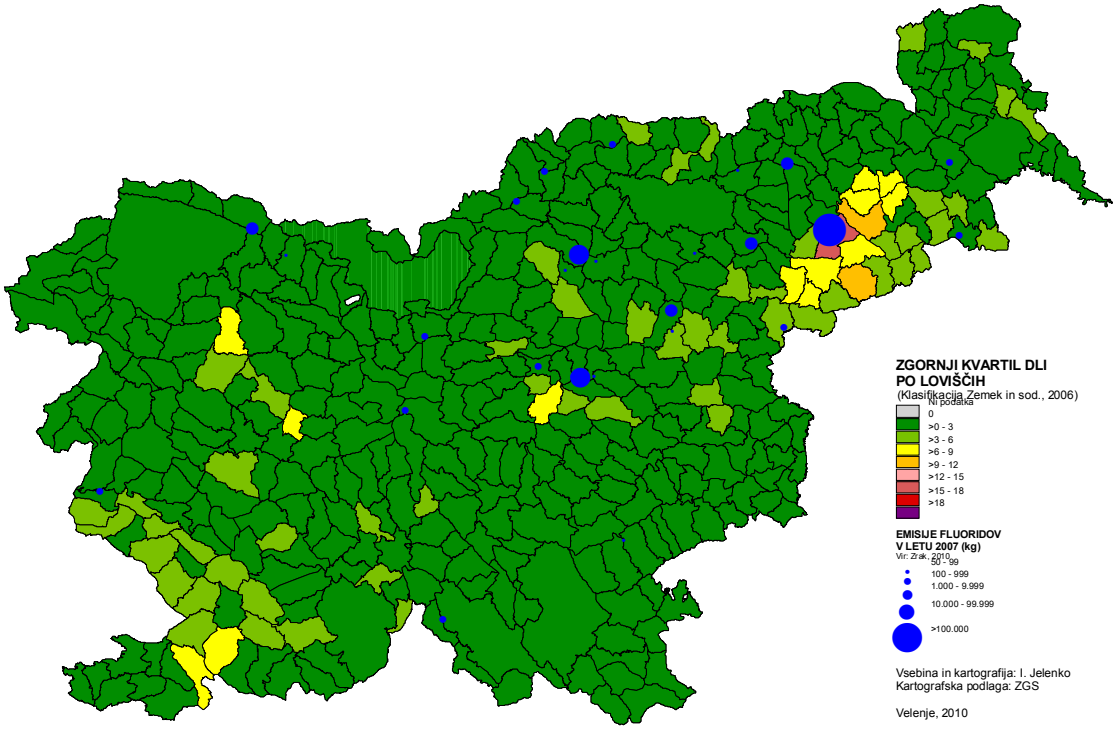
Slika 45: Zobna fluoroza (DLI – aritmetične sredine) 2 – 4 letne srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007.
Figure 45: Dental fluorosis (DLI – arithmetic means) of 2-4 years old roe deer, culled in Slovenia in 2007.



Slika 46: Zobna fluoroza (DLI – aritmetične sredine) 5 in večletne srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007.
Figure 46: Dental fluorosis (DLI – arithmetic means) of 5 and more years old roe deer, culled in Slovenia in 2007.



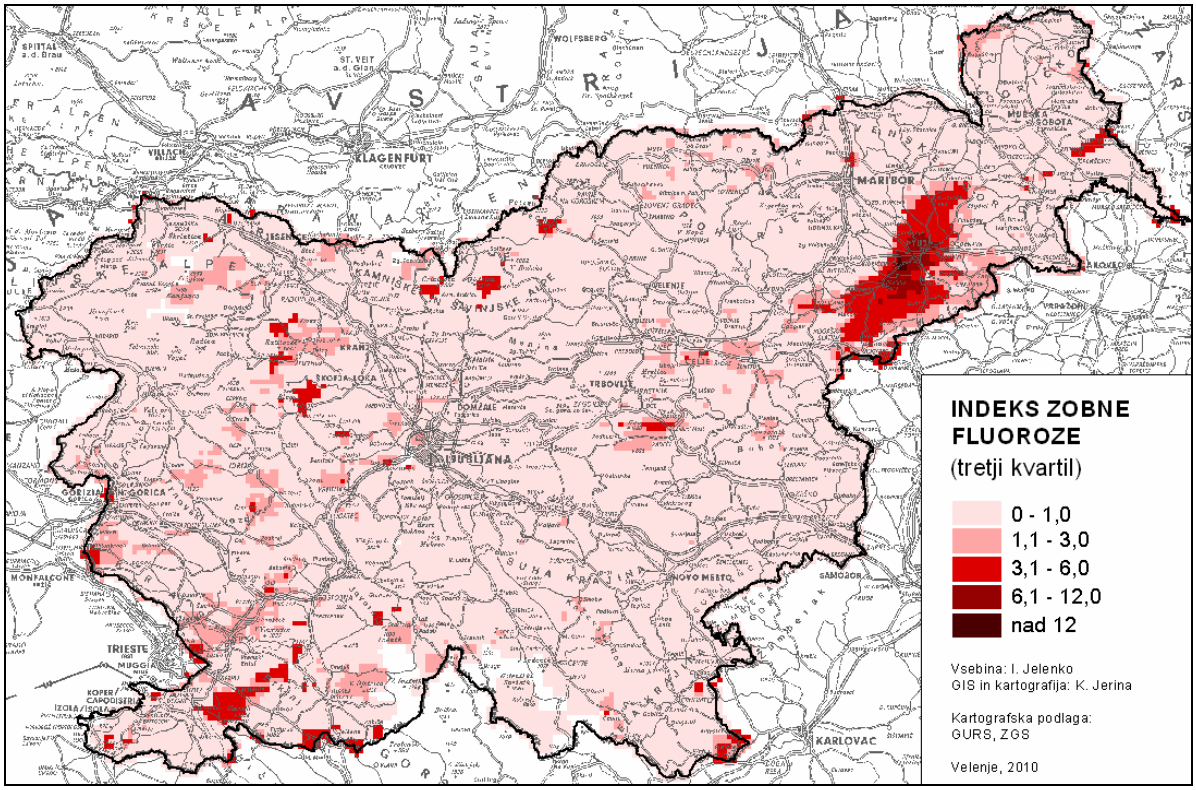
Slika 47: Zobna fluoroza (DLI – aritmetične sredine) odrasle (2+) srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007.
Figure 47: Dental fluorosis (DLI – arithmetic means) of adult (2+) roe deer, culled in Slovenia in 2007.



Slika 48: Zobna fluoroza (DLI – tretji kvartil) odrasle (2+) srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 (klasifikacija po: Zemek in sod., 2006).
Figure 48: Dental fluorosis (DLI – third quartile) of adult (2+) roe deer, culled in Slovenia in 2007 (classification as in: Zemek et al., 2006).

Mikroprostorski prikaz: prikaz na nivoju 1 x 1 kilometrske mreže

Z doktorskim delom smo prostorsko bioindikacijo onesnaženosti okolja s fluoridi na podlagi ocene zobne fluoroze srnjadi poleg izjemno obširnega vseslovenskega biomonitoringa (slike 45 do 48) izvedli še z izjemno prostorsko ločljivostjo na podlagi rastrskih celic velikosti 1 km^2. Takšen prostorski prikaz pomeni izjemno natančen biomonitoring tega onesnažila, ki do sedaj ni bil izveden še nikjer na svetu. Tako ta del disertacije poleg izrednega prispevka k bioindikaciji onesnaženosti okolja Slovenije s fluoridi kot zelo problematično skupino onesnažil, pomembno prispeva tudi v smislu novih možnosti glede na natančnost prostorske bioindikacije. Tako smo s pomočjo GIS orodij izdelali mikroprostorski prikaz pojavljanja in intenzitet zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007, prikazan na sliki 49.



Slika 49: Prostorska razporeditev zobne fluoroze (tretji kvartil DLI) odrasle srnjadi, odvzete iz Slovenije (2007) na mikrolokacijskem nivoju.

Figure 49: Spatial distribution of dental fluorosis (third quartile of DLI) of roe deer, culled in Slovenia in 2007 on micro location.

4.2.3 Vpliv okoljskih dejavnikov na zobno fluorozo srnjadi

Večina analiziranih čeljusti (85 %) srnjadi, odvzete iz celotne Slovenije leta 2007, je bila brez vidnih znakov zobne fluoroze (nobeden izmed vseh stalnih kočnikov ni bil makroskopsko vidno prizadet). Pri preostalih 15 % čeljusti se je pojavljala predvsem rahla zobna fluoroza (DLI = 1 – 8). Zmerno (DLI = 9 – 15) in močno (DLI = 16 – 30) zobno fluorozo smo zabeležili pri manj kot 1 % ocenjenih čeljusti (preglednica 33).

Preglednica 33: Frekvenčna porazdelitev stopnje zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007, vključene v multivariatne analize.
Table 33: Frequency distribution of the dental lesion index of roe deer, culled in Slovenia in 2007 that were included in multivariate analysis.

DLI	0	1 – 8	9 – 15	16 – 30	Skupaj
N	9.190	1.619	56	15	10.880
Frekvenca (%)	84,5	14,9	0,5	0,1	100

Pred izvedbo GRM-modela za določitev vpliva okoljskih dejavnikov na stopnjo zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz Slovenije smo z bivariatnimi analizami ugotavljali statistično značilne povezave za vse pare odvisna – neodvisna spremenljivka (preglednica 34), vendar so bile vse izračunane povezave precej ohlapne. Med ordinalnimi (in zveznimi) spremenljivkami je z DLI najtesneje, a vendarle z razmeroma majhnim korelacijskim koeficientom (r = -0,17), povezana spremenljivka TALUM_ODD. Preverjali smo tudi soodvisnosti med neodvisnimi spremenljivkami, ki med seboj sicer korelirajo, a korelacije praviloma niso večje od konzervativnih meja (r < 0,50), katerih ne-preseganje je pogoj za vključitev v GRM-model (Dillon in Goldstein, 1984). Le med neodvisnima spremenljivkama GOZD% in ODD_NEG (r = 0,55; p < 0,0001) ter spremenljivkama F_MOD in F_ODD (r = 0,57; p <0,0001) smo ugotovili statistično značilno povezanost, zato smo spremenljivki delež gozda (GOZD%) in modelne imisijske koncentracije fluoridov (F_MOD), ki sta z odvisno spremenljivko šibkeje povezani, izključili iz GRM-modela.

Preglednica 34: Bivariatna korelacijska analiza med DLI in okoljskimi dejavniki oz. individualnimi značilnostmi srnjadi, odvzete v Sloveniji leta 2007.
Table 34: Bivariate correlations between DLI and environmental factors or individual characteristics of roe deer, culled in Slovenia in 2007.

	Kendall r	Z (λ^2)	Stopnja tveganja (p)	Rang
PADAV	-0,04	-6,0	0,000	6
URB%	0,02	3,1	0,002	8
GOZD%	-0,03	-4,7	0,000	7
ODD_NEG	-0,06	-9,1	0,000	5
ODD_URB	-0,01	-1,7	0,092	9
F_MOD	0,07	11,6	0,000	4
F_ODD	-0,09	-13,7	0,000	3
TALUM_ODD	-0,17	-26,7	0,000	1
PEDOL [a]	/	13,5	0,009	/
GEOL [a]	/	30,9	0,000	/
SPOL [a]	/	67,9	0,000	/
STAR	0,13	20,1	0,000	2

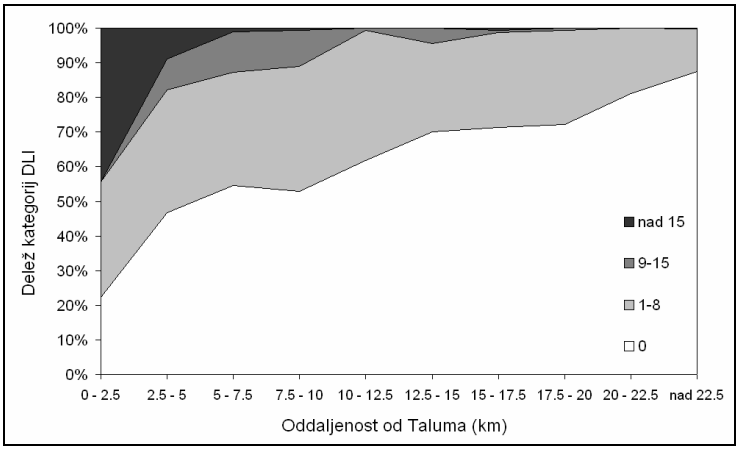
OPOMBA:
(a) Pri kategorialnih spremenljivkah smo razlike med skupinami testirali s Kruskal-Wallis testom.

Preglednica 35: Spremenljivke v GRM-modelu zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007, glede na okoljske dejavnike in delež skupne pojasnjene variance.

Table 35: Parameters in GRM-model of dental fluorosis of roe deer, culled in Slovenia in 2007, in respect to environmental factors and the share of total explained variance.

Spremenljivka	Parameter	SE	t	Stopnja tveganja (p)	Delež skupne pojasnjene variance (%)
TALUM_ODD	0,000	0,000	-24,74	0,000	73,6
STAR					16,1
2	-0,293	0,026	-11,44	0,000	
5	0,057	0,028	2,00	0,046	
F_ODD	0,000	0,000	-6,43	0,000	5,0
SPOL	0,106	0,017	6,09	0,000	4,5
ODD_NEG	0,000	0,000	-2,56	0,011	0,8
Konstanta	5,085	0,173	29,41	0,000	/
$R^2 = 0,11$	$F_{(6, 9.407)} = 191,7$	$p < 0,0001$			

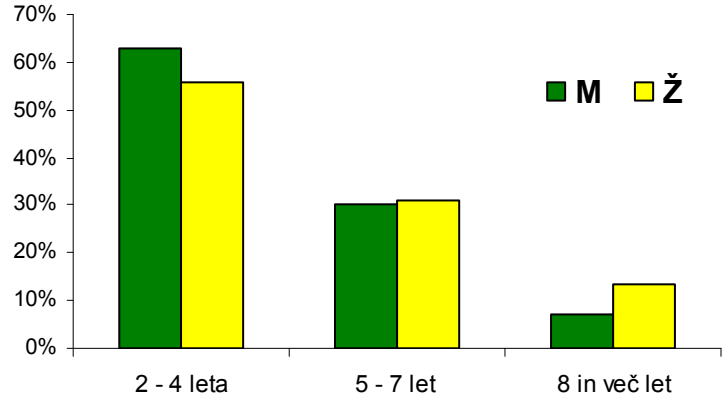
Po napovedih GRM-modela na stopnjo in prostorsko razporeditev zobne fluoroze srnjadi Slovenije značilno vpliva pet spremenljivk (preglednica 35), in sicer na DLI značilno vplivajo oddaljenost od Taluma (TALUM_ODD), starost osebka (STAR), spol (SPOL), oddaljenost od najbližjih negozdnih površin (ODD_NEG) ter za razliko od regresijskega drevesa še oddaljenost od treh večjih virov emisij (F_ODD). GRM-model 11 % variabilnosti DLI in napoveduje, da na stopnjo zobne fluoroze srnjadi najpomembneje vpliva Talum (74 % pojasnjene variance modela; slika 50).



Slika 50: Zmanjševanje stopnje zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007, z oddaljevanjem od tovarne aluminija Talum.

Figure 50: Decrease of dental fluorosis in roe deer, culled in Slovenia in 2007, with the increasing distance from the aluminium smelter Talum.

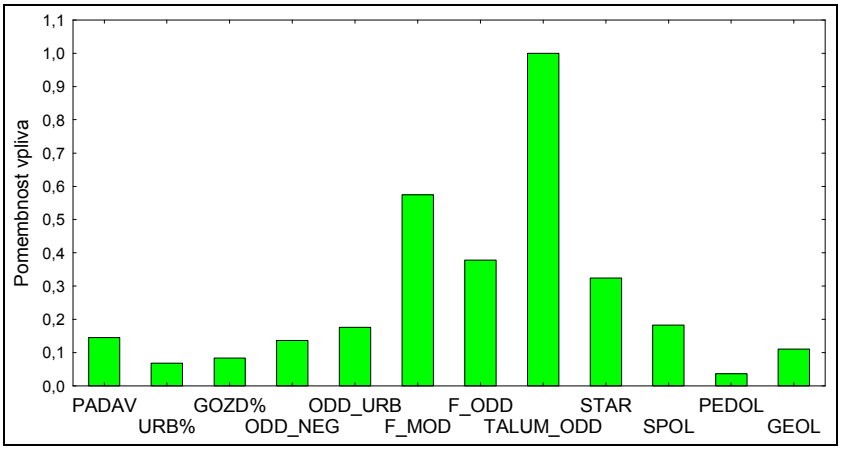
Pri tem modelu dokaj velik delež pojasnjene variance pojasnjuje tudi starost (16 %), in sicer DLI s starostjo narašča. Stopnja zobne fluoroze je odvisna tudi od oddaljenosti od treh največjih virov emisij v Sloveniji in z njo upada, medtem ko ima ženski spol srnjadi praviloma višji DLI od moškega spola (slednje je lahko predvsem posledica starostnih razlik v strukturi odvzete srnjadi obeh spolov, saj je v veliki večini Slovenije povprečna starost izločenih srn večja od starosti izločenih srnjakov; slika 51). Najmanjši vpliv ima oddaljenost od gozdnega roba v notranjost gozda (ODD_NEG), ki pove, da imajo osebki, ki žive globlje v gozdu, nižjo stopnjo zobne fluoroze.



Slika 51: Frekvenčna porazdelitev starostnih kategorij odrasle srnjadi, odvzete iz Slovenije v letu 2007 (osebki vključeni v multivariatne analize), po spolu (lastna ocena; n = 10.879).

Figure 51: Frequency distribution of age categories of adult roe deer, culled in Slovenia in 2007 (animals included in the research) by gender (own assessment, n = 10,879).

Z metodo regresijskih dreves smo dobili skoraj identične rezultate, kot jih napove GRM-model. Tudi po tej metodi ima na indeks zobne poškodovanosti (DLI) srnjadi, odvzete iz Slovenije v letu 2007, daleč največji vpliv spremenljivka oddaljenost od Taluma (**TALUM_ODD**) (1,00). Naslednja spremenljivka, ki ima še vedno velik vpliv na stopnjo zobne fluoroze so modelne imisijske koncentracije fluoridov (**F_MOD**) (0,57), nato pa sledijo spremenljivke oddaljenost od treh glavnih emisijskih točkovnih virov (**F_ODD**) (0,38), starostna kategorija (**STAR**) (0,32), **SPOL** (0,18) in oddaljenost od najbližjega naselja (**ODD_URB**) (0,18). Vpliv ostalih spremenljivk je precej majhen (< 0,15) (slika 52).

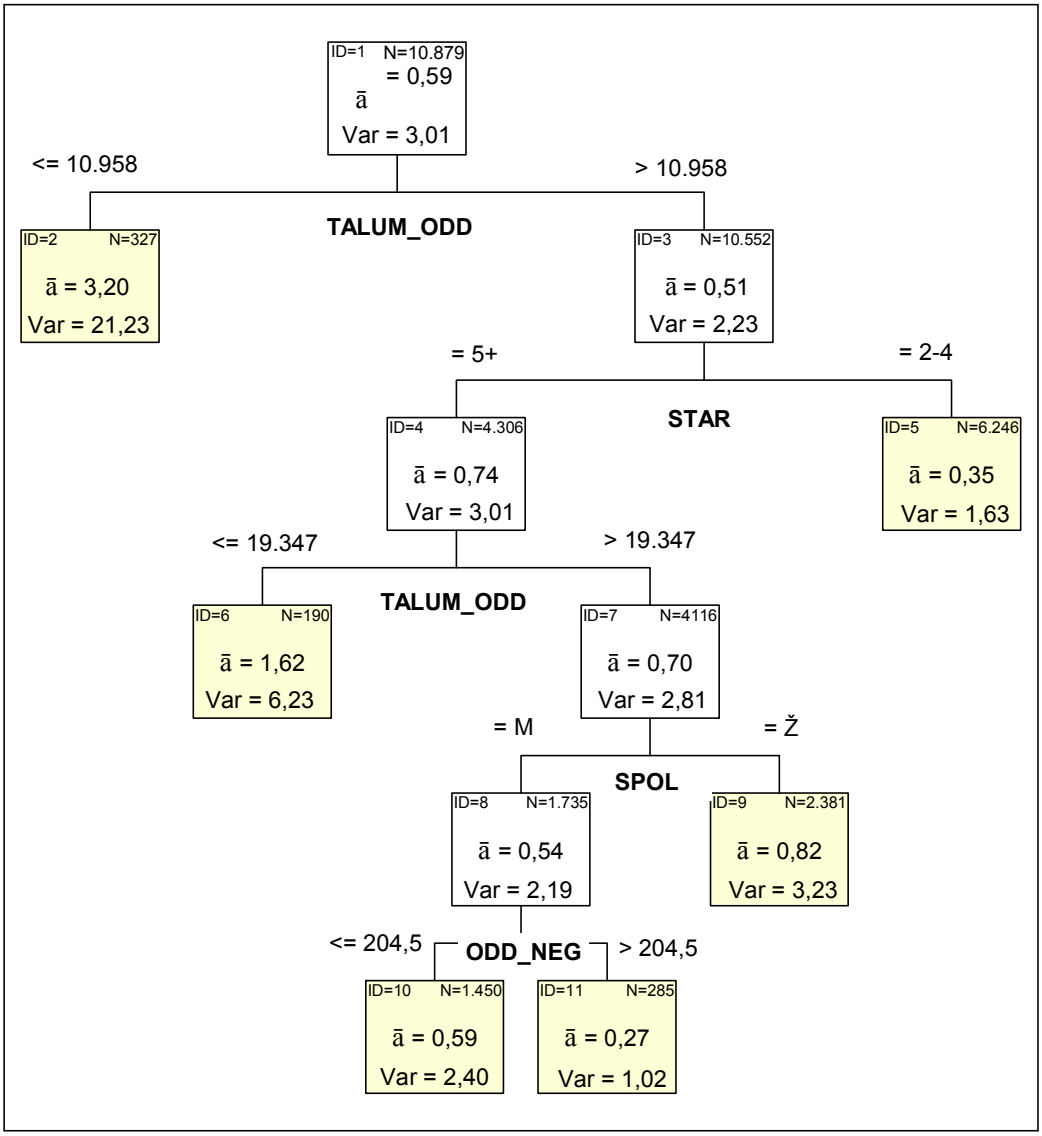


Slika 52: Pomen vpliva okoljskih in individualnih spremenljivk na zobno fluorozo srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 (izračun z metodo regresijskih dreves).

Figure 52: Importance of the influence of environmental or individual factors on dental fluorosis of roe deer, culled in Slovenia in 2007(calculated with the method of regression trees).

Končni izdelani model regresijskega drevesa (slika 53) ima 11 vozlov, pet delitev in šest končnih vozlov, ki opisujejo vplive okoljskih dejavnikov na zobno fluorozo (DLI) srnjadi Slovenije. Kot odločitvene spremenljivke model vključuje le štiri vključene neodvisne spremenljivke, od katerih se ena (TALUM_ODD) pojavi dvakrat, in je tudi najpomembnejša spremenljivka za napoved stopnje zobne fluoroze srnjadi. Tako na DLI srnjadi v prvi vrsti

najmočneje vpliva oddaljenost od Taluma, ki je do oddaljenosti 10.958 m največji pojasnitveni faktor za pojav zobne fluoroze srnjadi (glej sliko 50). Na razdalji, ki je večja od omenjene, na zobno fluorozo najmočneje vpliva starost živali, in sicer se pojavljajo razlike med mlado (2 – 4 letno) in starejšo (5 in večletno) srnjadjo. Pri starejši srnjadi na višino DLI zopet vpliva oddaljenost od Taluma, in sicer se večje povprečne vrednosti DLI pojavljajo pri tistih osebkih, ki so oddaljeni manj kot 19.347 m (a hkrati več kot 10.958 m). Pri ostali starejši srnjadi, ki je več kot 20 km oddaljena od Taluma, na DLI vpliva še spol živali, in sicer imajo ženski osebki višjo povprečno stopnjo zobne fluoroze. Pri starejših moških osebkih je zadnji odločilen dejavnik, ki vpliva na DLI, oddaljenost od negozdnih površin (torej razdalja od gozdnega roba v notranjost gozda), ki pove, da imajo osebki, ki živijo globlje v gozdu, nižjo stopnjo zobne fluoroze.



Slika 53: Regresijsko drevo vpliva okoljskih in individualnih spremenljivk na DLI srnjadi (ā = aritmetična sredina; Var = varianca).

Figure 53: Regression tree to predict the influence of environmental and individual factors on DLI of roe deer (ā = arithmetic mean; Var = variance).

4.2.4 Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009

V preglednici 36 je prikazana ocenjena zobna fluoroza odrasle srnjadi (združen vzorec za vse tri starostne kategorije), odvzete v obdobju 1997 – 2009 iz petih lovišč Šaleške doline. Prikazano je število vzorcev, frekvenca oz. delež čeljusti s prisotno zobno fluorozo (% ZF) in DLI oz. indeks zobne poškodovanosti (aritmetične sredine z odkloni zaupanja ($\bar{a} \pm t_{0,05}$*SE); standardni odkloni (SD); maksimalna vrednost (Max); deveti decil; tj. vrednost, od katere je višjih še 10 % ocenjenih vrednosti). Kot v primeru vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009, je bila tudi v primeru zobne fluoroze srnjadi (isto obdobje vzorčenja) najvišja povprečna ocenjena stopnja fluoroze (DLI) pri najstarejših čeljustih/vzorcih, in sicer pri srnjadi, odvzeti leta 1997. V naslednjih letih povprečna ocenjena stopnja zobne fluoroze izkazuje močan negativen trend; razlike med posameznimi leti so statistično značilne (Kruskal-Wallis ANOVA: $H_{(11;\ 1371)} = 104{,}14$; $p < 0{,}0001$).

Preglednica 36: Zobna fluoroza (frekvenca, DLI) srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009.
Table 36: Dental fluorosis (frequency, DLI) of roe deer, culled in the Šalek Valley, period 1997–2009.

Leto	Obdobje	n	% ZF	DLI			
				$\bar{a} \pm t_{0,05}$*SE	SD	Max	9. decil [a]
1997	**1**	168	36,9	1,6 ± 0,2	2,6	15	5
1998	**2**	28	28,6	1,4 ± 0,4	2,3	8	5
1999		103	22,3	1,0 ± 0,2	2,2	12	4
2001		156	23,7	0,8 ± 0,2	1,9	14	3
2002		68	25,0	1,3 ± 0,3	2,6	10	6
2003	**3**	74	17,6	0,8 ± 0,2	2,1	10	3
2004		37	16,2	0,8 ± 0,4	2,3	12	4
2005		64	17,2	0,7 ± 0,3	2,3	15	3
2006	**4**	36	8,3	0,3 ± 0,2	0,9	4	0
2007		221	8,1	0,3 ± 0,1	1,1	5	0
2008		188	8,5	0,3 ± 0,1	1,0	7	0
2009		228	7,0	0,2 ± 0,1	0,8	6	0
Skupaj		**1.371**	**16,8**	**0,7 ± 0,1**	**1,8**	**15**	**3**

OPOMBA:
(a) DLI se logaritemsko porazdeljuje, zaradi česar bi bilo primerneje podati mediane, a so le-te za vsa leta enake: Me = 0. Za natančnejšo predstavitev intenzitete ocenjene (prisotne) ZF po letih smo zato podali tudi deveti decil DLI.

Preverili smo razlike v stopnji zobne fluoroze (povprečen DLI) med tremi starostnimi kategorijami srnjadi Šaleške doline (združen vzorec za vsa leta v obdobju 1997 – 2009) in ugotovili, da so le-te sicer statistično značilne (*Kruskal-Wallis ANOVA*: $H_{(2;\ 1371)} = 7{,}46$; $p < 0{,}05$), a med pari posameznih starostnih kategorij ni značilnih razlik (preglednica 37).

Preglednica 37: Značilnost razlik DLI srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009 po starostnih kategorijah (Mann-Whitney U-test; za n glej preglednico 8).
Table 37: Significance of differences in DLI of roe deer, culled in the Šalek valley in the period 1997-2009 by age categories (Mann-Whitney U-test; for n, see table 8).

Starostna kategorija	Srednje stara srnjad	Stara srnjad
Mlada srnjad	Z = -1,55; p = 0,12	Z = -1,16; p = 0,25
Srednje stara srnjad		Z = -0,10; p = 0,92

Na podlagi rezultatov podanih v preglednici 36 ugotovimo, da prihaja po letih 1997, 2002 in 2005 do izrazitejših upadov tako frekvence ZF kot tudi DLI srnjadi iz Šaleške doline, zaradi česar smo rezultate ponovno prikazali v preglednici 38, in sicer združeno po štirih obdobjih: leto 1997, 1998 – 2002, 2003 – 2005 in 2006 – 2009. Zobna fluoroza lahko namreč nastane le v prvem letu življenja osebka, odraža pa se šele pri odraslih, tj. dvo- in večletnih živalih (npr. Richter in sod., 2010; Jelenko in sod., 2010a).

Tako smo v prvo obdobje zajeli srnjad, ki je bila poležena pred oz. v letu izgradnje razžveplalne naprave na bloku 4 TEŠ (leto 1995), v drugo obdobje srnjad, ki je bila poležena po tem letu in pred izgradnjo razžveplevalne naprave na bloku 5 TEŠ (leto 2000), delno pa tudi pred letom 1995 (stara (8+ srnjad), v tretjem obdobju srnjad poleženo delno pred in delno po letu 2000, v zadnjem obdobju pa srnjad, poleženo večinoma po izgradnji razžveplevalne naprave na bloku 5 TEŠ. Ker smo ugotovili, da so razlike v stopnji zobne fluoroze (DLI) med starostnimi kategorijami odrasle srnjadi statistično značilne, smo te rezultate podali tudi ločeno po starostnih kategorijah. Ugotavljamo, da tako frekvenca zobne fluoroze kot tudi povprečen DLI v vseh obdobjih s starostjo živali praviloma narašča in (skladno s podatki za celotno obdobje 1997 – 2009) z leti močno upada (preglednica 38).

Preglednica 38: Zobna fluoroza (frekvenca, DLI) srnjadi, odvzete iz lovišč Šaleške doline po štirih ločenih obdobjih vzorčenja in po posameznih starostnih kategorijah.

Table 38: Dental fluorosis (frequency, DLI) of roe deer, culled in the Šalek Valley separated by four periods and age categories.

Obdobje	Starostna kategorija	n	% ZF	DLI		
				$\bar{a} \pm t_{0,05}$*SE	SD	Max
1997	Mlada srnjad	112	31,3	1,3 ± 0,2	2,1	8
	Srednje stara srnjad	40	45,0	1,6 ± 0,4	2,2	9
	Stara srnjad	16	56,3	3,6 ± 1,2	4,8	15
1998 – 2002	Mlada srnjad	264	20,1	0,7 ± 0,1	1,8	14
	Srednje stara srnjad	62	33,9	1,4 ± 0,3	2,3	10
	Stara srnjad	29	37,9	2,4 ± 0,7	3,6	12
2003 – 2005	Mlada srnjad	141	12,8	0,6 ± 0,2	2,0	15
	Srednje stara srnjad	27	33,3	1,5 ± 0,5	2,4	9
	Stara srnjad	7	42,9	2,6 ± 1,5	3,8	10
2006 – 2009	Mlada srnjad	359	6,7	0,2 ± 0,1	0,9	7
	Srednje stara srnjad	214	10,3	0,3 ± 0,1	1,1	6
	Stara srnjad	100	7,0	0,2 ± 0,1	1,0	6

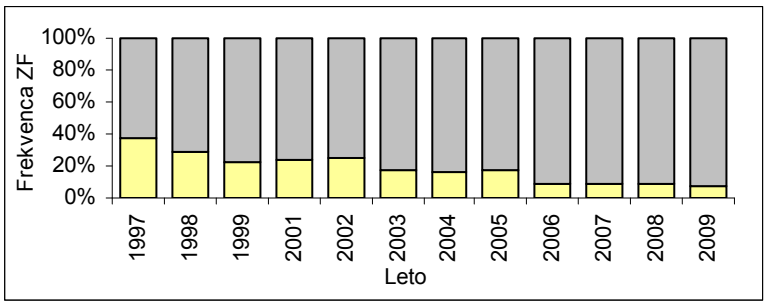
Preverili smo tudi, ali so razlike v povprečnem DLI srnjadi med ustvarjenimi obdobji statistično značilne, in sicer tako za posamezne starostne kategorije kot tudi skupaj (preglednica 39). Pri tem prihaja do izrazitih statističnih razlik pri vseh starostnih kategorijah kot tudi pri združenem vzorcu. V vseh primerih so razlike najizrazitejše med zadnjim obdobjem (2006 – 2009) in vsemi ostalimi obdobji. Pri mladi srnjadi in v združenem vzorcu prihaja do značilnih razlik tudi med letom 1997 in obdobjem 2003 – 2005. Ravno tako je v združenem vzorcu značilna razlika med letom 1997 in obdobjem 1998 – 2002.

Preglednica 39: Značilnost razlik DLI srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v štirih obdobjih (Mann-Whitney U-test; za n glej preglednico 8).
Table 39: Significance of differences in DLI of roe deer, culled in the Šalek valley in four periods (Mann-Whitney U-test; for n, see table 8).

Obdobje	1998 – 2002	2003 – 2005	2006 – 2009	1998 – 2002	2003 – 2005	2006 – 2009
	2 – 4 letne živali: $H_{(3, 876)}$ = 50,60 ****			**5 – 7 letne živali:** $H_{(3, 343)}$ = 38,91 ****		
1997	Z = 1,96; p = 0,05	Z = 2,64 **	Z = 4,00 ****	Z = 0,55; p = 0,57	Z = 0,47; p = 0,63	Z = 3,50 ***
1998 – 2002		Z = 1,19; p = 0,23	Z = 2,85 **		Z = 0,07; p = 0,94	Z = 2,96 **
2003 – 2005			Z = 1,06; p = 0,29			Z = 2,05 *
	8+ živali: $H_{(3, 152)}$ = 33,86 ****			**Vse starostne kat.:** $H_{(3, 1371)}$ = 102,64 ****		
1997	Z = 0,94; p = 0,35	Z = 0,50; p = 0,61	Z = 3,26 **	Z = 2,49 *	Z = 3,21 **	Z = 5,94 ****
1998 – 2002		Z = -0,15; p = 0,87	Z = 2,65 **		Z = 1,25; p = 0,21	Z = 4,30 ****
2003 – 2005			Z = 1,64; p = 0,10			Z = 1,92; p = 0,05

OPOMBE:
p: ****: p < 0,0001; ***: p < 0,001; **: p < 0,01; *: p < 0,05.

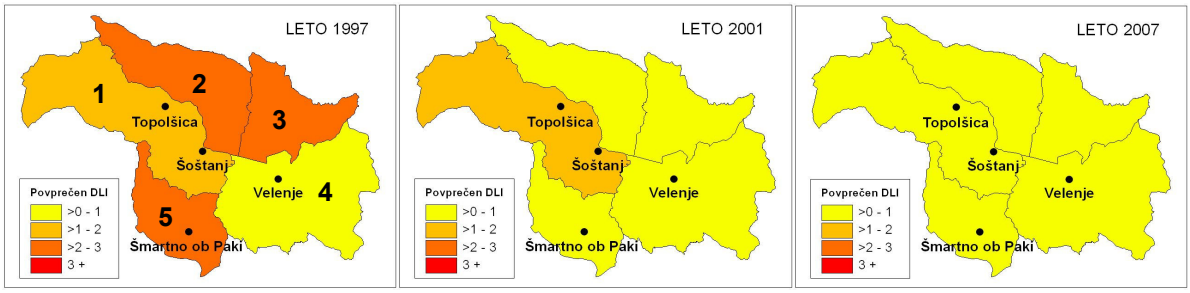
DLI srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009, je precej nizek, zato smo spremembe med posameznimi leti grafično prikazali le s frekvenco zobne fluoroze (% ZF). V združenem vzorcu za vse tri starostne kategorije skupaj je (enako kot velja za DLI) tudi delež zobne fluoroze srnjadi največji v letu 1997 (slika 54) in z leti značilno upada (r = -0,95; p < 0,0001).



Slika 54: Spreminjanje frekvence zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz Šaleške doline, obdobju 1997 – 2009.
Figure 54: Trend of the frequency of dental fluorosis of roe deer, culled in the Šalek Valley, p. 1997–2009.

Časovno spreminjanje zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz Šaleške doline, v prostoru

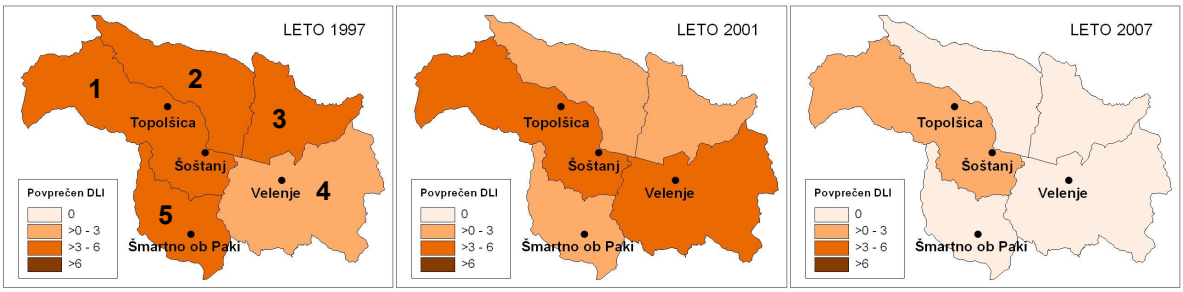
Časovno spreminjanje intenzitete zobne fluoroze srnjadi, odvzete znotraj Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009 smo prikazali tudi prostorsko s primerjavo povprečnega DLI srnjadi za vse starostne kategorije skupaj po posameznih loviščih Šaleške doline, in sicer za leta 1997, 2001 in 2007 (slika 55). Pri tem smo ugotovili, da ima srnjad, odvzeta leta 1997, največjo intenziteto ZF v loviščih Velunja, Škale, Oljka, Šmartno ob Paki in Smrekovec. Ta lovišča predstavljajo višje ležeče severno, zahodno in južno obrobje Šaleške doline, kjer so imisije različnih onesnažil, predvsem kot posledica emisij iz TEŠ, največje (Zavodnje, Veliki Vrh; Rotnik, 2009). Po izgradnji naprave za čiščenje dimnih plinov na bloku 4 TEŠ, so emisije fluoridov upadle, kar se odraža z majhno povprečno stopnjo zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz vseh petih lovišč Šaleške doline v letih 2001 in 2007.



Slika 55: Zobna fluoroza (povp. DLI) odrasle srnjadi, odvzete iz lovišč Šaleške doline (1 - Smrekovec, 2 - Velunja, 3 - Škale, 4 - Velenje in 5 - Oljka, Šmartno ob Paki) v letih 1997, 2001 in 2007.

Figure 55: Dental fluorosis (average DLI) of adult roe deer, culled in hunting grounds of the Šalek Valley (1 - Smrekovec, 2 - Velunja, 3 - Škale, 4 – Velenje, and 5 - Oljka, Šmartno ob Paki) in 1997, 2001 and 2007, respectively.

Še natančnejši vpogled v prostorsko razporeditev intenzitete zobne fluoroze srnjadi Šaleške doline nam poda deveti decil DLI – vrednost, od katere je višje ocenjenih še 10 % vzorcev, ki zaradi manjše možnosti slučajnega vpliva natančneje odraža maksimalne vrednosti ZF kot absolutni maksimum le-te (slika 56).

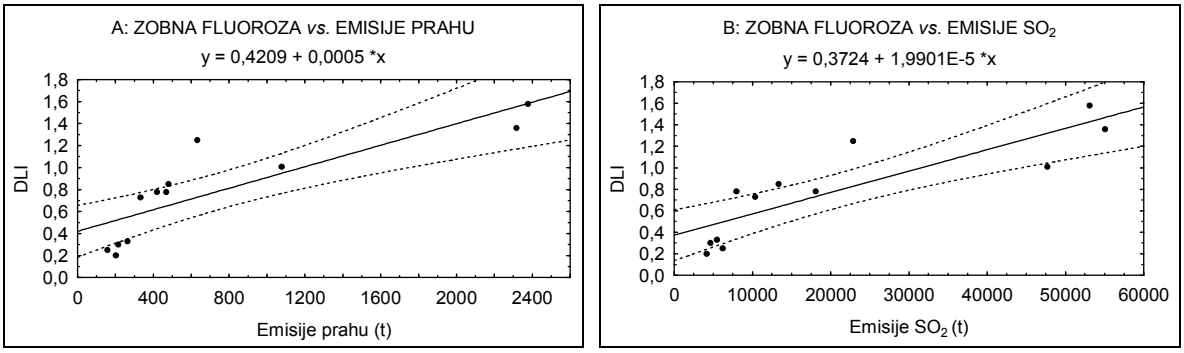


Slika 56: Zobna fluoroza (DLI – 9. decil) odrasle srnjadi, odvzete iz lovišč Šaleške doline (1 - Smrekovec, 2 - Velunja, 3 - Škale, 4 – Velenje in 5 - Oljka, Šmartno ob Paki) v letih 1997, 2001 in 2007.

Figure 56: Dental fluorosis (DLI – 9th decil) of adult roe deer, culled in hunting grounds of the Šalek Valley (1 - Smrekovec, 2 - Velunja, 3 - Škale, 4 – Velenje, and 5 - Oljka, Šmartno ob Paki) in 1997, 2001 and 2007, respectively.

Korelacija med stopnjo zobne fluoroze srnjadi in letnimi emisijami iz TEŠ

Soodvisnost med stopnjo zobne fluoroze (povprečen DLI) odrasle srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009, in med letnimi emisijami fluoridov iz TEŠ (Zrak, 2010) je zaradi majhnega števila vzorcev (n = 4) statistično neznačilna (r = 0,27; p = 0,66). Zaradi tega smo stopnjo zobne fluoroze srnjadi primerjali tudi z letnimi emisijami prahu ter letnimi emisijami SO_2 iz TEŠ (slika 57); slednje, kot je bilo že omenjeno, zelo dobro odražajo tudi emisije vseh ostalih onesnažil, vključno s fluoridi (Zemek in sod., 2006; Jelenko in Pokorny, 2010). Soodvisnost med povprečnim DLI odrasle srnjadi in letnimi emisijami prahu iz TEŠ je statistično značilna (r = 0,84; p < 0,001); ravno tako kot pri vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi iz Šaleške doline je soodvisnost med povprečnim DLI odrasle srnjadi in letnimi emisijami SO_2 še izrazitejša (r = 0,86; p < 0,001).

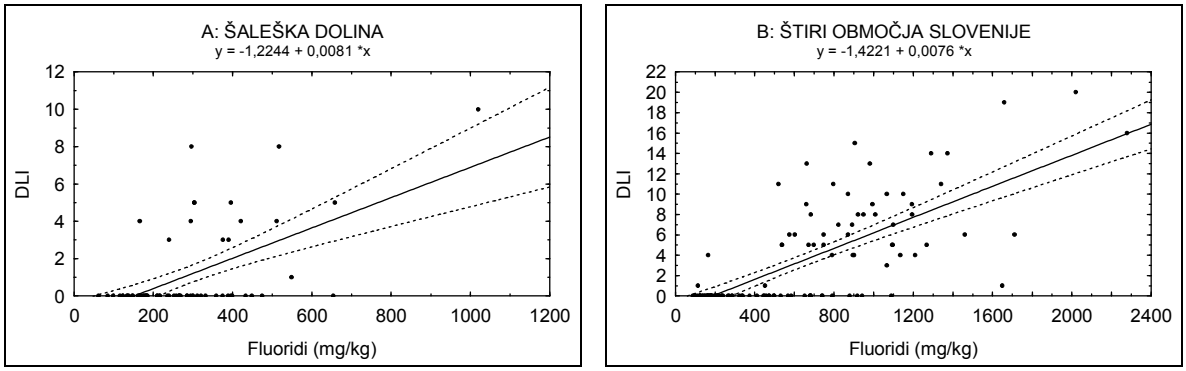


Slika 57: Korelacija med povprečnim letnim DLI odrasle srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009 ter letnimi emisijami prahu (A) oz. letnimi emisijami SO_2 (B) iz TEŠ.

Figure 57: Correlation between annual DLI of adult roe deer, culled in the Šalek Valley in the period 1997–2009 and annual emissions of dust (A) or annual emissions of SO_2 from the ŠTPP.

4.2.5 Soodvisnost med vsebnostjo fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi in stopnjo zobne fluoroze

Soodvisnost med vsebnostjo fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009, in njihovo zobno fluorozo, izraženo kot DLI, smo določili na podlagi primerjave obeh parametrov pri 67 osebkih odrasle srnjadi različne starosti in ugotovili, da je ta korelacija pozitivna in statistično značilna ($r = 0,81$; $p < 0,01$; slika 58A). Ta povezava potrjuje, da lahko obe biondikacijski metodi učinkovito uporabimo za zgodovinsko bioindikacijo onesnaženosti okolja s fluoridi ter za uspešno določanje učinkovitosti sanacijskih ukrepov izvedenih na točkovnih virih emisij!



Slika 58: Soodvisnost med zobno fluorozo (DLI) in vsebnostjo fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz: Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009 (A); štirih območij Slovenije leta 2007 (B). Pozor: skale na y osi niso poenotene.

Figure 58: Correlation between dental fluorosis (DLI) and fluoride levels in mandibles of roe deer, culled in: the Šalek Valley in the period 1997–2009 (A); four regions of Slovenia in 2007 (B). Attention: scales on the y axis are not uniform.

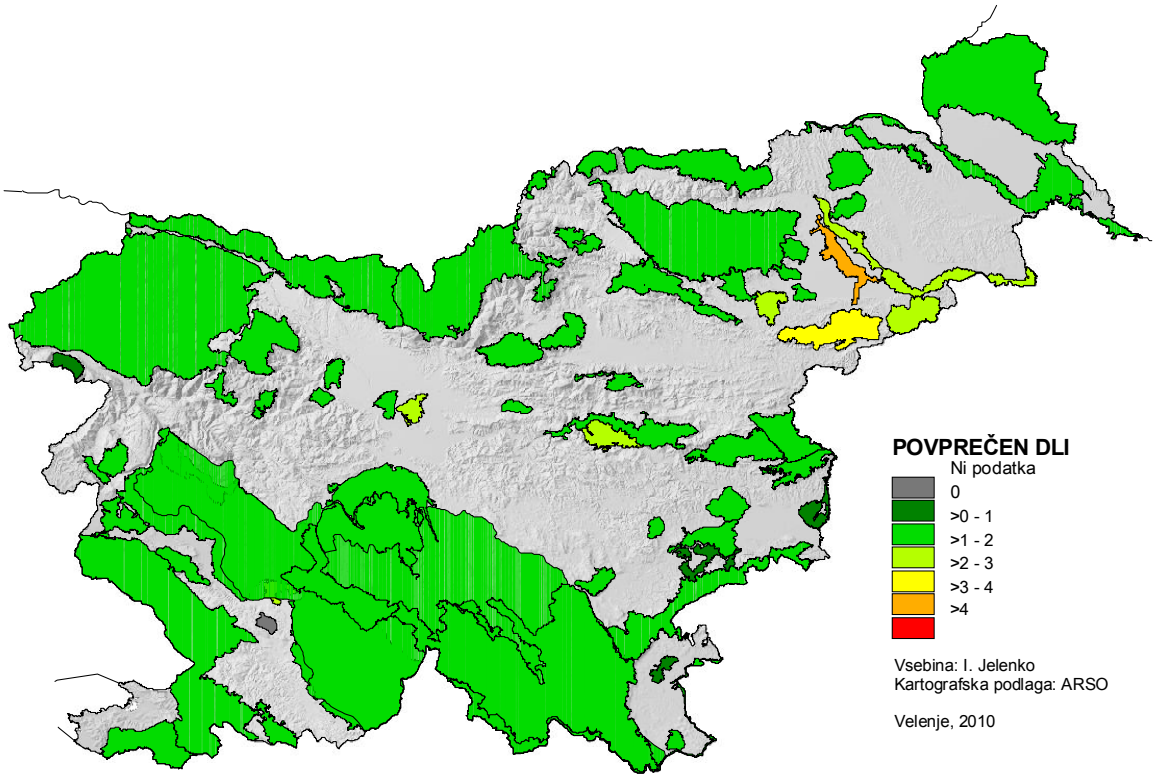
Na podlagi podatkov o vsebnostih fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz štirih različnih območij Slovenije (107 osebkov odrasle srnjadi; Šaleška dolina, okolica Kidričevega, Zasavje in Zgornja Savinjska dolina) v letu 2007 (preglednica 7), in podatkov o njihovi ocenjeni zobni fluorozi (DLI) smo ravno tako ugotovili močno pozitivno soodvisnost ($r = 0,73$, $p < 0,0001$; slika 58B).

4.2.6 Zobna fluoroza srnjadi, odvzete znotraj naravovarstveno pomembnih območij

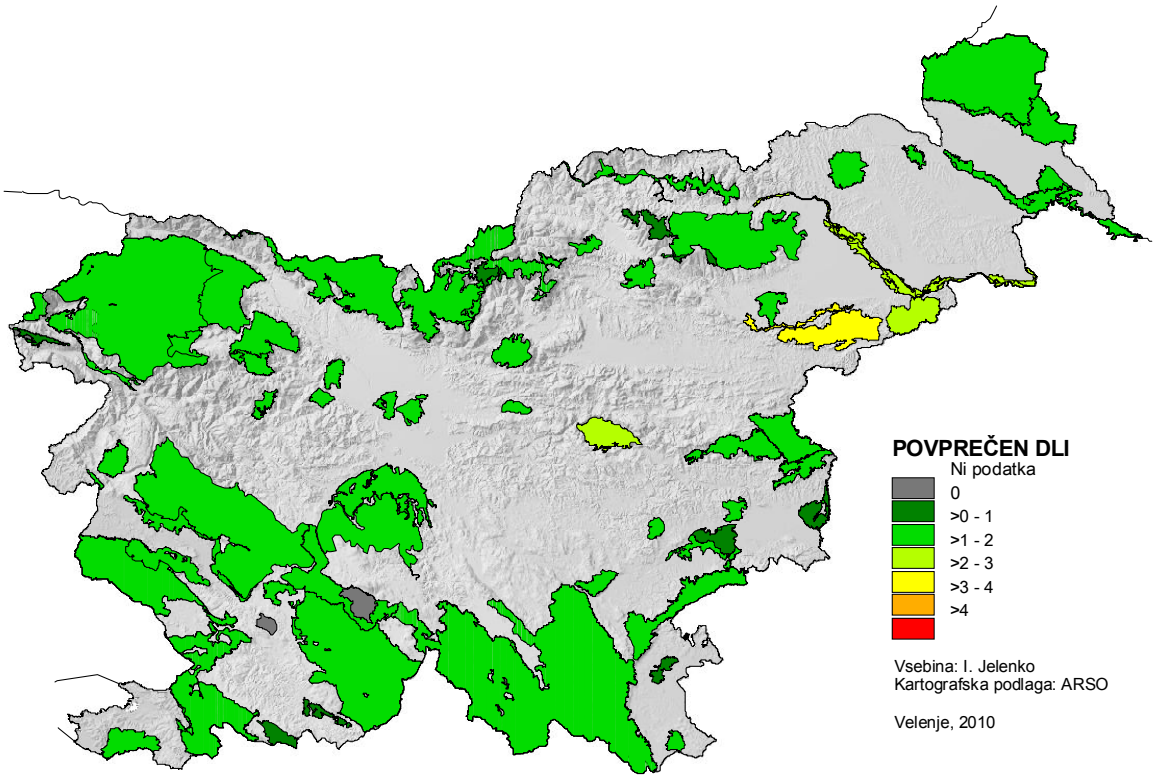
Zobno fluorozo odrasle (2+) srnjadi Slovenije smo ocenjevali/določali tudi za posamezne enote treh tipov naravovarstveno pomembnih območij v Sloveniji. Pri tem smo rezultate za posamezen tip območij (EPO, območja Natura 2000 in zavarovana območja) podali s kartografskim prikazom, podanim na slikah 59 do 61, in sicer s prikazom povprečnega DLI na posamezno prostorsko enoto z uporabo lastne klasifikacije stopnje zobne fluoroze (preglednica 12B). Podatke o povprečni stopnji in pojavnosti zobne fluoroze, maksimalni vrednosti ter devetem decilu DLI za vse tri tipe naravovarstveno pomembnih območij v Sloveniji skupno podajamo tudi v preglednici 40. Na slikah 59 – 61 so za Triglavski narodni park (TNP) prikazane povprečne vrednosti ZF srnjadi, odvzete iz robnega območja TNP (znotraj osrednjega območja lov ni dovoljen) ter prikazane kot povprečje za celoten TNP.

Preglednica 40: Zobna fluoroza (frekvenca, DLI) odrasle srnjadi, odvzete iz naravovarstveno pomembnih tipov območij Slovenije v letu 2007 (povprečje za vsa območja ter enota z najvišjo ZF).
Table 40: Dental fluorosis (frequency, DLI) of roe deer, culled in important nature areas of Slovenia in 2007 (average for all areas and the unit with the highest DF).

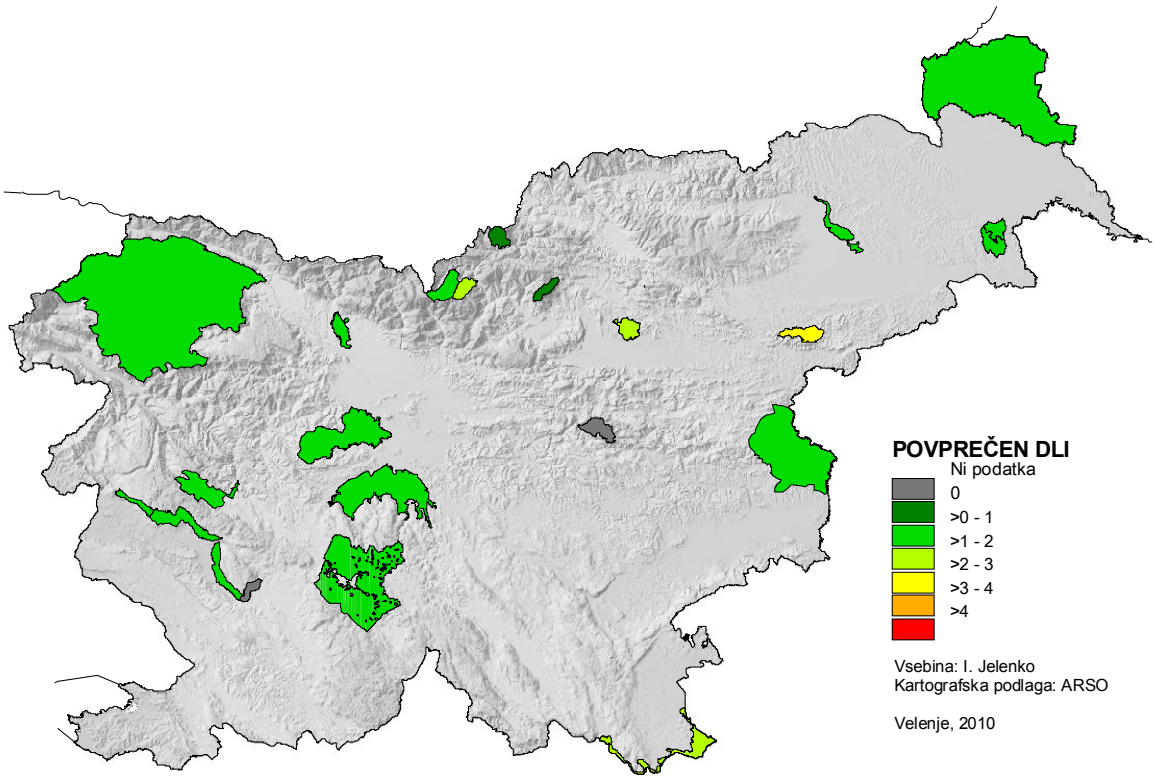
Območje	n	% ZF	DLI			
			$\bar{a} \pm t_{0,05}$*SE	SD	Max	9. decil
Ekološko pomembna območja	5.233	15,4	0,6 ± 0,0	1,8	25	3
Max: Dravsko polje	72	34,7	3,6 ± 0,7	6,3	24	14
Območja Natura 2000	3.642	16,8	0,6 ± 0,0	1,8	25	3
Max: Dravinjska dolina	48	41,7	2,7 ± 0,5	3,5	11	9
Zavarovana območja	1.229	14,3	0,5 ± 0,0	1,5	17	2
Max: KP Boč – Donačka gora	18	55,6	2,3 ± 0,5	2,2	6	5



Slika 59: Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz ekološko pomembnih območij Slovenije.
Figure 59: Dental fluorosis of roe deer, culled in ecologically important areas of Slovenia.



Slika 60: Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz območij Natura 2000.
Figure 60: Dental fluorosis of roe deer, culled in Natura 2000 sites.



Slika 61: Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz zavarovanih območij Slovenije.
Figure 61: Dental fluorosis of roe deer, culled in protected areas of Slovenia.

4.3 DOLŽINA SPODNJIH ČELJUSTI SRNJADI

Število vzorcev, povprečne dolžine (aritmetične sredine z odkloni zaupanja ($\bar{a} \pm t_{0,05}$*SE)) minimalne in maksimalne dolžine spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete leta 2007 iz petih različnih, za to analizo na podlagi LUO tvorjenih, naravnogeografskih regij Slovenije (slika 11), so ločeno po spolu in starostnih kategorijah prikazane v preglednici 41.

Preglednica 41: Dolžine spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz petih regij Slovenije leta 2007 (mm).
Table 41: Lengths of mandibles of roe deer, culled in five regions of Slovenia in 2007 (mm).

	n	$\bar{a} \pm t_{0,05}$*SE	Min	Max		n	$\bar{a} \pm t_{0,05}$*SE	Min	Max
Panonska Slovenija									
Srnice	1.113	132,8 ± 0,23	103	152	Srnjački	871	133,1 ± 0,26	103	152
Mladice	496	151,2 ± 0,28	114	166	Lanščaki	478	148,7 ± 0,28	124	164
Srne	902	156,9 ± 0,18	132	170	Srnjaki	869	158,6 ± 0,18	133	173
Subpanonska Slovenija									
Srnice	994	129,7 ± 0,26	102	150	Srnjački	745	130,0 ± 0,30	105	150
Mladice	559	151,5 ± 0,28	128	173	Lanščaki	687	147,9 ± 0,23	127	165
Srne	931	158,1 ± 0,17	135	176	Srnjaki	936	159,3 ± 0,17	139	175
Alpska in predalpska Slovenija									
Srnice	1.323	127,1 ± 0,22	103	149	Srnjački	1.191	127,4 ± 0,23	95	150
Mladice	770	149,0 ± 0,23	122	170	Lanščaki	843	145,8 ± 0,20	119	167
Srne	1.504	156,1 ± 0,14	134	176	Srnjaki	1.455	157,3 ± 0,14	136	176
Visoke kraške planote									
Srnice	729	127,8 ± 0,29	107	150	Srnjački	613	128,3 ± 0,31	105	149
Mladice	390	149,7 ± 0,33	127	164	Lanščaki	550	145,9 ± 0,25	127	168
Srne	689	156,7 ± 0,20	138	171	Srnjaki	813	157,5 ± 0,18	131	175
Submediteranska Slovenija									
Srnice	303	127,0 ± 0,45	105	146	Srnjački	235	126,3 ± 0,45	107	143
Mladice	153	146,1 ± 0,50	128	160	Lanščaki	260	143,2 ± 0,40	121	159
Srne	296	154,1 ± 0,31	139	171	Srnjaki	273	156,1 ± 0,30	141	171
SKUPAJ									
Srnice	4.462	129,2 ± 0,12	102	152	Srnjački	3.655	129,4 ± 0,14	95	152
Mladice	2.368	150,0 ± 0,14	114	173	Lanščaki	2.818	146,6 ± 0,12	119	168
Srne	4.322	156,6 ± 0,08	132	176	Srnjaki	4.346	157,9 ± 0,08	131	176

4.3.1 Vpliv spola in starosti na dolžino spodnjih čeljusti srnjadi

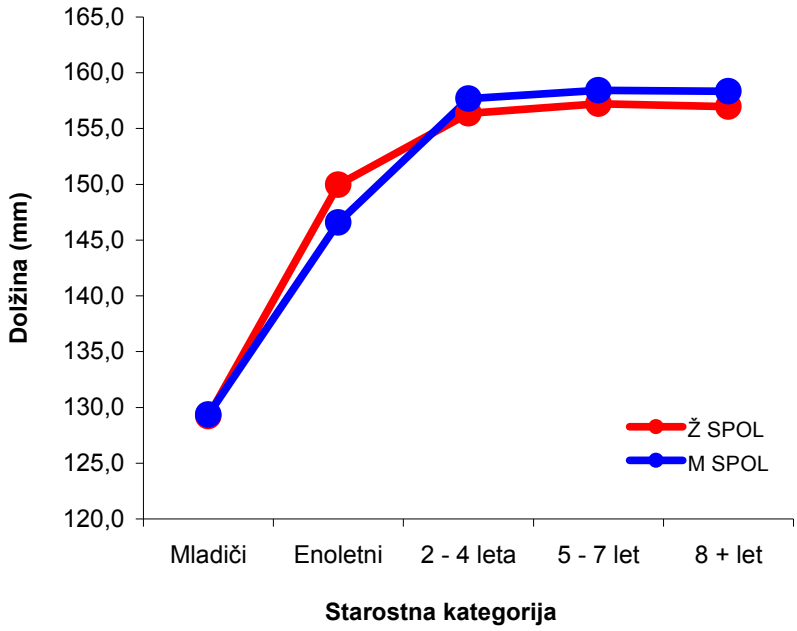
Iz obstoječih raziskav o vplivih starosti na dolžine spodnjih čeljusti srnjadi razberemo, da slednja vpliva predvsem v prvem letu in pol starosti osebka (Hewison in sod., 1996), saj spodnje čeljusti 95 % svoje dolžine dosežejo med 14. in 16. mesecem starosti osebka. Rast srnjadi naj bi se zaključila nekje po drugem letu starosti (Simonič, 1976; Gaillard in sod., 2000). Poleg tega za srnjad velja relativno majhen spolni dimorfizem (Gaillard in sod., 1998; Focardi in sod., 2002), ki se pri rasti in razvoju mladičev (kljub temu, da so poleženi srnjački praviloma težji; zbrano v Krže, 2000) ne odraža (Andersen in Linnell, 1997).

Pri preverjanju vpliva spola in starosti na dolžine spodnjih čeljusti srnjadi smo, skladno s podatki iz literature, tudi sami ugotovili, da pri mladičih spol ne vpliva na dolžino spodnjih čeljusti, medtem ko so pri enoletni in odrasli srnjadi razlike značilne (preglednica 42). Na podlagi tega smo v nadaljevanju določene analize oz. prostorski prikaz povprečnih dolžin spodnjih čeljusti srnjadi pri mladičih prikazali združeno za oba spola, medtem ko smo pri enoletnih in odraslih osebkih vse rezultate podajali ločeno po spolu.

Preglednica 42: Vpliv spola na dolžine spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 (Mann-Whitney U-test).
Table 42: Influence of gender on length of mandibles of roe deer, culled in Slovenia in 2007 (Mann-Whitney U-test).

Starostna kategorija	Ženski spol (n)	Moški spol (n)	Z	Stopnja tveganja (p)
Mladiči	4.462	3.655	-0,79	0,42
Enoletni osebki	2.368	2.818	19,15	0,00
Odrasli (2+) osebki	4.322	4.346	-11,05	0,00

Vpliv starosti na dolžino spodnjih čeljusti srnjadi (slika 62) je tako pri ženskem kot pri moškem spolu izrazit, saj se pojavljajo statistično značilne razlike tako med mladiči in lanščaki kot tudi med tema dvema kategorijama ter vsemi odraslimi starostnimi kategorijami (preglednica 43). Znotraj odrasle (2+) srnjadi nismo zaznali značilnih razlik med mlado, srednje staro ter staro srnjadjo v dolžini čeljusti, zaradi česar smo v nadaljevanju vse analize/prikaze za to starostno kategorijo (2+) podali združeno.



Slika 62: Vpliv spola in starosti na naraščanje dolžin spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007.
Figure 62: Influence of gender and age on the increase of mandible lengths of roe deer, culled in Slovenia in 2007.

Preglednica 43: Značilnost razlik v dolžini spodnjih čeljusti srnjadi med starostnimi kategorijami, ločeno po spolu (Kruskal-Wallis ANOVA; za n glej preglednico 42).

Table 43: Significance of differences in roe deer mandible lengths between age categories, separated by gender (Kruskal-Wallis ANOVA; for n, see table 42).

Moški spol: $H_{(4, 10.815)} = 8.499{,}33$ ****					
Starostna kat.	**Mladiči**	**Enoletni**	**2 – 4 leta**	**5 – 7 let**	**8 in več let**
Mladiči		****	****	****	****
Enoletni	****		****	****	****
2 – 4 leta	****	****		p = 0,43	p = 1,00
5 – 7 let	****	****	p = 0,14		p = 1,00
8 in več let	****	****	p = 1,00	p = 1,00	
Ženski spol: $H_{(4,10.818)} = 8.130{,}24$ ****					

OPOMBA:
p: ****: $p < 0{,}0001$.

Dnevno naraščanje dolžin spodnjih čeljusti srnjadi

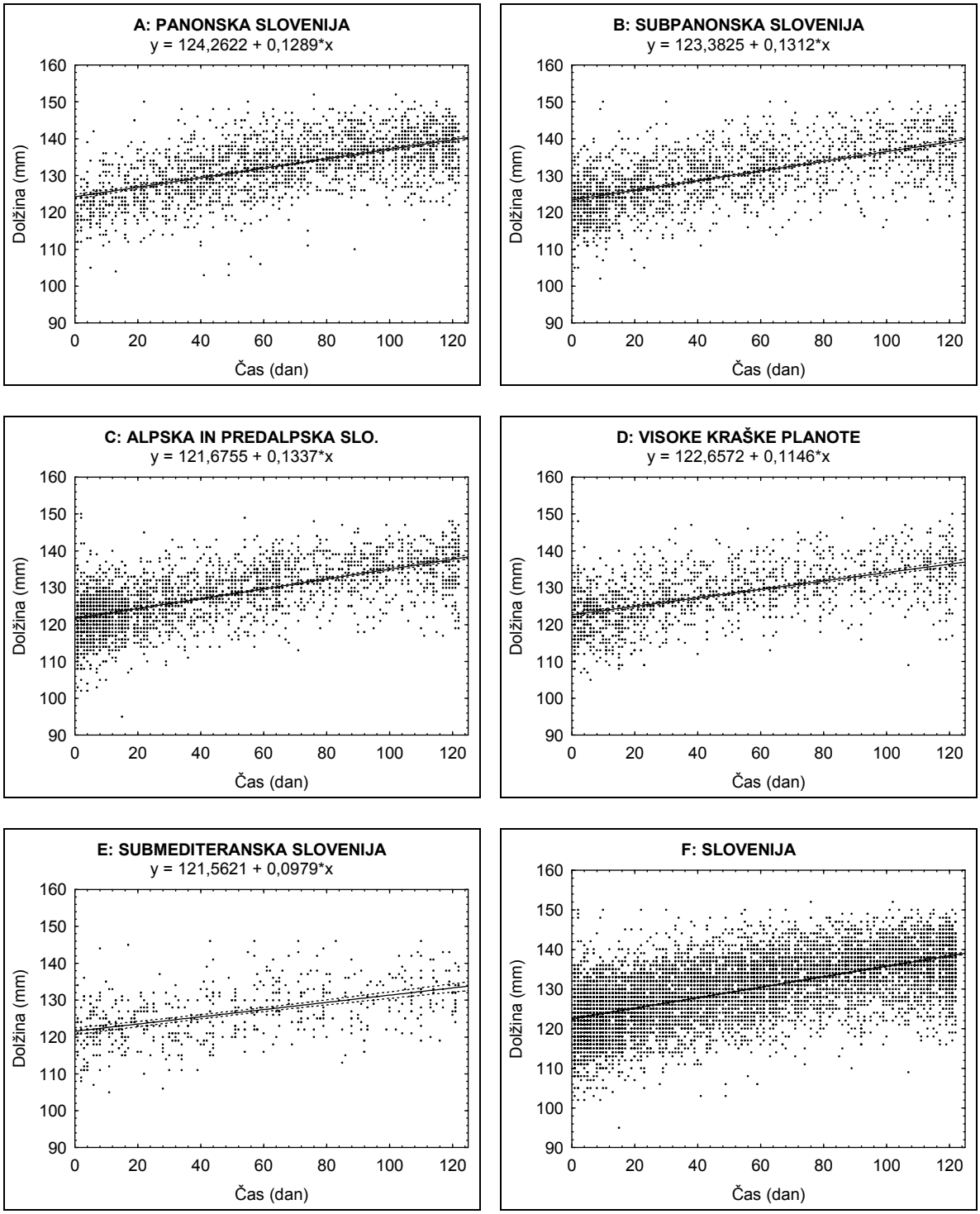
Kot smo že omenili, je srnjad vrsta, za katero je značilna visoka sinhroniziranost poleganja mladičev (glej poglavje 4.1.3). Na podlagi tega smo prevzeli, da so vsi mladiči, odvzeti na dan 1. 9. 2007, približno enake starosti. Naraščanje dolžin spodnjih čeljusti mladičev srnjadi za zaporednim dnem odvzema (dan po 1. 9. 2007) smo določali le pri mladičih, odvzetih znotraj lovne dobe, in sicer med 1. 9. 2007 in 31. 12. 2007, ter tako za prvi/začetni dan izbrali začetek lovne dobe (izračun linearne regresije).

V vseh petih območjih Slovenije je linearna povezava statistično značilna, korelacija pa je največja pri alpski in predalpski ter subpanonski Sloveniji; v slednjih dveh regijah je tudi največji regresijski koeficient. Najmanjša korelacija se pojavlja v submediteranski Sloveniji, ki ima poleg tega tudi najmanjše začetne dolžine spodnjih čeljusti mladičev (dolžine mladičev, odvzetih na začetku septembra); podobno so začetne dolžine nekoliko manjše tudi v alpskem in predalpskem svetu. Najnižji regresijski koeficient in s tem najpočasnejšo rast spodnjih čeljusti imajo mladiči submediteranske Slovenije (preglednica 44).

Preglednica 44: Regresijski parametri naraščanja dolžin spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih v lovni dobi, z zaporednim dnem odvzema (dan 1: 1. 9. 2007).

Table 44: Regression parameters of increasing mandible lengths of roe deer fawns, culled in the hunting season, with successive day of the cull (day 1: 1.9.2007).

Območje	**n**	**Korelacijski koeficient (r)**	**Stopnja tveganja (p)**	**Regresijski koeficient (b)**
Panonska Slovenija	1.984	0,58	0,000	0,1289
Subpanonska Slovenija	1.739	0,61	0,000	0,1312
Alpska in predalpska Slovenija	2.514	0,64	0,000	0,1337
Visoke kraške planote	1.342	0,56	0,000	0,1146
Submediteranska Slovenija	538	0,49	0,000	0,0979
SKUPAJ	**8.117**	**0,62**	**0,000**	**0,1324**

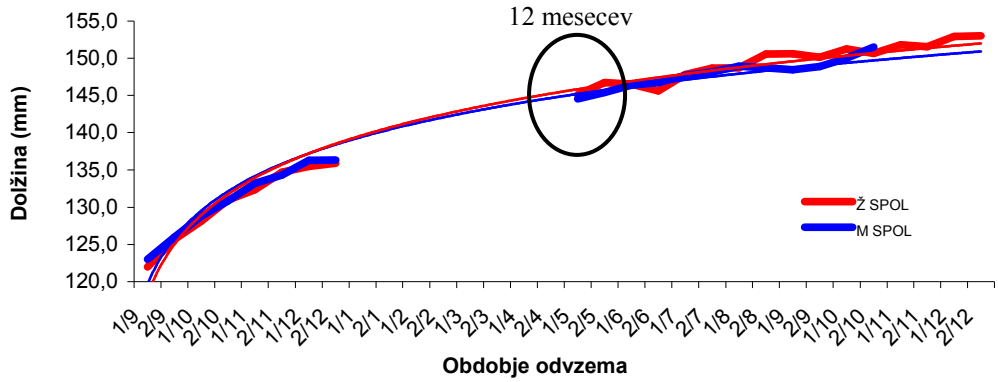


Slika 63: Naraščanje dolžin spodnjih čeljusti mladičev srnjadi s časom v dneh (z zaporednim dnem odvzema) v različnih naravnogeografskih območjih Slovenije (dan 1: 1. 9. 2007).

Figure 63: Increase of mandible lengths of fawn roe deer with time in days (with successive day of the cull) in different geographic regions of Slovenia (day 1: 1.9.2007).

Primerjava naraščanja dolžin spodnjih čeljusti med spoloma

Zanimalo nas je tudi naraščanje dolžin spodnjih čeljusti srnjadi s starostjo ločeno po spolu pri mladičih in enoletnih osebkih. Na podlagi datuma odvzema smo vsakemu osebku pripisali, v kateri polovici meseca je bil odvzet, in tako za mladiče dobili 8 (polovice mesecev september – december), za lanščake/mladice pa 16 (polovice mesecev maj – december) različnih obdobij odvzema. Pri tem smo upoštevali le odstreljene osebke in tako vključili le obdobja, ki so znotraj lovne dobe posameznega strukturnega razreda. Naraščanje povprečnih dolžin spodnjih čeljusti mladičev in enoletnih osebkov po spolu glede na omenjeno obdobje odvzema je prikazano na sliki 64. V analizo smo, poleg mladičev poleženih leta 2007, vključili tudi enoletne osebke, odvzete leta 2007, ki so bili dejansko poleženi v letu 2006 ter ne predstavljajo iste kohorte kot vključeni mladiči.



Slika 64: Naraščanje dolžin spodnjih čeljusti mladičev in enoletne srnjadi s starostjo, prikazano na podlagi povprečnih dolžin čeljusti srnjadi, odvzeti znotraj petnajstdnevnih obdobij (debelejša črta: naraščanje povprečnih vrednosti; tanjša črta: prilagojena logaritemska funkcija; obdobje odvzema prestavlja petnajstdnevno obdobje v prvi oz. drugi polovici meseca, npr. 1/9 – obdobje od 1.9. do 15. 9.).

Figure 64: Increase of mandible lengths of roe deer fawns and yearling with their increasing age; presented with average lengths of mandibles of roe deer, culled in 15 days periods (thick line: average lengths of mandibles; thin line: adapted logarithmic function; culling period: 15 days period of the first or the second part of the month, i.e. 1/9 – period from 1.9. – 15.9.).

4.3.2 Primerjava dolžin spodnjih čeljusti srnjadi med različnimi regijami Slovenije

Natančno analizo statističnih razlik v dolžini spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete leta 2007 iz za to analizo umetno tvorjenih petih naravnogeografskih regij Slovenije (glej sliko 11), smo naredili z analizo variance (*Kruskal-Wallis ANOVA*) za mladiče (skupaj po spolu) ter za enoletno in odraslo srnjad (za vsak spol posebej). Ugotovili smo, da med območji prihaja do značilnih razlik tako pri mladičih ($H_{(4,\ 8.117)} = 665{,}67$; $p < 0{,}0001$) kot tudi pri enoletnih (mladice: $H_{(4,\ 2.368)} = 110{,}44$; $p < 0{,}0001$; lanščaki: $H_{(4,\ 2.818)} = 195{,}11$; $p < 0{,}0001$) ter odraslih osebkih (srne: $H_{(4,\ 4.322)} = 129{,}64$; $p < 0{,}0001$; srnjaki: $H_{(4,\ 4.346)} = 115{,}98$; $p < 0{,}0001$). Razlike so najizrazitejše v primerjavi mladičev (preglednica 45), kjer so značilne razlike skoraj med vsemi regijami; razlik ni le med submediteransko ter alpsko in predalpsko Slovenijo. Pri enoletni srnjadi (preglednica 46) se značilne razlike pojavljajo pri vseh območjih razen med panonsko in subpanonsko Slovenijo ter med alpsko in predalpsko Slovenijo ter visokimi kraškimi planotami. Pri enoletni srnjadi so razlike med območji pri obeh spolih enake.

Preglednica 45: Značilnost razlik v dolžini spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz različnih regij Slovenije v letu 2007 (Kruskal-Wallis ANOVA; za n glej preglednico 41).

Table 45: Significance of differences in mandible lengths of fawn roe deer among different regions of Slovenia (Kruskal-Wallis ANOVA; for n, see table 41).

Območje	Subpanonsko	Alpsko in predalpsko	Visoke kraške planote	Submediteransko
Panonsko	****	****	****	****
Subpanonsko		****	****	****
Alpsko in predalpsko			*	p = 1,00
Visoke kraške planote				**
Submediteransko				

OPOMBE:
p: ****: p < 0,0001; **: p < 0,01; *: p < 0,05.

Preglednica 46: Značilnost razlik v dolžini spodnjih čeljusti enoletne srnjadi, odvzete iz različnih regij Slovenije v letu 2007, ločeno po spolu (Kruskal-Wallis ANOVA; za n glej preglednico 41).

Table 46: Significance of differences in mandible lengths of yearling roe deer among different regions of Slovenia, separated by gender (Kruskal-Wallis ANOVA; for n, see table 41).

Moški spol					
Območje	Panonsko	Subpanonsko	Alpsko in predalpsko	Visoke kraške planote	Submediteransko
Panonsko		p = 0,17	****	****	****
Subpanonsko	p = 1,00		****	****	****
Alpsko in predalpsko	****	****		p = 1,00	****
Visoke kraške planote	**	***	p = 0,77		****
Submediteransko	****	****	****	****	
Ženski spol					

OPOMBE:
p: ****: p < 0,0001; ***: p < 0,001; **: p < 0,01.

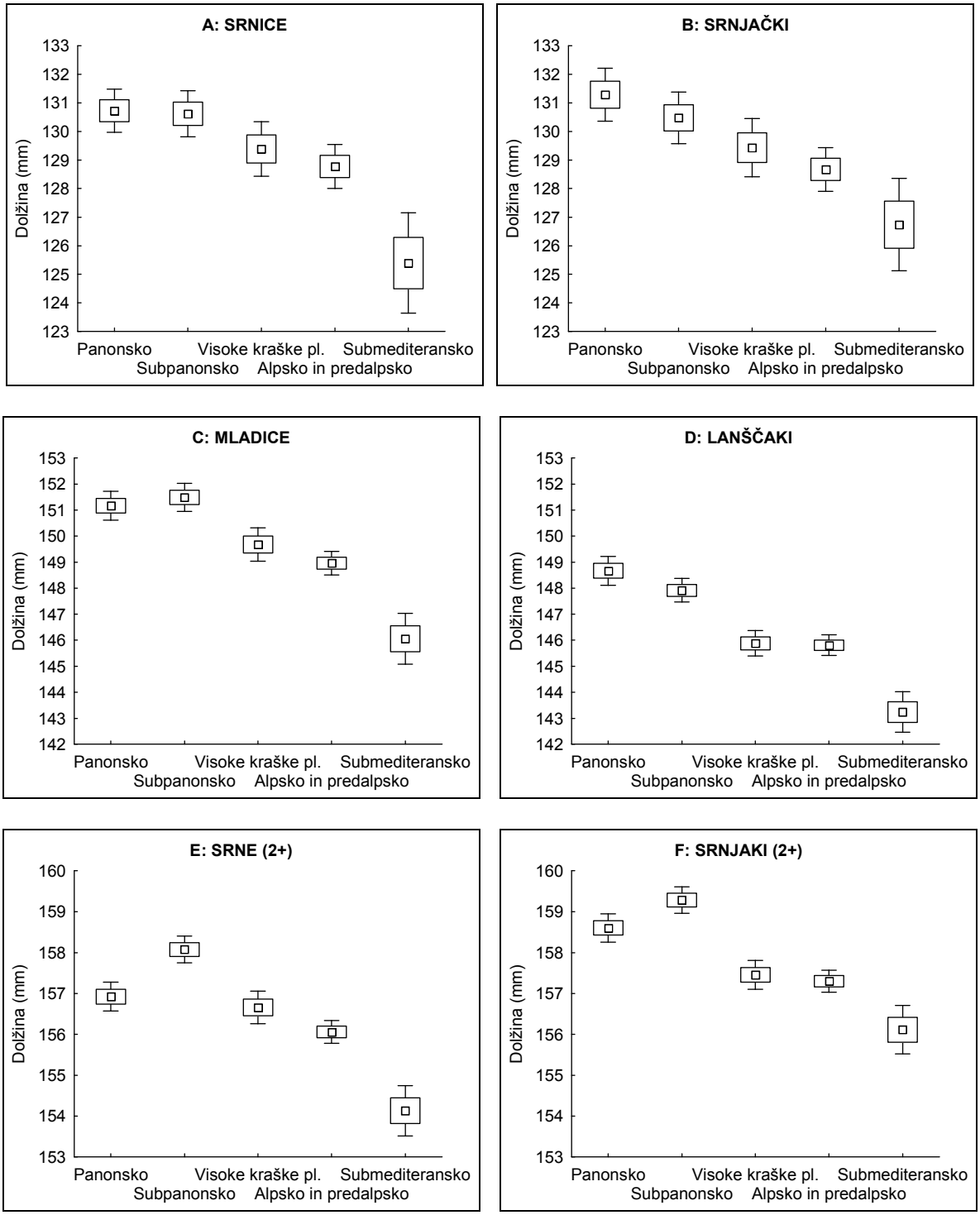
Pri odraslih osebkih (preglednica 47) so statistične razlike med regijami pri srnjakih enake kot pri enoletnih osebkih; pri srnah pa med panonsko in subpanonsko Slovenijo obstajajo visoko značilne razlike (ki jih pri srnjakih ni), medtem ko se te ne pojavljajo med visokimi kraškimi planotami ter panonsko (pri srnjakih visoko značilne) in alpsko ter predalpsko Slovenijo (enako kot pri srnjakih).

Preglednica 47: Značilnost razlik v dolžini spodnjih čeljusti odrasle srnjadi, odvzete iz različnih regij Slovenije v letu 2007, ločeno po spolu (Kruskal-Wallis ANOVA; za n glej reglednico 41).

Table 47: *Significance of differences in mandible lengths of adult roe deer among different regions of Slovenia, separated by gender (Kruskal-Wallis ANOVA; for n, see table 41).*

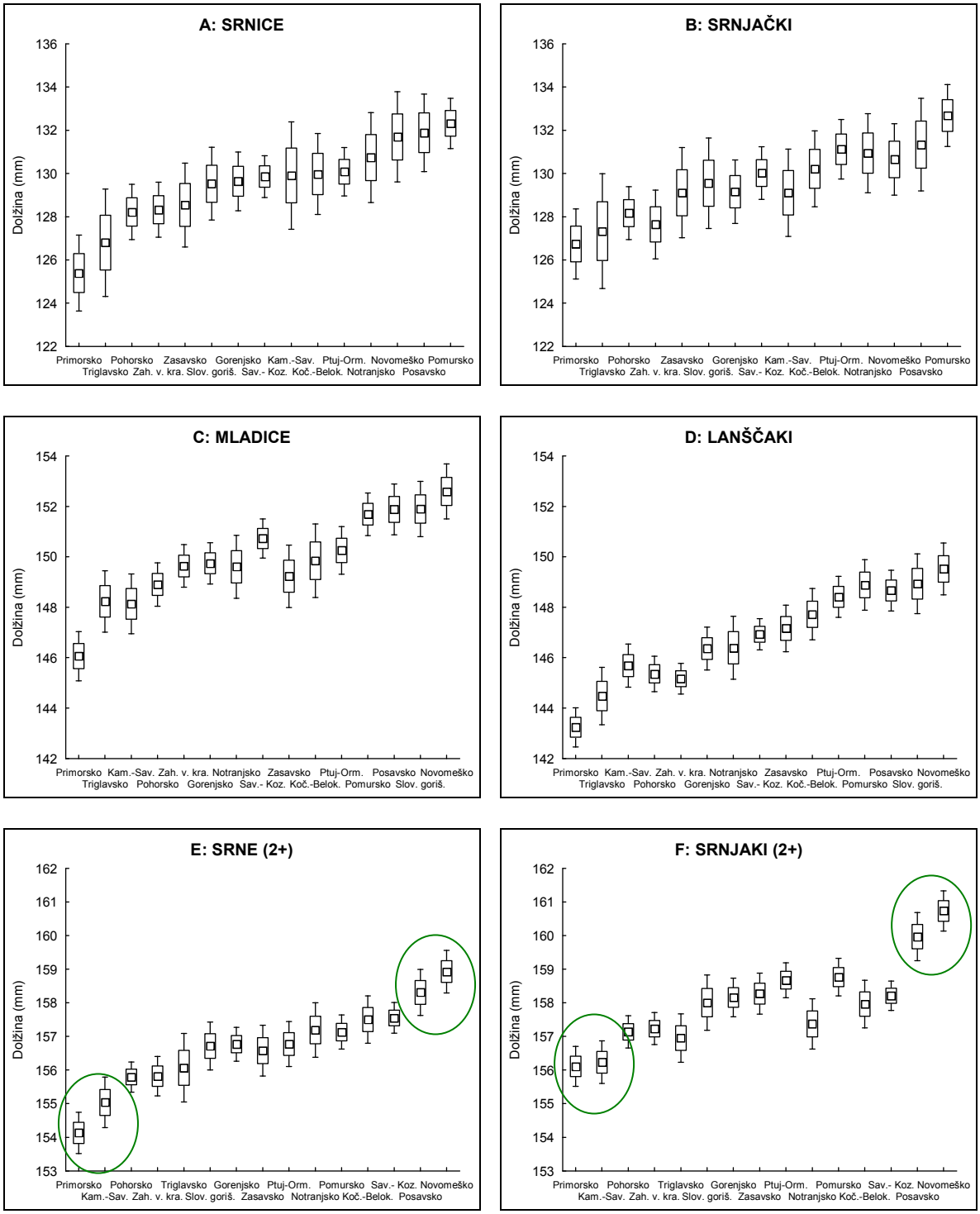
Moški spol					
Območje	Panonsko	Subpanonsko	Alpsko in predalpsko	Visoke kraške planote	Submediteransko
Panonsko		p = 0,25	****	****	****
Subpanonsko	***		****	****	****
Alpsko in predalpsko	***	****		p = 1,00	**
Visoke kraške planote	p = 1,00	****	p = 0,26		**
Submediteransko	****	****	****	****	
Ženski spol					

OPOMBE:
p: ****: p < 0,0001; ***: p < 0,001; **: p < 0,01.



Slika 65: Dolžina spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz petih regij Slovenije leta 2007 (podatki za mladiče so zaradi večje standardizacije podani le za mesec oktober); podane so aritmetične sredine, standardne napake ocene in razmaki zaupanja.

Figure 65: Mandible lengths of roe deer, culled in five different regions of Slovenia in 2007 (data for fawns are due to higher standardisation of results given only for October); arithmetic means, standard errors and confidence limits are given.



Slika 66: Dolžina spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz vseh Lovsko upravljavskih območij Slovenije leta 2007 (podatki za mladiče so zaradi večje standardizacije prikazani le za mesec oktober); podane so aritmetične sredine, standardne napake ocene in razmaki zaupanja; pozitivno oz. negativno izstopajoči LUO pri odrasli srnjadi so označeni s krogom.

Figure 66: Mandible lengths of roe deer, culled in all 15 Hunting management districts (HMD) of Slovenia in 2007 (data for fawns are due to higher standardisation of results given only for October); arithmetic means, standard errors and confidence limits are given; the HMDs with the longest or the shortest mandibles of adult roe deer are marked with a circle.

Povprečne dolžine spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete leta 2007 iz vseh slovenskih lovišč se gibljejo med 95 in 176 mm; povprečna dolžina znaša 144,8 ± 0,1 mm (Me = 148,0 mm; združeno za vse strukturne razrede). Izmed strukturnih razredov so kot pričakovano najdaljše spodnje čeljusti pri srnjakih (2+) (slika 62). Pri enoletnih osebkih so spodnje čeljusti daljše pri mladicah (glej poglavje 5.3.2), medtem ko so pri mladičih te dolžine le rahlo (statistično neznačilno) daljše pri srnjačkih.

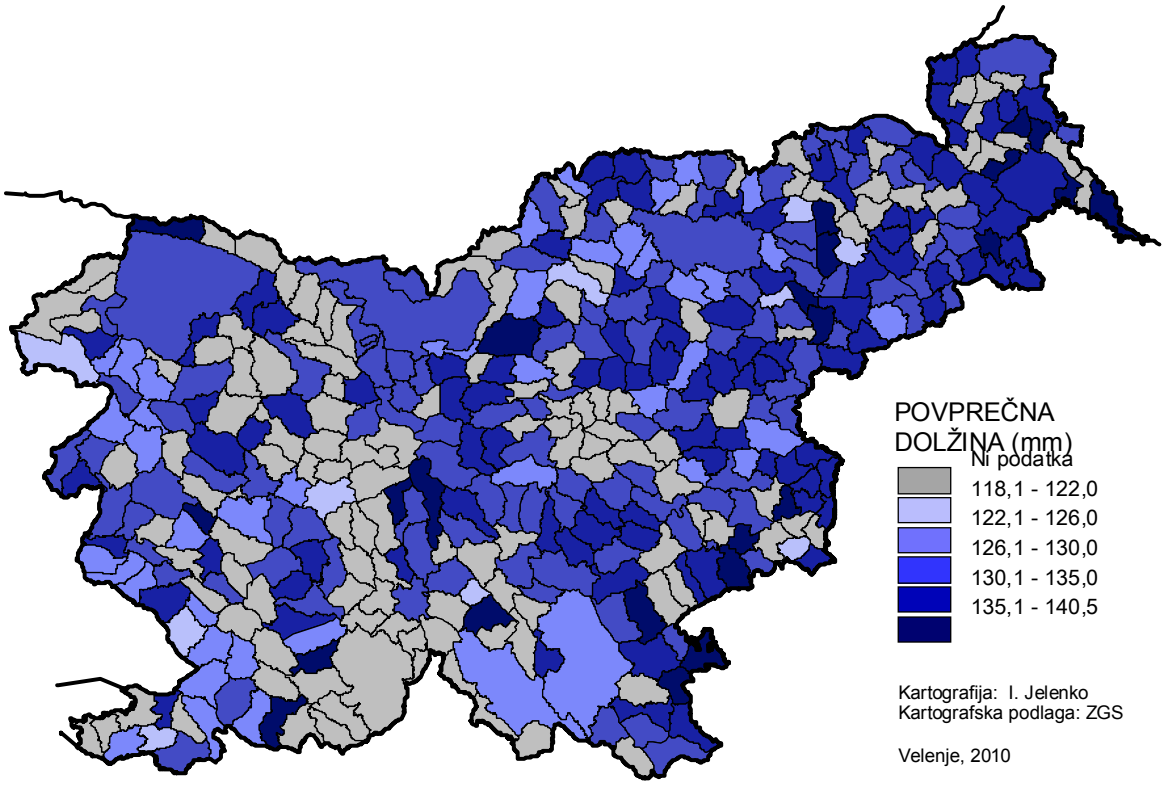
Pri vseh starostnih kategorijah se pojavljajo izrazite razlike skoraj med vsemi petimi regijami (slika 65). Pri mladičih smo podatke prikazali le za mesec oktober, znotraj katerega je dokaj enoten odstrel, s čimer smo se izognili razlikam v času odvzema mladičev med območji, ki lahko vplivajo na povprečje. Pri tej starostni kategoriji so najdaljše čeljusti pri osebkih srnjadi iz panonske in subpanonske Slovenije. Sledita območji visokih kraških planot ter alpske in predalpske Slovenije. Najkrajše spodnje čeljusti imajo mladiči srnjadi iz submediteranske Slovenije (še posej srnjački).

Pri enoletnih osebkih ima srnjad panonske in subpanonske Slovenije še vedno najdaljše spodnje čeljusti, vendar med tema dvema območjema ni več tako velikih razlik. Enako sledijo dolžine spodnjih čeljusti enoletnih osebkov visokih kraških planot ter alpske in predalpske Slovenije, še bolj (navzdol) pa izstopa srnjad submediteranske Slovenije. Razmerje med zadnjimi tremi prostorskimi enotami je enako tudi pri odraslih osebkih, kjer se najdaljše čeljusti pojavljajo pri srnjadi subpanonske Slovenije. Pri srnah (2+) panonske Slovenije so dolžine čeljusti celo primerljive z dolžinami čeljusti srn visokih kraških planot.

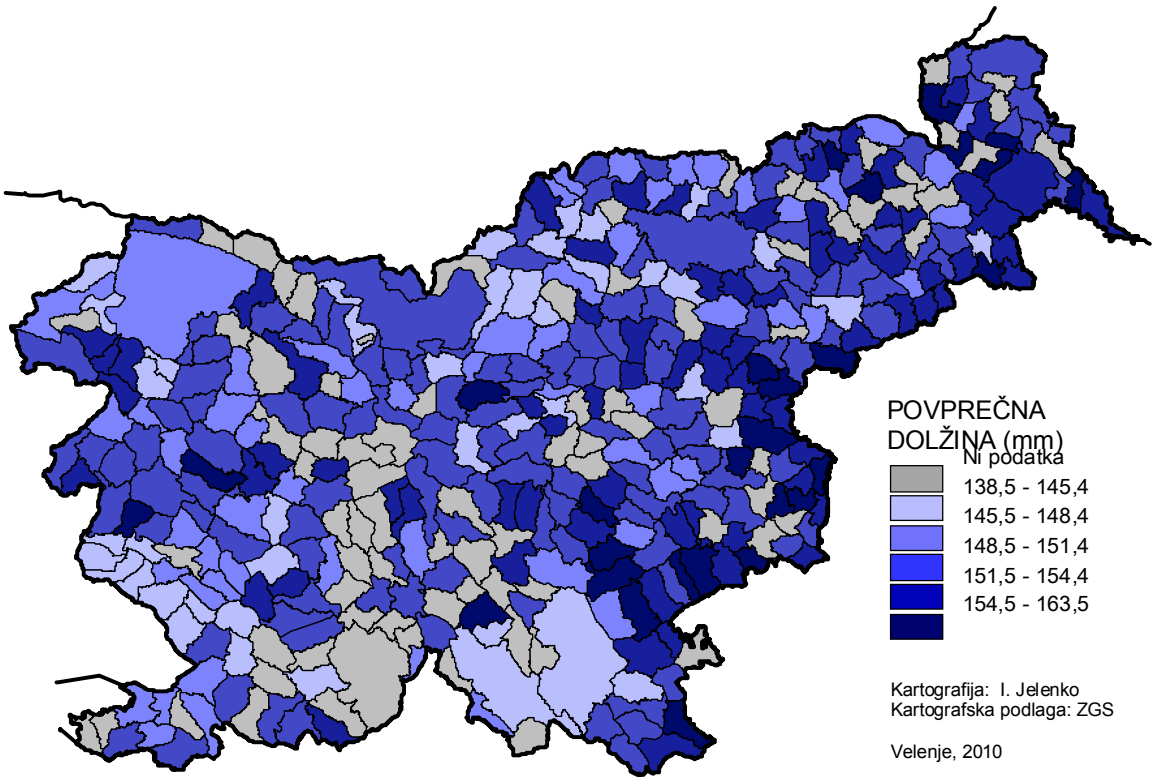
Za bolj natančen vpogled v razporeditev dolžin spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007, smo le-te prikazali še za posamezna lovsko upravljavska območja (LUO) Slovenije (slika 66); LUO so prostorsko prikazana na sliki 12. Pri tem ugotovimo, da imajo najdaljše dolžine čeljusti mladiči, odvzeti (meseca oktobra) iz vseh treh LUO, ki predstavljajo panonsko Slovenijo, od subpanonske Slovenije pa imajo izrazito daljše čeljusti še mladiči Posavskega in Novomeškega LUO. Najkrajše spodnje čeljusti imajo mladiči Primorskega (v celoti pokriva submediteransko Slovenijo) in Triglavskega LUO. Izmed ostalih LUO-jev imajo mladiči srnjadi iz vzhodne Slovenije v povprečju nekoliko daljše spodnje čeljusti kot tisti iz zahodne Slovenije. Pri enoletnih osebkih so najkrajše čeljusti ponovno pri srnjadi Primorskega LUO (enako je tudi pri odraslih osebkih); tudi v tem primeru imajo osebki iz vzhodne Slovenije daljše čeljusti kot tisti iz zahodne Slovenije. Pomurska enoletna srnjad ima v tem primeru šele tretje oz. četrte najdaljše čeljusti; le-te so največje pri enoletni srnjadi Novomeškega LUO. Tudi pri odrasli srnjadi so najdaljše spodnje čeljusti pri osebkih iz Novomeškega LUO, močno pa se mu približa tudi srnjad Posavskega LUO. Pri odrasli srnjadi prihaja do odstopanja v dolžini spodnjih čeljusti med samci in samicami, in sicer pri Notranjskem, Kočevsko-Belokranjskem ter Savinjsko-Kozjanskem LUO.

4.3.3 Prikaz povprečnih dolžin spodnjih čeljusti srnjadi Slovenije po loviščih

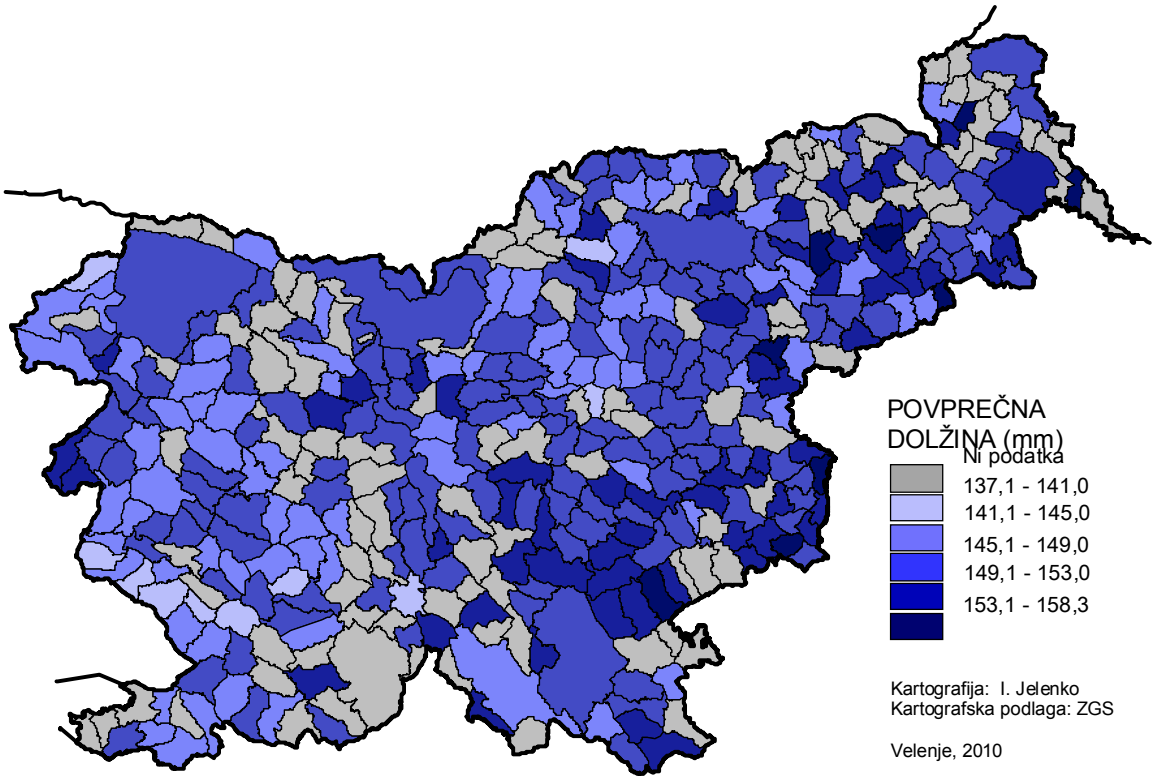
Podobno kot pri prikazu zobne fluoroze smo tudi dolžine spodnjih čeljusti srnjadi prikazali na mezo-prostorskem nivoju, in sicer s prikazom povprečne dolžine spodnjih čeljusti srnjadi po loviščih. S tem smo izdelali 5 kart velikosti (stanja vitalnosti) srnjadi, odvzete znotraj celotne Slovenije, in sicer skupaj za mladiče obeh spolov (slika 67), mladice (slika 68), lanščake (slika 69), srne (slika 70) in srnjake (slika 71).



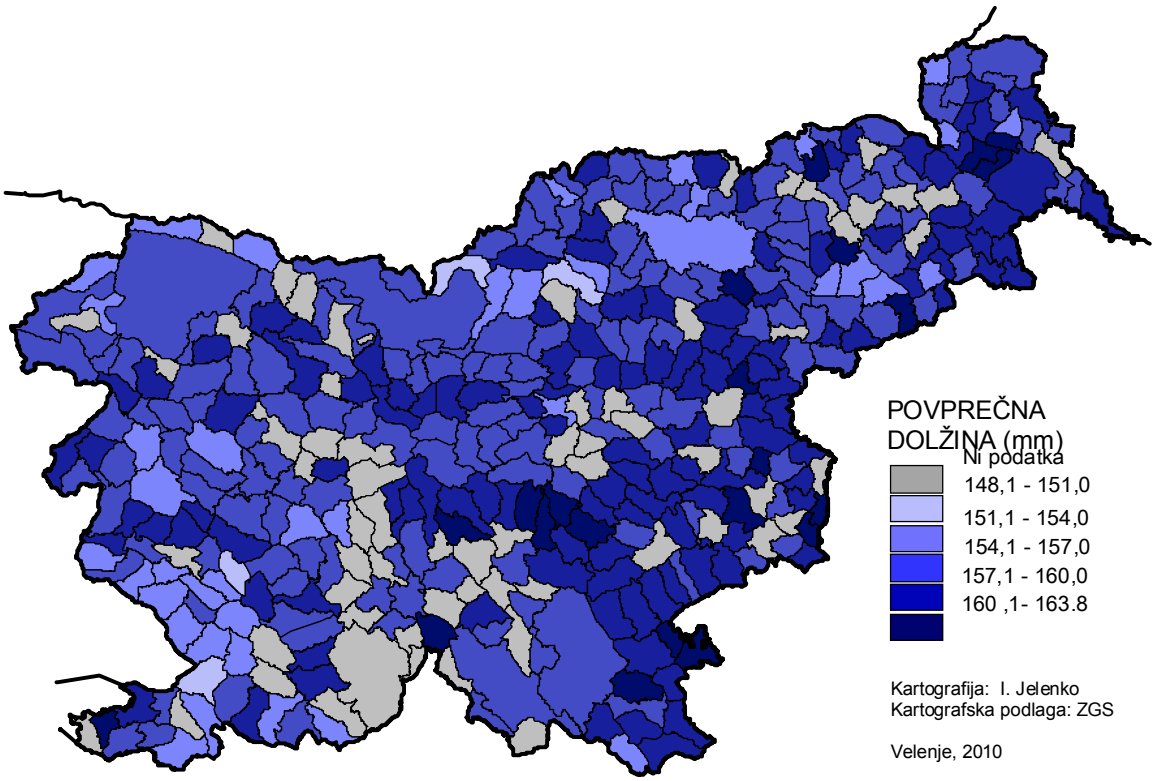
Slika 67: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz Slovenije oktobra 2007.
Figure 67: Average mandible lengths of roe deer fawns, culled in Slovenia in October 2007.



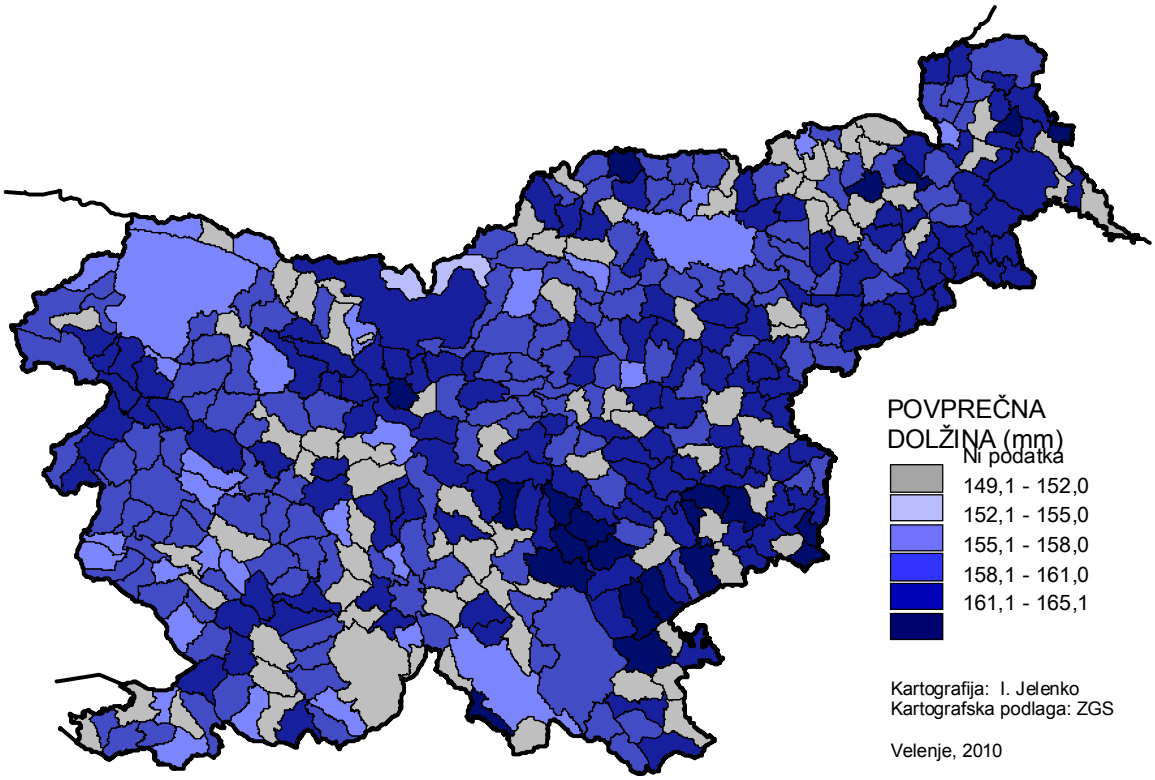
Slika 68: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti mladic, odvzetih iz celotne Slovenije v letu 2007.
Figure 68: Average mandible lengths of yearling does, culled in entire Slovenia in 2007.



Slika 69: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti lanščakov, odvzetih iz celotne Slovenije v letu 2007.
Figure 69: Average mandible lengths of yearling bucks, culled in entire Slovenia in 2007.



Slika 70: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti srn, odvzetih iz celotne Slovenije v letu 2007.
Figure 70: Average mandible lengths of adults does, culled in entire Slovenia in 2007.



Slika 71: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti srnjakov, odvzetih iz celotne Slovenije v letu 2007.
Figure 71: Average mandible lengths of adult bucks, culled in entire Slovenia in 2007.

4.3.4 Vpliv okoljskih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti srnjadi

Vpliv okoljskih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti mladičev srnjadi

Z bivariatnimi analizami smo ugotovili statistično značilne povezave za vse pare odvisna – neodvisna spremenljivka (preglednica 48), z izjemo spremenljivke gostota odvzema srnjadi (G_SRN), ki pa je na meji statistične značilnosti. Najmočnejša korelacija se je pojavila med dolžino čeljusti in mesecem odvzema (MESEC; r = 0,50) ter zaporednim dnevom odvzema (DAN; r = 0,47), kar je zaradi naraščanja velikosti s starostjo osebka popolnoma pričakovano.

Med okoljskimi dejavniki ima dolžina čeljusti mladičev srnjadi z vsemi spremenljivkami dokaj šibko povezavo. Najtesneje korelira s padavinami (PADAV); dolžine z naraščanjem padavin upadajo. Poleg tega so dolžine čeljusti mladičev daljše na območjih, kjer je večji delež obdelovalnih površin (OBDEL). Naslednja spremenljivka, ki vpliva na velikost čeljusti mladičev, je nadmorska višina (NV), in sicer z naraščanjem le-te dolžine čeljusti upadajo; ravno tako dolžine upadajo z naraščanjem naklona (NAKL). Z oddaljevanjem od gozda (ODD_GOZD) dolžine naraščajo. Povprečna letna (TEMP) in julijska (TEMP_J) temperatura vplivata na velikost srnjadi pozitivno, medtem ko ima delež gozda (%GOZD) negativen vpliv. Za ostale povezave odvisna – neodvisna spremenljivka ($r < 0,10$) glej preglednico 48.

Preglednica 48: Bivariatna korelacijska analiza med dolžino čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz Slovenije leta 2007, in okoljskimi dejavniki oz. individualnimi značilnostmi osebkov.

Table 48: Bivariate correlations between mandible lengths of fawn roe deer, culled in Slovenia in 2007, and environmental factors or individual characteristics of the individuum.

Neodvisna Spremenljivka	Kendall r	Z	Stopnja tveganja (p)	Rang	Vpliv
NV	**-0,17**	**-22,5**	**0,000**	**5**	**–**
NAKL	-0,15	-20,0	0,000	6	–
%T_LEG	-0,10	-13,4	0,000	11	–
JAK_SONC	0,07	8,9	0,000	16	+
PADAV	**-0,20**	**-25,9**	**0,000**	**3**	**–**
SNEG	-0,10	-12,9	0,000	12	–
TEMP	0,12	15,9	0,000	8	+
TEMP_J	0,11	14,8	0,000	10	+
%GOZD	-0,12	-15,3	0,000	9	–
ODD_GOZD	0,13	16,6	0,000	7	+
ODD_NEG	-0,07	-9,6	0,000	14	–
GOZD_ ROB	-0,07	-8,8	0,000	17	–
%LIST	0,10	12,8	0,000	13	+
%NEHAB	0,04	5,1	0,000	21	+
%OBDEL	**0,17**	**22,6**	**0,000**	**4**	**+**
%TRAV	-0,06	-7,8	0,000	18	–
ODD_CEST	-0,02	-2,7	0,007	23	–
ODD_URB	-0,04	-5,3	0,000	20	–
VER_SRN	0,07	9,4	0,000	15	+
G_SRN	0,01	1,9	0,051	24	+
G_JEL	-0,02	-3,0	0,002	22	–
G_GAMS	-0,04	-5,6	0,000	19	–
DAN	**0,47**	**61,2**	**0,000**	**2**	**+**
MESEC	**0,50**	**65,2**	**0,000**	**1**	**+**

Pred izvedbo multivariatnih analiz smo preverjali tudi soodvisnost med neodvisnimi spremenljivkami, ki med seboj sicer korelirajo, a korelacije pri večini spremenljivk niso višje od konzervativnih meja (r = 0,50) za vključevanje v multivariatno analizo (Dillon in Goldstein, 1984); določene spremenljivke, ki so med sabo preveč korelirale, smo izključili iz modela (SNEG, TEMP, ODD_URB, NAKL). V model smo dodatno vključili dve interakciji, in sicer VER_SRNxG_SRN ter SPOLxDAN. Ker je bil model po vključitvi petih glavnih neodvisnih spremenljivk (glej nadaljevanje) precej nestabilen, delež skupne pojasnjene variance modela pa se v nadaljevanju ni bistveno spreminjal (razlika $R^2 < 0,5$), smo ga zaključili po vključitvi teh petih spremenljivk.

Preglednica 49: Spremenljivke v GRM-modelu med dolžino čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz Slovenije leta 2007, in okoljskimi dejavniki oz. individualnimi značilnostmi osebkov.

Table 49: Parameters in GRM-model of mandible lengths of fawn roe deer, culled in Slovenia in 2007, and environmental factors or individual characteristics of the individuum.

Neodvisna spr.	Parameter	SE	t	Stopnja tveganja (p)
DAN	0,126	0,002	66,09	0,000
%OBDEL	4,746	0,368	12,89	0,000
PADAV	-0,001	0,000	-6,45	0,000
%TRAV	1,743	0,472	3,69	0,000
SPOL	-0,245	0,072	-3,42	0,001
Konstanta	*104,161*	*0,550*	*189,41*	*0,000*
$R^2 = 0,42$	$F_{(5, 7.684)} = 1.094,83$	$p < 0,0001$		

Na dolžino spodnjih čeljusti mladičev srnjadi ima daleč največji vpliv zaporedni dan odvzema (DAN; dan 1: 1. 4. 2007) (preglednici 49, 50), ki pomeni, da je skupna dolžina čeljusti odvisna predvsem od (prirejene) starosti osebka in z njo narašča. Kot individualna spremenljivka se je pojavila še spremenljivka SPOL, ki pa pojasni najmanjši delež pojasnjene variance od vseh petih vključenih spremenljivk. Od okoljskih spremenljivk na dolžino spodnjih čeljusti mladičev srnjadi vplivajo tri spremenljivke, in sicer delež obdelovalnih površin (%OBDEL), povprečna letna količina padavin (PADAV) in delež travniških površin (%TRAV). Od tega največji delež variabilnosti v dolžinah čeljusti pojasni delež obdelovalnih površin, in sicer z naraščanjem slednjega naraščajo tudi spodnje čeljusti mladičev. Povprečna letna količina padavin vpliva na velikost negativno, delež travniških površin pa pozitivno.

Preglednica 50: Analiza variance vpliva okoljskih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz Slovenije leta 2007.

Table 50: Analysis of variance of the influence of environmental factors on mandible lengths of fawn roe deer, culled in Slovenia in 2007.

Neodvisna spr.	SS	d.f.	MS	F - vrednost	SS (%)		
DAN	169.569	1	169569	4367,4	35,56	35,65	99,75[b]
SPOL	454	1	454	11,7	0,10	(95,19)[a]	0,25[b]
%OBDEL	6.452	1	6452	166,2	1,35	1,80	75,00[c]
PADAV	1.616	1	1616	41,6	0,34	(4,81)[a]	18,89[c]
%TRAV	530	1	530	13,7	0,11		6,11[c]
Napaka	*298.342*	*7.684*	*39*		*62,55*	*62,55*	
Skupaj	***476.962***	***7.689***			***100,00***	***100,00***	
Konstanta	1.393.011	1	1.393.011	35.877,9			

OPOMBA:
(a) delež vsote kvadratov odstopanj spremenljivk v skupni pojasnjeni varianci modela.
(b), (c): delež vsote kvadratov odstopanj spremenljivk v skupni pojasnjeni varianci skupine spremenljivk; vsota vrednosti označenih z enako črko je enaka 100.

V preglednici 50 smo ovrednotili, kolikšen del skupne variabilnosti v dolžini spodnjih čeljusti mladičev srnjadi pojasnijo okoljske oz. individualne spremenljivke, vključene v analizo. Pri tem smo ugotovili, da model pojasnjuje 42 % skupne variabilnosti, od česar največji delež pojasnita individualni spremenljivki starost v dneh in spol (95,2 %), okoljske spremenljivke pa pojasnijo 4,8 % pojasnjene variance modela.

Vpliv okoljskih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti enoletne srnjadi

Bivariatno analizo vpliva okoljskih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti enoletne srnjadi smo opravljali ločeno po spolu (preglednica 51). Tudi tukaj smo ugotovili statistično značilne povezave za večino parov odvisna – neodvisna spremenljivka. Najmočnejša korelacija se ponovno pojavi med dolžino čeljusti in mesecem (MESEC; $r_{Ž} = 0,25$; $r_{M} = 0,21$) ter zaporednim dnevom odvzema (DAN; $r_{Ž} = 0,24$; $r_{M} = 0,19$), kar pa je sicer bistveno nižje kot pri mladičih.

Preglednica 51: Bivariatna korelacijska analiza med dolžino čeljusti enoletne srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007, in okoljskimi dejavniki oz. individualnimi značilnostmi osebkov.

Table 51: Bivariate correlations between mandible lengths of yearling roe deer, culled in Slovenia in 2007, and environmental factors or individual characteristics of the individuum.

	Mladice				Lanščaki				
Neodvisna Spremenljivka	**Kendall r**	**Z**	**Stopnja tveganja (p)**	**Rang**	**Kendall r**	**Z**	**Stopnja tveganja (p)**	**Rang**	**Vpliv**
NV	**-0,13**	**-9,7**	**0,000**	**5**	**-0,12**	**-9,5**	**0,000**	**5**	**– –**
NAKL	-0,12	-8,9	0,000	8	-0,11	-8,8	0,000	7	– –
%T_LEG	-0,05	-3,9	0,000	20	-0,04	-3,1	0,002	21	– –
JAK_SONC	0,04	2,7	0,007	22	0,02	1,2	0,216	23	+ O
PADAV	**-0,13**	**-9,4**	**0,000**	**4**	**-0,15**	**-12,1**	**0,000**	**4**	**– –**
SNEG	-0,08	-5,5	0,000	14	-0,06	-4,3	0,000	17	– –
TEMP	0,09	6,4	0,000	10	0,07	5,3	0,000	10	+ +
TEMP_J	0,09	6,6	0,000	11	0,06	4,9	0,000	14	+ +
%GOZD	-0,13	-9,5	0,000	7	-0,09	-7,5	0,000	9	– –
ODD_GOZD	0,13	9,2	0,000	6	0,11	9,1	0,000	6	+ +
ODD_NEG	-0,09	-6,7	0,000	12	-0,06	-4,8	0,000	15	– –
GOZD_ ROB	-0,05	-3,5	0,000	19	-0,04	-3,5	0,000	20	– –
%LIST	0,08	5,5	0,000	13	0,06	4,8	0,000	16	+ +
NEHAB	0,05	3,7	0,000	18	0,07	5,3	0,000	13	+ +
OBDEL	**0,16**	**11,5**	**0,000**	**3**	**0,16**	**12,8**	**0,000**	**3**	**+ +**
TRAV	0,03	2,4	0,018	23	0,00	-0,4	0,704	24	+ O
ODD_CEST	-0,01	-0,5	0,614	24	-0,05	-3,8	0,000	19	O –
ODD_URB	-0,06	-4,7	0,000	16	-0,07	-5,6	0,000	12	– –
VER_SRN	0,07	5,4	0,000	15	0,07	5,7	0,000	11	+ +
G_SRN	0,04	2,9	0,004	21	0,03	2,4	0,016	22	+ +
G_JEL	-0,06	-4,6	0,000	17	-0,05	-3,7	0,000	18	– –
G_GAMS	-0,09	-6,6	0,000	9	-0,10	-7,9	0,000	8	– –
DAN	**0,24**	**17,2**	**0,000**	**2**	**0,19**	**15,1**	**0,000**	**2**	**+ +**
MESEC	**0,25**	**18,5**	**0,000**	**1**	**0,21**	**16,6**	**0,000**	**1**	**+ +**
SPOL [a]	$\lambda^2 = 280{,}13$; $p < 0{,}001$								/

Tudi v primeru enoletne srnjadi ima dolžina čeljusti z vsemi okoljskimi spremenljivkami dokaj šibko povezavo. Med spoloma ne prihaja do bistvenih razlik. Z dolžinami čeljusti obeh spolov najtesneje pozitivno korelira spremenljivka delež obdelovalnih površin (%OBDEL); večji kot je, večje so čeljusti. Padavine (PADAV), nadmorska višina (NV) in naklon (NAKL) vplivajo negativno – večja kot je količina padavin, nadmorska višina oz. naklon, manjše so čeljusti. Večji delež gozda (%GOZD) pomeni manjše čeljusti, z oddaljevanjem od gozda (ODD_GOZD) pa velikost spodnjih čeljusti enoletnih osebkov naraščajo. Razlike med spoloma se pojavijo pri treh spremenljivkah. Medtem ko jakost sonca (JAK_SONC) in delež travniških površin (%TRAV) pozitivno vplivata na dolžine čeljusti mladic, ti dve spremenljivki na laščake nimata vpliva. Oddaljenost od cest (ODD_CEST) ne vpliva na dolžine čeljusti mladic, medtem ko pri lanščakih z oddaljevanjem od cest dolžine spodnjih čeljusti upadajo. Za ostale pare odvisna – neodvisna spremenljivka ($r < 0{,}10$) glej preglednico 51.

Pred izvedbo multivariatnih analiz smo tudi tokrat preverjali soodvisnost med neodvisnimi spremenljivkami, ki med seboj delno korelirajo, zaradi česar smo določene spremenljivke, ki so med sabo preveč korelirale ($r > 0{,}50$), izključili iz modela. V model smo ponovno vključili obe interakciji, in sicer VER_SRNxG_SRN ter SPOLxDAN.

Tudi na dolžino spodnjih čeljusti enoletne srnjadi ima največji vpliv zaporedni dan odvzema (DAN), ki predstavlja relativno starost osebka (preglednici 52, 53), kar pomeni, da dolžine čeljusti enoletnih osebkov s starostjo naraščajo, a v tem primeru DAN ne pojasni tako velikega deleža variabilnosti kot pri mladičih – skladno s tem je tudi moč modela nekoliko slabša (R^2 = 0,20). SPOL tokrat pojasni rahlo večji delež variance kot pri mladičih (1,25 % individualnih značilnosti).

Od okoljskih spremenljivk na dolžino spodnjih čeljusti enoletne srnjadi vpliva šest spremenljivk, in sicer štiri spremenljivke, ki pogojujejo prehransko dostopnost in kvaliteto hrane: delež obdelovalnih površin (%OBDEL), delež travniških površin (%TRAV) in delež listavcev v skupni lesni zalogi (%LIST), ki na velikost čeljusti vplivajo pozitivno, ter dolžina gozdnega roba (GOZD_ROB), ki ima negativen vpliv. Poleg tega pomembno vpliva tudi povprečna letna količina padavin (PADAV), z naraščanjem katere se čeljusti manjšajo. Dolžina spodnjih čeljusti enoletne srnjadi upada z naraščajočo gostoto jelenjadi (G_JEL).

Preglednica 52: Spremenljivke v GRM-modelu med dolžino čeljusti enoletne srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007, in okoljskimi dejavniki oz. individualnimi značilnostmi osebkov.

Table 52: Parameters in GRM-model of mandible lengths of yearling roe deer, culled in Slovenia in 2007, and environmental factors or individual characteristics of the individuum.

Neodvisna sprem.	Parameter	SE	t	Stopnja tveganja (p)
DAN	0,032	0,001	23,00	0,000
%OBDEL	3,706	0,466	7,95	0,000
PADAV	-0,001	0,000	-5,62	0,000
GOZD_ROB	0,000	0,000	-5,08	0,000
%TRAV	2,871	0,617	4,65	0,000
%LIST	0,833	0,242	3,44	0,001
SPOL (F)	0,285	0,100	2,85	0,004
G_JEL	-0,155	0,056	-2,77	0,006
Konstanta	*145,339*	*0,469*	*309,86*	*0,000*
R^2 = 0,20	$F_{(8, 5.177)}$ = 157,64	p < 0,0001		

Preglednica 53: Analiza variance vpliva okoljskih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti enoletne srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007.

Table 53: Analysis of variance of the influence of environmental factors on mandible lengths of yearling roe deer, culled in Slovenia in 2007.

Neodvisna Spremenljivka	SS	d.f.	MS	F - vrednost	SS (%)		
DAN	18.474	1	18.474	529,0	9,00	9,14	98,47[b]
SPOL (F)	283	1	283	8,1	0,14	(76,87)[a]	1,53[b]
PADAV	1.103	1	1.103	31,6	0,54	2,75	
%OBDEL	2.209	1	2.209	63,2	1,08	(23,13)[a]	51,67[c]
GOZD_ROB	903	1	903	25,8	0,44		21,05[c]
%TRAV	756	1	756	21,6	0,37		17,70[c]
%LIST	414	1	414	11,8	0,20		9,57[c]
G_JEL	269	1	269	7,7	0,13		
Napaka	*180.798*	*5.177*	*35*		88,11	88,11	
Skupaj	***205.208***	***5.185***			***100,00***	***100,00***	
Konstanta	3.353.179	1	3.353.179	96.015,4			

OPOMBA:
(a) delež vsote kvadratov odstopanj spremenljivk v skupni pojasnjeni varianci modela.
(b), (c): delež vsote kvadratov odstopanj spremenljivk v skupni pojasnjeni varianci skupine spremenljivk; vsota vrednosti označenih z enako črko je enaka 100.

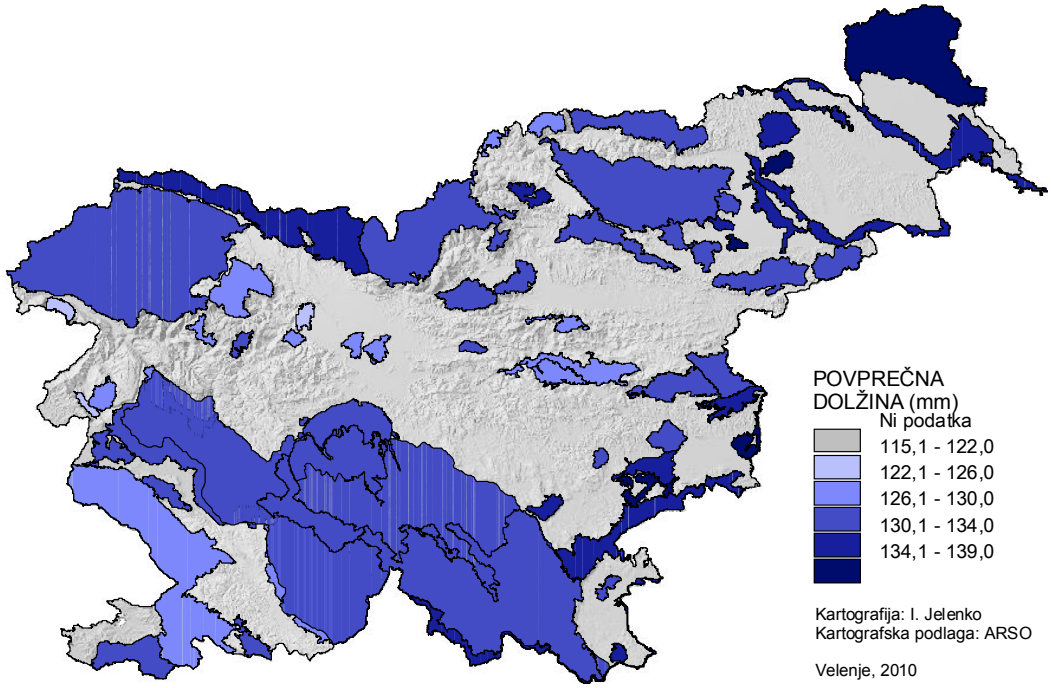
4.3.5 Primerjava dolžin spodnjih čeljusti srnjadi naravovarstveno pomembnih območij Slovenije

Povprečne dolžine spodnjih čeljusti mladičev srnjadi naravovarstveno pomembnih območij Slovenije, in sicer EPO, območij Natura 2000 in zavarovanih območij, so prikazane na slikah 72 do 74. Povprečne dolžine, minimalne in maksimalne vrednosti združeno za vse enote znotraj posameznega tipa območij so podane tudi v preglednici 54. V tem poglavju smo, zaradi majhnega števila odvzetih mladičev v nekaterih enotah omenjenih območij, v prostorski prikaz vključili mladiče srnjadi, odvzete leta 2007 v celotni lovni dobi, tj. od septembra do decembra. Na slikah 72 – 74 so za TNP prikazane povprečne dolžine spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz robnega območja TNP (lov v osrednjem območju ni dovoljen).

Preglednica 54: Dolžine spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz naravovarstveno pomembnih območij Slovenije v letu 2007 (območje z najkrajšo in najdaljšo povprečno dolžino čeljusti srnjadi).

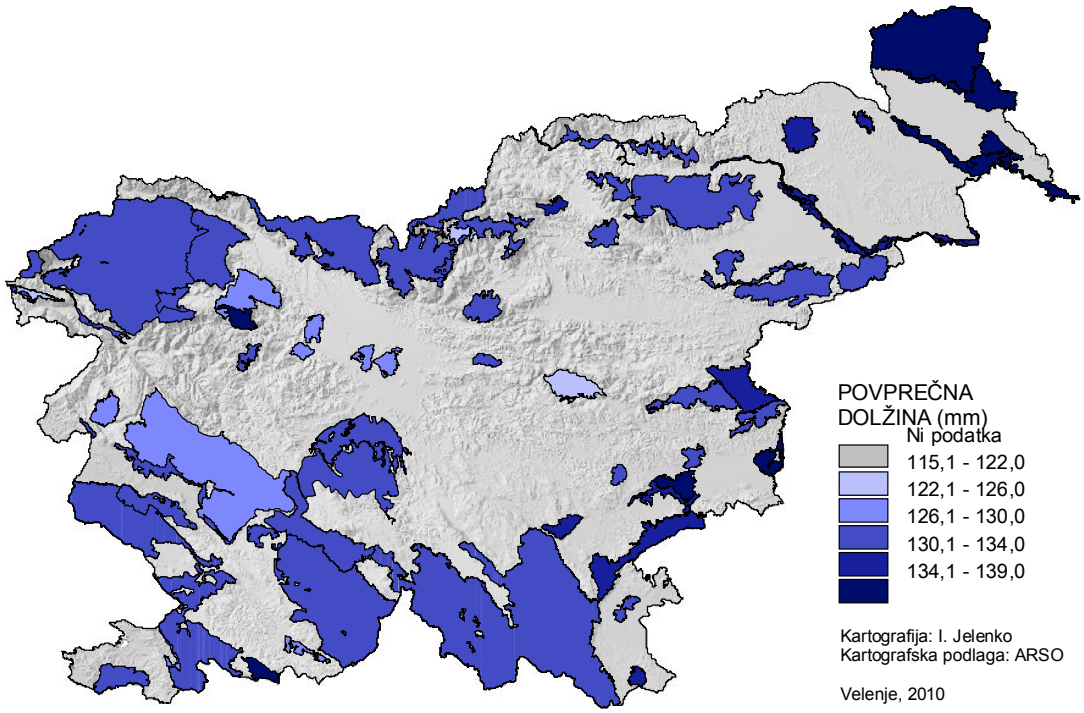
Table 54: Lengths of mandibles of roe deer fawns, culled in important nature areas of Slovenia in 2007 (unit with on average the shortest and the longest mandibles of roe deer).

Območje		n	$\bar{a} \pm t_{0.05}$*SE	Min	Max
Ekološko pomembna območja					
Min:	Matajur	6	115,3 ± 2,4	108	121
Max:	Hrastovec	7	135,7 ± 2,3	126	143
Natura 2000:					
Min:	Kum	18	121,7 ± 1,7	108	142
Max:	Krakovski gozd	6	139,0 ± 1,9	133	146
Zavarovana območja					
Min:	KP Kum	10	121,7 ± 2,6	108	142
Max:	KP Ljutomerski ribniki in jeruzalemske gorice	17	136,7 ± 1,4	123	148



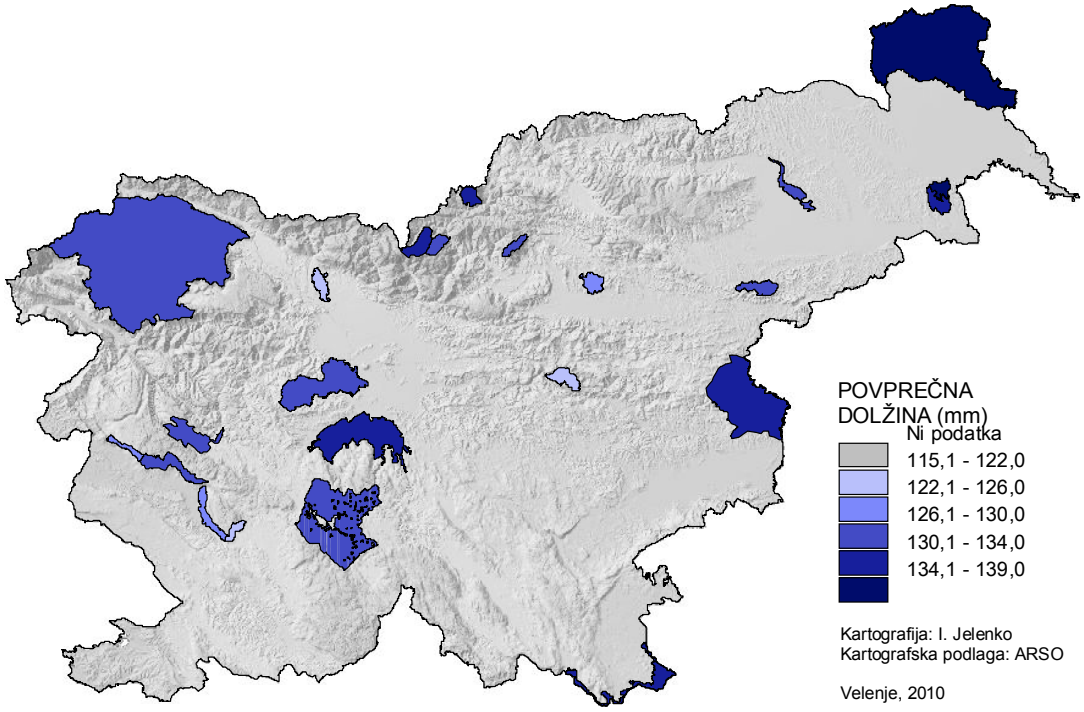
Slika 72: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzete iz ekološko pomembnih območij Slovenije leta 2007

Figure 72: Average mandible lengths of fawn roe deer, culled in ecologically important areas of Slovenia in 2007.



Slika 73: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz območij Natura 2000 Slovenije leta 2007.

Figure 73: Average mandible lengths of fawn roe deer, culled in Natura 2000 sites of Slovenia in 2007.



Slika 74: Povprečne dolžine spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih iz zavarovanih območij Slovenije leta 2007.

Figure 74: Average mandible lengths of fawn roe deer, culled in protected areas of Slovenia in 2007.

4.4 PRISOTNOST IN POJAVNOST RAZLIČNIH ANOMALIJ, POŠKODB IN OBOLENJ SPODNJIH ČELJUSTI SRNJADI

V zadnji sklop proučevanj spodnjih čeljusti srnjadi smo uvrstili tudi raziskave pojavnosti, prostorske razširjenosti in pogostnosti različnih anomalij, obolenj ter poškodb čeljusti/zobovja (v nadaljevanju uporabljamo zanje združen izraz: anomalije). Izredno veliko število dostopnih vzorcev (>40.000 za leto 2007) zahteva za korekten pregled veliko raziskovalnih naporov in dolgotrajne analize, zato ta problematika bistveno presega namene pričujoče disertacije. V tem poglavju tako podajamo le nekaj najbolj zanimivih opisov in ugotovitev o pojavnosti štirih različnih, najbolj pogostih obolenj/anomalij, s čimer želimo opozoriti na dodatne izjemno pomembne možnosti, ki jih utečen način zbiranja spodnjih čeljusti parkljarjev v Sloveniji omogoča. Na podlagi slednjih lahko namreč ugotavljamo tudi določene vidike zdravstvenega stanja žvekalnega aparata celotne populacije srnjadi v Sloveniji in naredimo prostorske primerjave ugotovljenega stanja, ki so v disertaciji prikazane na slikah 75 – 78.

Izmed vseh anomalij, ki se pojavljajo na spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete v Sloveniji v letu 2007, nekoliko podrobneje predstavljamo štiri anomalije, ki so najpogostejše, in sicer aktinomikozo, hipoplazijo, pojavnost prvega predmeljaka (P_1) in odsotnost drugega predmeljaka (P_2) (preglednica 55). Poleg opredelitve problema in prostorskega prikaza pojavnosti teh anomalij (slike 75 – 78) v Sloveniji za ponazoritev v prilogah (priloga E – I) podajamo tudi ustrezen slikovni material.

Preglednica 55: Pojavnost in frekvenca izbranih anomalij čeljusti/zobovja srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007.

Table 55: Number and frequency of selected anomalies of roe deer mandibles/teeth, culled in Slovenia in 2007.

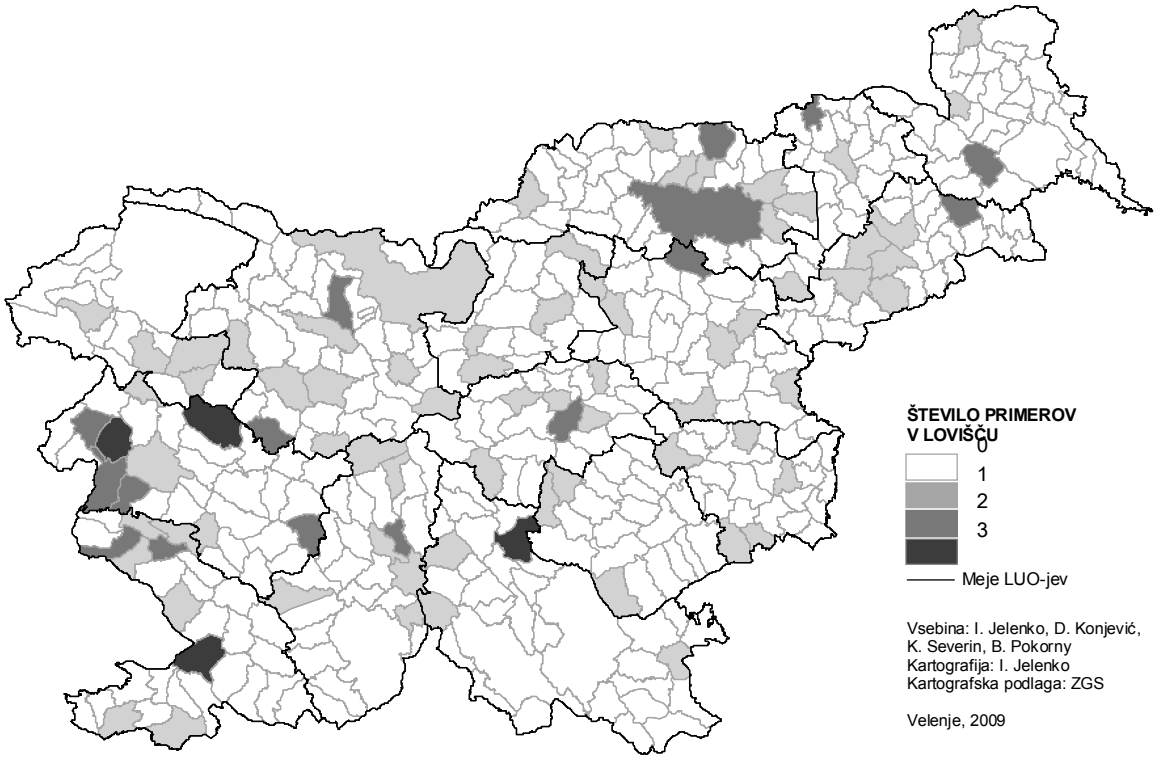
LUO	Odvzem srnjadi			Hipoplazija	Aktinomikoza	Prisotnost P_1	Odsotnost P_2
	∑	1 in 2+	2+	število (‰ [a])	število (‰ [b])	število (‰ [c])	število (‰ [c])
Novomeško	2.012	1.291	780	13 (16,7 ‰)	3 (2,3 ‰)	0 (0,0 ‰)	2 (0,9 ‰)
Gorenjsko	4.264	2.755	1.613	10 (6,2 ‰)	12 (4,4 ‰)	2 (0,5 ‰)	20 (4,5 ‰)
Kočevsko-Belokr.	2.647	1.752	1.076	6 (5,6 ‰)	6 (3,4 ‰)	0 (0,0 ‰)	8 (3,0 ‰)
Notranjsko	2.346	1.465	916	20 (21,8 ‰)	8 (5,5 ‰)	3 (1,3 ‰)	6 (2,6 ‰)
Primorsko	3.168	2.096	1.073	12 (11,2 ‰)	13 (6,2 ‰)	3 (0,9 ‰)	15 (4,7 ‰)
Pohorsko	3.538	2.247	1.314	4 (3,0 ‰)	11 (4,9 ‰)	1 (0,3 ‰)	8 (2,3 ‰)
Posavsko	2.449	1.674	730	31 (42,5 ‰)	5 (3,0 ‰)	2 (0,8 ‰)	4 (1,6 ‰)
Pomursko	3.282	2.136	1.178	41 (34,8 ‰)	4 (1,9 ‰)	2 (0,6 ‰)	7 (2,1 ‰)
Savinjsko-Kozjan.	4.245	2.807	1.601	21 (13,1 ‰)	8 (2,9 ‰)	3 (0,7 ‰)	13 (3,1 ‰)
Slovenskogoriško	2.499	1.547	718	18 (25,1 ‰)	4 (2,6 ‰)	3 (1,2 ‰)	9 (3,6 ‰)
Triglavsko	1.328	941	528	0 (0,0 ‰)	4 (4,3 ‰)	0 (0,0 ‰)	3 (2,3 ‰)
Zah. vis. kraško	2.942	1.999	1.135	7 (6,2 ‰)	17 (8,5 ‰)	3 (1,0 ‰)	15 (5,1 ‰)
Zasavsko	2.210	1.428	758	4 (5,3 ‰)	7 (4,9 ‰)	1 (0,5 ‰)	4 (1,8 ‰)
Kamniško-Savinj.	1.977	1.263	786	1 (1,2 ‰)	4 (3,2 ‰)	2 (1,0 ‰)	11 (5,6 ‰)
Ptujsko-Ormoško	2.988	1.815	1.141	28 (24,5 ‰)	7 (3,9 ‰)	2 (0,7 ‰)	10 (3,3 ‰)
Skupaj	**41.895**	**27.216**	**15.347**	**216 (14,1 ‰)**	**113 (4,2 ‰)**	**27 (0,6 ‰)**	**137 (3,3 ‰)**

OPOMBE:

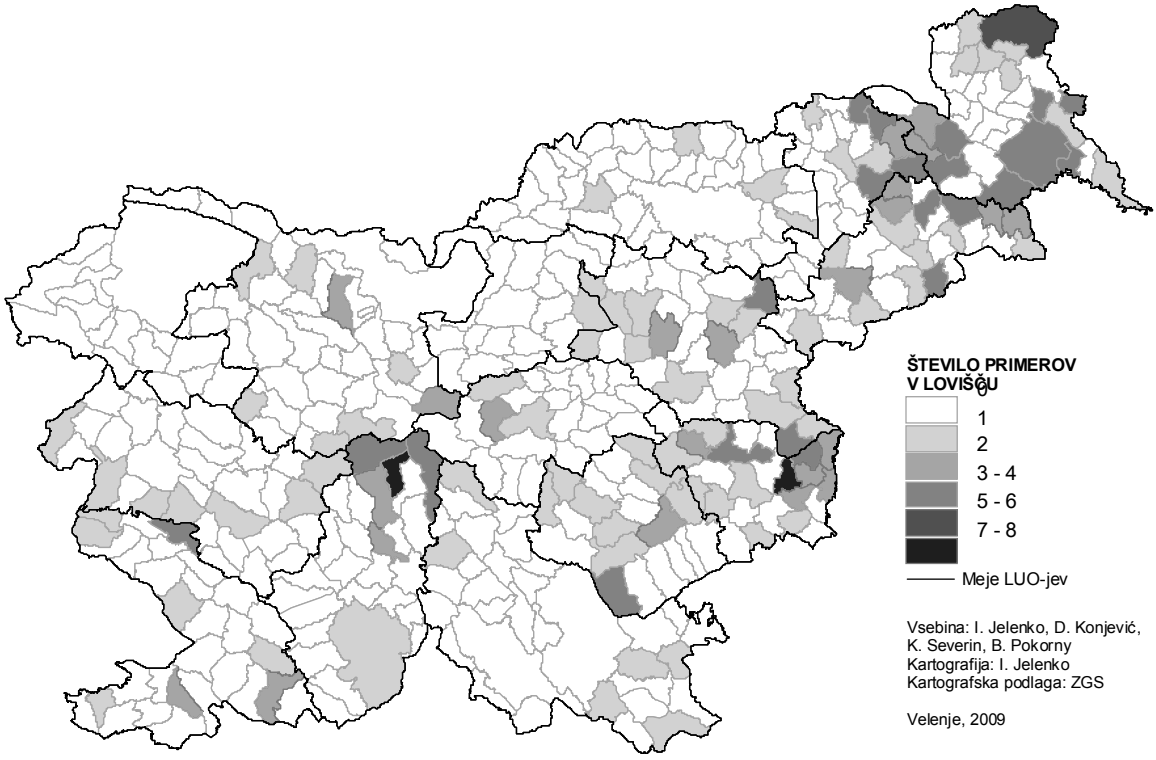
[a] Frekvenca (delež pozitivnih primerov v primerjavi s celotnim odvzemom) pojavljanja hipoplazije sklenine je preračunana glede na odvzem odrasle (2+) srnjadi posameznega LUO v letu 2007.

[b] Frekvenca aktinomikoze je preračunana glede na odvzem enoletne in odrasle (1 in 2+) srnjadi posameznega LUO v letu 2007.

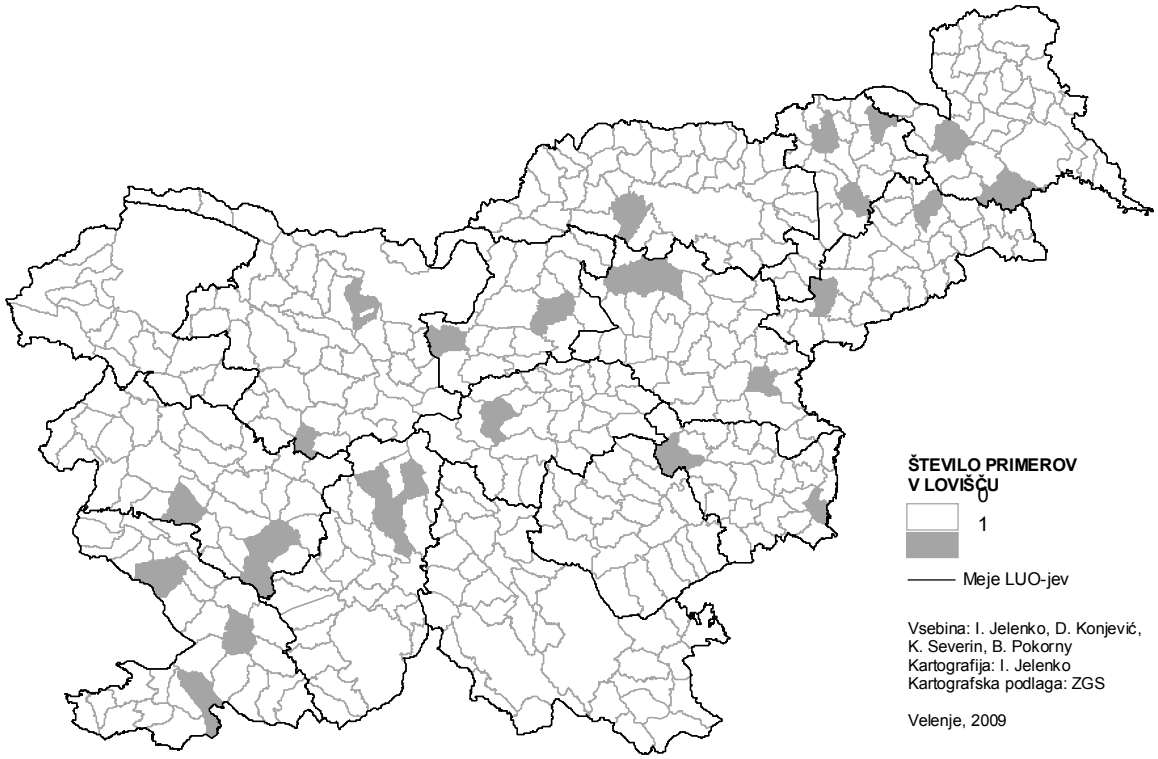
[c] Frekvenca pojavljanja prvega predmeljaka in odsotnosti drugega predmeljaka je preračunana glede na celoten odvzem srnjadi (∑) posameznega LUO v letu 2007 (za razliko od hipoplazije in aktinomikoze, ki se pojavljata skoraj izključno pri 2+ oz. pri enoletnih in 2+ živalih, je variabilnost v številu zob enako velika tudi pri mladičih in enoletnih živalih).



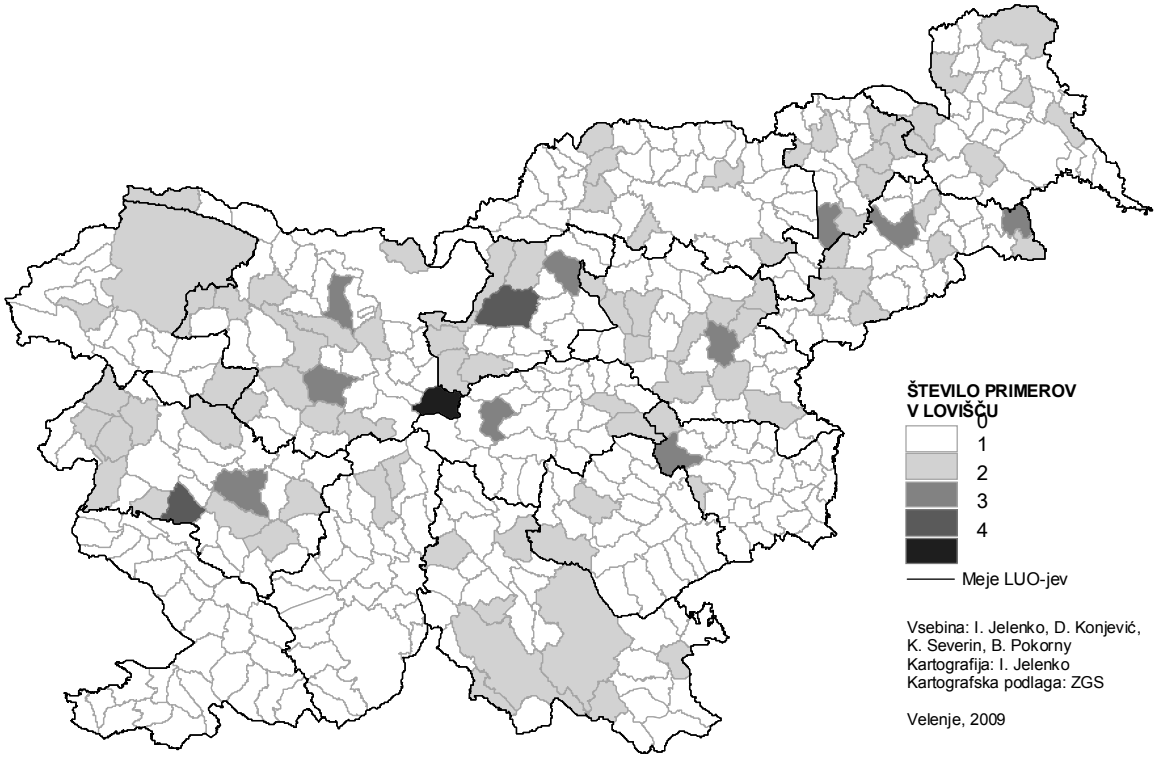
Slika 75: Pojavnost aktinomikoze na čeljustih srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007.
Figure 75: Appearance of actinomycosis in mandibles of roe deer, culled in Slovenia in 2007.



Slika 76: Pojavnost hipoplazije stalnih kočnikov srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007.
Figure 76: Appearance of hypoplasia on permanent check teeth of roe deer, culled in Slovenia in 2007.



Slika 77: Pojavnost prvega predmeljaka na čeljustih srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007.
Figure 77: Appearance of first premolar in mandibles of roe deer, culled in Slovenia in 2007.



Slika 78: Odsotnost drugega predmeljaka na čeljustih srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007.
Figure 78: Absence of the second premolar in mandibles of roe deer, culled in Slovenia in 2007.

5 RAZPRAVA

5.1 VSEBNOST FLUORIDOV V SPODNJIH ČELJUSTIH SRNJADI – AKUMULACIJSKA BIOINDIKACIJA

Zaradi naraščajočih koncentracij fluoridov v okolju in njihove strupenosti so raziskovalci v zadnjih desetletjih razvili različne metode za ocenjevanje vpliva teh onesnažil na žive organizme (Kay, 1975; Schultz in sod., 1998; Mikaelian in sod., 1999; Kierdorf in sod., 2000; Kierdorf in Kierdorf, 2005). Za ugotavljanje izpostavljenosti in vplivov fluoridov na sesalce (predvsem parkljarje) se uporabljajo metode akumulacijske bioindikacije, tj. določevanje vsebnosti fluoridov v kostnih tkivih, npr. čeljustih (Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a; Zakrzewska in sod., 2005; Jelenko in Pokorny, 2010), saj so omenjene živalske vrste izjemno občutljive na to skupino onesnažil (Vikøren, 1995). Primernost čeljusti prostoživečih prežvekovalcev (zlasti srnjadi) kot bioindikatorjev onesnaženosti okolja potrjuje v preteklosti ugotovljeni obstoj močnih pozitivnih soodvisnosti med vsebnostjo fluoridov v čeljustih srnjadi oz. jelenjadi in koncentracijami fluoridov v okolju (npr. Kierdorf H in Kierdorf U, 1999; Garrott in sod., 2002; Jelenko in Pokorny, 2010).

5.1.1 Vpliv spola in starosti na vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi

Če želimo spodnje čeljusti parkljarjev/srnjadi uporabljati za bioindikacijo onesnaženosti okolja bodisi v časovnem bodisi v prostorskem smislu, moramo najprej ugotoviti, kateri so tisti notranji dejavniki pri srnjadi, ki vplivajo na same vsebnosti teh elementov v kosteh, ter kakšen je njihov vpliv.

Vpliv spola

S prvimi študijami o vsebnostih fluoridov v spodnjih čeljustih parkljarjev so poleg ostalih primerjav raziskovali tudi vpliv spola. Tako so Suttie in sod. (1987) ugotovili, da razlike v vsebnostih fluoridov v spodnjih čeljustih belorepih jelenov, odvzetih v obdobju 1978 – 1980 v okolici Charlestona (Južna Karolina), med spoloma ne obstajajo. Do enakega zaključka so prišli Vikøren in sod. (1996), ki so primerjali vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih jelenjadi, losov in srnjadi, odvzete v obdobju 1990 – 1993 iz okolice topilnic aluminija na Norveškem; ugotovili so, da razlike med spoloma pri nobeni izmed omenjenih vrst niso bile značilne. Kierdorf in sod. (1989) so z raziskavo o vsebnostih fluoridov v spodnjih čeljustih populacije srnjadi, odvzete iz območja, ki ni onesnaženo s fluoridi (Abtsgmünd, Nemčija), ravno tako prišli do enakega zaključka.

Dobljeni rezultati naše raziskave (preglednica 18) so skladni z omenjenimi ugotovitvami, saj razlik med spoloma v vsebnostih fluoridov v čeljustih pri nobeni izmed treh starostnih kategorij srnjadi nismo ugotovili. Oba spola srnjadi imata precej podobno ekološko nišo; med spoloma ni večjih razlik v izbiri teritorijev, načinu prehranjevanja in količini zaužite hrane (Hewison in Gaillard, 1996) kar pomeni, da je tudi dnevni vnos fluoridov v telo samic in samcev srnjadi skoraj enak. S tem smo dokazali tudi, da akumulacija fluoridov v kosteh pri obeh spolih poteka enako. Ugotovitev je za uporabo čeljusti v bioindikativne namene zelo pomembna, saj kaže, da lahko podatke o vsebnostih fluoridov v kosteh združimo za oba spola; posledično odpadejo težave, povezane z morebitno napačno določitvijo spola (povožene, poginule) srnjadi.

Vpliv starosti

Raziskave številnih populacij različnih vrst prežvekovalcev v različnih pogojih izpostavitve so pokazale, da se zaradi rasti/obnavljanja kosti fluoridi kopičijo v skeletu živali tekom njihovega celotnega življenja (Kierdorf in sod., 1995, 1996a; Machoy in sod., 1995; Vikøren in sod., 1996; Pokorny, 2006a). Posledično so vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi v močni pozitivni korelaciji s starostjo osebka (Vikøren in sod., 1996; Kierdorf H in Kierdorf U, 1999; Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a; Jelenko in Pokorny, 2010). Pri srnjadi je bila do sedaj narejena le ena raziskava dejanskega vpliva starosti na stopnjo akumulacije fluoridov v spodnjih čeljustih (Kierdorf in sod., 1989), in sicer v s fluoridi neonesnaženem območju Abtsgmünd na severozahodu Nemčije. Na podlagi izmerjenih vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih 63 osebkov (starosti v razponu od 9 mesecev do 10 let), odvzetih v obdobju 1979 – 1981, so določili potenčno funkcijo naraščanja fluoridov s starostjo živali ($y = 311{,}53 * x^{0{,}263}$) in s tem ugotovili povprečno letno akumulacijo fluoridov v čeljustih srnjadi. Le-ta je znašala 31,3 mg/kg (za obdobje 10 let), z večjo intenziteto akumulacije v obdobju rasti osebka – 156 mg/kg letno v prvih dveh letih življenja. Do podobnih rezultatov so prišli Kierdorf in sod. (1996a), ki so med sabo primerjali vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih jelenjadi štirih območij centralne Evrope (obdobje 1986 – 1993). Starost jelenjadi je bila ocenjena med 2 in 18 let, funkcije naraščanja fluoridov pa so znašale: $y = 156{,}48 * x^{0{,}6161}$; $y = 281{,}21 * x^{0{,}5964}$; $y = 409{,}42 * x^{0{,}5682}$ in $y = 770{,}47 * x^{0{,}6721}$. Zadnja izmed omenjenih funkcij predstavlja najintenzivnejše naraščanje vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih jelenjadi (299 mg/kg letno v 18-tih letih), in je bila izračunanja za jelenjad, odvzeto iz močno onesnaženega Češkega Rudogorja (Karlovy Vary).

Z doktorskim delom smo želeli dopolniti redke raziskave o vplivu starosti na kopičenje fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi. Pri tem smo potrdili, da vsebnosti fluoridov s starostjo značilno naraščajo (preglednica 21; slika 34), še posebej v kontrolnem območju Zgornje Savinjske doline (*sic!*), kjer na akumulacijo fluoridov v čeljustih srnjadi vplivajo le naravni dejavniki ter Šaleške doline (preglednica 19). Razlike med posameznimi starostnimi kategorijami so statistično visoko značilne (preglednica 18). Največje razlike so med mladiči *vs.* enoletni osebki oz. med enoletnimi osebki *vs.* dvo- do štiriletna srnjad; medtem ko značilnih razlik znotraj odraslih osebkov ni. Te razlike potrjujejo opažanja omenjenih avtorjev, da je stopnja kopičenja fluoridov največja pri mladih osebkih in se s starostjo zmanjšuje.

Pri tem je seveda potrebno poudariti, da natančna starost v raziskavo vključene srnjadi ni poznana, saj gre le za oceno starosti. Tukaj je potrebno izpostaviti predvsem okolico Kidričevega, kjer so razlike v vsebnostih fluoridov v čeljustih med mlado in staro odraslo srnjadjo izmed vseh območij relativno najmanjše. Do tega prihaja bodisi zaradi tega, ker se lahko fluoridi v kostnih tkivih kopičijo le do določene mere oz. je lahko ocena starosti teh osebkov zaradi visoke stopnje pojavnosti zobne fluoroze (glej sledeča poglavja) pri najstarejših (5+) osebkih nekoliko nižja od dejanskega stanja.

Dokazano naraščanje vsebnosti fluoridov s starostjo srnjadi pomeni, da je vse prostorske (prostorska bioindikacija) in časovne primerjave (zgodovinska bioindikacija) onesnaženosti okolja s fluoridi s pomočjo spodnjih čeljusti srnjadi vedno potrebno opravljati le znotraj iste starostne kategorije (skladno z npr. Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a; Jelenko in Pokorny, 2010).

Dnevna akumulacija fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi

O dnevni akumulaciji fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi oz. drugih vrst parkljarjev do sedaj ni še nihče poročal. Na podlagi naših rezultatov smo ugotovili, da se akumulacije fluoridov v spodnjih čeljustih mladičev srnjadi po dnevih ne da vedno zanesljivo določiti (preglednica 21). Linearna regresija je bila namreč značilna le za Šaleško dolino (visoka korelacija med odvisno in neodvisno spremenljivko) in za okolico Kidričevega (nekoliko manjša korelacija). Gre za dve območji, kjer sta prisotna dva največja vira onesnaženosti okolja s fluoridi v Sloveniji (Zrak, 2010). V Zasavju je linearna regresija, kljub prisotnosti lokalnega vira onesnaženja, neznačilna, predvsem na račun enega vzorca z nadpovprečno visoko vsebnostjo fluoridov, ki pomembno odstopa od mediane za to območje. Neznačilna regresija med vsebnostjo fluoridov v čeljustih mladičev srnjadi s časom v dneh je tudi v Zgornji Savinjski dolini in je posledica počasnejše akumulacija fluoridov (gre za kontrolno območje, brez prisotnih lokalnih virov fluoridov) v primerjavi z onesnaženimi območji.

Na podlagi ugotovljene dnevne akumulacije fluoridov v spodnjih čeljustih mladičev srnjadi iz Šaleške doline ($y = 1{,}3436 + 0{,}0019 * x$; logaritmirane vrednosti fluoridov; pri čemer je x zaporedni dan odvzema; dan 1: 1. 4. 2007) lahko izračunamo letno stopnjo akumulacije fluoridov. Če zanemarimo konstanto regresije (a), nam velikost regresijskega koeficienta (b, ki je značilno različen od 0; $t_{(10)} = 3{,}49$; $p < 0{,}01$) pove, za koliko enot se vsebnost fluoridov z vsakim dnem poveča (potrebno antilogaritmiranje podatkov). Po zmnožitvi tega podatka s 365 dnevi dobimo letno akumulacijo fluoridov v spodnjih čeljustih pri mladičih srnjadi iz Šaleške doline, ki znaša **109 mg/kg**. Za okolico Kidričevega znaša regresija dnevne akumulacije fluoridov s starostjo $y = 1{,}616 + 0{,}0024 * x$ (logaritmirane vrednosti), kar pomeni, da je letna akumulacija fluoridov v spodnjih čeljustih pri mladičih srnjadi tega območja **310 mg/kg** (b je značilno različen od 0; $t_{(22)} = 2{,}06$; $p < 0{,}05$). Hitrost akumulacije fluoridov v spodnjih čeljustih mladičev srnjadi teh dveh območij lepo ponazarja slika 35. S tem smo dokazali, da je v okolici Kidričevega v letu 2007 obstajal velik negativen vpliv antropogenih emisij fluoridov (Zrak, 2010) na ekosisteme in posledično na srnjad iz tega območja, saj je letna akumulacija fluoridov pri mladičih (poleženih leta 2007) tukaj skoraj trikrat večja kot v Šaleški dolini in dvakrat večja kot v s fluoridi neonesnaženem območju Abtsgmünd na severozahodu Nemčije (156 mg/kg letno v prvih dveh letih življenja srnjadi; Kierdorf in sod., 1989). Posledično ima tudi enoletna in odrasla srnjad iz okolice Kidričevega značilno večje vsebnosti fluoridov v svojem skeletu kot v ostalih v raziskavo vključenih območjih, kar kaže na bistveno večjo izpostavljenost osebkov v prvem območju.

5.1.2 Zgodovinski biomonitoring onesnaženosti Šaleške doline s fluoridi

Pri zgodovinski bioindikaciji onesnaženosti okolja Šaleške doline s fluoridi s pomočjo spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete v obdobju 1997 – 2009, smo se osredotočili predvsem na starostno kategorijo enoletne srnjadi moškega spola. Le-ti zaradi predpisanih lovnih dob (Uredba o določitvi …, 2004) in ustaljenega načina lova (predvsem v obdobju maj – julij) predstavljajo standardiziran vzorec, saj gre pri vsakem osebku za enako časovno okno akumulacije fluoridov (12 do 15 mesecev življenja), poleg tega skoraj ni možnosti napake ocene starosti živali, ki se določi na podlagi izraščenosti stalnega zobovja. Za potrditev rezultatov, dobljenih z uporabo spodnjih čeljusti lanščakov, smo primerjali tudi vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih mladičev in odrasle srnjadi (združeni kategoriji mlada in stara srnjad), odvzete iz Šaleške doline v letih 1998, 2003 in 2007. Ta dodaten nabor vzorcev smo izvedli zaradi primerjav vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz Šaleške doline z območji po Evropi, za katera so praviloma na razpolago le podatki za odrasle osebke.

Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih lanščakov, odvzetih iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009, izkazujejo visoko značilno razliko med leti v obravnavanem obdobju in odražajo trend upada onesnaženosti ekosistemov Šaleške doline s fluoridi po izgradnji naprave za čiščenje dimnih plinov v letu 2000 na bloku 5 TEŠ (največji onesnaževalec tega območja s fluoridi in drugi največji vir teh snovi v Sloveniji; Zrak, 2010) (preglednica 22, slika 36). Po izgradnji razžveplevalne naprave v letu 2000 so namreč vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih lanščakov upadle iz $\bar{a}$ = 260 ± 19 mg/kg v letu 1999 na $\bar{a}$ = 118 ± 11 mg/kg v letu 2001. V naslednjih letih opazimo nadaljnje zmanjševanje vsebnosti fluoridov v čeljustih lanščakov (slika 36). Slednje je posledica zapoznelega učinka delovanja čistilne naprave in nakazuje na to, da se obremenjenost ekosistemov Šaleške doline s fluoridi zaradi zmanjšanih emisij iz TEŠ po letu 2000 (Rotnik, 2009; Zrak, 2010) postopno izboljšuje; v zadnjem obdobju (2007 – 2009) so razlike v primerjavi z leti začetnega obdobja (1997, 1999 ter 2001) tudi statistično značilne (preglednica 23).

Razlike v vsebnostih fluoridov v spodnjih čeljustih mladičev srnjadi, odvzetih iz Šaleške doline v letih 1998, 2003 in 2007, so na meji statistične značilnosti (2007 *vs*. 1998 oz. 2003; preglednica 24), kar je najverjetneje posledica postopne akumulacije fluoridov v čeljustih s starostjo. Razlike pri odraslih osebkih so zaradi večjega časovnega okna statistično značilne (preglednica 24) in kažejo na izrazito izboljšanje v letu 2003 (slika 37). Pri tej starostni kategoriji ugotovimo tudi, da sicer skoraj ni razlik med letoma 1998 in 2003, kar je verjetno posledica tega, da vzorec odrasle srnjadi vključuje živali v starosti 2 do *cca.* 10 let, s tem pa tudi osebke, poležene pred letom 1995 oz. 2000, torej v času pred izgradnjo obeh naprav za čiščenje dimnih plinov na TEŠ.

Na vpliv delovanja čistilne naprave na 5. bloku TEŠ nakazuje tudi slika 35B, kjer je prikazano naraščanje vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi Šaleške doline, odvzete v letu 2007, s starostjo živali v letih. V vseh ostalih treh obravnavanih območjih (Kidričevo, Zasavje, Zgornja Savinjska dolina) in tudi po podatkih iz literature (Kierdorf in sod., 1989) vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi naraščajo nelinearno, z večjo hitrostjo akumulacije v prvih letih življenja živali, kar pa za Šaleško dolino ni značilno. Tukaj je naraščanje linearno, saj so relativno (glede na ostale starostne kategorije) visoke vsebnosti izmerjene pri najstarejši srnjadi (največja razlika med mediano vsebnosti fluoridov med mlado in staro srnjadjo izmed vseh štirih območij). Takšno odstopanje je posledica tega, da so v tej starostni kategoriji v analize vključeni osebki srnjadi, ki so bili poleženi pred oz. tik po izgradnji razžveplevalne naprave na TEŠ in so kot taki v prvih letih svojega življenja akumulirali relativno največje vsebnosti fluoridov v svojem kostnem tkivu. Vendar pa je potrebno poudariti, da so tudi pri tej starostni kategoriji absolutne vsebnosti fluoridov v Šaleški dolini v primerjavi z okolico Kidričevega precej nižje in so primerljive s podatki za neonesnažena območja Evrope.

Vsebnosti fluoridov v čeljustih odrasle (2+) srnjadi iz Šaleške doline ($\bar{a}$ = 280 mg/kg) se gibljejo le malo nad vsebnostmi teh snovi v čeljustih srnjadi iz območij, ki so v različnih raziskavah opredeljena kot kontrolna območja – npr. Velika Britanija: $\bar{a}$ (SD) = 173 (58) mg/kg (starost 1 do 6 let; Walton in Ackroyd, 1988); Norveška: $\bar{a}$ = 254 mg/kg (povprečna starost 3 leta; Vikøren in sod., 1996). V primeru podatkov o vsebnostih fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz neobremenjenega območja Abtsgmünd na severozahodu Nemčije ($\bar{a}$ (SD) = 466 (142) mg/kg; starost 0 do 10 let; Kierdorf in sod., 1989) ugotovimo,

da so izmerjene vsebnosti za Šaleško dolino za polovico nižje (ā (SD) = 182 (128) mg/kg; 0 do *cca.* 10 let). Ravno tako je maksimalna izmerjena vsebnost v Šaleški dolini (Max = 1.020 mg/kg; starost >5 let, leto odvzema 2003) vsaj 5-krat nižja od maksimalnih vsebnosti drugod po svetu – npr. Češka: Max = 5.547 mg/kg (Kierdorf H in sod., 1996b); Porurje: Max = 5.724 mg/kg (Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a). Pri tem je potrebno izpostaviti, da so izmerjene vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi Šaleške doline, odvzete v obdobju 1997 – 2009, med najnižjimi kadarkoli izmerjenimi vsebnostmi v tem vzorčnem materialu kjerkoli po svetu (preglednica 2). S tem ugotavljamo, da Šaleška dolina, kljub očitnim trendom zmanjševanja vsebnosti fluoridov, nikoli ni bila močno onesnažena s fluoridi.

Vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi v odvisnosti od letnih emisij TEŠ

Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, uplenjene v Šaleški dolini v obdobju 1997 – 2007, smo zaradi pomanjkanja podatkov o emisijah fluoridov iz TEŠ v preteklosti (emisije fluoridov bi sicer lahko okvirno ocenili iz količine sežganega premoga in vsebnosti fluoridov v le-tem, a bi bila takšna ocena za namene iskanja soodvisnosti preveč nezanesljiva) primerjali z letnimi emisijami prahu oz. letnimi emisijami SO_2 iz TEŠ (slika 39). Emisije fluoridov v ozračje iz antropogenih virov (v tem primeru termoenergetskega objekta) so namreč tako v plinasti obliki kot tudi v obliki prašnih delcev (Weinstein in Davison, 2004), kar pomeni, da del emisij fluoridov predstavljajo bodisi emisije skupnega prahu iz TEŠ, bodisi jih odražajo emisije drugih plinastih onesnažil, kot so, npr. emisije SO_2 (Zemek in sod., 2006). Slednje dokazuje obstoj značilne korelacije med letnimi emisijami SO_2 (Rotnik, 2009) in letnimi emisijami fluoridov iz TEŠ (Zrak, 2010), in sicer za obdobje 2004 – 2007 ($r = 0,94$; $p < 0,05$). Ravno tako obstaja pozitivna soodvisnost med letnimi emisijami prahu ter letnimi emisijami SO_2 iz TEŠ (1990 – 2007: $r = 0,90$; $p < 0,0001$), kar potrjuje, da tudi ostala plinasta onesnažila (tj. SO_2) lahko zanesljivo predstavljajo emisije fluoridov v ozračje iz nekega vira.

V Šaleški dolini vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi **odlično odražajo upad emisij** plinastih onesnažil in prahu **iz TEŠ** ter s tem **potrjujejo uspešnost izvedenih sanacijskih ukrepov** na tem termoenergetskem objektu. Ugotovljeni trend upadanja vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih enoletne srnjadi Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009 (slika 39) je namreč v skladu z dognanji tujih strokovnjakov (npr. Suttie in sod., 1987; Kierdorf H in Kierdorf U, 1999; Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a), da so čeljusti srnjadi dober bioindikator onesnaženosti okolja s fluoridi in odlično odražajo časovne spremembe obremenjenosti ekosistemov s temi snovmi na nekem območju.

V tem delu disertacije smo uspeli dokazati, da so čeljusti srnjadi odličen pripomoček za retrospektivno bioindikacijo onesnaženosti okolja s fluoridi in da se emisije tega onesnažila zaradi okoljske ozaveščenosti ter ostrejših okoljskih zakonodaj tudi v Sloveniji (v tem primeru območje Šaleške doline) zmanjšujejo skladno s trendi, zabeleženimi v evropskem prostoru (npr. Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a; Fordyce in sod., 2007); posledično se zmanjšuje tudi izpostavljenost vrst (srnjadi), združb in ekosistemov. Še enkrat pa je potrebno poudariti, da srnjad oz. zoocenoza Šaleške doline kljub dokaj visokim emisijam fluoridov v preteklosti zadnjih deset let ni bila pretirano izpostavljena tej skupini onesnažil.

5.1.3 Prostorski biomonitoring onesnaženosti Slovenije s fluoridi

Poleg uporabnosti čeljusti srnjadi za retrospektivni biomonitoring, kot npr. za določanje učinkovitosti sanacijskih ukrepov na večjih točkovnih virih emisij fluoridov (kot smo dokazali v poglavju 5.1.2), so čeljusti tudi odličen bioindikator onesnaženosti okolja različnih območij in tako omogočajo dobre prostorske analize (Suttie in sod., 1987; Kierdorf, 1988; Machoy in sod., 1991; Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a; Garrott in sod., 2002; Zakrzewska in sod., 2005). Zaradi tega smo poleg časovnih sprememb onesnaženosti okolja s fluoridi na primeru vzorčnega območja Šaleške doline v okviru doktorske disertacije ugotavljali tudi razlike v vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi različnih območij, s čimer smo izpostavili oz. ugotovili "vroče točke" onesnaženosti s temi snovmi v Sloveniji.

Na podlagi podatkov Agencije RS za okolje (Zrak, 2010) o emisijah fluoridov iz antropogenih točkovnih virov v Sloveniji za zadnjih nekaj let (podatki so na voljo od leta 2002 oz. 2004 dalje) smo kot raziskovalna območja izbrali tri, s fluoridi najbolj obremenjena območja Slovenije, in sicer: (i) okolico Kidričevega, kjer se nahaja tovarna aluminija Talum s povprečnimi letnimi emisijami fluoridov (F^-) okoli 310.000 kg (obdobje 2002 – 2007); (ii) Šaleško dolino s povprečnimi letnimi izpusti fluoridov (HF) iz Termoelektrarne Šoštanj 76.500 kg (obdobje 2004 – 2007); (iii) Zasavje, s povprečnimi letnimi emisijami fluoridov (HF) iz Termoelektrarne Trbovlje 35.000 kg (obdobje 2004 – 2007). Kot kontrolno območje smo v analize vključili tri lovišča Zgornje Savinjske doline, kjer ni zabeleženih nobenih antropogenih virov fluoridov.

Skladno s podatki o emisijah fluoridov smo s pomočjo čeljusti srnjadi dokazali, da v Sloveniji obstaja eno žarišče večje onesnaženosti okolja s temi snovmi, in sicer je to območje okolice tovarne aluminija na vzhodnem delu Dravskega polja (preglednica 26, slika 40). Izmed vseh štirih obravnavanih območij se namreč daleč najvišje vsebnosti fluoridov pri vseh starostnih kategorijah srnjadi pojavljajo v okolici Kidričevega; razlike z ostalimi območji so povsod statistično visoko značilne (preglednica 27). Precej visoke vsebnosti fluoridov se v okolici Kidričevega pojavijo že pri mladičih srnjadi; najmanjše razlike so s Šaleško dolino. Kljub temu lahko iz slike 35A ugotovimo izjemno hitro/veliko kopičenje fluoridov v spodnjih čeljustih mladičev srnjadi iz okolice Kidričevega ($b = 0{,}0024$) v primerjavi z mladiči srnjadi iz Šaleške doline ($b = 0{,}0019$). Nekoliko manjše razlike (na meji statistične značilnosti), ki se pojavljajo med Kidričevim in Zasavjem pri starejši srnjadi (5+ živali), so posledica dokaj velikih antropogenih emisij fluoridov iz TET, ki pa so po letu 2005, ko je začela delovati čistilna naprava, močno upadle (opisano v nadaljevanju), zaradi česar so vsebnosti fluoridov pri mlajših živalih, uplenjenih v tem območju, precej nižje.

Najvišje vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi, ki se pojavljajo pri živalih, odvzetih iz območja Kidričevega (slika 40), nakazujejo, da so v Sloveniji povišane vsebnosti fluoridov v okolju predvsem posledica antropogenih virov teh snovi. Tovarna aluminija Talum je leta 2000 sprostila v ozračje 3,2 kg plinskih fluoridov na tono proizvedenega aluminija (Homšak in sod., 2006), kar znaša v povprečju 310 t fluoridov letno, kar nedvomno pomeni največje emisije v Sloveniji. Tako velike emisije se odražajo tudi v večji obremenjenosti življenjskih združb na tem območju in imajo za posledico zelo visoke vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi, ki so v primerjavi s podatki o vsebnostih fluoridov v čeljustih srnjadi v evropskem

prostoru (zbrano v preglednici 2) v rangu s fluoridi srednje onesnaženih območij. Vsebnosti fluoridov v čeljustih odrasle (2+) srnjadi iz okolice Kidričevega (Me = 796 mg/kg; ā (SD) = 872 (406) mg/kg) so nižje, kot so povprečne vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz območij nekaterih drugih tovarn aluminija – npr. Norveška: ā (SD) = 1.855 (2.304) mg/kg (starost živali 5 in več let; Vikøren in sod., 1996); Slovaška: ā (SD) = 6.122 (2.799) mg/kg (starost živali 3 in več let; Hell in sod., 1995). Nasprotno so te vsebnosti višje kot so bile zaznane v čeljustih srnjadi, odvzete iz nekaterih drugih območij Evrope, kjer poteka intenzivna termoenergetska dejavnost – npr. Porurje, Nemčija: ā (SD) = 628 (303) mg/kg (starost živali 1 do 11 let; Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a).

Podobno tudi vsebnosti fluoridov v čeljustih odrasle (2+) srnjadi, odvzete iz lovišč dveh območij Slovenije z intenzivno termoenergetsko dejavnostjo, kot sta Šaleška dolina (Me = 180 mg/kg; ā (SD) = 207 (87) mg/kg) in Zasavje (Me = 208 mg/kg; ā (SD) = 332 (362) mg/kg), potrjujeta vpliv emisij točkovnih virov. Vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi iz teh dveh območij so v primerjavi s podatki za nekatera druga območja v Evropi dokaj nizke in le v starostni kategoriji pet- in večletna srnjad (Šaleška dolina: Me = 373 mg/kg, ā (SD) = 349 (92) mg/kg; Zasavje: Me = 244 mg/kg, ā (SD) = 515 (473) mg/kg) prekoračujejo povprečne vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz kontrolnih območij že omenjenih študij (preglednica 2; glej tudi poglavje 5.1.2). Po drugi strani so vsebnosti iz teh dveh območij statistično značilno višje (preglednica 27), kot so vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz kontrolnega območja Zgornje Savinjske doline.

Kontrolno območje Zgornje Savinjske doline ima združeno za vse starostne kategorije ekstremno nizke vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi (Me = 64 mg/kg; ā = 87,4 ± 9,9 mg/kg). Še posebej so nizke vsebnosti pri mladičih in enoletnih osebkih (preglednica 26). Podatki o vsebnostih fluoridov v čeljustih odraslih osebkov (ā (SD) = 168 (50) mg/kg) so primerljivi s podatki o vsebnostih fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi iz Velike Britanije (ā = 173 mg/kg, starost živali ena do šest let; Walton in Ackroyd, 1988) in nižje od vsebnosti v čeljustih srnjadi, odvzete iz kontrolnega območja na Norveškem (ā = 254 mg/kg, povprečna starost 3 leta; Vikøren in sod., 1996). Zgornja Savinjska dolina zajema pretežno gozdne površine z vmesnimi območji ekstenzivne kmetijske dejavnosti, kjer ni znanih antropogenih vplivov v smislu onesnaževanja s fluoridi, zato je, kot je tudi dokazano, dejansko primerno kontrolno območje.

Med vsebnostmi fluoridov v čeljustih srnjadi (vse starostne kategorije), odvzete iz Šaleške doline in Zasavja, ni statistično značilnih razlik (Mann-Whitney U-test: Z = 1,61; p = 0,11; glej tudi preglednico 27). Glede na podatke o letnih emisijah fluoridov iz TEŠ (povprečje 76.500 kg; Zrak, 2010) in podatke o emisijah fluoridov iz TET (povprečje 35.000 kg; *ibid.*), bi bilo za pričakovati, da bodo vsebnosti fluoridov v Šaleški dolini statistično višje. Vendar je potrebno poudariti, da so natančni podatki o emisijah fluoridov na razpolago šele od leta 2004 dalje in podajajo nekoliko nepopolno sliko. Primerljive vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi iz Zasavja v primerjavi s Šaleško dolino so posledica dejstva, da je v Zasavju čistilna naprava za čiščenje dimnih plinov pričela obratovati šele leta 2005. Pred tem letom so bile kljub manjšim količinam sežganega premoga v Zasavju (2001 – 2004: 629.500 t/leto) v primerjavi s Šaleško dolino (2001 – 2004: 3.982.000 t/leto) emisije fluoridov zaradi višjih vsebnosti fluoridov v zasavskem rjavem premogu (136 – 180 mg/kg) v primerjavi z velenjskim lignitom (126 – 138 mg/kg) (Beričnik Vrbovšek, 2000) precej podobne (TET,

2005: 85.000 kg; TEŠ, 2005: 99.000 kg; Zrak, 2010). Zaradi krajšega časa obratovanja čistilne naprave v Zasavju v primerjavi s Šaleško dolino, kjer so danes (kljub obratovanju čistilnih naprav na obeh virih) emisije fluoridov 3-krat večje kot v Zasavju (preglednica 4), so vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi obeh območij skoraj enake oz. statistično neznačilno višje v Šaleški dolini (preglednica 27). Zgornjo ugotovitev potrjuje tudi dejstvo, da so najvišje vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih Zasavja pri starostni kategoriji 5 in večletnih osebkov, kar pomeni, da gre za osebke, ki so bili poleženi in v času intenzivne rasti izpostavljeni relativno višjim vsebnostim fluoridov v okolju kot npr. mladiči in enoletni osebki tega območja. Nekoliko na splošno višje vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi iz Zasavja so tudi posledica reliefa ter visokega dimnika TET, saj se zračna onesnažila širijo tudi v višje ležeče okoliške hribe (območje vzorčenja).

Primerjava vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi znotraj Šaleške doline

Poleg ugotavljanja stanja onesnaženosti okolja na makroprostorskem nivoju lahko s pomočjo čeljusti srnjadi zaradi teritorialnosti vrste in njene navezanosti na manjši areal (nekaj 10 ha do največ 100 ha; Andersen in sod., 1998; Krže, 2000) spremljamo tudi onesnaženost okolja na manjšem – mezoprostorskem nivoju. Zaradi tega smo znotraj Šaleške doline oz. lovišča LD Oljka, Šmartno ob Paki, ugotavljali razlike v vsebnostih fluoridov med posameznimi revirji. Najvišje izmerjene vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi so bile izmerjene pri živalih, odvzetih na Velikem Vrhu (slika 38), ki se nahaja v neposredni bližini TEŠ, v smeri prevladujočih vetrov nad njo in na takšni nadmorski višini, da je emisijam iz tega vira (vključno s fluoridi) tudi najbolj izpostavljen (raziskave obremenjenosti ekosistemov, kot posledica emisij različnih onesnažili iz TEŠ: Beričnik Vrbovšek, 1999; Pokorny, 2003; Al Sayegh Petkovšek in sod., 2006; Al Sayegh Petkovšek, 2008). Razlike so sicer statistično značilne le pri lanščakih in na meji statistične značilnosti pri mladi srnjadi; pri mladičih je namreč akumulacija fluoridov še premajhna, da bi lahko prihajalo do razlik, pri stari srnjadi pa so razlike lahko tudi posledica spremembe areala (preganjanje lanščakov s strani starejših srnjakov; Pokorny, 2009).

Primerjava vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi znotraj okolice Kidričevega

Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz posameznih loviščih znotraj območja Kidričevo (slika 41), se med sabo statistično razlikujejo (preglednica 28). Najvišje vsebnosti fluoridov se pri vseh starostnih kategorijah pojavljajo ravno v lovišču, kjer se nahaja tovarna aluminija (Boris Kidrič); med ostalimi lovišči ni večjih razlik. Ker smo želeli preveriti dejanski vpliv tovarne aluminija na samo vsebnost fluoridov v čeljustih srnjadi z območja Kidričevega, smo preverili hipotezo, da se z naraščanjem razdalje od samega vira emisij vsebnosti fluoridov zmanjšujejo (Weinstein in Davison, 2004). Hipotezo smo potrdili, saj smo pri vseh starostnih kategorijah ugotovili sicer šibko (a statistično visoko značilno) negativno korelacijo med oddaljenostjo od Taluma in vsebnostjo fluoridov (slika 42). Dobljeni rezultati potrjujejo, da je vpliv emisij fluoridov najbolj problematičen v neposredni bližini vira emisij in se z naraščanjem razdalje hitro zmanjšuje. **Tako smo dodatno potrdili, da sta v Šaleški dolini TEŠ, na dravskem polju pa Talum dejansko glavna vira onesnaževanja okolja s fluoridi vsaj na lokalnem nivoju** (slika 42).

5.2 ZOBNA FLUOROZA SRNJADI – ODZIVNA BIOINDIKACIJA ONESNAŽENOSTI OKOLJA S FLUORIDI

Pri zobni fluorozi gre za pojav patoloških sprememb na zobovju, ki so posledica negativnega vpliva povečanih koncentracij fluoridov v okolju. Populacije srnjadi (in tudi drugih vrst sesalcev), izpostavljene večjim koncentracijam fluoridov v okolju, so podvržene hipomineralizaciji zobnega tkiva (kar v osnovi pomeni, da se kalcitni ioni zamenjujejo s fluoridnimi), kar povzroči manjšo odpornost trdnih zobnih tkiv, zlasti sklenine (zbrano v Tataruch in Kierdorf, 2003), to pa povzroči vidne spremembe na zobni sklenini, hitrejšo obrabo zobovja oz. celo izpad posameznih zob. Posledica tega je lahko skrajšanje pričakovane življenjske dobe fluoridom močno izpostavljenih populacij (Schultz in sod., 1998; Garrott in sod., 2002).

Ker so spremembe, ki so posledica zobne fluoroze, makroskopsko vidne (obarvanost zob, nastanek razjed, v hujših oblikah izpad posameznih ali večjega števila zob), lahko z enostavnim in hitrim pregledom zobovja sklepamo na stopnjo onesnaženosti okolja, v katerem je določen osebek živel. Zaradi enostavne dostopnosti vzorcev čeljusti srnjadi v Sloveniji (vsakoletno zbiranje čeljusti na t. i. bazenskih pregledih) je bioindikacija onesnaženosti okolja s fluoridi tako v smislu ugotavljanja časovnih kot tudi prostorskih sprememb v onesnaženosti na osnovi določanja stopnje zobne fluoroze poleg dokaj enostavne izvedljivosti (potrebno je relativno enostavno usposabljanje manjšega števila ocenjevalcev) mogoča tudi z relativno majhnimi stroški. Zaradi tega smo se odločili za izvedbo velikopovršinskega spremljanja onesnaženosti okolja s fluoridi na območju celotne Slovenije, ki predstavlja po obsegu in pristopu eno najbolj kompleksnih implementacij bioindikacije/biomonitoringa v svetovnem merilu.

5.2.1 Soodvisnost med vsebnostjo fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi in stopnjo zobne fluoroze

Do sedaj smo potrdili (poglavje 5.1), da je vsebnost fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi odličen pripomoček za bioindikacijo onesnaženosti okolja s temi snovmi tako v časovnem kot tudi v prostorskem smislu. Ker smo v okviru disertacije želeli zobno fluorozo srnjadi uporabiti tako za prostorsko kot tudi časovno bioindikacijo onesnaženosti okolja s fluoridi, smo najprej preverili, kako le-ta korelira z vsebnostjo fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi. Slednji so odličen prostorski bioindikator onesnaženosti okolja s fluoridi (npr. Machoy in sod., 1991; Kierdorf U in Kierdorf H, 2000a; Garrott in sod., 2002; Zakrzewska in sod., 2005; glej tudi poglavje 5.1), kar pomeni, da korelacija vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi z zobno fluorozo dodatno potrjuje njeno do sedaj sicer že večkrat dokazano uporabnost v bioindikativne namene (npr. Zemek in sod., 2006; Jelenko in sod., 2010b).

Do sedaj so v Nemčiji oz. na Češkem že potrdili močno pozitivno soodvisnost med obema bioindikacijskima metodama pri istih osebkih jelenjadi (Kierdorf H in sod., 1996a; Kierdorf H in Kierdorf U, 1999); podobno so v Združenih državah Amerike prišli do enakih zaključkov pri vapitiju (Garrott in sod., 2002). Pri srnjadi ta povezava še ni bila potrjena v nobeni izmed do sedaj narejenih raziskav.

Tako v sklopu zgodovinske bioindikacije znotraj Šaleške doline kot tudi v sklopu prostorske bioindikacije onesnaženosti okolja s fluoridi v Sloveniji smo ugotovili, da obstaja visoka pozitivna korelacija med vsebnostjo fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi in zobno fluorozo (izraženo s povprečnim DLI) istih osebkov. Glede na to, da je v določanje soodvisnosti med tema dvema bioindikacijskima metodama znotraj različnih območij Slovenije (Šaleška dolina, okolica Kidričevega, Zasavje, Zgornja Savinjska dolina), vključen diapazon različnih izpostavljenosti fluoridom (merilo: DLI) je očitno, da je zobna fluoroza zelo uporaben pokazatelj tako za predčasno zaznavanje izpostavljenosti osebkov fluoridom kot tudi za merjenje jakosti te izpostavljenosti (*dose-response* pristo), in to na cenovno zelo ugoden način.

Poleg učinkovite uporabe akumulacijske bioindikacije (določitev vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi) za prostorski biomonitoring lahko vsaj tako koristno uporabimo tudi odzivno bioindikacijo onesnaženosti okolja s fluoridi (ocena zobne fluoroze). Obe metodi se v določenih segmentih razlikujeta in imata vsaka svoje prednosti in slabosti. Medtem ko z akumulacijsko bioindikacijo spremljamo izpostavljenost osebkov srnjadi fluoridom v njihovem habitatu skozi celotno življenjsko dobo, ima odzivna bioindikacija manjše t. i. "časovno okno", saj odraža obremenjenost nekega okolja s fluoridi le v času rasti zobovja živali (tj. v mladostnem obdobju življenja), odziv pa se kaže z zamikom – le pri odrasli srnjadi (Kierdorf U in Kierdorf H, 1999). Zaradi tega je pri zgodovinski bioindikaciji nujno potrebno poznavanje starosti osebka, medtem ko lahko pri prostorski bioindikaciji (biomonitoringu) starostne kategorije med sabo združimo (če so v vseh primerjanih lokacijah osebki približno homogeno razporejeni v starostne kategorije). Pri določitvi vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih moramo biti pozorni na migracije osebkov v oz. izven območij onesnaženosti, saj se lahko, npr., vsebnosti fluoridov v kostnem tkivu s starostjo tudi znižujejo, če je osebek emigriral zaradi česar korelacija med vsebnostjo fluoridov in DLI ni vedno pozitivna. A te migracije se pri srnjadi v Sloveniji, kjer je le-ta gosto naseljena in ima areal velik nekaj 10 ha, praviloma ne pojavljajo v večjem številu, kot je bilo to, npr., opaženo pri jelenjadi v Nemčiji (Kierdorf H in sod., 1996a). Slednje zopet **poudarja pomen srnjadi kot zelo primerne vrste za prostorsko bioindikacijo z možnostjo sočasnega ugotavljanja izpostavljenosti in odzivov osebkov (tj. "*dose–response*" pristop)**. Dodatna prednost, ki jo nudi odzivna bioindikacija oz. določitev zobne fluoroze je tudi cenovna sprejemljivost, saj je potrebno le začetno izobraževanje ocenjevalca, ne potrebujemo pa dragih kemijskih analiz; posledično se lahko s pomočjo ocene zobne fluoroze vrši relevanten velikopovršinski biomonitoring onesnaženosti okolja s fluoridi (Kierdorf in sod., 1999; Zemek in sod., 2006; Jelenko in sod., 2010b), potrebna je le dostopnost zadostnega števila spodnjih čeljusti srnjadi (glej nadaljnja poglavja).

5.2.2 Velikopovršinski biomonitoring onesnaženosti okolja Slovenije s fluoridi z določitvijo stopnje zobne fluoroze

S pomočjo zbranih čeljusti srnjadi, odvzete iz celotne Slovenije leta 2007, smo izvedli veliko-površinski biomonitoring onesnaženosti Slovenije s fluoridi s pomočjo odzivne bioindikacije – ocene zobne fluoroze odrasle srnjadi. **Takšen biomonitoring je izjemnega pomena, saj: (i)** do sedaj ni bil še nikoli narejen tako **obširen biomonitoring** nekega onesnažila v Sloveniji, ki bi pokril ozemlje celotne države; **(ii)** nikoli še ni bil narejen tako **natančen biomonitoring** nekega onesnažila v Sloveniji, ki bi zajemal tako izjemno veliko

število vzorcev (>14.500 vzorcev); **(iii)** velikopovršinski, a vendarle z zelo veliko prostorsko resolucijo (do 1 x 1 km!), biomonitoring onesnaženosti okolja s fluoridi ali katerokoli drugo skupino onesnažil, se do sedaj po nam znanih podatkih ni **še nikoli in nikjer na svetu izvedel za območje celotne države oz. na tako veliki površini**. Navedena dejstva dajejo tako pričujočemu doktorskemu delu pomembno težo in izjemen prispevek k razvoju bioindikacije/biomonitoringa oz. celotnega področja okoljskih znanosti tako v slovenskem kot tudi v svetovnem merilu.

Primerjava zobne fluoroze srnjadi (frekvenca ZF = 14,9 %; n = 14.672), odvzete leta 2007 iz vseh lovišč Slovenije (ā (SD) = 0,6 (1,6); Max = 25; preglednica 30), s podatki raziskav zobne fluoroze z območja nemško-češke meje (regije intenzivnega premogovništva s prisotnim večjim številom termoenergetskih objektov in zelo velikimi antropogenimi emisijami fluoridov), kjer so z ZF določali obremenjenost okolja s fluoridi na nivoju občin (Nemčija: frekvenca ZF = 65 %; ā (SD) = 5,7 (6,2); Max = 23; Kierdorf in sod., 1999) oz. lovišč (Češka: frekvenca ZF = 75,5 %; ā (SD) = 8,1 (6,5); Max = 21; Zemek in sod., 2006), kaže, da je pri srnjadi v Sloveniji tako pojavnost kot tudi stopnja zobne fluoroze izrazito manjša. Primerjava z zobno fluorozo srnjadi, odvzete iz okolice dveh sicer majhnih topilnic aluminija na Norveškem (frekvenca ZF = 1,7 %), pa nakazuje, da je potrebno prostorsko razporeditev in na to navezane vzroke za pojav ZF pri srnjadi Slovenije bolj detajlno proučiti, kar je podano v naslednjih poglavjih.

Primerjava zobne fluoroze med posameznimi kočniki

V oceni zobne fluoroze med posameznimi stalnimi kočniki srnjadi smo ugotovili pomembne razlike tako v pojavnosti kot tudi v jakosti ZF (preglednica 32, slika 43). Te razlike so posledica različnega časa izpostavljenosti posameznih zob fluoridom v času formacije zobne krone oz. sklenine (npr. Kierdorf in sod., 1993; Kierdorf U in Kierdorf H, 1999). Tako je bil prvi meljak največkrat nepoškodovan in le manj kot odstotek teh zob je kazalo vidne znake zobne fluoroze, ki so se v večini izkazovali le kot rahla razbarvanost vrhov zobne krone. Zobna krona M_1 se namreč začne formirati že pri plodu (v maternici), posteljica pa predstavlja delno bariero za prenos fluoridov v nerojeni osebek (Richter in sod., 2010). Ravno tako je vnos fluoridov v prvih dveh mesecih po rojstvu minimalen, saj se mladič večinoma prehranjuje z mlekom, ki vsebuje majhne količine teh snovi (Kierdorf U in Kierdorf H, 2000b). Tudi sklenina drugega meljaka se začne formirati v maternici, a formacija traja še nekaj mesecev po prenehanju sesanja mleka. To pomeni, da se mladič že prehranjuje z rastlinsko hrano, ki je lahko obremenjena z večjimi količinami fluoridov (Kierdorf U in Kierdorf H, 2000b; Richter in sod., 2010); posledično pri teh zobeh prihaja do ZF (v našem primeru je ta delež 7,3 %), ki pa v večini ni izrazita (večinoma ocena 1, delno tudi 2 oz. 3).

Formacija zobne krone tretjega meljaka in vseh treh stalnih predmeljakov v celoti poteka v času, ko se mladič intenzivno prehranjuje z večjimi količinami rastlinske hrane, ki jo potrebuje za pospešeno rast v jesenskem času, s čimer v svoj organizem sprejme tudi večje količine fluoridov. Posledično so M_3, P_2 – P_4 najpogosteje fluorozni; ravno tako je intenziteta ZF teh zob največja, kar smo ugotovili tudi pri proučevani populaciji srnjadi Slovenije (slika 44).

Na podlagi ocene zobne fluoroze posameznih zob odrasle srnjadi lahko sklepamo, da je tako pojavnost kot tudi intenziteta zobne fluoroze srnjadi v Sloveniji na splošno precej manjša v primerjavi z raziskavami iz tujine; Kierdorf U in Kierdorf H (2000b) sta, npr., pri odrasli srnjadi iz Saškega Rudogorja in Severne Šlezije (obdobje 1992 – 1998) zabeležila bistveno večjo pojavnost zobne fluoroze, in sicer se je le-ta pri P_3, P_4 in M_3 pojavljala celo pri 100 % primerih. Ravno tako je tudi intenziteta ZF homolognih zob bistveno večja (preglednica 3), kar pomeni, da **fluoridi v Sloveniji na splošno ne predstavljajo večjega tveganja za srnjad oz. njen habitat (ekosisteme)**. Pri tem je pomembno, da je bilo v sklopu opravljanja disertacije del usposabljanja opravljenega tudi pri istih dveh (vodilnih evropskih) raziskovalcih s tega področja, in sicer tako z namenom pridobivanja novih znanj kot tudi validacije metode, zato so te primerjave zelo relevantne in zanesljive.

Vpliv starosti srnjadi na stopnjo zobne fluoroze

Zobna fluoroza je zelo specifičen bioindikator onesnaženosti okolja s fluoridi s sorazmerno majhnim časovnim oknom izpostavljenosti in ne pomeni večje obremenitve starejših osebkov zaradi morebitnega daljšega časa izpostavljenosti tem snovem (Den Besten, 1994; Aoba in Fejerskov, 2002; Bartlett in sod., 2005). Razlike v intenziteti ZF med posameznimi starostnimi kategorijami odrasle srnjadi se lahko pojavljajo predvsem zaradi dveh razlogov, ki sta opisana v nadaljevanju.

Zobna fluoroza je posledica delovanja fluoridov na strukturo zobovja le v času formacije zobne krone oz sklenine, kar pri srnjadi pomeni nekje do 14 meseca starosti (Kierdorf in sod., 1999; Krže, 2000). V procesu sekundarne oziroma terciarne mineralizacije se sicer fluoridni ioni s starostjo lahko dodatno vgradijo v zobovino (a ne sklenino), vendar je ta proces manj intenziven (Pindborg, 1970), zaradi česar bi le izjemno velike količine fluoridov v okolju lahko prispevale k povečevanju stopnje zobne fluoroze s starostjo. O razlikah v stopnji zobne fluoroze pri različno starih osebkih srnjadi in jelenjadi sicer poročajo tudi iz drugih območij (Kierdorf in sod., 1999; Kierdorf U in Kierdorf H, 2000b; Zemek in sod., 2006); vendar te starostno pogojene razlike niso posledica dodatnega odlaganja fluoridov v zobno tkivo, temveč so posledica časovnih sprememb v onesnaženosti okolja, praviloma njegovega zmanjševanja (Kierdorf in sod., 1999). Starostno pogojene razlike torej pomenijo različno obremenjenost nekega okolja s fluoridi v različnih letih, tj. v času formacije in rasti zobovja posameznega osebka v prvem letu po rojstvu, kar pomeni, da je zobna fluoroza bioindikator ne trenutne, ampak pretekle izpostavljenosti fluoridom (Fejerskov in sod., 1994; Aoba in Fejerskov, 2002).

Vendar pa zunanji znaki zobne fluoroze (patološke spremembe zobnega tkiva, predvsem sklenine) postanejo vidni praviloma šele po drugem letu starosti srnjadi (Kierdorf H in sod., 1996a), in sicer kot posledica stalne rabe zobovja. V mikrostrukturi poškodovana fluorozna sklenina zobovja je namreč pri mladih osebkih na videz nepoškodovana; z intenzivno uporabo zobovja oz. z žvečenjem pa je le-ta podvržena tako kemičnim substancam kot tudi mehanskim pritiskom (Kierdorf U in Kierdorf H., 1999), ki fluorozno sklenino hitreje poškodujejo, posledično se tudi navzven pokažejo različno intenzivni znaki ZF (obarvanost, hipoplazija, obraba grebenov, zlom zob). Torej ima zobovje srnjadi, ki je tem vplivom podvrženo dlje časa (pri starejših osebkih), bolj intenzivno izražene zunanje znake zobne fluoroze.

Večina nam poznanih raziskav zobne fluoroze srnjadi/jelenjadi je do sedaj potekala le na odraslih osebkih (Kierdorf H in sod., 1996a; Kierdorf in sod., 1999; Kierdorf U in Kierdorf H, 1999, 2000b; Garrott in sod., 2002; Zemek in sod., 2006). Le Vikøren in Stuve (1996) sta zobno fluorozo ocenjevala tudi pri enoletni srnjadi, kjer izmed 36 osebkov nobeden ni kazal znakov ZF. V severovzhodni Sloveniji se je zobna fluoroza pri enoletnih osebkih sicer pojavljala, a z najnižjo frekvenco izmed vseh starostnih kategorij. Najpogosteje se je pojavljala pri tistih osebkih, ki se nahajajo v neposredni bližini največjega vira emisij fluoridov v Sloveniji. Ker pri več kot polovici lovišč severovzhodne Slovenije nismo zaznali znakov zobne fluoroze pri enoletni srnjadi, smo zobno fluorozo v ostalih loviščih Slovenije ocenjevali le pri odraslih osebkih. **Enoletna srnjad zaradi zamika v izražanju vidnih znakov zobne fluoroze namreč ni primerna za bioindikacijo onesnaženosti okolja s fluoridi.**

V združenem vzorcu za celotno Slovenijo tako pojavnost kot tudi intenziteta zobne fluoroze s starostjo narašča (preglednica 30 in slike 45 – 47). Najvišjo stopnjo zobne fluoroze po posameznih loviščih smo zabeležili pri 5 in večletni srnjadi (slika 46), kjer štiri lovišča (Boris Kidrič, Starše, Jože Lacko – Ptuj in Podlehnik) v okolici tovarne aluminija Talum Kidričevo izkazujejo najvišjo kategorijo ZF (povprečen DLI > 4). Poleg tega je v tej starostni kategoriji v primerjavi z mlado srnjadjo nekoliko povišan povprečen DLI še v nekaterih drugih loviščih Dravsko-Ptujskega polja, Haloz in Slovenskih goric (vpliv Taluma) oz. na obmejnem območju (Čičarija, severna Primorska, Bela Krajina), kjer se viri fluoridov najverjetneje nahajajo v sosednjih državah (Trst, Gorica, Karlovac) in bi bili kot taki zgolj z upoštevanjem slovenskih podatkov o emisijah fluoridov spregledani. Pojav razlik na teh območjih v prisotnosti in jakosti ZF stare srnjadi v primerjavi z mlado srnjadjo je lahko bodisi posledica zamika izražanja vidnih znakov zobne fluoroze, bodisi posledica razlik v obremenjenosti teh območij skozi čas.

Po drugi strani smo pri starostni kategoriji starejše (5+) srnjadi ugotovili, da se povišana stopnja zobne fluoroze v primerjavi z mlado (2 – 4 letno) srnjadjo pojavlja tudi v nekaterih drugih loviščih po Sloveniji (Spodnja Savinjska dolina, Zasavje, Kozjansko, Goričko), ki so v bližini preteklih oz. obstoječih virov emisij fluoridov. Dejstvo, da se ZF pri najstarejših osebkih v določenih loviščih pojavlja z večjo intenziteto kot v drugih loviščih, pomeni, da **so te razlike dejansko posledica različne obremenjenosti okolja s fluoridi v različnem časovnem obdobju**, drugače do razlik med lovišči znotraj starostne kategorije 5+ (v primerjavi s starostno kategorijo 2 – 4 letne srnjadi, slika 45), ne bi prihajalo. Omenjeno trditev lahko potrdimo tudi z visoko značilno pozitivno soodvisnostjo upada povprečnega DLI srnjadi z upadom emisij iz TEŠ, kar je dokazano v poglavju 5.2.3. Na podlagi slik 45 in 46 torej sklepamo, da se je stanje okolja Slovenije v prvem desetletju 21. stoletja v smislu onesnaženosti s fluoridi izboljšalo, saj pri mladi srnjadi, poleženi po letu 2002, zobno fluorozo zasledimo le v okolici tovarne aluminija Talum. Pri tem je pomembno, da na podlagi podatkov, ki jih zbira ARSO, časovnih sprememb v onesnaženosti okolja s fluoridi v zadnjem desetletju ne moremo ugotoviti/zaznati, saj se podatki o emisijah fluoridov v ozračje v Sloveniji sistematično zbirajo šele od leta 2002 oz. 2004 dalje. To dejstvo kaže na velik pomen ugotavljanja zobne fluoroze srnjadi tudi v smislu retrospektivnega sledenja sprememb v onesnaženosti okolja s temi snovmi.

Vendar pa je odvzem odrasle srnjadi v Sloveniji po starosti naključen (natančne starosti se pri odraslih osebkih pred odstrelom na daljavo ne da določiti) in poteka v vseh loviščih precej podobno, zato menimo, da je tudi starostna struktura odvzete srnjadi po posameznih loviščih primerljiva. Posledično se lahko (kljub večji ZF s starostjo) **prostorske primerjave z oceno zobne fluoroze v celoti izvajajo na podlagi združenega vzorca vse odrasle srnjadi** (slika 47).

Primerjava zobne fluoroze srnjadi Slovenije in obremenjenosti njenega habitata s fluoridi na mezoprostorskem nivoju

Obe omenjeni primerljivi evropski študiji prostorskega biomonitoringa z oceno zobne fluoroze srnjadi sta bili narejeni na združenem vzorcu vseh odraslih živali (Kierdorf in sod., 1999; Zemek in sod., 2006). Ker smo želeli, da so podatki za Slovenijo s tem primerljivi, smo mezoprostorski prikaz zobne fluoroze srnjadi po loviščih na podlagi metodologije Zemek in sod. (2006) prikazali združeno za vse starostne kategorije. Takšen prostorski prikaz nam pokaže (priloga C), da je v Sloveniji najvišja povprečna stopnja zobne fluoroze za lovišče kategorije 4 (povprečen DLI nad 6 do vključno 9; glej preglednico 12) in je zabeležena le v enem izmed vseh obravnavanih loviščih, in sicer v lovišču Boris Kidrič (ā (SD) = 7,8 (7,3); Max = 20), kjer se nahaja največji onesnaževalec okolja s fluoridi v Sloveniji, tovarna aluminija Talum Kidričevo. V neposredni bližini tega lovišča oziroma tovarne aluminija se nahajajo še tri lovišča s povprečno stopnjo zobne fluoroze nad 3 do vključno 6 (kategorija 3), to so Jože Lacko – Ptuj (ā (SD) = 4,1 (4,7); Max = 19), Dravinja-Majšperk (ā (SD) = 3,6 (4,2); Max = 21) in Podlehnik (ā (SD) = 3,4 (5,2); Max = 25). Vsa ostala lovišča imajo kategorijo zobne fluoroze 1 oz. 2, kar pomeni, da povprečen DLI na lovišče znaša med 0 in vključno s 3; habitat srnjadi v teh loviščih s fluoridi torej ni obremenjen.

Visoka stopnja zobne fluoroze v lovišču Boris Kidrič je z vidika vitalnosti srnjadi na tem območju dokaj zaskrbljujoča, saj povišana stopnja zobne fluoroze pomeni neodpornost zobne sklenine in, kot je v zadnjem času dokazano, tudi zobovine (Richter in sod., 2010), kar pomeni hitrejšo obrabo zobovja, nezmožnost hranjenja in posledično pogin obolele živali. **Močna zobna fluoroza tako vpliva na skrajšanje pričakovane življenjske dobe prostoživečih parkljarjev,** kar so do sedaj dokazali tako pri srnjadi (Zemek in sod., 2006) kot tudi pri jelenjadi (Schultz in sod., 1998; Garrott in sod., 2002). Na to opozarja tudi odvzem srnjadi v lovišču Boris Kidrič, kjer so bili le trije od 39 ocenjenih odraslih osebkov uvrščeni v starostno kategorijo 8 in večletnih živali. To pomeni, da je (sub)populacija srnjadi v tem in delno sosednjih loviščih zaradi velike obremenjenosti habitata s fluoridi delno ogrožena, saj se zaradi skrajšanja pričakovane življenjske dobe posledično zmanjša tudi prirastek. **Takšen negativen vpliv fluoridov na srnjad na vplivnem območju Taluma bi bilo smiselno natančneje proučiti in če je potrebno, tudi upoštevati pri lovskem načrtovanju in izdelavi lovskih upravljavskih načrtov**.

Primerjava prostorskega prikaza zobne fluoroze srnjadi Slovenije s stopnjo zobne fluoroze srnjadi iz območja Saškega Rudogorja (Zvezna republika Saška) in Severne Šlezije, kjer so s pomočjo zobne fluoroze kot odzivne bioindikacijske metode že uspešno izvedli prostorski biomonitoring onesnaženosti okolja s fluoridi na nivoju občin (Kierdorf in sod., 1999) oz. na nivoju lovišč (Zemek in sod., 2006) pa kaže, da stopnja zobne fluoroze srnjadi drugje v

Sloveniji ni problematična. Na območju severne Šlezije namreč v večini lovišč prevladujejo kategorije zobne fluoroze 5 oz. 6, pojavljajo se tudi posamezna lovišča s kategorijo 7 oz. celo 8 (povprečen DLI nad 18!). Podobno na južni strani Saškega Rudogorja (Nemčija) v večini občin prevladujejo kategorije zobne fluoroze 5 do 7, ki se le v občinah na severu spustijo do kategorije 3. Kot smo že omenili, smo primerljivo intenziteto zobne fluoroze v Sloveniji zabeležili le v ožjem vplivnem območju tovarne aluminija Talum Kidričevo, s čimer ugotavljamo, da **habitat srnjadi v Sloveniji, z izjemo okolice Kidričevega, s fluoridi ni obremenjen.**

Takšne razlike med nemško-češkim območjem in območjem celotne Slovenije so posledica razlik v antropogenih emisijah fluoridov v ozračje. V prvem izmed obeh območij se nahaja 9 večjih termoenergetskih objektov, kjer kot gorivo uporabljajo lokalni rjavi premog z izredno visoko vsebnostjo fluoridov (200 – 600 mg/kg), ter številni drugi manjši lokalni onesnaževalci s tem elementom. V 80-tih letih 20. stoletja so na tem območju v ozračje letno izpustili med 8.000 in 16.000 t (!) fluoridov, medtem ko so letne emisije fluoridov za celotno Slovenijo leta 2007 znašale *cca.* 350 t (Zrak, 2010)!

Tudi v primeru, ko smo vsa lovišča Slovenije po omenjeni klasifikaciji (Zemek in sod., 2006) razdelili v kategorije zobne fluoroze na podlagi tretjega kvartila DLI (DLI, od katerega je višje ocenjenih še 25 % čeljusti, vključenih v raziskavo) nismo dobili bistveno drugačnih rezultatov (slika 48). V tem primeru je lovišče Boris Kidrič uvrščeno v 7. kategorijo, s tretjim kvartilom DLI nad 15 do vključno 18. Ostala lovišča Dravskega polja in nekatera lovišča Haloz oz. Slovenskih goric imajo manjše koncentracije fluoridov v okolju, vendar še vedno večje kot v ostalih delih Slovenije, in sicer je tretji kvartil DLI nad 3 do 9. Posamezna lovišča iz drugih območij Slovenije, kot so Polšnik, Šentjošt, Sorica, Slavnik – Materija in Kojnik – Podgorje, imajo ravno tako nekoliko višjo stopnjo zobne fluoroze (kategorija 3). Vsa ostala lovišča imajo tudi na podlagi takšnega razvrščanja izredno nizko stopnjo zobne fluoroze srnjadi.

Razlike v onesnaženosti okolja s fluoridi in posledično v stopnji zobne fluoroze pri srnjadi po klasifikaciji Zemek in sod. (2006) se pokažejo šele, če lovišča Slovenije uvrstimo v omenjene kategorije zobne fluoroze na podlagi devetega decila DLI (DLI, od katerega je višje ocenjenih še 10 % čeljusti, vključenih v raziskavo; priloga D). V tem primeru opazimo, da je tudi tokrat s fluoridi dejansko najbolj onesnaženo območje v okolici Kidričevega. Nekoliko višji deveti decil DLI je tudi v loviščih celotnega območja Dravskega polja, Slovenskih Goric in Haloz, severnega Kozjanskega, v delu Savinjske doline, v Zasavju, Cerkljansko-Idrijskem in Škofjeloško-Polhograjskem hribovju, na severnem Primorskem in na Krasu, Čičariji, Brkinih ter v Beli Krajini. Razlogi za takšno prostorsko razporeditev so različni. Na onesnaženost okolja s fluoridi v največji meri vplivajo točkovni viri emisij (okolica Kidričevega in višji predeli Zasavja – zaradi visokega dimnika TET se emisije fluoridov prenesejo v višje ležeče predele Zasavja). Tudi nižja nadmorska višina (Zemek in sod., 2006) in prevladujoče sedimentne kamnine z višjo naravno pogojeno vsebnostjo fluoridov (Weinstein in Davison, 2004), v tem primeru v Savinjski dolini ter Halozah, ravno tako prispevajo k rahlo povišani stopnji zobne fluoroze v prej omenjenih geografskih enotah. Severni deli Kozjanskega in Haloze so poleg tega podvržene tudi emisijam iz Steklarne Rogaška, ne moremo pa izključiti tudi morebitnega čezmejnega onesnaževanja s fluoridi iz Hrvaške. Nekoliko povišane vrednosti DLI v Cerkljansko-Idrijskem in

Škofjeloško-Polhograjskem hribovju ter tudi v Zasavju in delu Pohorja so lahko posledica kamninske podlage s praviloma nižjim pH, ki vpliva na večjo biodostopnost fluoridov iz tal (*ibid*.) ali pa posledica lokalnih virov emisij (MPI-Reciklaža in metalurgija, Žerjav; Zrak, 2010). Na območje severne Primorske, Krasa, Čičarije in Brkinov pa najverjetneje vpliva čezmejno onesnaževanje iz Gorice ter Trsta. Nekoliko presenetljivo je dejstvo, da kljub relativno velikim emisijam fluoridov v Šaleški dolini (Termoelektrarna Šoštanj je drugi največji emitent fluoridov v okolje v Sloveniji, poleg tega sta tu še dva manjša obrata proizvodnje keramike) v primerjavi z ostalo Slovenijo na tem območju nismo zaznali povišane stopnje zobne fluoroze pri srnjadi, kar je verjetno posledica visokega dimnika TEŠ in širjenja emisij na večje razdalje.

Za nadaljnji prostorski biomonitoring onesnaženosti okolja s fluoridi na nivoju lovišč s pomočjo spodnjih čeljusti srnjadi oz. z določitvijo zobne fluoroze pri teh živalih **predlagamo uporabo bodisi slovenske klasifikacije** (z vključitvijo vseh starostnih kategorij) **bodisi metodologije prikaza po Zemek in sod. (2006) s prikazom tretjega kvartila DLI**. Oba prikaza hkrati izpostavita tako dejansko problematična območja v širšem prostorskem okviru kot tudi morebitna lokalna žarišča onesnaženosti okolja s fluoridi. S prvim prikazom (slovenska klasifikacija) lahko ustrezno prikažemo predvsem pojavnost/frekvenco zobne fluoroze, medtem ko z drugim prikazom zajamemo tudi njeno intenziteto.

Primerjava zobne fluoroze srnjadi Slovenije in obremenjenosti njenega habitata s fluoridi na mikroprostorskem nivoju

Iz mikroprostorskega (1 x 1 km kvadrant kot osnovna celica) prikaza prostorske razporeditve zobne fluoroze (slika 49) lahko ugotovimo, da je pojav močnih oblik zobne fluoroze prostorsko skoncentriran na eno večje območje, in sicer Dravsko-Ptujsko polje, tj. na območje v neposredni bližini največjega emitenta fluoridov v Sloveniji, tovarne aluminija Talum Kidričevo. Slednje je po onesnaženosti s fluoridi ($DLI_{(tretji\ kvartil)}$ >6) primerljivo z območji centralne Evrope (preglednica 3). Zaradi zahodne zračne cirkulacije, ki je značilnost celotne Slovenije, in prevladujočih zahodnih vetrov so s fluoridi močno obremenjeni tudi ekosistemi zahodnega centralnega dela Slovenskih goric ter ekosistemi Haloz, ki pa so podvrženi emisijam iz Taluma predvsem pozimi, ko s Pohorja pogosto piha značilen severni oz. severovzhodni mrzel veter, krivec (Perko in Orožen Adamič, 1999). Zobna fluoroza srnjadi v višjih delih Haloz je tako zaradi nadmorske višine kot tudi pokritosti z gozdom nekoliko manj izrazita.

Poleg tega glavnega območja onesnaženosti s fluoridi se v določenih delih Slovenije pojavljajo tudi manjša žarišča šibkejše onesnaženosti, ki so vezana na (glej tudi Zrak, 2010): **(i)** določen točkovni vir onesnaženja, ki je ponekod potenciran z reliefom: Zasavje (Termoelektrarna Trbovlje, Lafarge Cement, Steklarna Hrastnik, ETI elektroelement); okolica Rogaške Slatine (Steklarna Rogaška); Zgornja Mežiška dolina (MPI Reciklaža metalurgija Žerjav, bivša topilnica svinca); območje severno od Ljutomera (Tondach Slovenija); okolica Maribora (Mariborska livarna); okolica Planine pri Sevnici (Tajfun Planina proizvodnja strojev – zadnjih nekaj let se povprečne emisije F^- sicer pod 1 kg, bivša steklarna na Kozjem); okolica Šentjurja (Alpos, Šentjur – zadnjih nekaj let so povprečne emisije F^- pod 1 kg); **(ii)** kotline oz. doline z razvito industrijo oz. premogovništvom in večjim deležem individualnih kurišč, kot je Celjska kotlina (EMO ETT Celje, Štore Steel,

STC Ljubečna, Juteks Žalec); okolica Črnomlja (Livar Črnomelj, bivši rudnik rjavega premoga); **(iii)** obmejna območja, katerih obremenjenost je lahko posledica daljinskega transporta fluoridov iz sosednjih držav, kot je skrajni jugovzhodni del Bele krajine (bližina mesta Karlovac na Hrvaškem); neposredna bližina Nove Gorice (bližina mesta Gorica v Italiji); skrajni severni del Krasa ob meji z Italijo (neposredna bližina industrijsko razvitega Tržiča, ladjedelništvo); okolica Lipice ter Podgrajsko podolje in Brkini (leži neposredno nad Trstom, železarska industrija; dodaten vpliv sedimentnih kamnin – fliš); Starod in Jelšane (obmejno območje s Hrvaško; viri niso poznani); (**iv**) območja, kjer vir fluoridov v okolje ni znan oz. ga je težko določiti, npr. okolica Železnikov (višje ležeči vrhovi: Ratitovec in Škofjeloško hribovje); okolica Dobrovnika (morebitna lokalna proizvodnja opeke oz. žganje gline); okolica Loč pri Poljčanah (vpliv zračnih emisij Taluma po dolini Dravinje navzgor); Kamniško Savinjske Alpe (Ojstrica in Kočna); Javorniki nad Cerkniškim poljem ter okolica Razdrtega.

Zanimivo pa je, da se tudi v tem primeru v Šaleški dolini (tj. v okolici Termoelektrarne Šoštanj kot drugega najpomembnejšega vira fluoridov v Sloveniji) zobna fluoroza pri srnjadi v zadnjih letih skoraj ne pojavlja, kar kaže še zlasti na učinkovitost sanacijskih ukrepov po letu 1995. Po postavitvi razžvepljevalnih naprav na 4. in 5. bloku TEŠ je namreč stopnja zobne fluoroze srnjadi močno upadla, kar kažejo časovne analize čeljusti srnjadi, odvzete v Šaleški dolini v obdobju 1997 – 2009 (Jelenko in Pokorny, 2009; glej tudi poglavje 5.1.2).

Na pojavljanje zobne fluoroze (tako prostorsko kot tudi v smislu njene jakosti) ima največji vpliv sama količina emisij, ki pa ni vedno poglavitni dejavnik. Poleg emisij so pomembni okoljski dejavniki še relief (doline, kotline, nadmorska višina), gozdnatost in prevladujoče smeri vetrov. Zaradi tega posamezni dokaj veliki točkovni viri emisij fluoridov nimajo občutnega negativnega vpliva na okolje v smislu obremenjevanja življenjske združbe s fluoridi (npr. TEŠ in ostali viri v Šaleški dolini, Impol Slovenska Bistrica, TDR Metalurgija Ruše, ipd.). Nasprotno lahko imajo določeni manjši viri poudarjen vpliv na okolje v svoji neposredni bližini; rahlo povečana stopnja zobne fluoroze se lahko tako lokalno pojavlja tudi na nekaterih območjih, kjer tega ne bi pričakovali (slika 49). Očitno je torej, da je zgolj na podlagi kemijskih meritev anorganskih medijev, tj. poznanih emisij oz. obremenjenost okolja s temi onesnažili težko napovedati oz. so takšne napovedi praviloma le lokalno veljavne. Slednje poudarja izreden pomen izvedenega biomonitoringa; z njim je namreč možno prepoznati posamezna lokalna območja onesnaženosti, ki bi jih drugače lahko prezrli, in sicer v njihovi bistveni komponenti – vplivu na izpostavljenost oz. celo na sam odziv osebkov.

5.2.3 Vpliv okoljskih dejavnikov na pojavljanje in prostorsko razporeditev zobne fluoroze srnjadi

Vzroke za prostorsko razporeditev oz. lokalno pojavljanje zobne fluoroze pri srnjadi, odvzeti iz celotne Slovenije leta 2007, smo skušali poiskati s pomočjo GIS orodij, tj. z iskanjem različnih individualnih in okoljskih dejavnikov, tako naravnih kot tudi antropogenih, ki imajo največji vpliv na pojavnost te bolezni. Na to temo je bila do sedaj narejena le ena podobna raziskava na Češkem (Zemek in sod., 2006), vendar prostorsko bistveno manj natančna (vhodni podatki o ZF so bili podani na podlagi povprečja za posamezno lovišče). Pri izvedbi statističnih analiz smo izdelali dva različna multivariatna modela in ju med sabo primerjali v smislu njune uporabnosti pri okoljskih raziskavah.

Z GRM-modelom smo ugotovili, da ima daleč največji vpliv na prostorsko razporeditev in intenziteto zobne fluoroze srnjadi oddaljenost od tovarne aluminija Talum Kidričevo (spremenljivka TALUM_ODD), ki pojasnjuje kar 74 % skupne pojasnjene variance. Glavni vpliv Taluma smo dokazali tudi z metodo regresijskih dreves (slika 52), ter tudi z bivariatno analizo, kjer je največja korelacija med posameznimi neodvisnimi spremenljivkami z DLI ravno pri spremenljivki TALUM_ODD (r = -0,17).

Z GRM-modelom smo sicer ugotovili, da relativno velik delež pojasnjene variance (5 %) pojasni tudi spremenljivka F_ODD (oddaljenost od treh glavnih točkovnih virov emisij), ki je s spremenljivko TALUM_ODD (zaradi ponovnega vključevanja točkovnega vira Talum) sicer v pozitivni soodvisnosti (r = 0,38; p <0,0001; korelacija pa ne presega mejnega praga za vključevanje v multivariatne statistike (r = 0,50); Dillon in Goldstein, 1984; StatSoft Inc., 2010). Nasprotno model regresijskega drevesa to spremenljivko izključi kot pojasnjevalno spremenljivko, saj ima na razdalji do 11 km oddaljenosti od Taluma izključno vlogo na pojav zobne fluoroze le točkovni vir Talum. Ta trditev je skladna z ugotovitvami raziskave na Češkem, kjer se je močna ZF srnjadi pojavljala v obliki otokov okoli največjih virov emisij fluoridov (Zemek in sod., 2006). Na večji oddaljenosti od Taluma točkovni viri (torej tudi TEŠ in TET v njunih vplivnih območjih) nimajo vpliva na pojav ZF srnjadi.

S tem ugotavljamo, da je metoda odločitvenih dreves učinkovitejša za določanje vplivnih dejavnikov na pojav zobne fluoroze kot GRM-model, saj natančneje podaja kaj in pod kakšnimi pogoji povzroča ZF srnjadi ter izključi morebiten ponavljajoči vpliv večih spremenljivk (prednost metode dreves je namreč, da lahko vključimo celoten nabor neodvisnih spremenljivk, ki jih imamo na razpolago, ne glede na njihovo morebitno soodvisnost, saj model te povezave prepozna in sam izloči določene spremenljivke; StatSoft Inc., 2010). Torej tudi **na podlagi analize, izvedene z metodo regresijskih dreves, ugotavljamo, da je le velika količina emisij fluoridov tisti dejavnik, ki dejansko pogojuje nastanek zobne fluoroze**, kar so z določenimi manj natančnimi metodami ugotovili tudi v nekaterih območjih po Evropi (Kierdorf H in sod., 1996a; Kierdorf in sod., 1999). Do sedaj so le Zemek in sod. (2006) skušali poiskati vzroke za nastanek zobne fluoroze srnjadi, a na podlagi prostorsko manj natančnih podatkov o ZF ter brez vključevanja podatkov o emisijah fluoridov; so pa dokazali vpliv zračnega useda žvepla (kot dobrega pokazatelja imisijskih koncentracij fluoridov) na pojav zobne fluoroze pri srnjadi na Češkem.

Največja obremenjenost ekosistemov s fluoridi v Sloveniji se torej pojavlja v neposredni bližini glavnega točkovnega vira. Vendar se vplivi Taluma kažejo na bistveno večji razdalji, kot smo predpostavljali na osnovi podatkov iz literature (Weinstein in Davison, 2004). Razlog za bistveno širši vpliv je verjetno v strukturi pokrajine, prevladujočih vetrovih oz. v vegetaciji, saj v okolici Kidričevega prevladuje nižinski svet, s prevladujočimi zahodnimi oz. severnimi ali severovzhodnimi vetrovi, s katerimi se prenašajo tudi emitirani fluoridi; vetrovi so namreč pomemben okoljski dejavnik, ki vpliva na imisije teh snovi (Viswanathan in sod., 2009; Yang in sod., 2009). Poleg tega je Dravsko polje (tudi Slovenske gorice in delno Haloze) območje intenzivnega kmetijstva z majhnim deležem gozda, ki bi lahko, če bi bil prisoten, prestregel del imisij fluoridov iz ozračja (Notcutt in Davies, 2001; Franzaring in sod., 2006). Puferski vpliv gozda v smislu prestrezanja fluoridov potrjuje tudi dokazani vpliv spremenljivke najbližja oddaljenost od negozdnih površin (ODD_NEG; glej nadaljevanje).

Z metodo regresijskih dreves smo v nadaljevanju odkrili, da na oddaljenosti več kot 11 km od Taluma na zobno fluorozo srnjadi Slovenije vpliva individualni dejavnik starost žival, saj se pojavljajo pomembne razlike v povprečnem DLI med 2 – 4 letno ter 5 in večletno srnjadjo. Spremenljivka starost tudi pri GRM-modelu pojasnjuje 16 % skupne pojasnjene variance; pomen povezave se pokaže tudi z drugo najmočnejšo korelacijo pri bivariatni analizi. Kot smo že omenili, zobna fluoroza pri srnjadi nastane praviloma le v času formacije zobne krone, kar pomeni, da so starostno pogojene razlike posledica časovnih sprememb v onesnaženosti okolja (Kierdorf in sod., 1999; Kierdorf U in Kierdorf H, 2000b). **Ugotovljen vpliv te spremenljivke pri obeh izdelanih modelih torej poudarja, da se je obremenjenost okolja s fluoridi na splošno v Sloveniji po letu 2003 v primerjavi s preteklimi leti zmanjšala**, kar nakazujejo višje stopnje zobne fluoroze pri osebkih, poleženih pred tem letom (sliki 45 in 46).

Tako pomen vpliva točkovnega vira Talum na zobno fluorozo kot tudi **izjemno uporabnost in občutljivost modela regresijskih dreves** nam pokaže ponovno vključevanje spremenljivke TALUM_ODD pri starejši (5 in večletni) srnjadi na oddaljenosti od Taluma med 11 in 19 km. Slednje je najverjetneje povezano z zaključitvijo druge faze programov za modernizacijo primarne proizvodnje aluminija v Talumu v letu 2002 (glej poglavje 3.1.3.2), ko so zgradili novo elektrolizno halo, v letu 2003 pa še sodobno livarno. S tem so se emisije fluoridov v okolje zmanjšale (upad po podatkih ARSO je opazen šele po letu 2004 – preglednica 4; a je potrebno poudariti vprašanje zanesljivosti teh meritev pred letom 2004, ko so se pričele emisije fluoridov v Sloveniji sistematično spremljati). Torej lahko ponovno potrdimo izjemen pomen ocene zobne fluoroze kot bioindikacijske metode v smislu zgodovinskega biomonitoringa onesnaženosti okolja s fluoridi, ki ga s kemijskimi analizami posameznih okoljskih elementov za nazaj ne moremo izvajati.

Pri starejši (5+) srnjadi iz ostale Slovenije, ki ni pod vplivom emisij fluoridov iz največjega točkovnega vira v Sloveniji (oddaljenost >19 km od Taluma), ima na pojavnost in intenziteto zobne fluoroze pomemben vpliv spol živali; le-tega prepozna tudi GRM-model (5 % skupne pojasnjene variance). Ženski spol ima v povprečju nekoliko višji DLI ($\bar{a}$ = 0,82) kot moški spol ($\bar{a}$ = 0,54). Razlik med spoloma niso ugotovili še z nobeno do sedaj narejeno raziskavo o zobni fluorozi srnjadi oz. jelenjadi. Razlike med spoloma so ugotavljali le pri raziskavah vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih oz. kosteh srnjadi, kjer pa nobena izmed raziskav ni potrdila značilnih razlik (Suttie in sod., 1987; Kierdorf in sod., 1989; Vikøren in sod., 1996; glej poglavje 5.1.1). Zaradi tega smo preverili starostno strukturo moškega in ženskega spola znotraj teh dve vozlov (>19 km Talum; starost 5+) in ugotovili, da pri ženskem spolu 30 % odvzete 5+ srnjadi predstavljajo srne v starosti 8 in več let, medtem ko je pri moškem spolu srnjakov, starih 8 in več let, le 18 %. Ugotovljene razlike med spoloma so torej predvsem posledica različne starostne strukture obeh spolov in ne vpliva spola *per se*.

Omenjena razlika v starostni strukturi tega (po številu sicer izjemno relevantnega) podvzorca srnjadi nam odpira popolnoma novo vprašanje, povezano z upravljanjem s srnjadjo, in sicer: **kakšna je razlika med spoloma v starostni strukturi odvzete (in posledično tudi v naravi živeče) odrasle srnjadi v Sloveniji?**

Na podlagi podatkov o osebkih, vključenih v raziskavo zobne fluoroze (n = 10.879), ki vključujejo odvzem (le-ta vsaj pri srnjadi relativno dobro odraža tudi strukturo same populacije) odrasle srnjadi v Sloveniji v letu 2007 (prečiščeni podatki), smo ugotovili, da frekvenčna porazdelitev starosti srnjadi (slika 51) kaže na relativno stabilno strukturo, z zmanjševanjem deleža posameznih starostnih kategorij s starostjo živali. Vendar je pri srnah odvzem bolj enakomerno razporejen po starostnih kategorijah odrasle srnjadi kot pri srnjakih. Pri slednjih je bilo v letu 2007 le 7,2 % odvzetih srnjakov starih 8 let in več, medtem ko je bilo srn, odvzetih v tej starostni kategoriji, 13,3 %. Takšna razlika je lahko posledica selektivnega lova pri moškem spolu. Najstarejšim osebkom namreč moč rogovja že upada in torej za posamezne lovce trofejno niso zanimivi; po drugi strani je tudi uplenitev starejšega srnjaka zaradi njegove večje pazljivosti težja kot uplenitev mlajšega (Simonič, 1976). **Večji delež odvzetih starejših srn v primerjavi s srnjaki pa je lahko tudi posledica dejstva, da je v populaciji dejansko več starejših srn kot srnjakov, kar je lahko tudi posledica specifičnega načrtovanja odvzema srnjadi v Sloveniji.** Odvzem srnjadi po spolu se namreč praviloma načrtuje v razmerju 1 : 1, kar ni skladno z naravno spolno strukturo srnjadi, ki je praviloma nekje 1 : 1,5 oz. 1 : 2 v korist srn (Simonič, 1976; Pokorny, 2009). Manjši odvzem srn tako pušča v populaciji višek ženskega spola, kar se odraža pri doseganju večje povprečne starosti srn v primerjavi s srnjaki (slika 51); predvsem pa ta višek srn pride do izraza, npr., pri povozu srnjadi (princip nadomestne smrtnosti; Krohne, 1998), kjer je povoz starih srn v primerjavi s srnjaki izrazito povečan (npr. Pokorny 2008).

Če se vrnemo na vpliv spola srnjadi na zobno fluorozo, lahko ugotovimo razlike v povprečnem DLI tudi pri mladi srnjadi (v starosti 2 – 4 leta), kjer je bilo število v vzorcu po spolu skoraj enako ($n_{Ž}$ = 3.213; n_{M} = 3.209), a je bila zobna fluoroza pri srnah značilno višja kot pri srnjakih (Z = 3,30; p < 0,001). Tako način življenja, prehranjevanja kot tudi količina zaužite hrane srnic/srnjačkov oz. mladic/lanščakov (tj. v obdobju, ko se lahko razvije ZF) je precej podobna (Hewison in Gaillard, 1996; Krže, 2000), zaradi česar ne prihaja do razlik v količini zaužitih fluoridov. Razlika v zobni fluorozi med spoloma je torej lahko le posledica različne presnove oz. posledica rasti in razvoja rogovičevja pri mladičih oz. prvega rogovja pri lanščakih. Tako zlasti rast prvega rogovja (pri lanščakih) sovpada s časom formacije zobne krone tretjega meljaka in vseh treh stalnih predmeljakov. Tvorba rogovja srnjakov je energetsko zelo potraten proces (pri odraslih srnjakih lahko dnevno zraste tudi do 3 mm; Sempere in sod., 1998), ki v času rasti kopiči številna v kosteh odlagajoča se onesnažila (*bone-seeking pollutants*), kamor spadajo tudi fluoridi (npr. Kierdorf H in Kierdorf U, 2000; Pokorny, 2003; Kierdorf in Kierdorf, 2005). Zaradi tega sklepamo, da se pri lanščakih, ki v času rasti omenjenih štirih zob tvorijo prvo rogovje, znaten del fluoridov iz krvne plazme odloži v samem rogovju, kjer se fluoridi zaradi svoje izjemne elektronegativnosti povezujejo s kalcijem kot osnovnim gradnikom rogovja; (Whitford, 1994; Kierdorf in Kierdorf, 2005; Ozsvath; 2009), kar pomeni manjši vpliv na sklenino in posledično nižjo zobno fluorozo pri moškem spolu.

Naslednji dejavnik, ki vpliva na pojav zobne fluoroze pri srnjadi je oddaljenost od gozdnega roba v notranjost gozda (ODD_NEG). Ta spremenljivka sicer pojasni zelo majhen delež skupne pojasnjene variance z GRM-modelom (1 %), je pa pri obeh analizah vključena kot pojasnjevalni dejavnik. Srnjad je sicer vrsta gozdnega roba (Simonič, 1976), kar pomeni, da del dneva preživi v gozdu, kjer išče kritje in zaščito pred vremenskimi vplivi, del dneva pa

se prehranjuje na odprtih površinah izven gozda (Mysterud, 1998). Nižja zobna fluoroza se pojavi pri tistih osebkih, ki so bili uplenjeni več kot 200 m od gozdnega roba (v notranjost gozda), kar pomeni, da so le-ti najverjetneje večino časa preživeli znotraj gozda, kjer so se tudi hranili. Kot smo že omenili, se antropogene emisije fluoridov, ki so najpomembnejši dejavnik obremenjenosti ekosistemov s fluoridi, z vetrovi skozi atmosfero prenašajo bodisi v obliki plinastih fluoridov bodisi kot prašni delci (Franzaring in sod., 2006; Bellomo in sod., 2007); pri tem je zračni used fluoridov iz atmosfere na rastline najpomembnejša pot vnosa teh snovi v rastlinojede organizme (Notcutt in Davies, 2001; Kierdorf in Kierdorf, 2005). V gozdu se tako del plinastih fluoridov kot tudi prašni delci prestrežejo z drevesnimi krošnjami, kar pomeni, da je podrast (vir hrane "gozdne" srnjadi) s temi snovmi manj obremenjena; posledično je tudi stopnja zobne fluoroze takšnih osebkov nižja.

Z izvedbo multivariatnih statističnih analiz smo ugotovili, da je glavni dejavnik obremenjenosti ekosistemov s fluoridi v Sloveniji antropogena dejavnost in da v okolju Slovenije ni večjih naravnih virov teh snovi. Tako imamo v Sloveniji le eno območje, kjer je obremenjenost ekosistemov (habitata srnjadi) že na kritični meji onesnaženosti (Dravsko polje, del Slovenskih goric in Haloz). Poleg tega smo z izvedbo dveh različnih multivariatnih metod ugotovili, da je smiselna hkratna uporaba tako metode regresijskih dreves kot tudi uporaba GRM(GLM)-modela, kjer prva metoda natančneje pojasnjuje povezave oz. jasno podaja, kdaj so neke spremenljivke povezane (ugotavlja tudi nemonotone povezave), medtem ko druga metoda natančneje podaja moč teh povezav.

5.2.4 Zobna fluoroza srnjadi, odvzete iz območja Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009, kot zgodovinski bioindikator onesnaženosti okolja s fluoridi

Bioindikacija onesnaženosti okolja s fluoridi s pomočjo določanja stopnje zobne fluoroze se v večini do sedaj objavljenih raziskav uporablja le v smislu prostorske bioindikacije, in sicer: (i) za ugotavljanje morebitne onesnaženosti določenega območja s fluoridi (Kierdorf U in Kierdorf H, 1999; Garrott in sod., 2002); (ii) za primerjavo onesnaženosti med posameznimi območji (Kierdorf H in sod., 1996a; Vikøren in Stuve, 1996); (iii) za ugotavljanje obremenjenosti s fluoridi znotraj večjega območja/regije (Kierdorf in sod., 1999; Zemek in sod., 2006; Jelenko in sod., 2010b). Z doktorskim delom smo želeli te raziskave dopolniti tudi v smislu možnosti uporabe zobne fluoroze za zgodovinsko bioindikacijo onesnaženosti okolja s fluoridi (preliminarno že predstavljeno v Jelenko in sod., 2008, 2009), in sicer z namenom uporabe tega specifičnega odzivnega bioindikatorja kot pokazatelja učinkovitosti sanacijskih ukrepov na določenem točkovnem viru; kot točkovni vir smo izbrali TEŠ, kot največji vir emisij fluoridov v Šaleški dolini (Zrak, 2010).

Stopnja zobne fluoroze odrasle srnjadi (združene vse starostne kategorije), odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009, se je gibala znotraj ranga DLI: 0 – 15. Povprečen DLI v celotnem obravnavanem obdobju je znašal $\bar{a} = 0,7 \pm 0,1$, kar je v primerjavi z ocenjenimi vrednostmi močno obremenjenih območij v Evropi (npr. nemško-češko mejno območje: $\bar{a} = 5,7$; Max = 23 (Kierdorf in sod., 1999) oz. $\bar{a} = 8,1$; Max = 21 (Zemek in sod., 2006) izjemno nizka povprečna ocena zobne fluoroze srnjadi. Če primerjamo frekvenco ZF, ki v Šaleški dolini za vsa leta skupaj znaša 16,8 % (rang: 7,0 % – 36,9 %), ravno tako ugotovimo, da je precej manjša, kot so frekvence na omenjenem nemško-češkem območju (Eibenstock: 53 %, Nejdek: 78 %, Karlovy Vary: 100 %; Kierdorf H in sod., 1996a), a večja kot v kontrolnem območju iste študije (0 %; *ibid.*) oz. na območju dveh manjših topilnic aluminija na Norveškem (1,7 %; Vikøren in Stuve, 1996).

Podobno kot vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz Šaleške doline v obdobju 1997 – 2009, tudi frekvenca in/ali stopnja zobne fluoroze (DLI), ki sta najvišji pri najstarejših vzorcih in najnižji pri najmlajših, potrjujeta, da se je onesnaževanje Šaleške doline s fluoridi v obdobju 1997 – 2009 zmanjševalo (slika 54). Ravno tako kot v primeru vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, je glavni razlog za upad zobne fluoroze srnjadi izgradnja dveh razžveplalnih naprav na 4. in 5. bloku TEŠ v letih 1995 in 2000, saj je med povprečno stopnjo zobne fluoroze in emisijami prahu oz. emisijami SO_2 iz TEŠ (oboje odlično odraža tudi emisije fluoridov; glej poglavje 5.1.2) visoka pozitivna korelacija (slika 57). Vendar v nasprotju z vsebnostmi fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, kjer se spremembe v onesnaženosti okolja s fluoridi pokažejo že v naslednjem letu, pri zobni fluorozi prihaja do zamika v upadu le-te, upoštevaje leta izvedbe sanacijskih ukrepov na TEŠ. Tako lahko očiten upad tako frekvence ZF (slika 54) kot tudi DLI (preglednica 38) opazimo po letih 1997, 2002 oz. 2005. S tem prihaja do izraza specifičnost zobne fluoroze kot odzivne biondikacijske metode. Zobna fluoroza je namreč poseben pojav hipomineralizacije zobnega tkiva, ki nastaja izključno v obdobju rasti zobovja (formacije zobne krone). Zunanji znaki zobne fluoroze (patološke spremembe zobnega tkiva, predvsem sklenine) pa postanejo v največji meri vidni šele po prvem letu starosti; torej se kažejo šele pri osebkih, starih 2 leti in več (Kierdorf H in sod., 1996a). Zobna fluoroze je sicer odličen in specifičen ter kot tak relevanten (!) bioindikator onesnaženosti okolja s fluoridi (npr. Kierdorf H in sod., 1996a; Kierdorf U in Kierdorf H, 1999; Garrott in sod., 2002; Zemek in sod., 2006; Jelenko in sod., 2010b), vendar moramo pri časovnih primerjavah vedno upoštevati minimalno dvoleten zamik pri ocenjevanju uspešnosti sanacijskih ukrepov oz. sprememb v obremenjenosti okolja s fluoridi.

Omenjeni upad zobne fluoroze po letu 1998 je statistično značilen (preglednica 39) in nakazuje na spremembe v onesnaženosti Šaleške doline s fluoridi po letu 1995, ko je bila zgrajena prva naprava za čiščenje dimnih plinov na TEŠ. Vsi osebki, vključeni v oceno zobne fluoroze v letu 1997, so bili namreč poleženi pred ali v letu izgradnje te naprave in so bili torej v času rasti zobovja podvrženi velikim koncentracijam fluoridov. Nasprotno so bili vsi osebki mlade (2 – 4 letne) in del osebkov srednje stare (5 – 7 letne) srnjadi iz obdobja 1998 – 2002 poleženi v letih med izgradnjo obeh razžveplalnih naprav na TEŠ (še vedno so bili v času rasti zobovja podvrženi povišanim vsebnostim fluoridov). Upad po letu 2002, ki sicer ni statistično značilen, se kaže le kot upad ZF oz. DLI pri mladi (2 – 4 letni) srnjadi, ki je bila v času rasti zobovja podvržena močno znižanim koncentracijam fluoridov v okolju kot posledica izgradnje druge razžveplalne naprave TEŠ v letu 2000. Podobno je upad po letu 2005, ki je na meji statistične značilnosti, predvsem posledica upada ZF oz. DLI pri srednje stari (5 – 7 letni) srnjadi, odvzeti v obdobju 2006 – 2009, katera je bila ravno tako poležena po letu 2000 in torej izpostavljena nižjim koncentracijam fluoridov v njihovem habitatu. Dodaten upad pri mladi srnjadi po tem letu (2005) pa je ponovno dokaz postopnega "naravnega" zmanjševanja koncentracij fluoridov v okolju s časom ob zmanjšanju emisij iz točkovnih virov. Zamik pri upadu frekvence ZF oz. DLI stare (8+) srnjadi, ki se pokaže šele z zadnjim obdobjem, je ravno tako posledica sanacijskih ukrepov na TEŠ, uvedenih v letu 1995 oz. v zadnjem obdobju posledica sanacije v letu 2000. Vendar je pri tej starostni kategoriji prevelika variabilnost v številu vzorcev za natančnejše primerjave.

S temi ugotovitvami smo dokazali, da je zobna fluoroza (izražena bodisi kot frekvenca ZF bodisi kot povprečen DLI) lahko zelo učinkovit in občutljiv odzivni bioindikator onesnaženosti okolja s fluoridi, ki ga lahko zelo uspešno uporabljamo tudi za zgodovinsko bioindikacijo. Pri tem moramo biti pozorni na specifiko te metode, kajti le-ta odraža obremenjenost nekega območja s fluoridi v času rasti zobovja določenega osebka, tj. pri srnjadi do 12. – 14. meseca starosti. Dejanska prisotnost ZF na zobovju se izkazuje z manjšim časovnim zamikom (žival mora biti stara vsaj dve leti), ko je izraščeno zobovje podvrženo tudi zunanjim dejavnikov – tj. kemični in mehanski vpliv na manj odporno hipomineralizirano sklenino, ki se kaže v hitrejši izgubi površine sklenine in pospešeni obrabi zobovja (Kierdorf U in Kierdorf H., 1999; Kierdorf in sod., 1999). Zaradi tega je pri zgodovinski bioindikaciji onesnaženosti okolja s pomočjo ZF nujno potrebno poznati vsaj okvirne starosti osebkov, saj različno stari osebki, odvzeti iz istega območja v istem letu ne odražajo stanja onesnaženosti tega leta, temveč stanje okolja tistega leta, v katerem je pri osebku trajal proces tvorbe stalnega zobovja. Torej, če v letu 2010 odvzamemo osebek, star 3 leta, njegova zobna fluoroza odraža stanje onesnaženosti okolja s fluoridi v letu 2007 in v začetku leta 2008, medtem ko osebek, star 10 let, odvzet v letu 2010, odraža stanje okolja leta 2000 in v začetku leta 2001.

Časovno spreminjanje zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz Šaleške doline, v prostoru

Na uspešnost izvedenih sanacijskih ukrepov na Termoelektrarni Šoštanj lahko sklepamo tudi s pomočjo prostorskega biomonitoringa, katerega kot je bilo omenjeno v Evropi že uspešno uporabljajo za določanje oz. medsebojno primerjavo večjih območij v smislu izpostavljenosti povečanim koncentracijam fluoridov v okolju (Kierdorf in sod., 1999; Zemek in sod., 2006). Podobno smo za Šaleško dolino izdelali tri karte povprečne stopnje zobne fluoroze srnjadi, odvzete znotraj petih lovišč, in sicer za leta 1997, 2001 ter 2007 in s tem vključili še retrospektivni biomonitoring. V letu 1997 (slika 55) smo zobno fluorozo srnjadi Šaleške doline ocenjevali pri osebkih, ki so bili glede na starost (2 in več let) poleženi v letih pred izgradnjo prve razžveplalne naprave. Opaziti je zelo nizek povprečen DLI pri skoraj vseh loviščih (v lovišču Velenje skoraj ni zobne fluoroze srnjadi), ki je v primerjavi z mejnim nemško-češkim območjem značilen le za robna območja Saškega Rudogorja, za občine, ki so najdlje stran od točkovnih virov emisij fluoridov na Češkem (Kierdorf in sod., 1999). V letu 2001 smo zajeli srnjad, ki je bila v >75 % primerov poležena med letoma 1995 in 2000 (večinoma gre za odvzeto 2 – 4 letno srnjad), tj. po izgradnji prve naprave za čiščenje dimnih plinov na TEŠ, kar se odlično odraža v upadu povprečnega DLI srnjadi v letu 2001 v loviščih Velunja, Škale in Oljka. Staje v lovišču Smrekovec je nespremenjeno v primerjavi z letom 1997. V letu 2007 smo zajeli živali, ki so bile v veliki večini (vsaj 90 %) poležene v oz. po letu 2000 (odvzeta srnjad v starosti 2 – 7 let); upad DLI v tem letu torej pomeni zmanjšanje onesnaženosti Šaleške doline s fluoridi po letu 2000, kar ponovno potrjuje učinkovitost izvedenih sanacijskih ukrepov na TEŠ v smislu bistvenega zmanjšanja onesnaženosti okolja s fluoridi.

Deveti decil DLI v primerjavi s povprečnim DLI (slika 56) bistveno bolj natančno ponazarja intenziteto ZF, saj dobimo s tem boljši vpogled v stopnjo ZF tistih osebkov, ki te spremembe dejansko odražajo (DLI ≠ 0) (DLI se namreč razporeja logaritemsko; večina vzorcev ima DLI = 0, kar močno zmanjšuje povprečje in se dejanska višina ocene (stopnja/intenziteta) ZF tistih osebkov, ki imajo ZF, s tem zabriše). Višina ocenjene ZF

(tj. DLI) nam namreč poda vpogled v intenziteto onesnaženosti okolja s fluoridi, in ne samo, ali je neko območje s temi snovmi onesnaženo ali ne. Zaznan upad povprečnega DLI pri srnjadi, odvzeti v letu 2001, se pri devetem decilu DLI odraža šele pri srnjadi, odvzeti v letu 2007. Pri srnjadi, odvzeti v letu 2001, so namreč poleg osebkov, poleženih po izgradnji čistilne naprave v letu 1995, vključeni še osebki, ki so bili poleženi pred izgradnjo razžveplevalne naprave in tako odražajo onesnaženost okolja s fluoridi pred izvedbo tega sanacijskega ukrepa. Upad, ki se pojavi pri srnjadi, odvzeti v letu 2007, pa je odraz združenega vpliva izvedbe sanacijskih ukrepov na TEŠ v letih 1995 in 2000. Učinek razžveplalne naprave, zgrajene leta 2000, se namreč pojavlja pri srnjadi stari 2 – 7 let, medtem ko je upad pri starejši srnjadi (8+) posledica sanacijskih ukrepov, izvedenih v letu 1995.

Omenjena primerjava stopnje zobne fluoroze odrasle srnjadi iz Šaleške doline s podatki o zobni fluorozi srnjadi iz češko-nemškega mejnega območja – tako povprečne vrednosti DLI kot maksimalne vrednosti (Kierdorf in sod., 1999; Zemek in sod., 2006; preglednica 3), potrjuje, da kljub očitnim trendom zmanjševanja povprečnega DLI pri srnjadi iz Šaleške doline, le-ta nikoli ni izkazovala visoke stopnje zobne fluoroze, kar pomeni, da ni bila nikoli izpostavljena zelo velikim koncentracijam fluoridov v okolju. **Zaključimo lahko, da zobna fluoroza odlično odraža upad emisij plinastih onesnažil in prahu iz TEŠ ter s tem potrjuje uspešnost izvedenih sanacijskih ukrepov na tem termoenergetskem objektu, in sicer tudi v smislu bistveno manjše izpostavljenosti življenjske združbe oz. ekosistemov Šaleške doline tem onesnažilom.**

5.2.5 Zobna fluoroza srnjadi naravovarstveno pomembnih območij Slovenije

Eden od ciljev ohranjanja biotske raznovrstnosti v Sloveniji je tudi ohranitev ekosistemov skozi ohranjanje ugodnega stanja habitatnih tipov. Slednje je doseženo, kadar: (i) je območje habitatnega tipa ali površina, ki jo pokriva, stabilna; (ii) obstajajo specifična struktura in funkcije, ki so nujne za njeno trajnostno vzdrževanje; (iii) je stanje ohranitve tipičnih vrst habitata ugodno (Habitatna direktiva, 1992). K bolj ciljnemu in učinkovitemu ohranjanju biotske raznovrstnosti *in-situ* ključno pripomorejo določene podporne dejavnosti, kamor štejemo tako monitoring kot tudi znanstveno raziskovanje. Za varstvo tako ekosistemov kot tudi ključnih vrst je namreč nujno potrebno, da se najprej ugotovi stanje, v nadaljevanju pa spremlja in ugotavlja morebitne spremembe. Poleg tega je potrebno okrepiti raziskovanje, ki prispeva k identifikaciji biotske raznovrstnosti in učinkovitemu ukrepanju pri njenem ohranjanju (Strategija ohranjanja …, 2002).

Skladno s tem smo implementirali znanstveno-raziskovalno metodo odzivne bioindikacije (makroskopsko določevanje stopnje zobne fluoroze kot specifične morfološke spremembe sklenine), s pomočjo katere smo preverjali stanje ekosistemov (habitata srnjadi) vseh treh ključnih naravovarstveno pomembnih kategorij območij v Sloveniji (EPO, Natura 2000 območja ter zavarovana območja Slovenije), in sicer v smislu njihove obremenjenosti s fluoridi kot toksičnimi substancami v okolju (Ponikvar, 2008; CERCLA …, 2010). Fluoridi lahko poleg akutnih zastrupitev tako živali kot ljudi (Fluorides …, 2009; Ozsvath, 2009) vplivajo tudi na skrajšanje pričakovane življenjske dobe nekaterih prostoživečih živali, predvsem parkljarjev (Schultz in sod., 1998; Boulton in sod., 1999; Garrott in sod., 2002) oz. vplivajo na zmanjšanje reproduktivne sposobnosti predvsem moških osebkov (npr.

Collins in sod., 1995; Fluorides …, 2009). Poleg tega lahko fluoridi močno negativno vplivajo tudi na rastline (Baars in sod., 1987; Kinnunen in sod., 2003; Weinstein in Davison, 2004), saj pri določenih manj odpornih vrstah povzročajo pomanjkljivo proizvodnjo klorofila, odmiranje listov ter zaviranje rasti (Fluorides …, 2009).

V Sloveniji smo skladno z že omenjenimi ugotovitvami o pojavnosti in intenziteti zobne fluoroze srnjadi, odvzete znotraj celotne Slovenije (poglavje 5.2.2), ugotovili, da imajo na splošno vse enote znotraj EPO območij, območij Natura 2000 ter zavarovanih območij Slovenije izjemno nizko povprečno stopnjo zobne fluoroze srnjadi (povprečen DLI = 0 – 2; slike 59 – 61). Le v okolici tovarne aluminija v Kidričevem se pojavljata nekoliko povišani tako intenziteta kot tudi pojavnost ZF. Tako imajo enota Dravsko polje (povprečen DLI: >3 – 4) kot del ekološko pomembnih območij, enota Boč – Haloze – Donačka gora (povprečen DLI: >2 – 3) kot del ekološko pomembnih območij ter območje Natura 2000, enota Dravinjska dolina (povprečen DLI: >2 – 3) kot del območja Natura 2000 ter Krajinski park Boč – Donačka gora (povprečen DLI: >2 – 3) kot zavarovano območje nekoliko povišano stopnjo zobne fluoroze. Slednje kaže na to, da so tukaj ekosistemi/habitat srnjadi s temi snovmi nadpovprečno onesnaženi v primerjavi z ostalo Slovenijo; vendar, če te podatke primerjamo s podatki iz ostalih predelov Evrope (Kierdorf in sod., 1999; Zemek in sod., 2006), ugotovimo, da je tukaj izpostavljenost fluoridom sicer povečana, vendar ni kritična, vsaj ne v smislu velikega tveganja za parkljarje. Kljub temu pa bi bilo v prihodnosti tem območjem nujno potrebno nameniti dodatno pozornost in njihovo onesnaženost s fluoridi budno spremljati z vzpostavitvijo dolgoročnega monitoringa s primerljivo metodo (tj. določanje stopnje zobne fluoroze srnjadi tudi v naslednjih letih oz. v določenem časovnem razponu, npr. petih let).

V omenjenih območjih bi veljalo izvesti tudi dodatne raziskave vpliva fluoridov, in sicer predvsem na zavarovane rastlinske in živalske vrste. Vpliv fluoridov v teh območjih je namreč poleg dokazanega vpliva na srnjad prisoten tudi pri ostalih organizmih, ki pa niso bili predmet te raziskave. Določitev celokupnega vpliva je pomembno za dolgoročno ohranjanje ugodnega stanja tako vrst kot celotnih ekosistemov teh območij/enot.

S tem delom raziskave smo prišli do še enega izjemno pomembnega rezultata, saj smo **določili izhodiščno stanje obremenjenosti ekosistemov/habitata srnjadi vseh večjih** (Min 10 km^2) **naravovarstveno pomembnih območij Slovenije s fluoridi (v letu 2007) ter podali pomembno izhodišče za nadaljnji monitoring** kot osnovo za spremljanje stanja naravovarstveno pomembnih območij oz. za pomoč pri ohranjanju njihovega ugodnega stanja.

5.3 DOLŽINE SPODNJIH ČELJUSTI SRNJADI KOT ODRAZ VITALNOSTI OSEBKOV

Kot merilo velikosti skeleta (in posledično osebka) se v primeru prežvekovalcev lahko zelo adekvatno uporabljajo enostavne linearne meritve spodnjih čeljusti. Challies (1978) je tako ugotovil, da je dolžina spodnje čeljusti najboljši bioindikator sprememb v kakovosti prehrane navadnih jelenov. Ker je dednostni vpliv na razvoj te kosti neizrazit (Mitchell in sod., 1986), rast spodnje čeljusti pa je zelo hitra takoj po rojstvu oz. v prvem letu življenja, sta razvoj in posledično velikost spodnje čeljusti posebno občutljiva na prehranske in ostale okoljske razmere v začetnem obdobju rasti osebkov. Povprečna velikost spodnje čeljusti srnjadi znotraj določene kohorte torej odraža habitatno primernost v letu rojstva te kohorte, zato je primerjava med kohortami lahko zelo uporaben kazalec tako prostorske kot tudi časovne variabilnosti v velikosti okostja in podaja razlike v kakovosti habitata v povezavi z gostoto populacije (Hewison in sod., 1996; Pettorelli in sod., 2001; Zannèse in sod., 2006a; Couturier in sod., 2010).

5.3.1 Vpliv spola in starosti na dolžino spodnjih čeljusti srnjadi

Skladno s sicer neizrazitim spolnim dimorfizmom srnjadi smo dokazali, da je moški spol odrasle srnjadi značilno večji od ženskega (preglednica 41), in sicer tako pri mladi, srednje stari in stari srnjadi (slika 62). Na podlagi vseh izmerjenih spodnjih čeljusti odrasle srnjadi je povprečna dolžina čeljusti srnjakov v Sloveniji 157,9 mm, srn pa 156,6 mm. Razlike so lahko deloma odraz dejstva, da je selektivni odstrel starejših srnjakov predvsem posledica trofejnega odstrela (trofejno močni osebki so praviloma tudi telesno močnejši, saj je trofeja odraz presežka energije, ki jo srnjak vloži v rast rogovja; Krže, 2000). Nasprotno je v številnih loviščih odstrel srn usmerjen na odstrel šibkejših osebkov tega spola. Pri enoletnih osebkih smo ugotovili, da imajo v združenem vzorcu celotnega letnega odvzema mladice v povprečju precej daljše spodnje čeljusti (150,0 mm) kot lanščaki (146,6 mm), kar je posledica tega, da se lanščaki iz lovišč odvzamejo praviloma štiri do pet mesecev prej kot mladice. Lovna doba na lanščake je namreč od 1. maja do konca oktobra (z največjo intenziteto odstrela v prvih dveh/treh mesecih), medtem ko se mladice v posameznih družinah pričnejo odstreljevati šele septembra (kljub temu, da je odstrel odprt s 1. majem), s čimer se želijo izogniti morebitnemu odstrelu starejših srn, ki se lahko lovijo šele s septembrom. Po drugi strani je v nekaterih loviščih odstrel lanščakov pogoj za odstrel starejših srnjakov, zaradi česar je odstrel lanščakov pospešen v začetku poletja. Pri mladičih srnjadi ni značilnih razlik med spoloma v dolžini spodnjih čeljusti.

Spodnje čeljusti srnjadi predstavljajo del skeleta osebka, ki pri sesalcih do določene starosti raste, nato pa se rast ustavi oz. je le-ta minimalna (osebek doraste); pri srnjadi naj bi se rast zaključila nekje v drugem letu življenja (Linnell in sod., 1998b). Na podlagi tega smo tudi sami skušali ugotoviti, kakšen vpliv ima starost na dolžine spodnjih čeljusti srnjadi celotne Slovenije. Tako smo izrisali krivuljo rasti za mladiče in enoletne osebke (slika 64), žal pa smo imeli na razpolago le čeljusti odvzema iz leta 2007, kar pomeni, da enoletni osebki vključenim mladičem predstavljajo predhodno kohorto, poleženo v letu 2006. Dolžina spodnje čeljusti pri mladičih enakomerno narašča pri obeh spolih (med spoloma ni značilnih razlik; preglednica 45), s tem, da imajo srnjački v celotnem obdobju rahlo daljše čeljusti. Slednje ni posledica večje intenzitete rasti čeljusti pri moškem spolu, temveč posledica tega,

da so že začetne dolžine pri srnjačkih daljše ($\bar{a}_{M(1/9)}$ = 123 mm; $\bar{a}_{ž(1/9)}$ = 122 mm), ker se srnjački praviloma polegajo nekoliko večji kot srnice (zbrano v Krže, 2000). Rast pri obeh spolih je zelo izrazita do začetka decembra, nato pa se počasi upočasni, kar je najverjetneje povezano s pojavom snega in s tem s slabšo prehransko ponudbo ter povečano izgubo energije v zimskih mesecih. Rast enoletnih osebkov je v primerjavi z mladiči precej bolj počasna. Medtem ko so pri mladičih povprečno spodnje čeljusti v obdobju od začetka septembra do konca decembra v enem mesecu zrasle za 3,0 mm, so pri enoletnih osebkih v obdobju od začetka maja do konca oktobra le-te mesečno povprečno zrasle za 1,0 mm pri mladicah in 1,2 mm pri lanščakih. V naslednjem letu, tj. do drugega leta starosti, spodnje čeljusti še vedno rastejo, rast pa se pri tem letu ustavi (slika 62), saj med mlado (2 – 4 letno), srednje staro (5 – 7 letno) in staro (8+) srnjadjo ni značilnih razlik v dolžini spodnjih čeljusti (preglednica 43). Pri tem je potrebno poudariti, da so tako velike razlike v velikosti enoletnih in 2 – 4 letnih osebkov na sliki 62 posledica tega, da gre za povprečne dolžine spodnjih čeljusti srnjadi, ki je bila odvzeta v celem letu 2007, zato razred enoletnikov zajema vse osebke, odstreljene od maja do oktobra/decembra, v času, ko le-ti še rastejo (velika variabilnost dolžin znotraj tega strukturnega razreda).

Naraščanje dolžin spodnjih čeljusti srnjadi s starostjo je tako izredno pomembno v prvem letu življenja osebkov, ko je rast živali najbolj intenzivna. Začetno velikost, ki jo osebek pridobi po prvem letu starosti, lahko namreč le delno "popravi" kot enoleten osebek v drugem letu starosti, saj je rast takrat bistveno počasnejša. Torej je leto poleganja oz. prvo leto življenja pri srnjadi tisto, ki določa telesne velikosti (in posledično dolžine spodnjih čeljusti celotne kohorte) (Hewison in sod., 1996), kar je skladno z raziskavami nekaterih drugi avtorjev, ki so bile izvedene predvsem na podlagi proučevanja telesnih mas mladičev srnjadi (npr. Andersen in Linnell, 1997; Couturier in sod., 2010). **Vendar pa lahko trdimo, da so dolžine spodnjih čeljusti srnjadi v primerjavi s telesno maso le-te bistveno primernejši kazalec za določanje vitalnosti osebka.** Dolžina čeljusti namreč nikoli ne more upasti in vedno odraža kvaliteto okolja v prvih dveh letih starosti (npr. Linnell in sod., 1998b; Gaillard in sod., 2000) ter torej **predstavlja naravno standardiziran vzorec**. Slednje za telesne mase, ki so podvržene sezonskemu nihanju, povezanemu z različnimi dejavniki, npr. vsakoletno sezonsko spreminjanje telesnih mas zaradi spreminjajoče se aktivnosti ter energetskih potreb živali (izguba energije zaradi poleganja mladičev in laktacije pri srnah ter udeležbe v prsku ali rasti rogovja pri srnjakih; Pettorelli in sod., 2002; Mysterud in Østbye, 2006a; Pokorny, 2009), oz. so odvisne od časa uplenitve osebkov in selektivnega odstrela (Kjellander in sod., 2006; Pokorny, 2008), ne velja. **Tako so spodnje čeljusti zaradi dosegljivosti vzorcev in predvsem zaradi dokaj hitrega končanja rasti** (standardiziranost vzorca) **zelo uporaben pripomoček tudi za upravljanje s populacijami srnjadi in ostalih prostoživečih prežvekovalcev** (npr. Nugent in Frampton, 1994; Høye in Forchhammer, 2006).

Iz slike 64 lahko razberemo še eno zelo pomembno ugotovitev, in sicer, da so dolžine spodnjih čeljusti mladic (predvsem od julija naprej) v povprečju daljše kot dolžine spodnjih čeljusti lanščakov. Slednje je neskladno z dejstvom, da pri srnjadi obstaja (sicer dokaj šibek) spolni dimorfizem, ki se poleg rogovja, ki ga imajo le srnjaki, odraža tudi v velikosti osebka – samci so praviloma večji od samic (Gaillard in sod., 1989; Focardi in sod., 2002). Poleg že omenjene različne lovne dobe oz. tendence odstrela je pri moškem spolu enoletne srnjadi namreč poudarjen gojitveni odstrel trofejno in praviloma tudi telesno šibkejših (manjših)

osebkov (gumbarjev). Takšen odvzem je poudarjen zaradi želje po lepših trofejnih srnjakih, v biološkem smislu pa je priporočen zaradi tega, ker starejši teritorialni srnjaki ponavadi odganjajo močnejše lanščake (s tem je zagotovljen večji genski pretok med različnimi deli populacij oz. celo (sub)populacijami), ki jih vidijo kot svoje tekmece, medtem ko šibkejše praviloma pustijo pri miru (npr. Wahlström, 1994). Ker pa so poleg srnjakov tudi srne teritorialne in lahko več let zapored živijo znotraj istega teritorija (npr. Simonič, 1976; Mysterud, 1998, 1999; Panzacchi in sod., 2001), je odstrel šibkejših lanščakov smiseln tudi zaradi preprečevanja parjenja v sorodstvu (*inbreeding depression*).

5.3.2 Razlike v velikosti srnjadi med naravnogeografskimi regijami Slovenije in določitev vpliva okoljskih dejavnikov

Med petimi, za to raziskavo tvorjenimi, naravnogeografskimi regijami Slovenije (glej sliko 11) prihaja do velikih statističnih razlik v dolžini spodnjih čeljusti srnjadi pri vseh starostnih kategorijah. Najizrazitejše so te razlike pri mladičih (preglednica 45), kjer ni značilnih razlik v dolžini čeljusti srnjadi le med submediteransko Slovenijo ter alpsko in predalpsko Slovenijo (v nadaljevanju alpska Slovenija). Daleč najdaljše spodnje čeljusti imajo mladiči srnjadi iz panonske Slovenije (sliki 65), ki pa odstopajo tudi zaradi večje tendence odvzema v drugi polovici lovne dobe v primerjavi z ostalimi štirimi regijami (slika 63).

Do dejanskih razlik v dolžini spodnjih čeljusti (oz. telesnih velikosti) mladičev prihaja iz različnih vzrokov. Zdi se, da pri mladičih najpomembnejšo vlogo igra predvsem geografska dolžina in delno nadmorska višina, ki pogojujeta dobo poleganja. Za srnjad je sicer značilna velika sinhroniziranost poleganja mladičev, ki pa je odvisna od geografskih razmer (zbrano v Pokorny, 2003). Na podlagi naših rezultatov ugotavljamo, da se kljub temu, da je Slovenija precej majhna, znotraj nje pojavljajo različna "obdobja" oz. zamik časa poleganja mladičev. Slednji se najprej polegajo v jugozahodni Sloveniji, "srednji" dan poleganja pa se proti severovzhodu zamika. Najkasneje se poležejo mladiči na višjih nadmorskih višinah (alpska Slovenija). To sklepamo iz različnih funkcij rasti spodnjih čeljusti mladičev srnjadi med regijami (slika 63). Največjo "začetno vrednost" (povprečna dolžina na dan 1. 9. 2007) imajo namreč mladiči srnjadi iz submediteranske Slovenije, nato sledi prvo območje proti vzhodu, tj. visoke kraške planote ter panonska in subpanonska Slovenija. Najkrajše začetne dolžine spodnjih čeljusti imajo mladiči alpske Slovenije. Da razlike v hitrosti rasti spodnjih čeljusti mladičev (obdobje od poleganja do 1. 9. 2007) ne vplivajo na našo domnevo, potrjujejo regresijski parametri funkcije naraščanja dolžin spodnjih čeljusti mladičev srnjadi s časom (za katere domnevamo da so enaki v obdobju od poleganja do 1. 9. ter v obdobju od 1. 9. 2007 do 31. 12. 2007; preglednica 44). V sumbmediteranski Sloveniji (kjer so največje začetne dolžine) je namreč regresijski koeficient najmanjši, kar pomeni, da je rast čeljusti tukaj najpočasnejša. Edino zgodnejše poleganje mladičev v tej regiji torej lahko pojasni nekoliko daljše povprečne dolžine spodnjih čeljusti na dan 1. 9. 2007. Ravno obratno velja za alpsko Slovenijo – kljub temu, da je regresijski koeficient tukaj največji in je torej rast spodnjih čeljusti mladičev tukaj najhitrejša, so bile dolžine slednjih na dan 1. 9. 2007 najmanjše, kar si zopet razlagamo s kasnejšim poleganjem mladičev v alpski Sloveniji. Po tej domnevi bi sicer morale biti povprečne dolžine spodnjih čeljusti mladičev srnjadi v panonski Sloveniji na začetni dan (1. 9. 2007), ker naj bi bili kasneje poleženi, krajše od povprečnih dolžin čeljusti mladičev iz subpanonske Slovenije. Vendar so habitatni tipi panonske Slovenije ugodnejši za vitalnost srnjadi (glej nadaljevanje), zato se najverjetneje mladiči v tej regiji polegajo večji, podobno kot so na telesnih masah mladičev iz Francije, ki so se polegali v različnih okoljskih pogojih, dokazali Pettorelli in sod. (2001).

Takšen zamik "srednjega" dneva poleganja le delno sovpada s fenološkimi kartami Slovenije (npr. cvetenje regrata, olistanje bukve oz. cvetenje lipe; glej Fridl in sod., 1998), ki so podvržene predvsem nadmorski višini, zaradi česar je razvoj fenoloških faz rastlinstva submediteranske in (sub)panonske Slovenije precej podoben. Fenološke faze na zamik poleganja mladičev srnjadi tako vplivajo le v alpskem svetu.

Različni avtorji (npr. Vincent in sod., 1995; Focardi in sod., 2002; Pettorelli in sod., 2002; Cobben in sod., 2009;) trdijo, da na velikost mladičev srnjadi vpliva tudi gostota populacije te vrste, in sicer naj bi bili mladiči v času velike populacijske gostote manjši (lažji) v primerjavi z mladiči iz v času majhne gostote srnjadi. Na podlagi tega, da telesna masa mladičev odraža tudi velikost osebkov, torej dolžino spodnjih čeljusti, in povprečne gostote odvzema srnjadi v Sloveniji (slika 4), ugotovimo, da gostota srnjadi v Sloveniji po vsej verjetnosti prostorsko ne vpliva na dolžino spodnjih čeljusti mladičev srnjadi. Na podlagi primerjav dolžin čeljusti mladičev med posameznimi LUO (sliki 66) namreč vidimo, da so v Sloveniji poleg Pomurskega, Posavskega in Ptujsko-Ormoškega LUO (velike gostote odvzema srnjadi ter ugoden habitat) največje povprečne dolžine čeljusti mladičev v območjih z najmanjšimi gostotami odvzema te vrste (Novomeško, Notranjsko in delno Kočevsko-Belokranjsko LUO). Nasprotno so najmanjše čeljusti poleg Primorskega LUO (velike gostote odvzema) tudi v Triglavskem in Zahodno-visokokraškem LUO, za katere so značilne majhne gostote odvzema populacij srnjadi.

Najdaljše dolžine spodnjih čeljusti imajo torej tako pri ženskem kot pri moškem spolu mladiči srnjadi panonske in subpanonske Slovenije (slike 65, 66), regije zmernega celinskega podnebja z višjimi povprečnimi temperaturami in manjšo količino padavin, ki pa padejo predvsem v poletnem in jesenskem času (najmanj pozimi) ter tako omogočajo rast rastlinstva (Fridl in sod., 1998; Perko in Orožen Adamič, 1999). Geomorfološko gre za območje nižinskega oz. gričevnatega sveta z majhnimi nakloni, kar omogoča intenzivno kmetijstvo, ki predstavlja večino rabe tal. Pogosto so prisotni tudi gozdovi plodonosnih listavcev (Fridl in sod., 1998), ki dokazano pozitivno vplivajo na velikost srnjadi (Jędrzejewska in sod., 1994). Torej ima srnjad v tej regiji na razpolago dosti kvalitetne hrane, ki je osnova za večjo velikost osebka (Hewison in sod., 1996; Pettorelli in sod., 2001), podnebne razmere pa niso ostre, zaradi česar lahko posamezni osebki ves presežek energije vložijo v rast in razvoj (Mysterud in Østbye, 2006a; Melis in sod., 2009), kar se kaže tudi v velikosti (vitalnosti) (sub)populacij srnjadi. Pomurska srnjad ima še dodatno prednost, ker živi v velikih tropih – tj. **poljski ekotip srnjadi** (Krže, 2000), s čimer se socialni stres zaradi intraspecifičnih interakcij (odnosov znotraj populacije srnjadi; ni negativnih interakcij med osebki v smislu boja za teritorij) močno zmanjša (Villerete in sod., 2006); posledično živali varčujejo z energijo, ki jo lahko porabijo za rast (Hewison in sod., 1998). Poleg tega večji tropi hitreje pridejo do ustreznih prehranskih virov (Jepsen in Topping, 2004), zmanjša pa se poraba energije za zagotavljanje varnosti; zmanjša se namreč čas, ki ga posamezen osebek preživi "na straži" (Barja in Rosellini, 2008).

Daleč najkrajše dolžine spodnjih čeljusti (in tudi najpočasnejšo rast le-teh, slika 63E) imajo mladiči srnjadi submediteranske Slovenije (slika 65A, 65B) oz. Primorskega LUO (slika 66A, 66B). Gre za srnjad, ki živi v regiji vročih in suhih poletij z največjo količino padavin v jesenskem času, v poletnih mesecih pa so pogoste poletne suše, ki so že bile dokazane kot glavni negativni dejavnik za rast in razvoj srnjadi (npr. Torres Porras in sod., 2009), saj

vplivajo na pomanjkanje kvalitetne hrane za srne v času njihove laktacije (Toïgo in sod., 2006) in kasneje tudi za mladiče, v času njihove intenzivne rasti (Kjellander in sod., 2006). Nekoliko krajše dolžine spodnjih čeljusti imajo tudi osebki alpske Slovenije in visokih kraških planot, tj. predvsem iz Triglavskega in tudi Zasavskega, Pohorskega in Zahodno-visokokraškega LUO (slika 65), kljub nizkim gostotam vrste v slednjem. Na podlagi ugotovitev tujih raziskav so glavni dejavniki, ki negativno vplivajo na razvoj mladičev teh območij: višja nadmorska višina, večji delež iglastih gozdov (manj podrasti), manjši delež njivskih površin in večja območja strnjenih gozdov (kar vse pomeni manjše količine hrane ustrezne kvalitete; Mysterud, 1998; Pettorelli in sod., 2001). Velik negativen vpliv ima tudi večja količina padavin (Coulson in sod., 2001; Melis in sod., 2009), ki pomeni izgubo energije zaradi termoregulacije (ohranjanje ustrezne telesne temperature) in daljše obdobje trajanja snežne odeje (Mysterud in Østbye, 2006a; Ratikainen in sod., 2007).

Do podobnih rezultatov, kot smo jih navedli na podlagi ugotovitev iz tujine, smo prišli tudi z izvedbo multivariatnih analiz vpliva individualnih in okoljskih dejavnikov na velikost spodnjih čeljusti mladičev srnjadi (preglednici 49, 50). Največji delež skupne pojasnjene variance v dolžini spodnjih čeljusti mladičev srnjadi nam poda zaporedni dan odvzema (ki predtavlja prirejeno starost osebka v dneh; DAN), ki pojasni dobrih 95 % variabilnosti v dolžini spodnjih čeljusti. Tako je rast mladičev v obdobju od začetka septembra do konca decembra izjemno intenzivna, med spoloma pa se pojavljajo šibke razlike, srnjački imajo daljše spodnje čeljusti kot srnice in hitreje rastejo (SPOL; 0,25 % skupne pojasnjene variance individualnih dejavnikov).

Okoljski dejavniki od skupne pojasnjene variance modela (R^2 = 0,42) pojasnijo 4,8 % variabilnosti v dolžini spodnjih čeljusti mladičev. Največji vpliv ima delež obdelovalnih površin (%OBDEL), ki mu lahko dodamo še delež travnikov (%TRAV). Če izključimo vpliv starosti v dneh, spola ter napako modela, ta dejavnika skupaj pojasnita 81 % vpliva okoljskih dejavnikov oz. 3,8 % skupne pojasnjene variance. Delež obdelovalnih površin je tudi na podlagi bivariatne analize ena od neodvisnih spremenljivk, ki najmočneje korelirala z dolžino čeljusti (rang 4; preglednica 48). Oba dejavnika na dolžino čeljusti vplivata pozitivno, saj večji delež rabe tal teh dveh tipov zaradi ugodnejše prehranske dostopnosti in kvalitete hrane (Bertouile in Crombrugghe, 1995; Hewison in sod., 1996, Mysterud in sod., 1998, Couturier in sod., 2010) pomeni več energije in posledično daljše čeljusti mladičev. Srnjad je namreč visoko specializiran rastlinojedi izbiralec, ki se hrani predvsem z rastlinskimi vrstami, ki so bogate s hranili oz. njihovimi deli; zaradi specifične strukture prebavil pa mora izbirati predvsem lahko prebavljivo visoko kakovostno hrano (Tixier in Duncan, 1996). Če je takšne hrane v izobilju, lahko osebek hitro in enostavno pridobi dovolj energije, ki jo porabi za rast in razvoj. Dodatno velja izpostaviti, da kljub temu, da se srnjad prehranjuje z okoli 1.300 vrstami rastlin (Prior, 1995), glede njihove energetske vrednosti praviloma izbira le določene vrste zelišč, kmetijskih kultur, liste lesnatih drevesnih in grmovnih vrst ter sezonsko tudi drevesne plodove (npr. Duncan in sod., 1998; Krže, 2000; Al Sayegh Petkovšek in Pokorny, 2009). Na omenjenih območjih kulturne krajine (panonska in subpanonska Slovenija), ki se delno prepleta tudi z listnatimi in mešanimi gozdovi, je torej prehranska izbira za to vrsto najbolj idealna v Sloveniji, kar se odraža tudi na najdaljših spodnjih čeljustih oz. v največjih telesnih velikostih srnjadi. **Razpoložljivost in kvaliteta hrane, ki jo nudijo različni habitatni tipi, je glavni okoljski dejavnik, ki vpliva na velikost in posledično verjetno tudi na vitalnost te vrste v Sloveniji.**

Naslednji dejavnik, ki vpliva na dolžino čeljusti mladičev (0,9 % skupne pojasnjene variance) je povprečna **letna količina padavin, katere vpliv pa je negativen, saj gre zaradi termoregulacije za izgubo energije** (Coulson in sod., 2001; Mysterud in Østbye, 2006a), česar pa niso ugotovili z eno od raziskav iz Francije, kjer povečano spomladansko in poletno deževje ni vplivalo na maso mladičev (Pettorelli in sod., 2002). V našem primeru gre poleg omenjenega razloga termoregulacije najverjetneje tudi za združen vpliv večih dejavnikov, in sicer nadmorske višine (NV), ki je model ni vključil kot pojasnjevalno spremenljivko ter povprečnih letnih temperatur (TEMP), ki so s padavinami in nadmorsko višino korelirale in jih v model nismo ponudili. Združen vpliv si razlagamo na podlagi bivariatne analize, kjer so vse tri omenjene spremenljivke od ostalih neodvisnih spremenljivk z dolžino nekoliko bolj korelirale (rang 3, 5 in 8) (preglednica 48). Sklepamo torej, da so dolžine spodnjih čeljusti mladičev srnjadi zaradi višjih nadmorskih višin z nižjo povprečno letno temperaturo ter višjo količino padavin v alpski Sloveniji manjše v primerjavi z ostalo Slovenijo, kljub temu, da je intenziteta rasti le-teh v tej regiji najhitrejša (preglednica 44). Ker pa so bile tudi povprečne začetne dolžine na dan 1. 9. 2007 v alpski Sloveniji najmanjše (slika 63), sklepamo, da gre tudi za posreden vpliv, in sicer za zamik v času poleganja mladičev, kar smo potrdili z značilnimi razlikami v povprečni dolžini na dan 1. 9. 2007 med regijami (Kruskal-Wallis ANOVA: $H_{(4,\ 194)} = 9{,}69$; $p = 0{,}05$) – značilne razlike se pojavijo le med alpsko in subpanonsko Slovenijo, kjer je hitrost rasti čeljusti sicer primerljiva (Mann-Whitney U test: $Z = 2{,}83$; $p < 0{,}01$; preglednica 44).

Značilne razlike v dolžini spodnjih čeljusti srnjadi se med regijami pojavijo tudi pri enoletnih osebkih (preglednica 51). Tako pri lanščakih kot tudi pri mladicah ni značilnih razlik zgolj med panonsko in subpanonsko Slovenijo ter med alpsko Slovenijo in visokimi kraškimi planotami. Največje dolžine se tako kot pri mladičih pojavljajo pri srnjadi iz panonske in subpanonske Slovenije, sledi srnjad iz alpske Slovenije in visokih kraških planot, najmanjše čeljusti pa so tudi pri tej starostni kategoriji pri srnjadi iz primorske Slovenije (sliki 65C, 65D). Sicer so pri enoletnih osebkih najdaljše čeljusti v Novomeškem LUO (že pri mladičih dokaj velike dolžine) ter v Slovenskogoriškem LUO, v katerem so dolžine mladičev nekje v rangu povprečja Slovenije (sliki 66C, 66D). Medtem ko gre v Slovenskogoriškem LUO za območje Slovenije, kjer so absolutno največje gostote srnjadi (slika 4), so v Novomeškem LUO le-te med najmanjšimi. To pomeni, da **gostota srnjadi v Sloveniji ne vpliva bistveno na rast osebkov te vrste,** skladno z rezultati izvedenih multivariatnih analiz, ki te spremenljivke ne vključijo kot pojasnjevalne. Do podobnih ugotovitev so prišli tudi Pettorelli in sod. (2001), ki so v Franciji dokazali, da velika količina ustrezne hrane lahko kompenzira negativen vpliv populacijske gostote na velikost osebkov.

Rezultati GRM-modela vpliva individualnih in okoljskih dejavnikov na dolžino spodnjih čeljusti enoletnih osebkov imajo slabšo pojasnjevalno moč ($R^2 = 0{,}20$) kot pri mladičih. Ponovno podajajo največji vpliv spremenljivke zaporedni dan odvzema (starost v dneh; DAN), ki pa tokrat pojasni nekoliko manj variabilnosti, in sicer 75,5 % pojasnjene variance. Nasprotno pa spremenljivka spol tokrat pojasni bistveno večji delež pojasnjene variance, tj. 5,2 %, pomeni pa, da imajo mladice večje spodnje čeljusti kot lanščaki. Slednje je povezano z načinom lova in je opisano v poglavju 5.3.1 ter ni posledica bioloških vzrokov, saj so samci srnjadi praviloma večji od samic, kar smo tudi dokazali (Simonič, 1976; Andersen in sod., 1998; Focardi in sod., 2002). Od okoljskih dejavnikov ponovno igrajo glavno vlogo tisti, ki so povezani s količino in kakovostjo hrane, in sicer delež obdelovalnih površin

(%OBDEL) in delež travniških površin (%TRAV), ki skupaj pojasnita 12,2 % pojasnjene variance, ter tudi delež listavcev (%LIST), katerih pozitiven vpliv na telesno velikost srnjadi so dokazali tudi že Jędrzejewska in sod. (1994). Vključitev te spremenljivke, ki sicer pojasni 1,7 % skupne pojasnjene variance, je zelo pomembna, saj nam kaže na vpliv listavcev, ki ga le-ti imajo na prehrano srnjadi v zimskem in spomladanskem času (Tixier in Duncan, 1996). **Prisotnost listnatih in mešanih gozdov torej omogoča hitrejši razvoj oz. večjo vitalnost srnjadi Slovenije na območjih, kjer so prisotni**, in sicer tako preko zagotavljanja plodov, ustrezne podrasti kot tudi poganjkov ter listov drevesnih vrst v spomladanskih mesecih. Ta dejavnik nam pojasni, zakaj so pri enoletni srnjadi največje dolžine spodnjih čeljusti v Novomeškem LUO. Gre za območje subpanonske Slovenije z ugodno klimo, ki pa ima poleg mešane kmetijske krajine tudi dokaj velik delež listnatih in mešanih gozdov. Le-ti predstavljajo dodaten vir hrane, ki ga v panonski Sloveniji v zimskem času, tj. po spravilu pridelkov ni toliko na razpolago.

Paradoksalno na velikost spodnjih čeljusti srnjadi vpliva tudi spremenljivka dolžina gozdnega roba (GOZD_ROB) – daljša kot je dolžina gozdnega roba v kvadrantu, manjše so povprečne dolžine spodnjih čeljusti enoletne srnjadi. Sicer smo pričakovali, da bo vpliv te spremenljivke pozitiven, saj je srnjad vrsta gozdnega roba (Simonič, 1976; Prior, 1995; Andersen in sod., 1998), njen nasproten vpliv pa najverjetneje posredno odraža spremenljivko delež gozda (%GOZD), s katero korelira. Spremenljivke %GOZD namreč zaradi dodatne korelacije s spremenljivko %OBDEL nismo vključili v model. Vključitev spremenljivke GOZD_ROB in omenjene korelacije torej pomenijo obratno kot spremenljivki %OBDEL in %TRAV, in sicer slabša kot je kvaliteta in dostopnost hrane (predvsem v iglastem gozdu ima srnjad na razpolago manjše količine dovolj ustrezne hrane; Prior, 1995), krajše so dolžine spodnjih čeljusti srnjadi.

Tudi pri enoletnih osebkih je v GRM-model vključena spremenljivka povprečna letna količina padavin, ki pojasni precej večji delež, in sicer 4,5 % skupne variabilnosti v dolžini spodnjih čeljusti srnjadi. Neugodna klima z daljšim časom trajanja snežne odeje (pri enoletni srnjadi je vključen tudi čas zime, spremenljivko najvišja višina snežne odeje (SNEG) smo morali zaradi korelacije z nadmorsko višino in padavinami izključiti iz modela), ki pri srnjadi zahteva ogromno energije tako za gibanje kot tudi za termoregulacijo, negativno vpliva na rast osebka (Mysterud in Østbye, 2006a; Melis in sod., 2009).

Zadnja spremenljivka, ki nam jo vključi GRM-model, je petletna gostota odvzema jelenjadi (G_JEL), ki ponazarja medvrstno kompeticijo med srnjadjo in jelenjadjo (npr. Latham in sod., 1996; Hewison in sod., 1998; Ferreti in sod., 2008). Ta spremenljivka sicer pojasni najmanjši delež variabilnosti v dolžini spodnjih čeljusti srnjadi (1,1 %). Podobno kot so Richard in sod. (2010) uspeli dokazati, da ima velika gosta jelenjadi močan negativen vpliv na maso mladičev srnjadi (ne glede na spol), nam vključitev te spremenljivke nakazuje, da **velika gostota jelenjadi negativno vpliva na rast in razvoj srnjadi ter posledično zmanjšuje vitalnost te prostoživeče vrste**. Vpliv jelenjadi je **pomemben predvsem v zimskih mesecih** (te spremenljivke GRM-model za mladiče – jesenski podatki – ni vključil), saj je medvrstna kompeticija pomembnejša oz. ima večji vpliv v času manjše dostopnosti hrane oz. v primeru njene slabše kvalitete (v Sloveniji čas zime) (Bartos in sod., 2002; Focardi in sod., 2006). Zaradi tekmovanja za hrano z jelenjadjo je količina vnesene hrane v osebek srnjadi manjša, zaradi prisotnosti jelenjadi pa je srnjad bolj previdna, manj časa porabi za prehranjevanje, zaradi pogostejših pobegov iz pasišča pa porabi več energije

(Ferretti in sod., 2008), kar pomeni počasnejšo rast osebka. Slednje nam tudi razloži, zakaj so enoletni osebki srnjadi na območju Kamniško-Savinjskega LUO manjši v primerjavi z ostalimi LUO, kar pa pri mladičih ni bilo zaznano. Podobno je pri srnjadi iz Pohorskega LUO (kjer pa so tudi mladiči nekoliko manjši), medtem ko na območju Notranjskega in Kočevsko-Belokranjskega LUO vpliv medvrstne kompeticije na dolžino čeljusti enoletne srnjadi na slikah 66C, 66D ni poudarjen. Če pa pogledamo sliko 68, kjer so podane dolžine spodnjih čeljusti mladic po posameznih loviščih, vidimo, da se tudi v območju Kočevja in Goričkega pojavljajo manjše povprečne dolžine čeljusti mladic (Stergar in sod., 2009a).

Ravno tako se pojavljajo značilne razlike v dolžini spodnjih čeljusti odrasle srnjadi med petimi regijami Slovenije (preglednica 41). Tako pri srnah kot pri srnjakih so najdaljše spodnje čeljusti v subpanonski regiji, ki ji sledi panonska srnjad. Tudi tukaj je najverjetneje poudarjen vpliv gostote jelenjadi (glej *ibid*.). Tako kot pri mladičih in enoletnih osebkih, sledita v istem rangu regiji alpska Slovenija in visoke kraške planote. Najkrajše čeljusti so zopet pri submediteranski srnjadi, kar je še posebej izrazito pri srnah.

Na podlagi slik 66E in 66F, ki prikazujeta dolžine spodnjih čeljusti odrasle srnjadi (rast čeljusti je zaključena pri dveh letih) med LUO, lahko zapišemo ugotovitev, ki se kaže že pri enoletni srnjadi: **povprečne dolžine spodnjih čeljusti srnjadi Slovenije so največje v vzhodni Sloveniji in proti zahodu značilno upadajo** (Kruskal-Wallis ANOVA: $H_{Ž(14,\ 4.322)} = 182{,}81$, $p < 0{,}0001$; $H_{M(14,\ 4.346)} = 214{,}06$, $p < 0{,}0001$). Navzgor izstopa predvsem srnjad Novomeškega in Posavskega LUO, kar je odraz dobrih okoljskih pogojev za to vrsto na tem območju. Srnjad je namreč vrsta gozdnega roba, ki ima najboljše pogoje v nižinskih predelih mešane kmetijske rabe (Prior, 1995; Krže, 2000) z določenim deležem listnatih gozdov (podrast; Jędrzejewska in sod., 1994), kar zagotovi dovolj hrane skozi celo leto. Poleg tega je tukaj zmerno celinsko podnebje z visokimi povprečnimi temperaturami in zmerno količino padavin, kar pomeni, da je manjša izguba energije za termoregulacijo (Mysterud, 1998). Navzdol pa pri odrasli srnjadi odstopata predvsem Primorsko LUO, kjer je ključni dejavnik neugodna klima (zlasti sušna poletja) z nezadostno količino ustrezno kakovostne hrane (Mysterud, 1998; Pettorelli in sod., 2001), ter Kamniško-Savinjsko LUO, kjer poleg nadmorske višine, velikega deleža iglastih gozdov in velike količine padavin negativno vpliva tudi medvrstna kompeticija z jelenjadjo (skladno z Richard in sod., 2010).

Na podlagi velikosti čeljusti srnjadi lahko sklepamo na razlike med posameznimi populacijami, ki so posledica različnih vplivov okolja ter specifičnih socialnih interakcij. Zelo izrazite in enoznačne razlike v velikosti čeljusti med posameznimi regijami in LUO-ji kažejo, da so velikosti čeljusti zelo uporaben kazalnik, ki kaže na življenjske razmere, katerim je bil posamezen osebek izpostavljen v času rasti. Kot takšne imajo meritve dolžin čeljusti veliko perspektivo, ne le v smislu prostorskih primerjav, temveč zlasti v sledenju sprememb v odnosu populacije : življenjski prostor znotraj posameznih območij v različnih časovnih obdobjih. Čeljusti srnjadi so torej lahko zelo uporaben kazalnik v kontrolni metodi, tj. v smislu ugotavljanja kakovosti okolja. **Na podlagi tega menimo, da bi bilo v prihodnje v kontrolni metodi namesto oz. vsaj poleg telesnih mas** (le-te so, kot je že bilo omenjeno, podvržene vplivom številnih drugih dejavnikov) **ali mas rogovja** (poudarjen vpliv vremenskih razmer, ki v času rasti vplivajo na hormonsko ravnovesje in endogeno sproščanje vitamina D) **bistveno bolj smiselno uporabiti velikosti čeljusti kot kazalnik, ki je bistveno manj izpostavljen delovanju motečih dejavnikov, vendar vedno s časovno primerjavo znotraj istih območij**.

5.3.3 Velikost (vitalnost) srnjadi znotraj naravovarstveno pomembnih območij Slovenije

Na podlagi povprečnih dolžin spodnjih čeljusti mladičev srnjadi, odvzetih znotraj večjih enot treh tipov naravovarstveno pomembnih območij Slovenije, smo izrisali tri karte velikosti mladičev srnjadi teh območij (slike 72 – 74). Pri tem smo skladno z ugotovitvami poglavja 5.3.2 ugotovili, da so z vidika srnjadi oz. ostalih vrst živali, vezanih na agrarno krajino, v najbolj ugodnem stanju habitatni tipi (tako pri EPO, Naturi 2000 kot tudi pri zavarovanih območjih) v območjih, ki ležijo v vzhodni Sloveniji (Prekmurje, Dravsko in Mursko polje, dolina Dravinje, Haloze, Kozjansko in Bizeljsko, Krška dolina ter Gorjanci). Veliko vitalnost kot posledico ugodnega habitata imajo še mladiči srnjadi, odvzeti znotraj posameznih enot ostalega dela Slovenije, in sicer Ljubljanskega barja, Matarskega podolja in Karavank (srnjad predvsem Zgornje Savske doline in vznožja Karavank). Za srnjad najmanj primerni habitatni tipi so znotraj Krasa in v območjih predalpskega sveta, kar je povezano z okoljskimi dejavniki (poglavje 5.3.2).

Slednje ponovno nakazuje, da je srnjad zmerno sinantropna vrsta (Prior, 1995; Andersen in sod., 1998), ki je močno odvisna od človeka oz. njegove dejavnosti. Kmetijstvo, ki na zgoraj omenjenih preferenčnih območjih prevladuje in omogoča ugodne prehranske razmere za srnjad (v smislu količine in dostopnosti hrane), močno podpira tako ohranjanje kot tudi trajnostno rabo sestavin biotske pestrosti (Strategija ohranjanja …, 2002). Del slednje je tudi srnjad, ena ključnih vrst kopenskih ekosistemov Slovenije (Pokorny, 2003; Adamič in Jerina, 2010). Po drugi strani kmetijstvo tudi neposredno vpliva na ekosistemsko pestrost, ki je osnovni cilj varstva biodiverzitete (Convention …, 1992). Zaradi omenjenih dejstev je podpiranje sonaravne kmetijske rabe (manjša intenzifikacija kmetijstva, manjši delež monokultur, večji delež obmejkov, ipd.), ki je v teh naravovarstveno pomembnih območjih bolj izrazito, zelo pomembno za zagotavljanje ugodnega habitata za srnjad oz. za zagotavljanje večje biodiverzitete kot tudi ugodnejšega stanja habitatnih tipov (Hlad in Skoberne, 2001; Strategija ohranjanja …, 2002).

Izdelane karte so z naravovarstvenega vidika izjemno pomembne, ker nakazujejo na stanje habitatnih tipov (kot glavni vplivni dejavnik na vitalnost srnjadi; poglavje 5.3.2) **v smislu prehranske ugodnosti za najbolj splošno razširjeno vrsto parkljarjev**, katera je z vidika varstva narave izjemno pomembna, predvsem v smislu zagotavljanja ugodne prehranske baze za velike zveri, kot sta ris in volk (npr. Sand in sod., 2005; Odden in sod., 2006; Hetherinhton, 2008). Poleg tega so te karte pomembne, ker predstavljajo **ničelno stanje**, ki je lahko **izhodišče za nadaljnji cenovno in metodološko ustrezen monitoring morebitnih sprememb v kakovosti habitatnih tipov teh naravovarstveno pomembnih območij**, kar je ena od prednostnih nalog varstva narave v Sloveniji (Strategija ohranjanja …, 2002).

Menimo, da je monitoring habitatnih tipov naravovarstveno pomembnih območij v Sloveniji z uporabo dolžin spodnjih čeljusti mladičev srnjadi (kot odraz njene vitalnosti) v nadaljevanju zelo smiseln, s tem da se izdeluje obdobno vsakih nekaj (npr. 3 – 5) let. Tokrat so predstavljeni podatki za mladiče, poležene v letu 2007, ki torej odražajo habitatno (ne)ugodnost (tako za srnjad kot tudi za številne druge sinantropne vrste, vezane na agrarno krajino) v tem letu (ničelno stanje). V okviru nadaljnjega monitoringa se lahko za

posamezno enoto zbere tudi večje število spodnjih čeljusti, zbiranje pa lahko poteka vezano na enote, s čimer se lahko vključi tudi določena manjša območja z zadostnim številom reprezentativnih vzorcev. Vendar se mora analiza sprememb opravljati vedno v časovni seriji znotraj istih območij, saj na vitalnost srnjadi poleg ustreznosti habitatnih tipov, ki je ključni dejavnik, vplivajo tudi nekateri drugi okoljski dejavniki, ki pogojujejo primernost življenjskega prostora, in sicer padavine, suša, nadmorska višina ter gozdnatost in gostota jelenjadi. Skladno s tem rezultatov ne tolmačimo v smislu, da je habitat srnjadi v najslabšem stanju v sumbmediteranski Sloveniji, saj jo le odraz okoljskih pogojev, ki jih ta geografska območja omogočajo. Če pa bi se dolžina spodnjih čeljusti srnjadi v tem (ali kateremkoli drugem) območju v nadaljevanju še zmanjševala, pa bi to pomenilo, da se je stanje habitata za srnjad kot eno ključnih vrst kopenskih ekosistemov in tudi kot ustrezno bioindikatorsko vrsto, poslabšalo.

S takšnim monitoringom lahko zaznamo morebitne negativne spremembe v kakovosti habitatnih tipov, ki pa jih lahko z določenimi ukrepi varstva narave (predvsem v smislu učinkovitega usmerjanja in podpor v kmetijstvu oz. morebitnega prirejenega načrtovanja in samega upravljanja z jelenjadjo oz. srnjadjo) v nadaljevanju omilimo oz. ponovno vzpostavimo ugodnejše stanje.

5.4 PRISOTNOST IN POJAVNOST RAZLIČNIH ANOMALIJ, POŠKODB IN OBOLENJ SPODNJIH ČELJUSTI/ZOBOVJA SRNJADI

5.4.1 Aktinomikoza

Pri številnih živalskih vrstah (še zlasti pri rastlinojedih) in tudi pri ljudeh je poznana skupina obolenj čeljusti, ki se zaradi izgleda in dejstva, da jih povzročajo različni mikroorganizmi, z združenim imenom imenujejo "grudasta/kepasta čeljust" (ang. *lumpy jaw*). Najpogostejši povzročitelj okužbe so bakterije iz rodu *Actinomyces* (le-te lahko v kostno tkivo čeljusti prodro le skozi rano/odprtino, zato je predpogoj za nastanek bolezni poškodovanost ali obolenje posameznih zob oziroma dlesni); zaradi tega je za bolezen splošno uporabljen izraz aktinomikoza. Povzročitelji (bakterije) povzročijo v čeljusti granulomsko reakcijo, ki progresivno uničuje kostno tkivo, in sicer zaradi neprekinjenega izločanja gnoja, v katerem so kolonije aktinomicet kot rumena zrnca pogostokrat vidne tudi s prostim očesom. Gnojno tkivo se kasneje razširi na površino kosti; prepleti strdkov mehkih tvorb (gnoja) in nove pokostnice ustvarjajo tipično kepavost nabrekline (priloga E). Čeprav se lahko aktinomikoza pojavlja tudi na drugih tkivih in organih, npr. celo v vampu in na pljučih, je najpogostejša na čeljustih. Ravno tu imajo namreč povzročitelji (bakterije) najlažji dostop do poškodovanih mest, najpogosteje v dlesni; ostre rese trav, okužene z aktinomicetami, so najpogostejši vzrok poškodb dlesni in hkratnega vnosa povzročiteljskih organizmov.

Aktinomikoza čeljusti je najpogosteje opisana pri govedu (povzročitelj *A. bovis*), poznana je tudi pri ovcah (*Ovis dalli, Ovis canadensis*) in predstavnikih iz družine jelenov – severnih jelenih, severnoameriških vapitijih in losih (zbrano v Miles in Grigson, 1990). Prisotnost aktinomikoze čeljusti je poznana tudi pri srnjadi, pri kateri lahko predstavlja tudi relativno pomemben dejavnik smrtnosti (Agguire in sod., 1999); pomemben vpliv aktinomikoze na smrtnost osebkov, posledično pa tudi na ekonomski donos, so ugotovili pri v obori živečih belorepih jelenih in mulastih jelenih v Kanadi (Mainar Jaime in sod., 2007). Vendar so v splošnem podatki o prisotnosti, vzrokih in posledicah aktinomikoze na populacije prostoživečih parkljarjev silno redki (v vodilni elektronski bibliografski bazi *Scopus* so za kombinacijo vpisov "*deer*" in "*actinomycosis*"/"*lumpy jaw*" zabeleženi le trije prispevki, nastali po letu 1998!), zato so ugotovitve tega dela disertacije še toliko zanimivejše.

V celotnem enoletnem odvzemu srnjadi v Sloveniji smo v letu 2007 ugotovili 113 primerov prisotnosti aktinomikoze, kar pomeni, da je bila ta bolezen prisotna pri 0,7 % odraslih živali. Za aktinomikozo velja poudariti, da se praviloma pojavlja enostransko, tj. le na eni polovici čeljusti (v primeru edine znane raziskave v evropskem prostoru, tj. severnih jelenov na manjšem sub-antarktičnem otočku, je bilo ugotovljeno, da se obojestranski bolezenski znaki pojavljajo v <30 % primerov). Zaradi načina zbiranja čeljusti (le leve polovice) je frekvenca aktinomikoze v resnici nekoliko večja, saj je bila aktinomikoza čeljusti srnjadi v Sloveniji v posameznih primerih zagotovo prisotna tudi na nam nedostopnih desnih čeljustih. Vendar pa je potrebno poudariti, da so bile številne čeljusti s prisotno močno aktinomikozo predložene cele (tj. tudi desne polovice, kar si razlagamo z odzivnostjo lovcev, ki tovrstne zelo očitne spremembe čeljusti enostavno zaznajo in tudi ustrezno reagirajo, tj. s predložitvijo celotnega materiala, potrebnega za detekcijo stanja), zato je število neregistriranih primerov aktinomikoze po našem mnenju majhno, celokupna frekvenca tega obolenja v Sloveniji pa je zanesljivo <1 % izločene odrasle srnjadi. Zanimivo pa je, da aktinomikoze nismo registrirali na prav nobeni čeljusti navadnih jelenov in/ali divjih prašičev (*Sus scrofa*), uplenjenih v Sloveniji v letu 2008 (lastni, še neobjavljeni podatki).

Aktinomikoza se pojavlja razpršeno po celi Sloveniji (slika 75), kljub temu pa lahko izločimo nekaj območij, kjer se le-ta grupira oziroma pojavlja v večjem številu. Prvo takšno območje predstavlja severna Primorska (od Vipavske doline do Kanala). Vzroke za pogostejši nastanek te bolezni bi lahko iskali v podnebnih dejavnikih, in sicer gre za submediteransko Slovenijo z višjimi temperaturami, zaradi česar je verjetnost preživetja bakterij, ki so povzročitelji te bolezni, v okolju večja, bolezen pa se zaradi visokih temperatur predvsem poleti tudi intenzivneje razvija. Poleg tega je na tem območju zaradi trše hrane pogostejši pojav parodontoze (zaradi nabiranja hrane med zobmi pride do vnetja in odmika dlesni), kar omogoči hitrejši oz. lažji dostop bakterij do kostnega tkiva. Enaki razlogi za nastanek aktinomikoze veljajo tudi za lovišča priobalne Slovenije. Nekoliko povečana številčnost aktinomikoze se pojavlja tudi v celotni predalpski in delu alpske Slovenije. Tudi tukaj je glavni razlog tega pojava trša prehrana (iglasti in mešani gozdovi s slabšo izbiro kakovostne hrane), ki pomeni lažji vstop bakterij v organizem. Tudi območja barja (Bloke in Ljubljansko barje – lovišče Ig) vsebujejo predvsem trše, resaste trave, ki vplivajo na nastanek parodontoze in posledično aktinomikoze.

Po drugi strani se zdi, da lahko tudi onesnaževanje pomembno vpliva na pojav te bolezni. Tako je ta pogosteje prisotna ravno v okolici Kidričevega, kjer se nahaja tovarna aluminija Talum, ki je glavni povzročitelj za nastanek zobne fluoroze pri srnjadi (glej poglavje 5.2). Le-ta pa pomeni poškodbo zobovja nemalokrat tudi do te mere, da je zaradi intenzivnejše obrabe prizadeto tudi obzobno tkivo (dlesni), kar zopet omogoča vstop bakterij do kosti. Aktinomikoza se pojavlja tudi v okolici termoenergetskih objektov (TEŠ in TET) ter v okolici večjih mest (Kranj, Maribor).

5.4.2 Hipoplazija sklenine

V primerih/okoliščinah, v katerih pride v procesu rasti in razvoja zob do nepopolne formacije sklenine, pride do pojava, imenovanega "hipoplazija sklenine"; praviloma gre za količinsko nezadostno tvorbo sklenine, čeprav obstajajo tudi primeri, ko je sklenina sicer normalne debeline, vendar ni popolnoma mineralizirana (hipokalcifikacija). Hipoplazijo sklenine povzročijo različni dejavniki stresa, ki so lahko tako okoljskega (med njimi je npr. najbolje proučen vpliv onesnaženosti s fluoridi; glej poglavje 5.2) kot tudi genetskega izvora. V primeru, da je hipoplazija genetskega izvora, je praviloma prizadeta tvorba sklenine po celotni površini zob(a), prizadeti pa so lahko tako mlečni kot tudi stalni zobje. Čeprav lahko sklenina tudi popolnoma manjka (*plain type*), je v večini primerov le-ta prisotna, vendar je tanjša, neravne površine, zato je na oko porozna oz.luknjičava (*pit type*) (Miles in Grigson, 1990).

Okoljske motnje, ki prizadenejo proces tvorbe sklenine, so lahko bodisi sistemskega (prizadeti so vsi zobje, ki rastejo v določenem trenutku) bodisi lokalnega izvora (prizadet je samo posamezen zob ali del zoba). Med najpogosteje omenjenimi okoljskimi vzroki so poleg onesnaženosti okolja s fluoridi še podhranjenost, zaparazitiranost in obolelost organizma. Večina teh vzrokov ima na določen osebek vpliv le v časovno omejenem intervalu, zaradi česar poškodbe sklenine niso enakomerno razporejene po celotni površini zob, temveč se pojavljajo le točkovno ali pa v obročih okrog zobne krone (priloga F). Oblika, značaj in izgled con poškodovane sklenine so močno variabilni in so odvisni zlasti od jakosti stresorja in dolžine trajanja izpostavljenosti temu negativnemu dejavniku. V

primeru, da je izpostavljenost kratkotrajna (do nekaj tednov), je običajno viden le pas plitkih jamic, obdanih z belino oz. motno sklenino. Nasprotno so v primeru daljše izpostavljenosti močnejšemu dejavniku stresa jamice globlje in so med sabo zlite, zaradi česar nastanejo ciklične brazde okrog zob(a). V najhujših primerih (izredno močni dejavniki stresa, več mesecev trajajoča izpostavljenost) nastane širok pas nepopolne sklenine ali pa le-ta popolnoma manjka; v tem primeru je na poškodovanih mestih viden dentin umazano rjave ali črne barve. Proces tvorbe sklenine je lahko moten le v času njene formacije, tj. v času formacije zobne krone. V primeru, da je zob že dorasel ali pa se še ni začel razvijati, prisotnost stresorjev na sklenino nima nobenega vpliva. Zaradi tega je možno na podlagi analize, kateri zobje in kateri deli zob so prizadeti, natančno kronološko opredeliti obdobje, ko je bil osebek izpostavljen določenim dejavnikom stresa. Raziskave hipoplazije sklenine so zaradi tega izredno pomembne za retrospektivno določitev različnih dejavnikov stresa, ki so (bili) prisotni v določenem okolju. Upoštevaje navedena dejstva in principe nastanka hipoplazije je očitno, da je vzorec hipoplazije na levi in desni polovici čeljusti skoraj popolnoma enak (le-to pojasnjujejo tudi lastne raziskave čeljusti divjih prašičev, ki se (za razliko od prežvekovalcev) na letne preglede predložijo praviloma cele in na katerih je vzorec pojava hipoplazije sklenine na levi polovici čeljusti praviloma enak kot na desni; le-ta je bila v Sloveniji v letu 2008 prisotna na 5,0 % vseh pregledanih čeljustih divjih prašičev; Pokorny in sod., 2010), zaradi česar že samo s pregledom ene polovice spodnjih čeljusti dobimo popolnoma zanesljive podatke o pojavnosti, razširjenosti in pogostnosti te spremembe zob v izbrani populaciji katerekoli živalske vrste.

V primeru parkljarjev je bila hipoplazija sklenine opisana pri govedu in ovcah, pri prostoživečih prežvekovalcih pa tudi pri moškatnem govedu (*Ovibos moschatus*) na Grenlandiji in Aljaski, medtem ko je bila pri srnjadi opisana le kot zobna fluoroza (glej poglavje 5.2). Zaradi tega je izredno presenetljivo dejstvo, da smo v Sloveniji – v nasprotju z jelenjadjo, pri kateri smo v letu 2008 hipoplazijo sklenine registrirali le v enem primeru – to anomalijo zob registrirali na zelo velikem številu čeljusti (skupaj 216 primerov oz. 1,4 % vse odrasle srnjadi; pri tem ni upoštevana hipoplazija zaradi izpostavljenosti fluoridom, tj. zobna fluoroza). Izjemoma (v dveh primerih) smo motnje v procesu tvorbe sklenine registrirali celo pri mladičih na vseh treh mlečnih predmeljakih, kar kaže, da sta bila dotična osebka določenemu dejavniku stresa izpostavljena že kot zarodka (potencialen genetski izvor), in se je stresor nanju širil prek popkovne povezave z materjo (srno). V primeru odrasle in enoletne srnjadi (stalni zobje) je bila hipoplazija v večini primerov prisotna na vseh treh predmeljakih (P_1, P_2, P_3) in tretjem meljaku (M_3); glede na dejstvo, da je menjava vseh treh predmeljakov časovno usklajena z rastjo zadnjega meljaka, je uniformnost pojavljanja hipoplazije na teh zobeh razumljiva in kaže, da je bila izpostavljenost osebkov prevladujočemu dejavniku stresa prisotna zlasti v pozni pomladi in zgodnjem poletju, tj. v času menjave zob. Glede na dejstvo, da je v tem času dostopnost hrane največja, je vzrok za pojav hipoplazije sklenine drugje, po vsej verjetnosti v zaparazitiranosti osebkov.

To hipotezo, katero je potrebno potrditi s poglobljenimi raziskavami in habitatnimi analizami, preliminarno potrjuje tudi prostorska razporeditev prisotnosti in frekvence hipoplazije spodnjih čeljusti odrasle srnjadi v Sloveniji (preglednica 55, slika 76). Medtem ko ta anomalija v gorskih območjih sploh ni prisotna (Triglavsko in Kamniško-Savinjsko LUO) ali je prisotna le izjemoma (Pohorsko LUO), je močno prisotna v nižinski loviščih, še zlasti tistih, ki vsebujejo tudi večje površine vlažnih travnikov oz. ležijo v spodnjem toku

Save in ob Muri (Posavsko LUO – hipoplazija je prisotna na 4,3 % čeljusti odrasle srnjadi; Pomursko LUO – 3,5 %; Notranjsko LUO – skoraj izključno v loviščih, ki upravljajo tudi z Ljubljanskim barjem). Možen dejavnik stresa, ki vpliva na moten proces rasti in razvoja zob srnjadi, posledično pa tudi na vitalnost populacij, bi lahko bila v teh loviščih metljavost osebkov, za katero pa v Sloveniji ni znanih domala nobenih podatkov. Vplivu zajedavcev na pojav hipoplazije sklenine srnjadi bomo zato v prihodnjih letih namenili še posebno pozornost.

5.4.3 Variabilnost v številu zob

Zobje katerekoli živalske vrste lahko variirajo v številu, velikosti, obliki in položaju na čeljusti. Število zob, njihova velikost in oblika so v največji meri genetsko determinirani oz. vsebujejo nekatere genetske mehanizme; čeprav so bili v preteklosti okoljski dejavniki v celoti izključeni, so v zadnjem obdobju nekatere raziskave pokazale, da imajo tudi ti pomembno vlogo na variabilnost števila, oblike in velikosti zob. Nasprotno je položaj zob skoraj močno odvisen od okoljskih dejavnikov, saj je mesto izrasta posameznih zob odvisno od razvoja in rasti kosti (čeljusti).

Pri vseh vrstah iz družine jelenov je število zob genetsko zelo dobro definirano, zato je variabilnost tega parametra praviloma zelo majhna. Večina cervidov nima razvitega oziroma jim manjka prvi predmeljak (P_1). Prisotnost P_1 je znana v posameznih primerih pri vapitiju, relativno pogost pa je v primeru belorepih jelenov in srnjadi (v Nemčiji je bil registriran v *cca*. 0,1 % čeljusti; Kierdorf, 1993). V Sloveniji (priloga G) smo s pregledom vseh levih spodnjih čeljusti srnjadi, uplenjene v letu 2007 v vseh loviščih, prisotnost P_1 ugotovili v 27 primerih (0,6 ‰), pri čemer je geografska porazdelitev njegove prisotnosti povsem naključna, v nobenem lovišču ali LUO pa se P_1 ne pojavlja več kot zgolj posamično (slika 77). Vendar gre v primeru P_1 za znak, ki se pojavlja izključno enostransko (tj. na eni polovici čeljusti), zato lahko domnevamo, da je z enako pogostnostjo kot na levi prisoten tudi na desni čeljusti, kar pomeni, da je njegova dejanska frekvenca pojavljanja pri srnjadi v Sloveniji med 1,0 in 1,5 ‰. Še vedno pa je tako majhna, da sproža nekatere pomisleke o nomenklaturi zobovja srnjadi (glej Konjević in sod., 2011a).

Podatki in vedenje o odsotnosti drugega predmeljaka (P_2) so zelo različni. Tako ni, npr., ta zob manjkal na nobeni izmed 33.337 pregledanih spodnjih čeljusti severnih jelenov iz Michigana, nasprotno pa sta eden ali oba (dostopni sta bili obe polovici čeljusti) manjkala pri 1,2 % vapitijev v državi New York in 2,0 % v Minnesoti. Nasprotno je v izolirani populaciji iste vrste z otoka Maryland P_2 na eni ali obeh straneh manjkal v treh izmed 24 pregledanih čeljustih (16,7 %), kar kaže na upad genetske pestrosti v primeru izoliranih populacij (povzeto po Miles in Grigson, 1990). V Sloveniji smo odsotnost P_2 ugotovili v 137 izmed 41.895 (3,3 ‰) levih čeljusti srnjadi, uplenjene v letu 2007 (pri tem poudarjamo, da smo upoštevali le primere, kjer ta zob ni izpadel, temveč ni nikoli izrasel; prilogi H in I), pri čemer se zdi, da ima ta pojav genetsko ozadje, saj je v posameznih loviščih (v večjem številu, kot bi pričakovali po naključju) bilo registriranih večje število primerov z manjkajočim P_2 (slika 78). Glede na dejstvo, da je lahko ta zob odsoten samo na eni polovici ali pa na obeh (v primeru petih čeljusti, za katere smo imeli na razpolago levo in desno polovico, in je na levi P_2 manjkal, je v dveh primerih manjkal tudi na desni strani, v treh primerih pa je bil tam normalno razvit), je dejanska frekvenca odsotnosti P_2 (upoštevaje tudi desne polovice) pri srnjadi v Sloveniji ocenjena na *cca*. 0,5 %.

Zanimiva je tudi variabilnost v številu drugih zob. Tako so v obsežni raziskavi v Nemčiji med 6.000 pregledanimi vzorci čeljusti srnjadi odsotnost enega sekalca ugotovili le v enem primeru. Nekoliko večji so bili ti deleži v primeru severnih jelenov (2 % izmed 1.176 pregledanih čeljusti; Kanada) oz. damjakov (1,8 % izmed 399 pregledanih čeljusti; Velika Britanija), medtem ko je bil v primeru genetsko izolirane populacije iste vrste ta delež precej večji (18,7 %; Velika Britanija), kar zopet kaže na upad genetske pestrosti v primeru izoliranih populacij. Pojav dodatnih sekalcev je še bolj redko dokumentiran; posamezni primeri so znani v primeru belorepih jelenov, mulastih jelenov, losov, severnih jelenov in tudi srnjadi (zbrano v Miles in Grigson, 1990). Podobno so v primeru srnjadi znani tudi primeri dodatnih (prekoštevilčnih) predmeljakov in meljakov.

Prikazane anomalije čeljusti/zobovja srnjadi so v disertacijo vključene zlasti kot izziv, ki kaže, kakšna je širina nabora različnih informacij, ki jih lahko pridobimo s sistematičnimi raziskavami čeljusti prostoživečih parkljarjev. Tudi zaradi tega menimo, da je s proučevanjem čeljusti srnjadi in ostalih vrst velike divjadi smiselno in potrebno nadaljevati tudi v prihodnje.

6 ZAKLJUČKI

Z intenziviranjem antropogenih pritiskov na okolje postajajo različne metode in pristopi bioindikacije vedno pomembnejši pripomoček za ugotavljanje izpostavljenosti različnim vrstam okoljskega stresa (še zlasti onesnaženju). Zaradi tega sta za slovenski prostor povsem nova, cenovno ugodna in splošno uporabna metoda odzivne bioindikacije (ugotavljanje stopnje zobne fluoroze) in tudi že poznana, vendar pri nas še nikoli pred tem uporabljena metoda akumulacijske bioindikacije (določitev vsebnosti fluoridov) s pomočjo čeljusti srnjadi zelo dobrodošla pripomočka za odkrivanje novih znanstvenih spoznanj o vplivu okoljskih dejavnikov na izpostavljenost populacij fluoridom in spreminjanju onesnaženosti ter obremenjenosti ekosistemov s to skupino onesnažil v slovenskem prostoru. Z doktorskim delom je bilo namreč potrjeno, da sta tako določanje vsebnosti fluoridov v čeljustih kot tudi ocenjevanje stopnje zobne fluoroze srnjadi odlična bioindikatorja onesnaženosti okolja s fluoridi in dobro izkazujeta tako prostorsko kot tudi časovno variabilnost v obremenjenosti okolja s to skupino onesnažil. V tem smislu so najpomembnejše ugotovitve in zaključki doktorskega dela:

A.1 Spol ne vpliva na vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, medtem ko vsebnosti le-teh s starostjo skoraj linearno naraščajo. Zaradi tega je potrebno vse primerjave vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi vedno opravljati znotraj istih starostnih skupin; nasprotno lahko čeljusti obeh spolov znotraj posameznih starostnih kategorij združimo.

A.2 Meritve vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi so odlična metoda akumulacijske bioindikacije in zelo nazorno nakazujejo časovno spreminjanje obremenjenosti posameznih območij. Dobljeni rezultati (kontinuiran in izrazit upad vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz Šaleške doline po izgradnji razžveplevanih naprav na 4. in 5. bloku TEŠ leta 1995 in 2000, ter tudi visoko statistično značilna soodvisnost med letnimi emisijami prahu ter SO_2 iz tega točkovnega vira in vsebnostmi fluoridov v čeljustih srnjadi) potrjujejo uspešnost izvedenih sanacijskih ukrepov ter nakazujejo na izboljšanje stanja okolja Šaleške doline. Pri tem je pomembno, da Šaleška dolina, kljub očitnim trendom zmanjševanja vsebnosti fluoridov v proučevanem obdobju, nikoli ni bila pretirano onesnažena s temi onesnažili, saj so izmerjene vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi iz tega območja precej nižje, kot so bile izmerjene vsebnosti teh onesnažil v drugih evropskih državah.

A.3 Onesnaženost okolja s fluoridi v Sloveniji v treh izmed štirih obravnavanih območij nima pretiranega negativnega vpliva na žive organizme (v tem primeru srnjad). Problematično je le imisijsko območje topilnice aluminija Talum Kidričevo, kjer se povišane emisije fluoridov v okolju odražajo v večji izpostavljenosti srnjadi, saj ima le ta precej povišane vsebnosti fluoridov v čeljustih. Tukaj so vplivi primerljivi z vplivi na srnjad iz srednje onesnaženih območij Evrope. Po drugi strani območji Šaleške doline in Zasavja, kjer se nahajata druga dva največja emitenta fluoridov v okolje v Sloveniji, kljub nekoliko povišanim vsebnostim fluoridov v primerjavi s kontrolnim območjem, nista pretirano onesnaženi s temi snovmi v primerjavi s podatki iz Evrope. Kontrolno območje naše raziskave izkazuje najnižje do sedaj zabeležene vsebnosti fluoridov v čeljustih srnjadi, kar nakazuje na to, da Slovenija v splošnem ni problematična z vidika onesnaženosti okolja s temi onesnažili.

A.4 Biomonitoring onesnaženosti okolja s fluoridi s pomočjo čeljusti srnjadi je možen tudi na regionalnem/lokalnem nivoju (razlike v onesnaženosti znotraj manjših območij) in izkazuje predvsem vplive točkovnih antropogenih virov. Razlike, ki se pojavljajo med lovišči znotraj območja Kidričevega, ter med posameznimi čeljustmi, ki so različno oddaljene od tovarne aluminija Talum Kidričevo, nakazujejo na to, da se z oddaljevanjem od velikega točkovnega vira obremenjenost ekosistemov s temi snovmi linearno zmanjšuje.

B.1 Med vsebnostjo fluoridov v spodnjih čeljustih in stopnjo zobne fluoroze zobovja istih čeljusti srnjadi obstaja značilna pozitivna soodvisnost. Vendar je med omenjenima metodama pomembna razlika, ki zajema časovno okno vzorčenja. Medtem ko vsebnost fluoridov podaja akumulacijo teh onesnažil skozi celotno življenjsko dobo osebka (akumulacijska bioindikacija), zobna fluoroza predstavlja le obremenjenost v prvem letu starosti, v času formacije zobne krone.

B.2 Zobna fluoroza nastane le v času formacije zobovja, ki pa pri srnjadi poteka postopno. Posledično obstajajo značilne razlike v zobni fluorozi med posameznimi kočniki; najmanj je obremenjen prvi meljak (M_1), ki izraste prvi, njegova formacija pa se prične že v maternici, medtem ko so najbolj obremenjeni oz. imajo najvišjo stopnjo zobne fluoroze stalni trije predmeljaki ($P_2 – P_4$) ter tretji meljak (M_3), ki rastejo v času intenzivne rasti osebka, kar zahteva povečane potrebe po hrani, s katero se v telo vnesejo tudi večje količine fluoridov.

B.3 Do skoraj identične ugotovitve s *točko A.2* smo prišli tudi z določevanjem stopnje zobne fluoroze srnjadi, odvzete iz lovišč Šaleške doline, ki je bila najvišje ocenjena pri srnjadi, odvzeti leta 1997, v celotnem obdobju 1997 – 2009 pa izkazuje očiten trend upadanja; med letnimi emisijami prahu ter SO_2 iz TEŠ in stopnjo zobne fluoroze srnjadi namreč obstaja pozitivna korelacija. Predvsem očiten upad zobne fluoroze pri srnjadi, odvzeti po letu 2006 (torej poleženi po letu 1995 (8+ srnjad) oz. po letu 2000 (2 – 7 letna srnjad), nakazuje na učinkovitost izvedenih sanacijskih ukrepov (izgradnje čistilnih naprav na 4. in 5. bloku TEŠ) na temu točkovnemu viru emisij.

B.4 Na podlagi primerjave stopnje zobne fluoroze srnjadi, odvzeti iz lovišč Slovenije leta 2007, s podatki o stopnji in pojavnosti zobne fluoroze v območju nemško-češke meje v obdobju zadnjih 15 let, lahko zaključimo, da je pri srnjadi, odvzeti iz celotne Slovenije tako pojavnost zobne fluoroze kot tudi stopnja le-te bistveno nižja kot pri srnjadi iz primerjalnega območja v Evropi. Sklepamo torej, da je celotno območje Slovenije (z izjemo območij v okolici topilnice aluminija Talum Kidričevo) s fluoridi neonesnaženo in da ta element ne predstavlja večje nevarnosti za življenje prostoživečih sesalcev. V okolici tovarne aluminija Talum Kidričevo je stopnja zobne fluoroze in intenziteta le-te bistveno višja kot v ostali Sloveniji, kar delno že vpliva na povprečno starost izločene srnjadi, saj se zaradi hitrejše obrabe zobovja, zmanjšuje pričakovana življenjska doba (sub)populacije tega območja. Stanje habitatnih tipov naravovarstveno pomembnih območij Slovenije v smislu obremenjenosti s fluoridi je ugodno, kar dodatno potrjuje njihovo vrednost ter poudarja izreden naravovarstveni pomen takšnega biomonitoringa.

Za upravljanje s populacijami srnjadi se kot kazalnik v kontrolni metodi pri nas uporabljajo predvsem telesne mase in mase rogovja; vendar sta oba dejavnika bolj kot od same številčnosti divjadi odvisna od nekaterih drugih dejavnikov. Boljši kazalec kakovosti habitata (v smislu prehranskih razmer) je zato velikost živali, ki jo odraža velikost posameznih kosti v skeletu; med njimi so zaradi dosegljivosti vzorcev in predvsem zaradi hitrega končanja rasti zelo primerne spodnje čeljusti, katerih velikost predstavlja zelo uporaben pripomoček za upravljanje s populacijami te živalske vrste, ki ni podvržen nobenim sezonskim nihanjem.

C.1 Na dolžine spodnjih čeljusti mladičev in enoletne srnjadi prvenstveno vpliva starost živali, saj srnjad raste vse do drugega leta starosti; vendar je pri mladičih rast bistveno bolj intenzivna kot pri enoletnih osebkih. Od okoljskih dejavnikov igrajo glavno vlogo trije faktorji. Na velikost (vitalnost) srnjadi v največji meri vpliva razpoložljivost in kvaliteta hrane, ki pomeni količino vnesene energije, ki jo lahko osebek potem porabi za rast in razvoj. Nasprotno povprečna letna količina padavin (v povezavi z nadmorsko višino in temperaturo) zaradi večje porabe energije za termoregulacijo, na dolžine čeljusti vpliva negativno. Podoben negativen vpliv ima tudi gostota jelenjadi, ki srnjadi predstavlja tekmeca za hrano, poveča pa se tudi izguba energije, ki jo srnjad porabi, ko se tej vrsti izmika. Vpliva gostote srnjadi na velikost (vitalnost) osebkov/populacije srnjadi nismo dokazali.

C.2 Najdaljše dolžine spodnjih čeljusti ima srnjad panonske in subpanonske Slovenije, in sicer zaradi ugodne strukture pokrajine, kjer prevladuje intenzivno obdelana kmetijska pokrajina z določenim deležem gozda; ravno tako je to območje tako geomorfološko kot tudi klimatsko najprimernejše za proučevano vrsto, zaradi česar je srnjad tega dela Slovenije najbolj vitalna/največja. Dodatno k temu prispeva tudi način življenja tamkajšnje srnjadi, saj je v severovzhodni Sloveniji pogost pojav poljskega ekotipa srnjadi, ki živi v večjih tropih, kar osebkom omogoča enostavnejši dostop do hrane, poraba časa za spremljanje nevarnosti iz okolja je zmanjšana, ravno tako je manjši socialni stres. Najmanjše dolžine čeljusti ima srnjad submediteranske Slovenije, ki ji sledita alpska Slovenija ter visoke kraške planote. Medtem ko visoke nadmorske višine, nižje povprečne temperature, večja količina padavin in večji delež strnjenih gozdov pomenijo neugoden habitat za srnjad iz alpske in dinarske Slovenije, je ključni omejitveni dejavnik vitalnosti submediteranske Slovenije neugodna klima s posledično nezadostno količino ustrezno kakovostne hrane.

C.3 Na podlagi velikosti čeljusti srnjadi lahko sklepamo na razlike med posameznimi deli populacije iz različnih območij, ki so posledica različnih vplivov okolja ter specifičnih socialnih interakcij. Zelo izrazite in enoznačne razlike v velikosti čeljusti med posameznimi regijami oz. LUO-ji kažejo, da so čeljusti zelo uporaben kazalnik, ki kaže na življenjske razmere, katerim je bil posamezen osebek izpostavljen v času svoje rasti. Kot takšne imajo meritve velikosti čeljusti veliko perspektivo ne le v smislu prostorskih primerjav, temveč zlasti v sledenju sprememb v odnosu populacija : življenjski prostor znotraj istih območij v časovnem smislu. Tako bi bilo v prihodnje smiselno, da bi kot kazalec v kontrolni metodi namesto oz. poleg telesnih mas ali mas rogovja uporabili velikosti čeljusti kot kazalnik, ki je bistveno manj izpostavljen delovanju motečih dejavnikov.

C.4 Dolžina spodnjih čeljusti srnjadi, ki se lahko uporablja kot zelo ustrezen kazalnik kakovosti habitatnih tipov nekega območja v časovnem smislu (ob upoštevanju okoljskih dejavnikov), je lahko eden od relevantnih in lahko merljivih kazalnikov za monitoring stanja habitatnih tipov naravovarstveno pomembnih območij Slovenije, ki je tako cenovno kot tudi metodološko sprejemljiv ter ob upoštevanju različnih faktorjev dokaj lahko razložljiv.

D.1 Sistem zbiranja spodnjih čeljusti srnjadi nam omogoča tudi kompleksen in celovit vpogled v pojavnost, prostorsko razširjenost ter pogostnost različnih anomalij, obolenj in poškodb, s čimer lahko zelo enostavno določimo pomemben segment zdravstvenega stanja populacije srnjadi znotraj celotne Slovenije. Z raziskavo smo ugotovili, da ima srnjad Slovenije praviloma zdrave spodnje čeljusti s pripadajočim zobovjem, kar je predpogoj za ustrezno prehranjevanje in posledično dobro prehranjenost osebka, ki je osnova za njegovo vitalnost.

D.2 Prostorska razširjenost in pogostnost štirih izbranih anomalij čeljusti/zobovja srnjadi je različna. Aktinomikoza se pojavlja predvsem v submediteranski Sloveniji in alpskem ter predalpskem svetu (kot posledica trše hrane, ki povzroča parodontozne žepe in tako omogoča lažji dostop bakterij do kosti) ter v okolici točkovnih virov emisij (zaradi intenzivnejše obrabe zobovja je prizadeto tudi obzobno tkivo). Hipoplazija je lahko posledica genskih vzrokov kot tudi okoljskih stresov in se v Sloveniji pojavlja skoncentrirano predvsem v nižinah in dolinah večjih rek, tj. v območjih z večjim deležem vlažnih travnikov, zaradi česar domnevamo, da so najpomembnejši vzročni dejavniki zanjo nekateri notranji zajedavci. Pojav prvega meljaka (P_1) ter odsotnost drugega meljaka (P_2) se v Sloveniji pojavlja popolnoma naključno. Zlasti izjemno majhna frekvenca pojavljanja P_1 (le 27 registriranih primerov v celotnem letnem odvzemu) kaže, da bi bilo v prihodnje smiselno razmisliti o spremembi nomenklature zob oz. morda celo zobne formule srnjadi.

Iz v disertaciji pridobljenih ciljev je očitno, da imajo kompleksne raziskave čeljusti srnjadi (in tudi ostalih vrst prostoživečih parkljarjev) izjemen potencial tako v smislu bioindikacije/biomonitoringa onesnaženosti okolja, izboljšanja upravljanja s populacijami teh vrst in tudi za izvajanje relevantnega in smiselnega monitoringa kakovosti habitata ter stanja naravovarstveno pomembnih območij Slovenije. Zaradi tega bi bilo s podobnimi (periodičnimi) raziskavami čeljusti srnjadi/parkljarjev smiselno nadaljevati tudi v prihodnje ter s tem preveriti spremembe v stanju populacij in ustreznosti upravljavskih načrtovanj oz. njihovega izvajanja. Pri tem bi lahko vključili tudi nekatere nove izzive (npr. genetika, ugotavljanje dinamike poleganja različnih vrst) oz. jih uvesti kot standardiziran kazalnik stanja okolja v Sloveniji, a tudi v drugih evropskih državah, kjer obstaja možnost zbiranja tega vzorčnega materiala.

7 POVZETEK

Srnjad (*Capreolus capreolus* L.) predstavlja najpomembnejšo lovsko-gospodarsko vrsto v skoraj vseh evropskih državah; hkrati je tudi ena najprimernejših vrst za bioindikacijo onesnaženosti okolja v kopenskih ekosistemih. Z namenom natančnega evidentiranja in kategorizacije uplenjenih živali se vsako leto zberejo vse spodnje čeljusti iz lovišč izločene srnjadi; le-te zagotavljajo relevantne informacije o: (a) onesnaženosti okolja z nekaterimi vrstami anorganskih onesnažil (npr. fluoridi), in sicer tako v smislu akumulacijske kot tudi odzivne bioindikacije; (b) izpostavljenosti populacij in njihovem odzivu na izpostavljenost določenim onesnažilom (pojav zobne fluoroze); (c) vitalnosti srnjadi in spreminjanju kakovosti njenega habitata (meritve velikosti spodnjih čeljusti); (d) zdravstvenem stanju populacij (prisotnost anomalij).

Fluoridi so naravna sestavina zemeljske skorje, k povišanim vsebnostim v okolju pa največ prispevajo človekove aktivnosti. V Sloveniji je največji onesnaževalnik z njimi Talum Kidričevo (tj. tovarne aluminija) z letnimi emisijami >300.000 kg fluoridov; sledita Termoelektrarna Šoštanj (letne emisije fluoridov: okoli 58.000 kg) in Termoelektrarna Trbovlje (okoli 18.000 kg). Z namenom določitve izpostavljenosti srnjadi kot primerne ciljne bioindikatorske vrste smo v omenjenih območjih (Šaleška dolina, okolica Kidričevega, Zasavje; kot kontrolno območje še Zgornja Savinjska dolina) za leto 2007 oz. za obdobje 1997 – 2009 (Šaleška dolina) naključno izbrali 441 levih polovic spodnjih čeljusti srnjadi (vse starostne kategorije) in izvedli metodo akumulacijske bioindikacije, t.j. določitev vsebnosti fluoridov v čeljustih.

Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi s starostjo značilno naraščajo. S prostorsko primerjavo med omenjenimi območji smo ugotovili, da so najvišje vsebnosti pri vseh starostnih kategorijah pri srnjadi iz okolice Kidričevega (2 – 4 letna srnjad: n = 42; $\bar{a}$ = 840 ± 64 mg/kg; Max = 2.020 mg/kg). V Šaleški dolini (n = 22; $\bar{a}$ = 175 ± 9,5 mg/kg; Max = 285 mg/kg) in Zasavju (n = 8; $\bar{a}$ = 172 ± 31 mg/kg; Max = 330 mg/kg) so te vsebnosti za cel velikostni razred nižje; še nekoliko nižje so v kontrolnem območju Zgornje Savinjske doline (n = 8; $\bar{a}$ = 138 ± 13 mg/kg; Max = 201 mg/kg), kjer smo zabeležili tudi najnižje poznane vsebnosti teh snovi v Evropi. Popolnoma enak vrstni red onesnaženosti območij smo ugotovili tudi za vse druge starostne kategorije, tj. mladiče, enoletno, srednje staro in staro srnjad.

Za Šaleško dolino smo izvedli tudi zgodovinski biomonitoring z določitvijo vsebnosti fluoridov v časovni seriji 220 čeljusti srnjadi, odvzete v obdobju 1997 – 2009. Ugotovili smo statistično značilen trend zmanjševanja onesnaženosti okolja s temi onesnažili, in sicer pri vseh starostnih kategorijah; upad je tudi v linearni soodvisnosti z zmanjševanjem emisij SO_2 ($r = 0,86$; $p < 0,001$) oz. prahu ($r = 0,72$; $p < 0,001$) iz TEŠ; prelomno leto je leto 2000, ko je bila zgrajena razžvepljevalna naprava na bloku 5 TEŠ. Sicer so v Šaleški dolini znotraj lovišča Oljka, Šmartno ob Paki, s fluoridi nekoliko bolj obremenjeni ekosistemi na Velikem Vrhu, tj. emisijam iz TEŠ najbolj izpostavljenem predelu. Podobno smo dokazali tudi izrazito in značilno zmanjševanje obremenjenosti ekosistemov s fluoridi z oddaljevanjem od največjega točkovnega vira teh emisij v Sloveniji – tovarne aluminija Talum Kidričevo.

Na celotnem letnem odvzemu srnjadi v Sloveniji (odvzem leta 2007) smo izvedli metodo odzivne bioindikacije onesnaženosti okolja s fluoridi, in sicer z določitvijo stopnje zobne fluoroze (DLI: "*dental lesion index"*), tj. z vizualno oceno poškodovanosti sklenine vseh šestih stalnih kočnikov vseh odraslih osebkov srnjadi (n = 14.672; frekvenca zobne fluoroze (ZF) = 14,9 %; povprečen DLI = 0,6 ± 0,0; Max DLI = 25). Podatki kažejo, da je zobna fluoroza (tako pojavnost kot tudi njena intenziteta) v Sloveniji bistveno nižja kot v vseh drugih območjih Evrope, kjer so v preteklosti opravljali tovrstne raziskave (npr. Nemčija, Češka). Le v okolici Kidričevega, kjer se nahaja tovarna aluminija, je stopnja zobne fluoroze izrazito povečana (lovišče Boris Kidrič: povprečen DLI = 7,8 ± 1,3; Max = 20). To dejstvo je zaskrbljujoče, saj lahko zaradi hitre obrabe fluoroznega zobovja srnjadi teh območij prihaja do ogrožanja vitalnosti srnjadi in skrajšanja pričakovane življenjske dobe osebkov. Nasprotno so vsa večja naravovarstveno pomembna območja Slovenije (EPO, območja Natura 2000, zavarovana območja) v smislu obremenjenosti s fluoridi v ugodnem ekološkem stanju, saj nobeno izmed teh območij nima povišane stopnje ZF srnjadi.

Od okoljskih dejavnikov, ki vplivajo na zobno fluorozo, imajo največjo (negativno) vlogo antropogene točkovne emisije teh snovi (izražene kot oddaljenost od glavnega vira emisij v Sloveniji), starost osebka (s starostjo ZF narašča) ter delež gozda, ki preko prestrezanja dela plinastih in/ali prašnih depozitov teh onesnažil zmanjšuje pojav in intenziteto zobne fluoroze.

Retrospektivni biomonitoring onesnaženosti Šaleške doline s fluoridi smo izvedli tudi z določitvijo stopnje zobne fluoroze vse odrasle srnjadi, uplenjene v loviščih Oljka, Šmartno ob Paki, Velenje, Škale, Velunja in Smrekovec Šoštanj v obdobju 1997 – 2009 (n: 1.371; povprečen DLI = 0,7 ± 0,1; Max DLI = 15). Ugotovili smo trend upada tako pojavnosti kot tudi stopnje zobne fluoroze v celotnem obravnavanem obdobju (leto 1997: povprečen DLI = 1,6 ± 0,2; Max = 15; leto 2009: povprečen DLI = 0,2 ± 0,1; Max = 6). Tako stopnja zobne fluoroze kot tudi vsebnost fluoridov v čeljustih srnjadi, odvzete iz lovišč Šaleške doline, potrjujeta, da le-ta nikoli ni bila pretirano onesnažena s fluoridi, kar je očitno iz primerjav naših rezultatov z rezultati drugih študij iz Evrope. Še pomembneje pa je, da trend upada obeh parametrov potrjuje pomembno zmanjšanje onesnaženosti okolja s fluoridi in tudi izpostavljenosti divjadi (vključno s srnjadjo) v Šaleški dolini po letu 2000, ko je bila na 5. bloku TEŠ zgrajena naprava za čiščenje dimnih plinov.

V tretjem delu disertacije smo s pomočjo meritev dolžin spodnjih čeljusti srnjadi določali velikost osebkov (vitalnost populacije) te vrste znotraj celotne Slovenije (n = 11.152). Najdaljše dolžine spodnjih čeljusti ima srnjad iz vzhodne Slovenije (srnjaki: panonska Slovenija: $\bar{a}$ = 158,6 ± 0,2 mm; subpanonska Slovenija: $\bar{a}$ = 159,3 ± 0,2 mm), sledi centralna Slovenija (alpska Slovenija: $\bar{a}$ = 157,3 ± 0,1 mm; visoke kraške planote: $\bar{a}$ = 157,5 ± 0,2 mm). Najmanjšo velikost čeljusti pa ima srnjad iz jugozahodne Slovenije (submediteranska Slovenija: $\bar{a}$ = 156,1 ± 0,3 mm). Mladiči srnjadi najhitreje rastejo v prvi polovici leta (med spoloma ni razlik), tj. do decembra, ko se rast upočasni, vendar osebek do drugega leta starosti še vedno raste. Začetne manjše rasti, ki je lahko zaradi določenih dejavnikov upočasnjena, osebek v kasnejšem času ne more nikoli nadomestiti; ko pa žival enkrat zraste, okoljski dejavniki ne vplivajo več na njeno velikost. Zaradi tega so spodnje čeljusti kot časovno standardiziran vzorec dober kazalnik vitalnosti populacije in kot take zelo primerne za uporabo v kontrolni metodi upravljanja z vrsto.

Na podlagi rezultatov multivariatnih analiz smo ugotovili, da je velikost spodnjih čeljusti odvisna od starosti mladičev oz. enoletnih osebkov, ker s starostjo osebek raste; ta dejavnik pri mladičih pojasni skoraj 95 % vse pojasnjene variabilnosti v dolžini čeljusti, pri lanščakih pa 76 %. Od okoljskih dejavnikov, ki skupaj pojasnijo 4,8 % pojasnjene variance pri mladičih in 23 % pri lanščakih, največ variabilnosti v dolžini spodnjih čeljusti pojasnijo dejavniki, ki vplivajo na razpoložljivost in kvaliteto hrane, in sicer delež obdelovanih in travniških površin, pri enoletnih osebkih tudi delež listavcev in dolžina gozdnega roba. Poleg tega na velikosti čeljusti srnjadi vplivajo tudi klimatski dejavniki, predvsem povprečna letna količina padavin (0,9 % pri mladičih in 4,5 % pri lanščakih), ki pomeni izgubo energije zaradi termoregulacije, spremenljivka pa je povezana tudi z nadmorsko višino in nižjimi povprečnimi temperaturami. Na velikost spodnjih čeljusti enoletnih osebkov vpliva tudi gostota jelenjadi (1,1 % pojasnjene variance), predvsem zaradi kompeticije za hrano v zimskih mesecih, ko je te manj na razpolago.

Zdravstveni status srnjadi (nanašajoč se na žvekalni sistem, tj. čeljusti/zobovje), odvzete iz Slovenije v letu 2007, smo določili z makroskopskim pregledom vseh čeljusti (>39.000) in določitvijo nekaterih anomalij, poškodb oz. bolezni. Prisotnost in pojavnost aktinomikoze (glivično-bakterijsko obolenje: 113 primerov oz. 7,4 ‰) in hipoplazije (izraz motenj v procesu tvorbe sklenine: 216 primerov oz. 14,1 ‰) je posledica vpliva okoljskih dejavnikov, onesnaženosti oz. parazitov, na kar kaže prostorska razporeditev obeh obolenj s tendenco po grupiranju v nekaterih delih Slovenije. Prisotnost prvega predmeljaka (evolucijsko sicer izgubljen zob srnjadi: 27 primerov oz. 0,6 ‰) je naključna, medtem ko se odsotnost drugega predmeljaka (v tem primeru gre po vsej verjetnosti za novodobno evolucijsko spremembo: 137 primerov oz. 3,3 ‰) pojavlja v skupinah, kar nakazuje na potencialni vpliv genetskih faktorjev.

Iz v disertaciji pridobljenih ciljev je očitno, da imajo kompleksne raziskave čeljusti srnjadi (in tudi ostalih vrst prostoživečih parkljarjev) izjemen potencial tako v smislu bioindikacije/biomonitoringa onesnaženosti okolja, izboljšanja upravljanja s populacijami teh vrst in tudi za izvajanje relevantnega in smiselnega monitoringa kakovosti habitatnih tipov ter stanja naravovarstveno pomembnih območij Slovenije. Zaradi tega bi bilo s podobnimi raziskavami čeljusti parkljarjev smiselno nadaljevati tudi v prihodnje in pri tem vključiti nekatere nove izzive (npr. genetika, ugotavljanje dinamike poleganja različnih vrst) oz. jih uvesti kot standardiziran kazalnik stanja okolja v Sloveniji, a tudi v drugih evropskih državah.

8 SUMMARY

Roe deer (*Capreolus capreolus* L.) is one of the most important game species in the majority of European countries; moreover, it is also one of the most suitable species for bioindication of environmental pollution in terrestrial ecosystems. For recording of annual hunting bag and for categorization of eliminated animals roe deer mandibles in Slovenia are collected annually by game managers; these mandibles have a huge potential for either scientists, ecologists or wildlife managers. Indeed, they provide basic information on: (a) environmental pollution with different inorganic pollutants (i. e. fluorides) in the respect of accumulative and reactive bioindication; (b) exposure and responses of populations to different toxic substances (i. e. appearance of dental fluorosis); (c) animal fitness and changes in nutrient quality of their habitat; (d) health status of the population (appearance of different anomalies of mandibles/teeth).

Fluorides are natural compounds of the geosphere and are the 13th most abundant element in the earth crust. They derive from natural sources such as volcanic activity, bedrock weathering, or are a part of marine aerosols. Anthropogenic activity, such as aluminium smelting, iron, steel, copper or nickel production, production and use of fertilizers, glass, brick and ceramic production, and combustion of fossil fuels, respectively, can significantly contribute to increased fluoride concentrations in the environment. These increased concentrations of fluorides may have a negative influence on organisms due to their toxicity. Due to a high affinity of fluoride ions to calcium, their chronic toxic impact on mammals reflect mostly on skeleton and/or teeth; in the latter, the formation and mineralization process is being disturbed (dental fluorosis). In Slovenia, the major pollution source of fluorides is the aluminium plant of Talum (located in the vicinity of Kidričevo) with the yearly emissions >300,000 kg of fluorides. The second major source is the Šoštanj Thermal Power Plant (ŠTPP; yearly emissions around 58,000 kg), and the third is the Trbovlje Thermal Power Plant (yearly emissions around 18,000 kg).

Environmental pollution with fluorides has not yet been intensely studied in Slovenia, therefore we decided to perform a wide-ranged biomonitoring of the entire country with the aim to determine the exposure of roe deer, as a target species, to these pollutants. Therefore, we randomly selected 441 left hemi-mandibles of roe deer (all age categories), culled in 2007 in four regions of Slovenia (the surroundings of Kidričevo, the Šalek Valley, the Zasavje region, and the Upper Savinja Valley (as a control region), respectively) with different deposition of these compounds. On these mandibles we carried out the method of accumulative bioindication, i. e. measurements of fluoride levels in bone powder.

Fluoride levels in mandibles of roe deer significantly increase with age of the animal analysed. The spatial comparison between all four mentioned regions shows that the highest levels of fluorides were in mandibles from the surroundings of Kidričevo (2 – 4 year old animals: n = 42, $\bar{a}$ = 840 ± 64 mg/kg, Max = 2,020 mg/kg); in the Šalek Valley (n = 22, $\bar{a}$ = 175 ± 9 mg/kg, Max = 285 mg/kg) and the Zasavje region (n = 8; $\bar{a}$ = 172 ± 31 mg/kg; Max = 330 mg/kg) the levels were much lower. The lowest levels were determined in mandibles of roe deer from the control region of the Upper Savinja valley (n = 8, $\bar{a}$ = 138 ± 13 mg/kg, Max = 201 mg/kg), where the lowest ever recorded levels of fluorides in mandibles of this species in Europe were found. In all other age categories (i. e. fawns, yearlings, 5 – 7 years old animals, 8 and more years old animals) the same rank of fluoride levels across all four regions was determined.

For the Šalek Valley also historical biomonitoring of fluoride levels in 220 mandibles of roe deer, culled in the period 1997-2009, was carried out. There was a statistically important trend of decreasing fluoride pollution of the environment, which reflected in the decrease of fluoride levels in all age categories with time. The decrease was in linear correlation with the decrease of SO_2 ($r = 0.86$; $p < 0.001$) and dust ($r = 0.72$; $p < 0.001$) emissions from the power plant in the studied period; the breaking year was the year 2000, when an air cleaning device was built at the block 5 of the ŠTPP. In the Šalek Valley, the most burdened area with fluorides, is Veliki Vrh, located directly above the power plant. Similarly, we also found the decrease in fluoride levels in mandibles of roe deer with the increasing distance from the aluminium plant of Talum in the surrounding of Kidričevo.

For reactive bioindication, assessment of dental fluorosis (DLI) in a huge sample set, representing the total annual cull of roe deer in Slovenia (year 2007) was done by ocular examination of all six check teeth of all available adult roe deer mandibles (n = 14,672) for the presence of dental fluorosis (incidence: 14.9%; average DLI = 0.6 ± 0.0; Max DLI = 25). These results exhibited that dental fluorosis (appearance and severity) is in Slovenia significantly lower in comparison with some other areas in Europe. Only one region, i.e. the vicinity of Kidričevo, where aluminium smelter is located, showed higher average DLI (Hunting ground Boris Kidrič: average DLI = 7.8 ± 1.3; Max DLI = 20). In this region, roe deer might be slightly influenced, due to the decrease in average life expectancy as a result of the high dental fluorosis. On the contrary, all large naturally important areas of Slovenia are not polluted with fluorides; in this respect, their environment has good ecological status.

Among environmental and/or individual factors that influence the appearance of dental fluorosis, the main negative influence have point sources of pollution, the age of the animal (dental fluorosis increases with age) and the forest share, which intercepts some of the fluorides from the atmosphere (highest the share, lower is the fluorosis).

Retrospective biomonitoring of fluoride pollution of the Šalek Valley was done by the assessment of dental fluorosis of all adult roe deer, culled in the Šalek Valley (five hunting grounds) in the period 1997-2009 (n: 1.371; average DLI = 0.7 ± 0.1; Max DLI = 15). There was a significant trend of a decrease of dental fluorosis in the total period (year 1997: average DLI = 1.6 ± 0.2; Max = 15; year 2009: average DLI = 0.2 ± 0.1; Max = 6). Dental fluorosis and also fluoride levels in mandibles of roe deer, culled in the Šlek Valley, confirm that the area has never been excessively polluted with fluorides, which derives from the comparison of our data with the data from different parts of Europe. More importantly, trend of a decrease of both parameters shows that the environment of the area has significantly recuperated after the installation of the air cleaning device at the ŠTPP in the year 2000.

In the third segment of the thesis we assessed fitness of roe deer in the entire cull of the species in 2007 with the measurements of mandible lengths (n = 11.152). The longest mandibles and therefore the largest body have roe deer from eastern Slovenia (roe deer bucks: Pannonian Slovenia: $\bar{a} = 158.6 \pm 0.2$ mm; Subpanonnian Slovenia: $\bar{a} = 159.3 \pm 0.2$ mm). The shortest mandible lengths (the smallest animals) were found in the population of the southwestern Slovenia (Submediterranean region: $\bar{a} = 156.1 \pm 0.3$ mm).

Roe deer fawns have the fastest growth (no differences between genders) in the first half of the year (from spring to winter), i. e. until December, when the growth becomes more slowly; however, the animal still grows until its second year. If a fawn doesn't grow enough in the first months, is doesn't reaches a certain size, which can never be compensated afterwards in life. After the animal is fully grown, environmental factors can't influence its body size. Therefore, mandibles may be a good and well-standardized samples, which show the environmental conditions mainly in the firs year of the animal. Therefore, mandibles should be used in the control method for the management purposes of the species.

With the multivariate analyses we confirmed that the main influence on the mandible lengths of roe deer fawns has the age on af animal. This factor represents 95% (in the case of fawns) or 76 % (in the case of yearlings) of the total explained variance. Environmental factors together explain 4.8% (in the case of fawns) or 23% (in the case of yearlings) of the total explained variance of the model. The highest variance explain factors that represent the quality and abundance of food resources. Particularly the share of cultivated land or the share of grassland; in the case of yearlings, also the share of coniferous and the length of the forest edge influence the mandible size (the last factor negatively and first three factors positively). Other environmental factors that exert negative influence on the growth of roe deer are: (i) climate conditions (precipitations, which means energy loss due to needed thermoregulation; 0.9% explained variance in the case of fawns, and 4.5% in the case of yearlings); (ii) density of red deer (*Cervus elaphus* L.) i. a. inter-specific competition.

The health status (referring to mastication system) of the Slovenian population of roe deer, also culled in the entire Slovenia in 2007 (n >40.000), was assessed with determination of some anomalies and/or diseases of mandibles/teeth; the presence and distribution of actinomycosis (113 cases; 7.4‰) and enamel hypoplasia (216 cases; 14.1‰) is random in Slovenia, but still there can be found some groupations, therefore the influence of environment factors, pollution or parasites cannot be eliminated. Presence of the fist premolar (27 cases; 0.6‰) is random, while absence of the second premolar (137 cases; 3.3‰) appears in groups, which may be the consequence of genetic factors.

The thesis confirms that detailed studies on mandibles have an enormous potential, either in environmental biomonitoring programs or for improving the management with the species. Morover, they also enable relevant monitoring of the habitat quality and condition of the ecologically important nature protected areas of Slovenia. Indeed, similar studies of mandibles should be performed also in the future, including new challenges (i. e. genetics). Finally, we recommend measurements of mandible lengths as new indicator in the adaptive management with the species.

9 VIRI

Adamič M. 1990. Prehranske značilnosti kot element načrtovanja, varstva, gojitve in lova parkljaste divjadi s poudarkom na jelenjadi *(Cervus elaphus L.)*. Ljubljana, IGLG, Strokovna in znanstvena dela 105: 203 str.

Adamič M., Jerina K. 2010. Ungulates and their management in Slovenia. V: European ungulates and their management in the 21st century. Apollonio M., Andersen R., Putman R. (ur.). Cambridge, New York, Cambridge University Press: 507-526

Agguire A. A., Bröjer C., Mörner T. 1999. Descriptive epidemiology of roe deer mortality in Sweden. Journal of Wildlife Diseases, 35, 4: 753-762

Aitken R. J. 1975. Cementum layers and tooth wear as criteria for ageing roe deer (*Capreolus capreolus*). Journal of Zoology, 175: 15-28

Al Sayegh Petkovšek S. 2008. Glive kot odzivni in akumulacijski bioindikatorji onesnaženosti gozdnih rastišč v Šaleški dolini: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 251 str.

Al Sayegh Petkovšek S., Pokorny B. 2009. Strokovne podlage za boljše upravljanje s populacijami velikih vrst divjadi. DP-18/02/09. Velenje, ERICo: 65 str.

Al Sayegh Petkovšek S., Batič F., Ribarič Lasnik C., 2006. Biomonitoring gozdnega ekosistema v imisijskem območju Termoelektrarne Šoštanj. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 80: 55-63

Al Sayegh Petkovšek S., Bienelli Kalpič A., Poličnik H., Pokorny B. 2008. Biomonitoring gozdnega ekosistema po zmanjšanju emisij iz TEŠ. DP-2/02/08. Velenje, ERICo: 122 str.

Andersen R., Linnell J. D. C. 1997. Variation in maternal investment in a small cervid. The effects of cohort, sex, litter size and time of birth in roe deer (*Capreolus capreolus*) fawns. Oecologia, 109: 74-79

Andersen R., Duncan P., Linnell J. D. C. (ur.). 1998. The European roe deer: the biology of success. Oslo, Scandinavian University Press: 376 str.

Aoba T., Fejerskov O. 2002. Dental Fluorosis: Chemistry and Biology. Critical Reviews in Oral Biology & Medicine, 13, 2: 155-170

Apollonio M., Andersen R., Putman R. (ur.). 2010. European ungulates and their management in the 21st century. Cambridge, New York, Cambridge University Press: 618 str.

Appleton J., Chesters J., Kierdorf U., Kierdorf H., 2000. Changes in the structure of dentine from cheek teeth of deer chronically exposed to high levels of environmental fluoride. Cells Tissues Organs, 167: 266-272

Archer F. C., Hodgson I. H. 1987. Total and extractable trace element content of soils in England and Wales. Journal of Soil Science, 38: 421-431

Arndt U., Nobel W., Schweizer B. 1987. Bioindikatoren: Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer: 388 str.

Atlas okolja. Agencija Republike Slovenije za okolje. http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (17. mar. 2010)

Austin Z., Cinderby S., Smart J. C. R., Raffaelli D., White P. C. L. 2009. Mapping wildlife: integrating stakeholder knowledge with modelled patterns of deer abundance by using participatory GIS. Wildlife Research, 36, 7: 553-564

Azorit C., Analla M., Munoz Cobo J. 2003. Variation of mandible size in red deer *Cervus elaphus hispanicus* from southern Spain. Acta Theriologica, 48, 2: 221-228

Baars A. J., Van Beek H., Spierenburg T. J., De Graaf G. J., Beeftink W. G. 1987. Fluoride pollution in a salt marsh: movement between soil, vegetation, and sheep. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 39: 945-952.

Barber Meyer S. M., Mech L. D., White P. J. Elk calf survival and mortality following wolf restoration to Yellowstone National park. Wildlife Monographs, 169: 1-30

Barja I., Rosellini S. 2008. Does habitat type modify group size in roe deer and red deer under predation risk by Iberian wolves? Canadian Journal of Zoology, 86, 3: 170-176

Bartos L., Vankova D., Miller K. V., Siler J. 2002. Inter-specific competition between white-tailed, fallow, red, and roe deer. Journal of Wildlife management, 66: 522-527

Batič F. 1994. Bioindikacija onesnaženosti zraka in njen pomen pri vzpostavitvi integralnega monitoringa. V: Varstvo zraka – stanje in ukrepi za izboljšanje stanja v Sloveniji. Batič F. (ur.). Ljubljana, Zavod za tehnično izobraževanje: 12/1-12/10

Batič F. 1997. Pomen bioindikacije pri spremljanju stanja okolja. V: Sanacija termoenergetskih objektov (zbornik 1. mednarodnega simpozija). Dejanovič B., Ribarič Lasnik C. (ur.). Rogaška Slatina, Termoelektrarna Šoštanj, CEE, ERICo: 291-294

Bartlett J. D., Dwyer S. E., Beniash E., Skobe Z., Payne Ferreira T. L. 2005. Fluorosis: A New Model and New Insights. Journal of Dental Research, 84, 9: 832-836

Bellomo S., Aiuppa A., D´Alessandro W., Parello F. 2007. Environmental impact of magmatic fluorine emission in the Mt. Etna area. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 165: 87-101

Beričnik Vrbovšek J. 1999. Fluoridi na vplivnih območjih termoenergetskih objektov v Sloveniji. DP-415/99. Velenje, ERICo: 44 str.

Beričnik Vrbovšek J. 2000. Fluoridi na vplivnih območjih termoenergetskih objektov v Sloveniji. DP-38/2000. Velenje, ERICo: 48 str.

Beričnik Vrbovšek J. 2002. Fluoridi na vplivnih območjih termoenergetskih objektov v Sloveniji. DP-16/02/02, Velenje, ERICo: 34 str.

Berginc M., Kremesec Jevšenak J., Vidic J. 2007. Sistem varstva narave v Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 128 str.

Bergmann W. (ur.). 1992. Nutritional disorders of plants. 1. izd. Jena, New York, Gustav Fischer Verlag: 300 str.

Berthelsen B. O., Steinnes E., Solberg W., Jingsen L. 1995. Heavy metal concentrations in plants in relation to atmospheric heavy metal deposition.. Journal of Environmental Quality, 24: 1018-1026

Bertouille S. B., De Crombrugghe S. A. 1995. Body mass and lower jaw development of the female red deer as indices of habitat quality in the Ardennes. Acta Theriologica, 40, 2: 145-162

Bideau E., Gerard J. F., Vincent J. P., Maublanc M. L. 1993. Effects of age and sex on space occupation by European roe deer. Journal of Mammalogy, 74: 745-751

Bienelli Kalpič A. 2002. Ugotavljanje stresa pri bukvi (*Fagus sylvatica* L.) na vplivnem območju Termoelektrarne Trbovlje z izbranimi ekofizioloških kazalniki: magistrsko delo (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo). Ljubljana, samozaložba: 146 str.

Bizjak J. 2008. Zavarovana območja v Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 95 str.

Borza E., Vancura V. 2009. Last of the wild: overview of status and monitoring of some wilderness related species in the Natura 2000 network. Hungary, PAN Parks Fondation: 36 str.

Boulton I. C., Cooke J. A., Johnson M. S. 1994. Fluoride accumulation and toxicity in wild small mammals, Environmental Pollution, 85: 161-167

Boulton I. C., Cooke J. A., Johnson M. S. 1999. Lesion scoring in field vole teeth: application to the biological monitoring of environmental fluoride contamination. Environmental Monitoring and Assessment, 55: 409-422

Breiman L., Friedman J. H., Olshen R. A., Stone C. G. 1984. Classification and regression trees. Boca Raton, London, Chapmann & Hall, 358 str.

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. 1984. 89/1984:199 Verordnung

Camargo J. A. 2003. Fluoride toxicity to aquatic organisms: a review. Chemosphere, 50, 3: 251-264

CERCLA Priority List of Hazardous Substances. 2010. Agency for toxic substances and disease registry. http://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=38 (20. sep. 2010)

Challies C. N. 1978. Assessment of the physical well-being of red der (*Cervus elaphus* L.) populations in South Westland: PhD thesis. (University of Canterbury, New Zealand.). Christchurch, samozaložba: 153. str.

Choubisa S. L. 2008. Dental fluorosis in domestic animals. Current Science, 95, 12: 1674-1675

Collins T. F. X., Sprando R. L., Shackelford M. F., Black T. N., Ames M. J., Welsh J. J., Balmer M. F., Olejnik N., Ruggles D. I. 1995. Developmental toxicity of sodium fluoride in rats. Food and Chemical Toxicology, 3, 11: 951-960

Cobben M. M. P., Linnell J. D. C., Solberg E. J., Andersen R. 2009. Who wants to live forever? Roe deer survival in a favorable environment. Ecological Research, 24: 1197-1205

Convention on Biological Diversity, 1992. Rio de Janeiro, United Nations. http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf (7. dec. 2010)

Cortés Avizanda A., Selva N., Carrete M., Donáza J. A. 2009. Effects of carrion resources on herbivore spatial distribution are mediated by facultative scavengers. Basic and Applied Ecology, 10: 265-272

Coulson T., Catchpole E. A., Albon S. D., Morgan B. J. T., Pemberton J. M., Clutton Brock T. H., Crawley M. J., Grenfell B. T. 2001. Age, sex, density, winter weather, and population crashes in Soay sheep. Science, 292: 1528-1531

Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora.

Couturier S., Otto R. D., Côté S. D., Luther G., Mahoney S. P. 2010. Body size variations in caribou ecotypes and relationship with demography. Journal of Wildlife Management, 74, 3: 395-404

Cransac N., Cibien C., Angibault J. M., Morellet N., Vincent J. P., Hewison A. J. M. 2001. Seasonal variation in the diet of roe deer (*Capreolus capreolus*) according to sex in a very dense forest (Dourdan, France). Mammalia, 65: 1-12

Čas M., 2008. Populacijska dinamika srne (*Capreolus capreolus*) v odvisnosti od spreminjanja rabe tal ter številčnosti lisice (*Vulpes vulpes*) in jelena (*Cervus elaphus*) na Slovenskem. V: Povzetki: prispevki: 1. slovenski posvet z mednarodno udeležbo o upravljanju z divjadjo: srnjad. Pokorny B., Savinek K., Poličnik H. (ur.). Velenje, ERICo: 26-28

Deer (Scotland) Act 1996. 1996. By the Queen's most Excellent Majesty, by and with the advice and consent of the Lords Spiritual and Temporal, and Commons (24. jul. 1996). http://www.opsi.gov.uk/acts/acts1996/ukpga_19960058_en_1 (5. avg. 2010)

De'Ath G., Fabricius K.E. 2000. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. Ecology, 81, 11: 3178–3192

Den Besten P. K. 1994. Dental fluorosis: its use as a biomarker. Advances in Dental Research, 8: 105-110

Digitalna osnovna geološka karta Slovenije. 2009. Ljubljana, Geodetski zavod Slovenije

Digitalni model reliefa 100 x 100 m. 1995. Ljubljana, Geodetska uprava republike Slovenije.

Dillon W. R., Goldstein M. 1984. Multivariate Analysis. Methods and Applications. New York, Wiley: 587 str.

Directive 2009/147/EC of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on the conservation of wild birds

Direktiva 2003/4/ES Evropskega parlamenta in Sveta o dostopu javnosti do informacij o okolju in o razveljavitvi Direktive Sveta 90/313/EGS. 2003

Duncan P., Tixier H., Hofmann R. R., Lechner Doll M. 1998. Feeding strategies and the physiology of digestion in roe deer. V: The European roe deer: the biology of success. Andersen R., Duncan P., Linnell J. D. C. (ur.). Oslo, Scandinavian University Press: 91-116

Fejerskov O., Larsen M.J ., Richards A., Baelum V. 1994. Dental tissue effects of fluoride. Advances in Dental Research, 8: 15-31

Ferretti F., Sforzi A., Lovari S. 2008. Intolerance amongst deer species at feeding: roe deer are uneasy banqueters. Behavioural Processes, 78: 487-491

Flis J., Zapušek A., Bole M., Druks P., Dušak I., Kresnik D., Žaberl M. 2002. Poročilo o vplivih na okolje naprave za razžveplanje dimnih plinov na bloku TET 2 Termoelektrarne Trbovlje. Velenje, ERICo: 89 str.

Fluorides: Environmental Health Criteria 227. 2002. Geneva, World Health Organization. http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc227.htm (11. nov. 2009)

Focardi S. 2008. Adaptive management, population estimates and spatial structure in ungulate populations: the Italian experience. V: Pokorny B., Savinek K., Poličnik H. (ur.). Povzetki: prispevki: 1. slovenski posvet z mednarodno udeležbo o upravljanju z divjadjo: srnjad. Velenje, ERICo d.o.o: 12-13

Focardi S., Raganella Pelliccioni E., Petrucco R., Toso S. 2002. Spatial patterns and density dependence in the dynamics of a roe deer (*Capreolus capreolus*) population in central Italy. Oecologia, 130: 411-419

Focardi S., Aragno P., Montanaro P., Riga F. 2006. Inter-specific competition from fallow deer *Dama dama* reduces habitat quality for the Italian roe deer *Capreolus capreolus italicus*. Ecography, 29: 407-417

Fordyce F. M., Vrana K., Zhovinsky E., Povoroznuk V., Toth G., Hope B. C., Iljinsky U., Baker J. 2007. A health risk assessment for fluoride in Central Europe. Environmental Geochemistry and Health, 29: 83-102

Franzaring J., Hrenn H., Schumm C., Klumpp A., Frangmeier A. 2006. Environmental monitoring of fluoride emissions using precipitation, dust, plant and soil samples. Environmental Pollution, 144: 158-165

Fridl J., Kladnik D., Orožen Adamič M., Perko D. 1998. Geografski atlas Slovenije: država v prostoru in času. Ljubljana, DZS: 360 str.

Fuge R., Andrews M. J. 1988. Fluorine in the UK environment. Environmental Geochemistry and Health, 10, 3/4: 96-104

Gabrovec M. 1996. Sončno obsevanje v reliefno razgibani Sloveniji. Geograski zbornik, 36: 47-68

Gačić, D. P., Milošević Zlatanović S. M., Pantić D. S., Daković D. B. 2007. Evaluation of the eye lens method for age determination in roe deer *Capreolus capreolus*. Acta theriologica, 52, 4: 419-426

Gaillard J. M., Delorme D., Jullien J. M., Tatin D. 1993. Timing and synchrony of births in roe deer. Journal of Mammalogy, 74: 738-744

Gaillard J. M., Liberg O., Andersen R., Hewison A. J. M., Cederlund G. 1998. Population dynamics of roe deer. V: The European roe deer: the biology of success. Andersen R., Duncan P., Linnell J. D. C. (ur.). Oslo, Scandinavian University Press: 309-336

Gaillard J. M., Festa Bianchet M., Yoccoz N. G., Loison A., Toigo C. 2000. Temporal variation in fitness components and population dynamics of large herbivores, 2000. The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 31: 367-393

Garrott R. A., Eberhardt L. L., Otton J.K ., White P. J., Chaffee M. A. 2002. A Geochemical Trophic Cascade in Yellowstone's Geothermal Environments. Ecosystems, 5: 659-666

Ghosh D., Das Sarkar S., Maiti R., Jana D., Das U. B. 2002. Testicular toxicity in sodium fluoride treated rats: association with oxidative stress. Reproductive Toxicology, 16, 4: 385-390

Govarts E., Den Hond E., Schoeters G., Bruckers L. 2010. Determinants of Serum PCBs in Adolescents and Adults: Regression Tree Analysis and Linear Regression Analysis. Human And Ecological Risk Assessment, 16, 5: 1115-1132

Gupta S. K., Seth A. K., Gupta A., Gavane A. G. 1993. Transplacental passage of fluorides. Journal of Pediatrics, 123, 1: 139-141

Gutowski J. M. 2004. Invertebrates as a biological monitoring object in Bialowieza primeval forest. Lesne Prace Badawcze, 1: 23-54

Habjan V., Skoberne P. 2004. Naravne znamenitosti Slovenije. Izletniški vodnik. Ljubljana, Sidarta: 200 str.

Hafner M. 2008. Jelenjad. Zgodovina na Slovenskem, ekologija, upravljanje. (Zlatorogova knjižnica, 34). Ljubljana, Lovska zveza Slovenije: 430 str.

Harrison P. T. C. 2005. Fluoride in water: a UK perspective. Journal of Fluorine Chemistry, 126: 1448-1456

Hatherington D. A. 2008. The history of the Eurasian Lynx in Britain and the potential for its reintroduction. British Wildlife, 20, 2: 77-86

Hatherington D. A., Gorman M. L. 2007. Using prey densities to estimate the potential size of reintroduced populations of Eurasian lynx. Biological Conservation, 137: 37-44

Hell P., Stanovsky M., Zilinec M. 1995. Dentalfluorose des Rehwildes in der Region einer slowakischen Aluminiumfabrik. Zeitschrift für Jagdwissenschaft, 41: 117-125

Hewison A. J. M., Gaillard J. M. 1996. Birth-sex ratios and local resource competition in roe deer, *Capreolus capreolus*. Behavioral Ecology, 7, 4: 461-464

Hewison A. J. M., Vincent J. P., Bideau E., Angibault J. M., Putman R. J. 1996. Variation in cohort mandible size as an index of roe deer (*Capreolus capreolus*) densities and population trends. Journal of Zoology, 239: 573-581

Hewison A. J. M., Vincent J. P., Reby D., 1998. Social organisation of European roe deer. V: The European roe deer: the biology of success. Andersen R., Duncan P., Linnell J. D. C. (ur.). Oslo, Scandinavian University Press: 189-219

Hewison A. J. M., Vincent J. P., Angibault J. M., Delorme D., Van Laere G., Gaillard J. M. 1999. Tests of estimation of age from tooth wear on roe deer of known age: variation within and among populations. Canadian Journal of Zoology, 77: 58-67

Hill A. C. 1969. Air quality standards for fluoride vegetation effects. Journal of Air Pollution, 19, 5: 331-336

Hlad B., Skoberne P. (ur.). 2001. Pregled stanja biotske raznovrstnosti in krajinske pestrosti v Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za pokolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 224 str.

Horowitz H. S., 1998. Fluoride and enamel defects. Advances in Dental Research, 3, 2: 143-146

Homšak M. (ur). 2007. Ravnanje z okoljem ter varnost in zdravje pri delu: ISO 14001, OHSAS 18001. Maribor, Talum: 19 str. http://www.talum.si/pdf/Okolje_varnost_2007.pdf (20. sept. 2010)

Homšak M., Trafela I., Žigman B., Ačimovič B. 2006. Ravnanje z okoljem ter varnost in zdravje pri delu ISO 14001, OHSAS 18001. 2006. Maribor, Talum: 19 str.
URL: http://www.talum.si/pdf/Okolje_varnost_2007.pdf (23.11.2009).

Høye T. T. 2006. Age determination in roe deer: a new approach to tooth wear evaluated on known age individuals. Acta Theriologica, 52, 2: 205-214

Høye T. T., Forchhammer M.C. 2006. Early developed section of the jaw as an index of prenatal growth conditions in adult roe deer *Capreolus capreolus*. Wildlife Biology, 12, 1: 71-76

Hrabe V., Koubek P. 1987. A comparison of some ageing methods in male roe deer (*Capreolus capreolus*). Folia Zoologica, 36: 1-12

Hribernik F. 1998. Mesto Šoštanj: zgodovinski opis. 1. ponatis. Šoštanj, Občina Šoštanj: 267 str.

Izbor statističnih podatkov lovskih organizacij Slovenije, 1962-2000. 2001. Ljubljana, Lovska zveza Slovenije: 26 str.

Janžovnik A., Kotnik K., Pavšek Z. 2003. Splošni pregled naravnih in krajinskih značilnosti Šaleške doline. V: Razvojni načrt rekreacije in turizma v Šaleški dolini in ob spodnjem toku Pake. Velenje, ERICo: 6-16

Jędrzejewska B., Okarma H., Jędrzejewski W., Miłkovski L. 1994. Effects of exploitation and protection on forest structure, ungulate density and wolf predation in Białowieża primeval forest, Poland. Journal of Applied Ecology, 31: 664-676

Jelenko I. 2005. Pokrajinski učinki sanacije Termoelektrarne Šoštanj: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo). Ljubljana, samozaložba: 101 str.

Jelenko I., Pokorny B. 2009. Čeljusti srnjadi kot bioindikator onesnaženosti okolja in pripomoček za upravljanje s populacijami. DP-20/02/09. Velenje, ERICo: 111 str.

Jelenko I., Pokorny B. 2010. Historical biomonitoring of fluoride pollution by determining fluoride contents in roe deer (*Capreolus capreolus* L.) antlers and mandibles in the vicinity of the largest Slovene thermal power Plant. Science of the Total Environment, 409: 430-438

Jelenko I., Savinek K., Bienelli Kalpič A., Poličnik H., Pokorny B. 2008. Srnjad kot kazalnik kakovosti življenjskega okolja, s poudarkom na ugotavljanju onesnaženosti okolja s fluoridi z določitvijo zobne fluoroze spodnjih čeljusti. V: Povzetki: prispevki: 1. slovenski posvet z mednarodno udeležbo o upravljanju z divjadjo: srnjad. Pokorny B., Savinek K., Poličnik H. (ur.). Velenje, ERICo: 38-41

Jelenko I., Savinek K., Pokorny B. 2009. Roe deer mandibles as a bioindicator of environmental pollution with fluorides: a case study from the Šalek Valley, Slovenia. V: 9th European Roe Deer Congress, Edinburgh, 6th-11th July, 2009: Abstracts for scientific sessions: 21.

Jelenko I., Bienelli Kalpič A., Pokorny B. 2010a. Bioindikacija onesnaženosti okolja s fluoridi z uporabo čeljusti srnjadi (*Capreolus capreolus* L.): stanje in perspektive. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 92: 3-20

Jelenko I., Jerina K., Pokorny B. 2010b. Vplivi okoljskih dejavnikov na pojavljanje in prostorsko razporeditev zobne fluoroze pri srnjadi (*Capreolus capreolus* L.) v vzhodni Sloveniji. Zbornik gozdarstva in lesarstva. 92: 21-32

Jepsen J. U., Topping C. J. 2004. Modelling roe deer (*Capreolus capreolus*) in a gradient of forest fragmentation: behavioural plasticity and choice of cover. Canadian journal of Zoology, 82: 1528-1541

Jerina K., Adamič M., Marinčič A., Vidojevič V. 2002. Analiza in prostorsko modeliranje habitata jelenjadi (*Cervus elaphus* L.) jugozahodne Slovenije v rastrskem GIS okolju. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 68: 7-31

Jerina K. 2006a. Prostorska razporeditev, območja aktivnosti in telesna masa jelenjadi (*Cervus elaphus* L.) glede na okoljske dejavnike: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 172 str.

Jerina K. 2006b. Vplivi okoljskih dejavnikov na prostorsko razporeditev divjega prašiča (*Sus scrofa* L.) v Sloveniji. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 81: 2-20

Jerina K. 2007. The effects of habitat structure on red deer (*Cervus elaphus*) body mass. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 82: 3-13

Jonozovič M., 2008. Upravljanje s srnjadjo v Sloveniji v obdobju 1996 – 2007 – načrtovanje in izvedba. V: Povzetki: prispevki: 1. slovenski posvet z mednarodno udeležbo o upravljanju z divjadjo: srnjad. Pokorny B., Savinek K., Poličnik H. (ur.). Velenje, ERICo: 54-59

Kahama R. W., Kariuki D. N., Kariuki H. N., Njenga L.W . 1997. Fluorosis in children and sources of fluoride around Lake Elementaita region of Kenya. Fluoride (Research report by International Society for Fluoride Research), 30, 1: 19-25

Kalan P. 1997. Vsebnost žvepla in fluora v vzorcih smrekovih iglic na Kozjem: delovno poročilo. Ljubljana, Gozdraski inštitut Slovenije.

Kalan J., Simončič P. 1994. Vpliv onesnaženega zraka na gozdna tla. V: Zbornik posvetovanja Varstvo zraka - stanje in ukrepi za izboljšanje stanja v Sloveniji. Ljubljana, Zavod za tehnično izobraževanje: 14/-14/13.

Kamler J. F., Jedrzejewska B., Jedrzejewski W. 2007: Factors affecting daily ranges of red deer (*Cervus elaphus* L.) in Bialowieza Primeval Forest, Poland. Acta Theriologica, 52,2: 113-118

Karstad L. 1967. Fluorosis in deer (*Odocoileus virginianus*). Bulletin of the Wildlife Disease Association. 3: 42-46

Kazalci okolja v Sloveniji: narava in biotska pestrost, NB03: ohranjenost populacij divjadi. 2007. Ljubljan, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje (junij, 2007). http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=125 (5. avg. 2010)

Kay E. 1975. Fluoride distribution in different segments of the femur, metacarpus and mandible of mule deer. Fluoride, 8: 92-97

Kay E, Tourangeau P. C, Gordon C. C. 1975. Industrial fluorosis in wild mule and whitetail deer from western Montana. Fluoride, 8: 182-191

Kay E., Tourangeau P. C., Gordon C. C. 1976. Populational variation in fluoride parameters in wild ungulates from the western United States. Fluoride, 9: 73-90

Khandare A. L., Rao G. S. 2006. Uptake of Fluoride, Aluminium and Molybdenum by Some Vegetables from Irrigation Water. The Journal of Human Ecology, 19, 4: 283-288

Kierdorf U. 1988. Untersuchungen zum Nachweis immissions-bedingter chronischer Fluoridintoxication beim Reh (*Capreolus capreolus* L.). Zeitschrift für Jagdwissenschaft, 34: 192-204

Kierdorf U. 1991. A study of dental fluorosis in roe deer *Capreolus capreolus* L. V: Global Trends in Wildlife Management. Bobek K., Perzanowski K., Regelin W. (ur.). Krakow, Warszawa, Swiat Press: 385-388

Kierdorf H. 1993. Das Auftreten mandibularer und maxillarer erster Praemolaren beim Reh (*Capreolus capreolus* L.) in ontogenetischer und evolutiver Sicht. Zool. Jb. Anat. 123: 227-243

Kierdorf U. 2010. Dental fluorosis in wild mammals as bioindicator of environmental pollution. V: Predavanje na Visoki šoli za varstvo okolja, Velenje, 4. oktober 2010 (neobjavljeno)

Kierdorf U., Kierdorf H. 1989. A scanning electron microscopic study on surface lesions in fluorosed enamel of roe deer (*Capreolus capreolus* L.). Veterinary Pathology, 26: 209-215

Kierdorf H., Kierdorf U. 1997. Disturbances of the secretory stage of amelogenesis in fluorosed deer teeth: a scanning electron-microscopic study. Cell and Tissue Research, 289: 125-135

Kierdorf H., Kierdorf U. 1999. Reduction of fluoride deposition in the vicinity of a brown coal-fired power plant as indicated by bone fluoride concentrations of roe deer (*Capreolus capreolus*). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 63: 473-477

Kierdorf U., Kierdorf H. 1999. Dental fluorosis in wild deer: its use as a biomarker of increased fluoride exposure. Environmental Monitoring and Assessment, 57: 265-175

Kierdorf U., Kierdorf H. 2000a. Temporal and geographical variation in skeletal fluoride content of roe deer (*Capreolus capreolus*) from industrialized areas in Germany. Comparative Biochemistry and Physiology, 126: 61-68

Kierdorf U., Kierdorf H. 2000b. Comparative analysis of dental fluorosis in roe deer (*Capreolus capreolus*) and red deer (*Cervus elaphus*): interdental variation and species differences. Journal of Zoology, 250: 87-93

Kierdorf H., Kierdorf U. 2000. Roe deer antlers as monitoring units for assessing temporal changes in environmental pollution by fluoride and lead in a German forest area over a 67-year period. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 39: 1-6

Kierdorf U., Kierdorf H. 2005. Antlers as biomonitors of environmental pollution by lead and fluoride: A review. European Journal of Wildlife Research, 51: 137-150

Kierdorf U., Kierdorf H., Erdelen M., Korsch J. P., 1989. Mandibular fluoride concentration and its relation to age of roe deer (*Capreolus capreolus* L.). Comparative Biochemistry and Physiology, 94: 783-785

Kierdorf U., Kierdorf H., Krefting E. R. 1991. Elektronenstrahl_Mikrosonden-Untersuchung des Fluorgehaltes und der Fluorverteilung in Schmelz und Dentin fluorotischer und nicht fluorotischer backenzähne des Rehes (*Capreolus capreolus* L.). Zeitschrift für Jagdwissenschaft, 37: 232-239

Kierdorf U., Kierdorf H., Fejerskov O., 1993. Fluoride-induced developmental changes in enamel and dentine of European roe deer (*Capreolus capreolus* L.) as a result of environmental pollution. Archives of Oral Biology, 38: 1071-1081

Kierdorf U., Kierdorf H., Erdelen M., Machoy Z., 1995. Mandibular bone fluoride accumulation in wild red deer (*Cervus elaphus* L.) of known age. Comparative Biochemistry and Physiology, 110: 229-302

Kierdorf H., Kierdorf U., Sedláček F., Erdelen M. 1996a. Mandibular bone fluoride levels and occurrence of fluoride induced dental lesions in populations of wild red deer (*Cervus elaphus*) from central Europe. Environmental Pollution, 93: 75-81

Kierdorf H., Kierdorf U., Sedláček F., 1996b. Biomonitoring der Fluoridbelastung des Lebensraumes von Wildwiederkäuern aus Immissionsgebieten Nord-böhmens (Tschechische Republik). Zeitschrift für Jagdwissenschaft, 42: 41-52

Kierdorf U., Kierdorf H., Sedláček F., Fejerskov A.O. 1996. Structural changes in fluorosed dental enamel of red deer (*Cervus elaphus* L.) from a region with severe environmental pollution by fluorides. Journal of Anatomy, 188: 183-195

Kierdorf H., Kierdorf U., Boyde A. 1997. A quantitative backscatered electron imaging study of hypomineralization and hypoplasia in fluorosed dental enamel of deer. Annimal Anatomy, 179: 405-412

Kierdorf H., Kierdorf U., Sedláček F. 1999. Monitoring regional fluoride pollution in the Saxonian Ore mountains (Germany) using the biomarker dental fluorosis in roe deer (*Capreolus capreolus* L.). The Science of The Total Environment, 232: 159-168

Kierdorf H., Kierdorf U., Richards A., Sedláček F. 2000. Disturbed enamel formation in wild boars (*Sus scrofa* L.) from fluoride polluted areas in Central Europe. The Anatomical Record, 259: 12-24

Kierdorf H., Kierdorf U., Richards A., Josephsen K. 2004. Fluoride-induced alterations of enamel structure: an experimental study in the miniature pig. Anatomy and Embryology, 207: 463-474

Kinnunen H., Holopainen T., Räisänen M. L., Kärenlampi L. 2003. Fluoride in birch leaves, ground vegetation, litter and humus in the surroundings of a fertilizer plant and apatite mine in Siilinjärvi, eastern Finland. Boreal Environment Research, 8: 185-192

Kjellander P., Gaillard J. M., Hewison A. J. M. 2006. Density-dependent response of fawn cohort body mass in two contrasting roe deer populations. Oecologia, 146: 521-530

Klein D. R., Strandgaard H. 1972. Factors affecting growth and body size of roe deer. Journal of Wildlife Management, 36, 1: 64-78

Konjević D., Jelenko I., Severin K., Njemirovskij V., Poličnik H., Pokorny B., Barić J., Slavica A. 2011a. How many premolars are in roe deer – a Slovenian example. Wildife Ecology, *v tisku*

Konjević D., Jelenko I., Severin K., Poličnik H., Janicki Z., Slavica A., Njemirovskij, V., Stanin, D., Pokorny, B. 2011b. The prevalence of mandibular osteomyelitis in roe deer (*Capreolus capreolus*) from Slovenia. Journal of Wildlife Disease, *v tisku*.

Kos I., Potočnik H., Skrbinšek T., Majić Skrbinšek A., Jonozovič M., Krofel M. 2005. Ris v Sloveniji: strokovna izhodišča za varstvo in upravljanje. 2., dopolnjena izdaja. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 270 str.

Krohne D. T. 1998. General Ecology. Belmont, Wadsworth Publishing Company: 432 str.

Krže B. 2000. Srnjad: biologija, gojitev, ekologija. (Zlatorogova knjižica). Ljubljana, Lovska zveza Slovenije: 271 str.

Kugonič N., Šešerko M. 1998. Onesnaženost vrtnih tal in vrtnin v Zasavju. V: Knjiga povzetkov: 2. Slovenski simpozij o rastlinski fiziologiji z mednarodno udeležbo, Gozd Martuljek, 30. september - 2. oktober 1998. Društvo za rastlinsko fiziologijo: 79

Kugonič N., Grčman H. 1999 The accumulation of cadmium, lead and zinc by different vegetables from Zasavje (Slovenia): root - soil interactions in trees. V: COST Action E6 Eurosilva Forest Tree Physiology Research Workshop: Slovenia, Gozd Martuljek, September 1999. Ljubljana, Slovenian Forestry Institute: 54)

Kvaliteta okolja v Šaleški dolini: raziskovalni projekt pri usmeritvenem predmetu varstvo geografskega okolja. 2002. Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo: 83 str

Kvamme K., Oštir Sedej K., Stančič Z., Šumrada R. 1997. Geografski informacijski sistemi. Ljubljana, Založba ZRC: 476 str.

La Morgia V., Bassano B. 2009. Feeding habits, forage selection, and diet overlap in Alpine chamois (*Rupicapra rupicapra* L.) and domestic sheep. Ecological Research, 24: 1043–1050

La Morgia V., Bona F., Badino G. 2008. Bayesian modelling procedures for the evaluation of changes in wildlife habitat suitability: a case study of roe deer in the Italian Alps. Journal Of Applied Ecology, 45, 3: 863-872

Lanszki J., Giannatos G., Heltai M., Legakis A. 2009. Diet composition of golden jackals during cub-rearing season in Mediterranean marshland in Greece. Mammalian Biology - Zeitschrift fur Saugetierkunde, 74, 1: 72-75

Latham J., Staines B. W., Gorman M. L. 1996. The relative densities of red *(Cervus elaphus*) and roe (*Capreolus capreolus*) deer and their relationship in Scottish plantation forests. Journal of Zoology, 240, 2: 285-299

Levanič D. 2007. Talum, lahkota prihodnosti: gradivo za novinarje. Maribor, Talum: 10 str. http://www.talum.si/pdf/gradiva/gradivo_novinarji- prestrukturiranje_proizvodnje_talum.pdf (7. okt. 2010)

Linnell J. D. C., Andersen R. 1998. Territorial fidelity and tenure in roe deer bucks. Acta Theriologica, 43: 67-75

Linnell J. D. C., Duncan P., Andersen R. 1998a. The European roe deer: a portrait of a successful species. V: The European roe deer: the biology of success. Andersen R., Duncan P., Linnell J. D. C. (ur.). Oslo, Scandinavian University Press: 11-22

Linnell J. D. C., Wahlström K., Gaillard J. M. 1998b. From birth to independence: birth, growth, neonatal mortality, hiding behaviour and dispersal. V: The European roe deer: the biology of success. Andersen R., Duncan P., Linnell J. D. C. (ur.). Oslo, Scandinavian University Press: 257-283

Lister A. M., Grubb P., Sumner S. R. M. 1998. Taxonomy, morphology and evolution of European roe deer. V: The European roe deer: the biology of success. Andersen R., Duncan P., Linnell J. D. C. (ur.). Oslo, Scandinavian University Press: 23-46

Lovett G. M., Tear T. H., Evers D. C., Findlay S. E. G., Cosby B. J., Dunscomb J. K., Driscoll C. T., Weathers K. C. 2009. Effects of air pollution on ecosystems and biological diversity in the Eastern United States. Annals of the New York Academy of Sciences, 1162, 1: 99-135

Machoy Z., Dabrowska E., Nowicka W. 1991. Increased fluoride content in mandibular bones of deer living in industrialized regions of Poland. Environmental Geochemistry and Health, 13: 161-163

Machoy Z., Dabrowska E., Samuljo D., Ogonski T., Raczynski J., Gebczynska Z., 1995. Relationship between fluoride content in bones and the age in European elk (*Alces alces* L.), Comparative Biochemistry and Physiology, 111: 117-120

Mafalda F. A., Vingada J., Soares A. 2001. The importance of flowers and fruits in roe deer diet. V: 5th Roe deer meeting, Tredozio, 24.-27.apr. 2001. Bologna, Instituto Nazionale per la Fauna Selvatica: 29

Mainar Jaime R. C., Woodbury M. R., Chirino Trejo M. 2007. Survey on 'lumpy jaw' on deer farms in western Canda: Prevalence and distribution, and identification of a associated factors. Veterinary Journal, 55, 1: 30-39

Malhotra A., Tewari A., Chawla H. S., Gauba K., Dhall K. 1993. Placental transfer of fluoride in pregnant women consuming optimum fluoride in drinking water. Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry, 11, 1: 1-3

Mandinic Z., Curcic M., Antonijevic B., Lekic C. P., Carevic M. 2009. Relationship between fluoride intake in Serbian children living in two areas with different natural levels of fluorides and occurence of dental fluorosis. Food and Chemical Toxicology, 47: 1080-1084

Mandinic Z., Curcic M., Antonijevic B., Carevic M., Mandic J., Djukic Cosic D., Lekic C. P. 2010. Fluoride in drinking water and dental fluorosis. Science of the Total Environment, 408, 17: 3507-3512

Massei G., Genov P. V., Staines B. W., Gorman M. L. 1997: Factors influencing home range and activity of wild boar (*Sus scrofa*) in a Mediterranean coastal area. Journal of Zoology, 242: 411-423

Mazej Z. Triglav Brežnik G., Ramšak R. 2009. Changes in physico-chemical characteristics and the succession of phytoplankton in the lake Velenjsko jezero following its restoration. Acta Biologica Slovenica, 52, 2: 49-60

Mazej Z., Al Sayegh Petkovšek S., Pokorny B. 2010. Heavy metal concentrations in food chain of lake Velenjsko jezero, Slovenia: an artificial lake from mining. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 58, 4: 98-107

McKinney R. A, Charpentier M. A., Wigand C. 2009. Assessing the wildlife habitat value of New England salt marshes: I. Model and application. Environmental Monitoring and Assessment, 154, 1-4: 29-40

Melis C., Jędrzejewska B., Apollonio M., Bartoń K. A., Jędrzejewski W., Linnell J. D. C., Kojola I., Kusak J., Adamič M., Ciuti S., Delehan I., Dykyy I., Krapinec K., Mattioli L., Sagaydak A., Samchuk N., Schmidt K., Shkvyrya M., Sidorovich V. E., Zawadzka B., Zhyla S. 2009. Predation has a greater impact in less productive environments: variation in roe deer *Capreolus capreolus* population density across Europe. Global Ecology and Biogeography, 18: 724-734

Melis C., Basille M., Herfindal, I., Linnell J. D. C., Odden J., Gaillard J. M., Hogda K. A., Andersen R. 2010. Roe deer population growth and lynx predation along a gradient of environmental productivity and climate in Norway. Ecoscience, 17, 2: 166-174

Metapodatkovni portal. Agencija Republike Slovenije za okolje. http://gis.arso.gov.si/mpportal/ (5. jul. 2010)

Mežan, U. Zavarovana območja. Agencija Republike Slovenije za okolje. http://www.arso.gov.si/narava/zavarovana%20obmo%C4%8Dja/ (1. dec. 2010)

Mikaelian I., Qualls Jr. C. W., De Guise S., Whaley M. W., Martineau D. 1999. Bone Fluoride Concentrations in Beluga Whales from Canada. Journal of Wildlife Diseases, 35, 2: 356–360

Miklavc J. 2001. Ekološka sanacija (TEŠ) Šaleške doline. Iz zemlje v zrak in cena življenja. List Občine Šoštanj, 7,12: 98-103

Miles A. E. W., Grigson C. 1990. Colyer's Variations and diseses of the teeth of animals. Rev. ed., Cambridge, Cambridge University press: 672 str.

Mitchell B., McCowan D., Parish T. 1986. Performance and population dynamics in relation to management of red deer *Cervus elaphus* at Glenfeshie, Inverness-shire, Scotland. Biological Conservation, 37: 237-267

Modelna karta celoletnih padavin v Sloveniji. 2004a. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje

Modelna karta celoletnih povprečnih temperatur v Sloveniji. 2004b. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje

Montherrat Carret L., Perrat Mabilon B., Barbey E., Bouloc R., Boivin G., Michelet A., Magloire H. 1996. Chemical and X-ray analysis of fluoride, phosphorus, and calcium in human foetal blood and hard tissues. Archives of Oral Biology, 41, 12: 1169-1178

Morellet N., Gaillard J. M., Hewison A. J. M., Ballon P., Boscardin Y., Duncan P., Klein F., Maillard D. 2007. Indicators of ecological change: new tools for managing populations of large herbivores. Journal of Applied Ecology, 44: 634-643

Morrison S. F., Forbes G. J., Young S. J., Lusk S. 2003. Within-yard habitat use by white-tailed deer at varying winter severity. Forest Ecology and Management, 172, 2/3: 173-182

Mršič N., 1997: Biotska raznovrstnost v Sloveniji, Slovenija – »vroča točka« Evrope, Ljubljana. Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za varstvo narave: 129 str.

Mysterud A. 1998. Habitat Selection by Roe Deer Relative to Resource Distribution and Spatiotemporal Scale: PhD thesis. (University of Oslo, Department of Biology, Division of Zoology) Oslo, samozaložba: 25 str.

Mysterud A. 1999. Seasonal migration pattern and home range of roe deer (*Capreolus capreolus*) in an altitudinal gradient in southern Norway. Journal of Zoology, 247: 479-486

Mysterud A. 2010. Still walking on the wild side? Management actions as steps towards 'semi-domestication' of hunted ungulates. Journal of Applied Ecology, 47: 920-925

Mysterud A., Østbye E. 2006a. Effect of climate and density on individual and population growth of roe deer *Capreolus capreolus* at northern latitudes: the Lier valley, Norway. Wildlife Biology, 12, 3: 321-329

Mysterud A., Østbye E. 2006b. Comparing simple methods for ageing roe deer *Capreolus capreolus*: are any of them useful for management? Wildlife Biology, 12,1: 101-107

Mysterud A., Bjørnsen B. H., Østbye E. 1997. Effects of snow depth on food and habitat selection by roe deer *Capreolus capreolus* along an altitudinal gradient in south-central Norway. Wildlife Biology, 3: 27-33

Mysterud A., Lian L. B., Hjermann D. Ø. 1999. Scale-dependent trade-offs in foraging by European roe deer (*Capreols capreolus*) during winter. Canadian Journal of Zoology, 77: 1486-1493

Nair K. R., Manji F., Gitonga J. N. 1984. The occurrence and distribution of fluoride in groundwaters in Kenya. East African Medical Journal, 61: 503–512

Najvišja višina snežne odeje s povratno dobo 50 let. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje http://gis.arso.gov.si/mpportal/ (12. dec. 2010)

Narava. Agencija Republike Slovenije za okolje. http://www.arso.gov.si/narava/ (30. nov. 2010)

Nazmi O. 2008. Occurrence and problems of high fluoride waters in Turkey: an overview. Environmental Geochemistry and Health, 30, 4: 315-323

Neto J., Ferreira F., Torres P. M., Boavida F. 2009. Lisbon air quality forecast using statistical methods. International Journal of Environment and Pollution, 39, 3-4: 333-339

Neuhold J. M., Sigler W. F. 1960. Effects of sodium fluoride on carp and rainbow trout. Transactions of the American Fisheries Society, 89: 358-370

Newman J. R., Yu M. H. 1976. Fluorosis in black-tailed deer. Journal of Wildlife Diseases, 12: 39-41

Newman J. R., Murphy J. J. 1979. Effects of fluoride on black-tailed deer (prelimenary report). Fluoride, 12: 129-135

Nose Marolt M (ur.). 2005. Natura 2000 v Sloveniji. Ljudje z naravo, narava z ljudmi. Ljubljana, Zavod RS za varstvo narave: 24 str.

Notcutt G., Davies F. 1989. Accumulation of volcanogenic fluoride by vegetation: Mt. Etna, Sicily. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 39: 329-333

Notcutt G., Davies F. 2001. Environmental accumulation of airborne fluorides in Romania. Environmental Geochemistry and Health, 23: 43-51

Nugent G., Frampton V. 1994. Microgeographic and temporal variation in mandible size within a New Zealand fallow deer (*Dama dama*) population. Journal of Applied Ecology, 31: 253-262

O'Brien, C. S., Rosenstock S. S., Hervert J. J., Bright J. L., Boe S. R. 2005. Landscape-level models of potential habitat for Sonoran pronghorn. The Wildlife Society Bulletin, 33, 1: 24-34

Odden J., Linnell J. D. C., Andersen R. 2006. Diet of Eurasian lynx, *Lynx lynx*, in the boreal forest of southeastern Norway: the relative importance of livestock and hares at low roe deer density. European Journal of Wildlife Research, 52: 237-244

Operativni program – program upravljanja območij Natura 2000 2007 – 2013. 2007. Ljubljana, Vlada Republike Slovenije: 66 str. http://www.natura2000.gov.si/uploads/tx_library/141-natura_01.pdf (10. dec. 2010)

Osnovna geološka karta SFRJ: L33-55: Slovenj Gradec: 1:100.000. 1977. Ljubljana, Geološki zavod Ljubljana

Ozsvath D. L. 2009. Fluoride and environmental health: a review. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 8: 59-79

Panzacchi M., Carnevalli L., Genovesi P., Toso S. 2001. Roe deer spatial patterns and development of mother-fawn home ranges in a sub-mediterranean area. V: 5th Roe Deer Meeting, Tredozio, 24.-27. apr. 2001. Bologna, Instituto Nazionale per la Fauna Selvatica: 18

Pavšek Z., Šterbenk E., Jeršič M. 2000. Ocena rekreacijsko turističnega potenciala Velenjskega, Škalskega, Turističnega in Družmirskega jezera ter njihovih bregov. Velenje, ERICo: 158 str.

Pedološka karta v merilu 1: 25.000. 2009. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. http://stari.bf.uni-lj.si/cpvo/Novo/SF_PodatkiTalSlovenije.htm (5. jul. 2009)

Perko D., Orožen Adamič M. (ur.) 1999. Slovenija: pokrajine in Ljudje. Ljubljana, Založba Mladinska knjiga: 753 str.

Pettorelli N., Gaillard J. M., Duncan P., Ouellet J. P., Van Laere G. 2001. Population density and small-scale variation in habitat quality affect phenotypic quality in roe deer. Oecologia, 128: 400-405

Pettorelli N., Gaillard J. M., Van Laere G., Duncan P., Kjellander P., Liberg O., Delorme D., Maillard D. 2002. Variations in adult body mass in roe deer: the effects of population density at birth and of habitat quality. Proceedings of the Royal Society, B: Biological Sciences, 269: 747-753

Peyer B. 1968. Comparative Odontology. Chicago, The University of Chicago Pres: 458 str.

Pindborg J. J. 1970. Pathology of the Dental Hard Tissues. Copenhagen, Munksgaard: 445 str.

Pius A., Viswanathan G. 2008. Determination of calcium dose for minimizing fluoride bioavailability in rabbits. Current Science, 95, 6:770-773

Pokorny B. 2000. Vsebnost težkih kovin v tkivih srnjadi iz emisijsko ogroženih območij Slovenije (Šaleške doline, Zasavja in Mežiške doline). Velenje, ERICo: 108. str.

Pokorny B. 2002. Divjad na cestah. Lovec, 85: 396-397

Pokorny B. 2003. Notranji organi in rogovje srnjadi (*Capreolus capreolus* L.) kot bioindikatorji onesnaženosti okolja z ioni težkih kovin: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 193 str.

Pokorny B. 2004. Parkljarji in promet: stanje v Sloveniji. Lovec, 87: 284-287

Pokorny B. 2006a. Retrospektivni biomonitoring onesnaženosti ekosistemov Šaleške doline s svincem in fluoridi z uporabo rogovja srnjakov. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 80: 65-80

Pokorny B. 2006b. Roe deer (*Capreolus capreolus* L.) antlers as an accumulative and reactive bioindicator of lead pollution near the largest Slovene thermal power plant. V: 1st International Symposium "Game and Ecology": Brijuni, Republic of Croatia, October 10th to October 13th 2005. Veterinarski arhiv, Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Suplement 76: 131-142

Pokorny B. 2006c. Roe deer-vehicle collisions in Slovenia: situation, mitigation strategy and countermeasures. Veterinarski Arhiv, 76: 177-187

Pokorny B. 2008. Razumevanje ekoloških in drugih bioloških značilnosti srnjadi kot osnova za še boljše upravljanje z vrsto. V: Povzetki: prispevki: 1. slovenski posvet z mednarodno udeležbo o upravljanju z divjadjo: srnjad. Pokorny B., Savinek K., Poličnik H. (ur.).Velenje: Erico: 47-53.

Pokorny B. 2009. Kako še izboljšati upravljanje s srnjadjo v Sloveniji? Lovec, 92, 3:130-134

Pokorny B., Ribarič Lasnik C. 2002. Seasonal variability of mercury and heavy metals in roe deer (*Capreolus capreolus*) kidney. Environmental Pollution, 117: 35-46

Pokorny B., Justin B. 2004. Srnjad kot bioindikator onesnaženosti okolja z anorganskimi onesnažili. DP-25/02/04. Velenje, ERICo: 43 str.

Pokorny B., Al Sayegh Petkovšek S. 2005. Vsebnost težkih kovin v gozdnih sadežih iz Šaleške doline, Zasavja, Zgornje Mežiske doline in Zgornje Savinjske doline. Velenje, ERICo: 103 str.

Pokorny B., Zaluberšek M. 2007. Srnjad kot bioindikator onesnaženosti okolja. Velenje, ERICo: 47 str.

Pokorny B., Jelenko I. 2011. ZD08 Izpostavljenost srnjadi kovinam (svincu, kadmiju) in fluoridom. Kazalci okolja. Agencija Republike Slovenije za okolje.

Pokorny B., Adamič M., Ribarič Lasnik C. 2004a. Nihajoča asimetrija (s poudarkom na asimetriji rogovja cervidov) kot zgodnji kazalec stresa: principi, dosedanja dognanja in možnosti uporabe. Zbornik Gozdarstva in Lesarstva, 73: 137-159

Pokorny B., Glinšek A., Ribarič Lasnik C. 2004b. Roe deer antlers as a historical bioindicator of lead pollution in the Šalek Valley, Slovenia. Journal of Atmospheric chemistry, 49: 175-189

Pokorny B., Al Sayegh Petkovšek S., Ribarič Lasnik C., Vrtačnik J., Doganoc D.Z., Adamič M. 2004c. Fungi ingestion as an important factor influencing heavy metal intake in roe deer: evidence from faeces. Science of the Total Environment. 342, 1-3: 223-234

Pokorny B., Marolt J., Poličnik H. 2008a. Ocena učinkovitosti in vplivov zvočnih odvračalnih naprav kot sredstva za zmanjšanje števila trkov vozil z veliko divjadjo. Velenje, Erico: 107 str.

Pokorny B., Zaluberšek M., Savinek K., Poličnik H., Marolt J. 2008b. Trki vozil s srnjadjo: stanje in reševanje problematike v Sloveniji V: Povzetki: prispevki: 1. slovenski posvet z mednarodno udeležbo o upravljanju z divjadjo: srnjad. Pokorny B., Savinek K., Poličnik H. (ur.).Velenje, Erico: 29-34

Pokorny B., Savinek K., Poličnik H. (ur.). 2008c. Povzetki, prispevki: 1. slovenski posvet z mednarodno udeležbo o upravljanju z divjadjo. Srnjad. Velenje, Erico: 59 str.

Pokorny B., Jelenko I., Poličnik H. 2009a. Spatial and temporal variability of roe deer body mass in Slovenia. V: 9th European Roe Deer Congress, Edinburgh, 6th-11th July, 2009: abstracts for scientific sessions: 28

Pokorny B., Jelenko I., Kierdorf U., Kierdorf H. 2009. Roe deer antlers as historical bioindicators of lead pollution in the vicinity of a lead smelter, Slovenia. Water Air and Soil Pollution. 203, 1/4: 317-324

Poličnik H. 2005. Ugotavljanje onesnaženosti zraka s kartiranjem lišajev in akumulacijo težkih kovin v lišajih. Velenje, ERICo: 45 str.

Poličnik H. 2008. Ugotavljanje onesnaženosti zraka s kartiranjem epifitskih lišajev in z analizo akumulacije težkih kovin: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo). Ljubljana, samozaložba: 135 str.

Poličnik H., Batič F. 2007. Ali stanje lišajske flore že kaže na spremembo kakovosti zraka v Šaleški dolini po izgradnji čistilnih naprav v termoelektrarni Šoštanj? Zbornik gozdarstva in lesarstva, 82: 15-23

Ponikvar M. 2008. Expousure of Humans to Fluorine and its Assessment. V: Fluorine and Health. Molecular Imaging, Biomedica Materials and Pharmaceuticals. Tressaud A., Haufe G. (ur.). Amsterdam, Boston, Elsevier: 487-549

Popis gozdov Slovenije – stanje 1990. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije

Post E., Stenseth N. C., Langvatn R., Fromentin J. M. 1997. Global climate change and phenotypic variation among red deer cohorts. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 264: 1317-1324

Potočnik H., Kos I., 2008. Zgodnja smrtnost mladičev pri srnjadi *(Capreolus capreolus*). Ali lahko košnja pomembno vpliva nanjo? V: Povzetki: prispevki: 1. slovenski posvet z mednarodno udeležbo o upravljanju z divjadjo: srnjad. Pokorny B., Savinek K., Poličnik H. (ur.). Velenje, ERICo: 20-21.

Potočnik H., Potokar M., Kos I. 2007. Mortality of ro deer (*Capreolus capreolus*) fawns in Slovenia due to mowing. V: 8th roe deer meeting, Book of abstracts. Pokorny B., Savinek K., Poličnik H. (ur.), Velenje, Slovenia, 25-29 junij, 2007, Velenje, ERICo: 82-83

Povprečna julijska temperatura zraka 1971 – 2000. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje http://gis.arso.gov.si/mpportal/ (12. dec. 2010)

Požar S. (ur.). 2005. Atlas Slovenije. Ljubljana, Mladinska knjiga, Geodetski zavod Slovenije: 487 str.

Pravilnik o evidentiranju odstrela in izgub divjadi ter o imenovanju komisije za oceno odstrela in izgub v lovsko upravljavskem območju. 2005. Ur. l. RS št. 120/05

Pravilnik o vsebini načrtov upravljanja z divjadjo. 2005. Ur. l. RS št. 111/05, 91/10

Pravilnik o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst v rdeči seznam. 2002. Ur. l. RS št. 82/02, 42/10

Prior R. 1995. The roe deer: conservation of a native species. Shrewsbury, Swan Hill Press: 230 str.

Putman R. 2008. Cultural attitudes and differences in the administration of hunting and deer management in different European countries. V: Povzetki: prispevki. 1. slovenski posvet z mednarodno udeležbo o upravljanju z divjadjo: srnjad. Pokorny B., Savinek K., Poličnik H., (ur.). Velenje, Erico: 6-11

Ramšak R. 2005. Raziskave in spremljanje kakovosti jezer v Šaleški dolini. Poročilo za leto 2004. Velenje, ERICo: 51 str.

Ranjan R., Swarup D., Bhardwaj B., Patra R.C. 2008. Level of Certain Micro and Macro Minerals in Blood of Cattle from Fluoride Polluted Localities of Udaipur, India. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 81, 5: 503-507

Ratcliffe P. R., Mayle B. A. 1992. Roe deer biology and management. London, Forestry Commission Bulletin, 105: 28 str.

Ratikainen I.I., Panzacchi M., Mysterud A., Odden J., Linnell J., Andersen R. 2007. Use of winter habitat by roe deer at a northern latitude where Eurasian lynx are present. Journal of Zoology, 273: 192-199

Rejec Brancelj I., Zupan N. (ur.). 2007. Okolje na dlani. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija republike Slovenije za okolje: 105 str.

Richard E., Gaillard J. M., Saïd S., Hamann J. L., Klein F. 2010. High red deer density depresses body mass of roe deer fawns. Oecologia, 163: 91-97

Richter H., Kierdorf U., Richards A., Kierdorf H. 2010. Dentin abnormalities in cheek teeth of wild red deer and roe deer from a fluoride-polluted area in Central Europe. Annals of Anatomy, 192, 2: 86-95.

Rotnik U. (ur.). 2007. BilTEŠ 2006. Poročilo o proizvodnji, vzdrževanju in ekoloških obremenitvah okolja TE Šoštanj v letu 2006. Velenje, TEŠ: 146 str.

Rotnik U. (ur.). 2009. BilTEŠ 2008. Poročilo o proizvodnji, vzdrževanju in ekoloških obremenitvah okolja TE Šoštanj v letu 2008. Velenje, TEŠ: 180 str.

Sand H., Zimmerman B., Wabakken P., Andrèn H., Pedersen H. C. 2005. Using GPS technology and GIS cluster analyses to estimate kill rates in wolf-ungulate ecosystems. Wildlife Society Bulletin, 33, 3: 914-925

Savinek K., Kopušar N. 2010. Izpostavljenost ljudi zračnim onesnažilom v Šaleški dolini. Velenje, ERICo: 73 str.

Schubert R. 1982. Selected plant bioindicators used to recognize air-pollution. V: Monitoring of air pollutants by plants. Steubing L., Jäger H. J. (ur.). The Hague, Dr. W. Junk Publishers: 47-51

Schultz M., Kierdorf U., Sedláček F., Kierdorf H. 1998. Pathological bone changes in the mandibles of wild red deer (*Cervus elaphus*) exposed to high environmental levels of fluoride. Journal of Anatomy, 193: 431-442

Sedláček F., Zemek F., Herman M., Kierdorf H., Kierdorf U. 2001. Fluoride load on ecosystems in western part of Krusne hory Mts. Determined by bioindication. Ekologia, 20, 1: 70-79

Sempere A. J., Mauget R., Mauget C. 1998. Reproductive physiology of roe deer. V: The European roe deer: the biology of success. Andersen R., Duncan P., Linnell J. D. C. (ur.). Oslo, Scandinavian University Press: 161-188

Shupe J. L., Olsen A. E., Peterson H. B., Low J. B. 1984. Fluoride toxicosis in wild ungulates. Journal of the American Veterinary Medical Association, 185: 1295-1300

Simonič A. 1976. Srnjad – biologija in gospodarjenje. Ljubljana, Lovska zveza Slovenije: 606 str.

Simonič A. 1982. Kontrolna metoda v gospodarjenju z divjadjo. V: Gozd – divjad. Gozdarski študijski dnevi v Ljubljani, 28. in 29. januar 1980. Accetto M. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za gozdarstvo: 161-213

Skoberne P. 2003. Natura 2000 – del vseevropskega ekološkega omrežja. V: Gozdarska politika zavarovanih območij. Krajčič D. (ur.). Ljubljana, Zbornik o posvetovanju. Gospodarska zbornica Slkovenije, Združenje za gozdarstvo: 65-78

Skoberne P. 2005. Organiziranost varstva narave v Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 18 str. http://web.bf.uni-lj.si/students/vnd/knjiznica/Skoberne_literatura/gradiva/SI_org_2005.pdf (10. jan. 2010)

Skoberne P., Bibič A. 2008. Natura 2000 – kje smo zdaj? Operativni program 2007 – 2013. ministrwtvo za okolje in prostor. Domžale, 5.12.2008. (neobjavljeno) http://www.natura2000.gov.si/uploads/tx_library/SOS_skoberne.pdf (5. nov. 2010)

Smyth C., Coomans D., Everingham Y. 2006. Clustering noisy data in a reduced dimension space via multivariate regression trees. Pattern Recognition, 39, 3: 424-31

Soule M. E. (ur.). 1986. Conservation biology – the science of scarcity and diversity. Sunderland, Sinauer Associates: 584 str.

Spak C. J., Ekstrand J., Zylberstein D. 1982. Bioavailability of fluoride added to baby formula and milk. Caries Research, 16: 249-256

Stankovski V., Debeljak M., Bratko I., Adamic M. 1998. Modeling the population dynamics of red deer (*Cervus elaphus* L.) with regard to forest development. Ecological Modeling, 108, 1/3: 145-153

Statistični GIS pokrovnosti/rabe tal Slovenije – vektorska oblika. 1999. Ljubljana, Statistični urad Republike Slovenije.

Statistični podatki lovskih organizacij Slovenije za obdobje 1961–2009. 2009. Ljubljana, Lovska zveza Slovenije (neobjavljeno)

Statistični podatki o odvzemu divjadi. 2010. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije (neobjavljeno).

Statsoft Inc. 2010. Statistica for Windows. Tulsa, StatSoft. http://www.statsoft.com/ (6. sept. 2010)

Stergar M., Jonozovič M., Jerina K. 2009a. Območja razširjenosti in relativne gostote avtohtonih vrst parkljarjev v Sloveniji. Gozdarski vestnik, 67: 367 – 380

Stergar M., But D., Samec J., Jonozovič M., Jerina, K. 2009b. Območja razširjenosti in lokalne gostote parkljarjev v Sloveniji. Lovec, 92, 11: 546-550

Strategija ohranjanja biotske raznovrstnosti v Sloveniji. 2002. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 78 str.

Suttie J. S., Hamilton R. J., Clay A. C., Tobin M. L., Moore W. G. 1985. Effects of fluoride ingestion on white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*). Journal of Wildlife Disease, 21: 283-288

Suttie J. S., Dickie R., Clay A. B., Nielsen P., Mahan W. E., Baumann D. P., Hamilton R. J. 1987. Effects of fluoride emissions from a modern primary aluminium smelter on a local population of white-tailed deer (*Odocoiles virginianus*). Journal of Wildlife Disease, 23: 135-143

Svetina M., Pirc S., Smodiš B., Stropnik B. 1994. Element enrichments in soil near the Šoštanj thermal power plant, Slovenia. Recontre internacionale des jeunes chercheurs en geologie appliquee. Lausanne, Swiss federal institute of technology: 199-203

Svetina M. 1999. Geokemična študija vnosa kadmija v tla v Šaleški dolini: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo). Ljubljana, samozaložba: 164 str.

Šalej M. 1999. Historično-geografski oris Šaleške doline in njenega obrobja. V: Velenje: razprave o zgodovini mesta in okolice. Velenje, Mestna občina Velenje: 11-25

Talum. Lahkota prihodnosti. 2010. http://www.talum.si/ (20. sept. 2010)

Tataruch F. 1991. Freilebende Wildtiere als Bioindikatoren der Schwermetallkontamination. VDI Berichte, 901: 925-936

Tataruch F., Kierdorf H. 2003. Mammals as biomonitors. V: Bioindicators & biomonitors: principles, concepts and applications. Markert B. A., Breure A. M., Zechmeister H. G. (ur.). Amsterdam, Elsevier Science: 737-772

Termoelektrarna Šoštanj. 2010. http://www.te-sostanj.si/ (1. avg. 2010).

Termoelektrarna Trbovlje. 2010. http://www.tet.si/si/o-podjetju (7. avg. 2010)

Teotia M., Teotia S. P. S., Singh K. P. 1998. Endemic chronic fluoride toxicity and dietary calcium deficiency interaction syndromes of metabolic bone disease and deformities in India: year 2000. Indian Journal of Pediatrics, 65: 371-381

Tixier H., Duncan P. 1996. Are European roe deer browsers? A review of variations in the composition of their diets. Rev. Ecol., 51: 3-17

Toïgo C., Gaillard J. M., Van Laere G., Hewison M., Morellet N. 2006. Hoe does environmental variation influence body mass, body size, and body condition? Roe deer as a case study. Ecography, 29, 3: 301-308

Tolrá C. M., Rodríguez P. C., Verdú J. 2010. Thyreophora cynophila (Panzer, 1794): collected in spain 160 years after it was thought to be extinct (Diptera: Piophilidae: Thyreophorini). Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa, 46: 1-7

Tome D. 2006. Ekologija. Organizmi v prostoru in času. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 344 str.

Toplek D. 2008. Povzetek letnega poročila delniške družbe Talum 2007. Kidričevo, Talum: 29str. http://www.talum.si/pdf/porocila/Povzetek_letnega%20porocila_2007.pdf (5. okt. 2010)

Toplek D. 2010. Povzetek letnega poročila delniške družbe Talum za leto 2009. Kidričevo, Talum: 33 str. http://www.talum.si/pdf/porocila/Povzetek_letnega_porocila_TALUM_2009.pdf (7. okt. 2010)

Torres Porras J., Carranza J., Porez-Gonzales J. 2009. Combined effect of drought and density on body and antler size of male Iberian red deer Cervus elaphus hispanicus: climate change implications. Wildlife Biology, 15: 213-221

Turk I., Mežan U. 2009. Zavarovana območja. Kazalci okolja Slovenije. Agencija Republike Slovenije za Okolje. http://kazalci.arso.gov.si (7. nov. 2010)

Ungar E. D., Henkin Z., Gutman M., Dolev A., Genizi A., Ganskopp D. 2005. Inference of animal activity from GPS collar data on free-ranging cattle. Rangeland Ecology & Management, 58, 3: 256-266

Uredba o določitvi divjadi in lovnih dob. 2004. Ur. l. RS št. 101/04

Uredba o ekološko pomembnih območjih. 2004. Ur. l. RS št. 48/04

Uredba o emisiji snovi v zrak iz naprav za proizvodnjo aluminija z elektrolitskim postopkom. 2007. Ur. l. RS 34/07

Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh. 1996. Ur. l. RS 68/96

Uredba o posebnih varstvenih območjih (območjih Natura 2000). 2004. Ur. l. RS št. 49/04, 110/04, 59/07, 43/08

Ustava Republike Slovenije. 1991. Ur. l. RS št. 33I/91, 42/97, 66/00, 24/03, 69/04, 69/04, 69/04, 68/06

Vall llosera M., Sol D. 2009. A global risk assessment for the success of bird introductions. Journal of Applied Ecology, 46, 4: 787-795

Veiberg V., Mysterud A., Gaillard J. M., Delorme D., Van Laere G., Klein F. 2007. Bigger teeth for longer life? Longevity and molar height in two roe deer populations. Biology Letters, 3: 268-270

Vektorska karta odsekov gozdov v Sloveniji – stanje 2004. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije

Vektorska karta rabe kmetijskih zemlčjišč. 2002. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdrastvo in prehrano

Verdenik A. 2008. Povečanje učinkovitosti naprave za suho čiščenje plinov iz elektrolize primarnega aluminija. Elektrotehniški vestnik, 75, 1: 76-81

Vikøren T. 1995. Effects of fluoride emissions from Norvegian aluminium smelters on terrestrial wildlife. Doctoral dissertation. (Norges Veterinaerhogskole). Norway, samozal: 115 str.

Vikøren T., Stuve G. 1996. Fluoride exposure in cervids inhabiting areas adjacent to aluminium smelters in Norway: II. Fluorosis. Journal of Wildlife Diseases, 32: 181-189

Vikøren T., Stuve G., Frøslie A. 1996. Fluoride exposure in cervids inhabiting areas adjacent to aluminium smelters in Norway: I. Residue levels. Journal of Wildlife Diseases, 32: 169-180

Villerette N., Marchal C., Pays O., Delorme D., Gerard J. F. 2006. Do the sexes tend to segregate in roe deer in agricultural environments? An analysis of group composition. Canadian Journal of Zoology, 84: 787-796

Vincent J. P., Bideau E., Hewison A. J. M., Angibault J. M., 1995. The influence of increasing density on body weight, kid reproduction, home-range and winter grouping in roe deer (*Capreolus capreolus*). Journal of Zoology, 263: 371-382

Virjent Š., Jerina K. 2004. Osrednji slovenski register velike lovne divjadi in velikih zveri v sklopu novega lovsko-informacijskega sistema. Lovec, 86: 280–281

Virgós E., Tellería J. L. 1998. Roe deer habitat selection in Spain: constraints on the distribution of a species. Canadian Journal of Zoology, 76, 7: 1294-1299

Viswanathan G, Jaswanth A., Gopalakrishnan S., Siva Ilango S. 2009. Mapping of fluoride endemic areas and assessment of fluoride exposure. Science of the Total Environment, 407, 5: 1579-1587

Vrbič Kugonič, N. 2009. Privzem kovin pri izbranih rastlinskih vrstah na območjih obremenjenih z energetsko in topilniško dejavnostjo: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo). Ljubljana, samozaložba: 98 str.

Wahlström L. K. 1994. The significance of male-male aggression for yearling dispersal in roe deer (*Capreolus capreolus*). Behavioral Ecology and Sociobiology, 35: 409-412

Walton K. 1984. Fluoride in fox bone near an aluminium reduction plant in Anglesey, Wales and elsewhere in the United Kingdom. Environmental Pollution, 7: 273-280

Walton K. C., Ackroyd S. 1988. Fluoride in mandibles and antlers of roe and red deer from different areas of England and Scotland. Environmental Pollution, 54: 17-27

Weinstein L. H., Davison A. 2004. Fluorides in the Environment. Effects on Plants and animals. Cambridge, CABI Publishing: 287 str.

Whitford G. M. 1994. Intake and metabolism of fluoride. Advances in Dental Research, 8, 1: 5-14

Wikenros C., Liberg O., Sand H., Andren H. 2010. Competition between recolonizing wolves and resident lynx in Sweden. Canadian Journal of Zoology, 88, 3: 271-279

Wren C. D. 1986. Mammals as biological monitors of environmental metal levels. Environmental Monitoring and Assessment, 6: 127-144

Wustinger J., Galli J., Rozpędek W. 2005. An osteometric study on recent roe deer (*Capreolus capreolus* L., 1758). Folia Morphologica, 64, 2: 97-100

Xie Z., Sun L. 2003. Fluoride contents in bones of Adelaide penguins and environmental media in Antarctica. Environmental Chemistry and Health, 25: 483-490

Yang X. Y., Yamada M., Tang N., Lin J. M., Wang W., Kameda T., Toriba A., Hayakawa K. 2009. Long-range transport of fluoride in East Asia monitored at Noto Peninsula, Japan. Science of the Total Environment, 407, 16: 4681-4686

Yu M. H. (ur.). 2005. Environmental toxicology: biological and health effects of pollutants. 2nd edition. Boca Raton, London, New York, Washington, CRC Press. http://www.crcnetbase.com/doi/pdf/10.1201/9780203495469.fmatt (6. dec. 2010)

Zakon o divjadi in lovstvu (ZDLov-1). 2004. Ur. l. RS št. 16/04, 120/06

Zakon o dostopu do informacij javnega značaja (ZDIJZ). 2003. Ur. l. RS št. 24/03, 61/05, 96/05-UPB1, 109/05-ZDavP-1B, 113/05-ZInfP, 28/06, 51/06-UPB2, 117/06-ZDavP-2

Zakon o ohranjanju narave (ZON). 2004. Ur. l. RS št. 56/99, 31/00 popr., 110/02-ZGO-1, 119/02, 22/03-UPB1, 41/04, 96/04-UPB2, 61/06-ZDru-1, 63/07

Zakon o Triglavskem narodnem parku. 2010. Ur. l. RS št. 52/10

Zakon o varstvu okolja (ZVO-1). 2004. Ur. l. RS št. 41/04, 17/06, 20/06, 28/06

Zakrzewska H., Machoy Mokrzynska A., Materny M., Gutowska I., Machoy Z. 2005. Estimation of fluoride distribution in the mandible and teeth of the red deer (*Cervus elaphus* L.) from industrially polluted areas in Poland. Archives of Oral Biology, 50,3:309-316

Zaluberšek M., Pokorny B. 2009. Vsebnosti težkih kovin in PAH-ov v živilih živalskega izvora iz domače reje z območja Šaleške doline. Velenje, ERICo: 99 str.

Zannèse A., Morellet N., Targhetta C., Coulon A., Fuser S., Hewison A. J. M., Ramanzin M. 2006a. Spatial structure of roe deer populations: towards defining management units at a landscape scale. Journal of Applied Ecology, 43: 1087-1097

Zannèse A., Baïsse A., Gaillard J. M., Hewison A. J. M., Saint Hilaire K., Toïgo C., Van Laere G., Morellet N. 2006b. Hind foot length: an indicator for monitoring roe deer populations at a landscape scale. Wildlife Society bulletin, 34, 2: 351-358

Zavarovana območja. Zavod Republike Slovenije za varstvo narave. http://www.zrsvn.si/sl/informacija.asp?id_meta_type=70&id_informacija=541 (1. dec. 2010)

Zelewski D., Margiel E., Erynk I., Jakubowski M. 2009. Verification of the traditional hunters' method of age determination in roe deer (*Capreolus capreolus* L.) bucks in comparison with the histological analysis of mandible teeth: molar M-1 and incisor I-1. Sylwan, 153,2: 86-98

Zemek F., Herman M., Kierdorf H., Kierdorf U., Sedláček F. 2006. Spatial distribution of dental fluorosis in roe deer (*Capreolus capreolus*) from North Bohemia (Czech Republic) and its relationships with environmental factors. Science of the Total Environment, 370, 2/3: 491-505

Zor P. Starostna struktura in analiza nekaterih pokazateljev fizičnega stanja srnjadi (*Capreolus capreolus*). Diplomsko delo. (Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo): 60 str.

Zrak: Emisije snovi v zrak. Ljubljana, ARSO. http://www.arso.gov.si/zrak/emisijesnovivzrak/emisijeiznaprav/ (20. feb. 2010)

Zupan M., Grčman H., Hodnik A., Lobnik F., Kralj T., Rupreht J., Lapajne S., Tič I., Šijavec V., Glad J., Gogič S., Mohorovič B., Ilc Z., Istenič B. 2006. Raziskave onesnaženosti tal Slovenije v letu 2005. Ljubljana, Biotehniška Fakulteta, Center za pedologijo in varstvo okolja: 98 str.

Zupan M., Grčman H., Lobnik F. 2008. Raziskave onesnaženosti tal Slovenije. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje: 63 str.

Zych B., Mihelač Š. (ur.). 2004. Narava Slovenije. Ljubljana, Mladinska knjiga: 231 str.

ZAHVALA

Izvedba doktorske disertacije ne bi bila mogoča brez pomoči Inšpektorata RS za kmetijstvo, gozdarstvo in hrano, ki mi je omogočil zbiranje čeljusti srnjadi, ter posameznih inšpektorjev, ki so mi pri tem z veseljem pomagali. Pri tem bi se rada zahvalila predvsem Igorju Simšiču in mag. Jerneju Maroltu za organizacijo prevzemanja čeljusti ter vsem ostalim, ki so pomagali: Andreji Ratajc, Milanu Zviru, Dragu Križanu, Gorazdu Kokalju, Jožetu Muriju, Dragu Karlu Čahuku, Milanu Trkmanu, Borutu Tavčarju, Bojanu Kotniku, Danijelu Pavlinu, Andreju Sili ter Aleksandru Beeru. Pri tem gre zahvala tudi vsem članom Komisije za pregled odstrela in izgub območnih združenj upravljavcev lovišč, ki so pomagali pri izvedbi zbiranja vzorcev.

Izvedba disertacije ravno tako ne bi bila mogoča brez finančnih sredstev Javne agencije za raziskovalno dejavnost (financiranje usposabljanja doktorandke v programu mladih raziskovalcev; financiranje aplikativnega projekta *Čeljusti srnjadi kot kazalec kakovosti življenjskega okolja in pripomoček za upravljanje s populacijami,* projekt št. L7-0026), Termoelektrarne Šoštanj in Lovske Zveze Slovenije; zlasti hvaležna sem vodstvu slednje, saj je s financiranjem raziskave potrdilo svojo afiniteto za opravljanje kompleksnih raziskav divjadi.

Za vso vzpodbudo, strokovne nasvete in moralno podporo skozi vsa leta izvajanja raziskave v okviru podiplomskega študija ter dragocene ideje in napotke pri izdelavi disertacije bi se rada iskreno zahvalila svojemu mentorju doc. dr. Boštjanu Pokornemu. Zahvala gre tudi somentorju doc. dr. Petru Skobernetu za ves njegov trud in ideje pri usmerjanju izdelave doktorske disertacije ter za posredovan odnos do varstva narave, ki sem ga pridobila v okviru podiplomskega študija. Zahvalila pa bi se tudi predsedniku komisije prof. dr. Ivanu Kosu ter članu komisije doc. dr. Davorinu Tometu za vse njune pripombe in napotke, ki so močno prispevali h kakovosti dela.

Pri izdelavi doktorske disertacije so mi s številnimi nasveti, strokovno pomočjo ter vzpodbudo pomagali predvsem prof. dr. Horst Kierdorf, prof. dr. Uwe Kierdorf iz Inštituta za biologijo in kemijo Univerze v Hildesheimu ter dr. Dean Konjević, DVM iz Veterinarske fakultete v Zagrebu. Še posebej bi se rada zahvalila tudi doc. dr. Klemnu Jerini iz Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete za pomoč pri izvedbi kompleksnih statističnih analiz ter Matiji Strgarju za pomoč pri pripravi baz podatkov. Zahvala gre tudi Marku Jonozoviču ter Mihu Marenči iz Zavoda za gozdove Slovenije za posredovane baze podatkov.

Zahvaljujem se tudi vsem sodelavcem na ERICo, ki so mi kakorkoli pomagali pri izdelavi doktorske disertacije. Tako bi se rada zahvalila predvsem Borisu ter tudi Marku in Tilnu za pomoč pri urejanju zbirke vzorcev. Andreji in Meti se zahvaljujem za izvedbo meritev ter vnos podatkov in Karin za pomoč pri oceni zobne fluoroze. Andreju se zahvaljujem za učinkovito organizacijo izvajanja kemijskih analiz ter Ireni in Vlasti za izvedbo le-teh. Najlepša hvala tudi Heleni za vso moralno podporo in konstruktivne pripombe, ki so pripomogle k večji kakovosti dela. Zahvala gre tudi Samar za vso podporo v času izdelave disertacije. Hvala pa tudi Zoranu in Klemnu za namige pri izdelavi kart.

Predvsem pa gre zahvala mojim najbližjim – staršema, ki sta mi ves čas mojega izobraževanja stala ob strani tako z moralno kot tudi finančno pomočjo ter mi omogočila, da sem prišla tako daleč. Zahvalila bi se sestri Alenki in bratom Marku, Maksu in Matjažu ter njihovim partnerjem in otrokom za vse vzpodbude in prijazne besede. Zahvala gre tudi Vinku za razumevanje in podporo v težkih trenutkih. Hvala tudi vsem mojim prijateljem, ki so mi stali ob strani.

PRILOGE

Priloga A: Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz treh revirjev LD Oljka (Šaleška dolina) leta 1998, 2003 in 2007 (mg/kg suhe snovi).

Annex A:. Fluoride levels in mandibles of roe deer, culled in three hunting districts of HG Oljka (the Šalek Valley) in years 1998, 2003, and 2007 (mg/kg dry weight).

Starostna kategorija	**n**	**$\bar{a} \pm t_{0.05*SE}$**	**SD**	**Me**	**Min**	**Max**
			Veliki vrh			
Mladiči	11	96,7 ± 16	54	79	31,0	227
Lanščaki [a]	37	188 ± 14	86	169	76,0	383
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	19	287 ± 31	137	285	61,5	549
Stara srnjad (5 in več let)	6	524 ± 130	318	522	134	1.020
Skupaj	***73***	***228 ± 19***	***166***	***179***	***31,0***	***1.020***
			Slatine			
Mladiči	10	72,7 ± 11	35	69	32,4	160
Lanščaki [a]	27	151 ± 15	79	126	33,8	375
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	18	208 ± 18	75	181	85,0	359
Stara srnjad (5 in več let)	6	394 ± 34	83	375	304	512
Skupaj	***61***	***179 ± 14***	***110***	***160***	***32,4***	***512***
			Skorno			
Mladiči	13	67,8 ± 5,0	18	64	30,0	96,0
Lanščaki [a]	51	126 ± 7,4	53	111	34,7	233
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	18	210 ± 19	83	194	99,0	421
Stara srnjad (5 in več let)	4	338 ± 46	92	334	236	448
Skupaj	***86***	***145 ± 9,1***	***84***	***123***	***30,0***	***448***

OPOMBE:

(a) Za lanščake so prikazane vsebnosti fluoridov za vsa leta v obdobju 1997 – 2009.

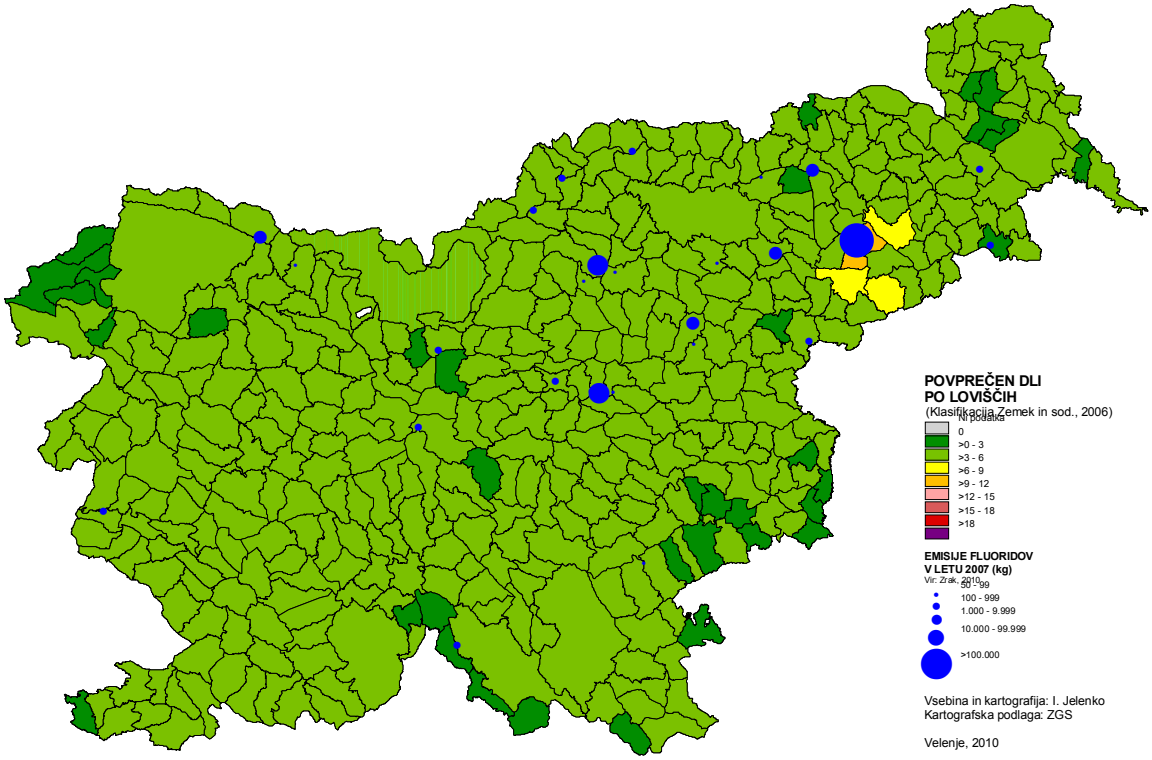
Priloga B: Vsebnosti fluoridov v spodnjih čeljustih srnjadi, odvzete iz lovišč območja Kidričevo leta 2007 (mg/kg suhe snovi).

Annex B: Fluoride levels in mandibles of roe deer, culled in hunting grounds of Kidričevo area in 2007 (mg/kg dry weight).

Starostna kategorija	n	$\bar{a} \pm t_{0.05*SE}$	SD	Me	Min	Max
LD Boris Kidrič						
Mladiči	6	204 ± 32	79	181	100	329
Lanščaki	8	607 ± 69	195	577	362	925
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	15	1.137 ± 127	492	1.100	97,9	2.020
Stara srnjad (5 in več let)	4	1.342 ± 344	688	1.215	653	2.280
Skupaj	***33***	***863 ± 99***	***567***	***796***	***97,9***	***2.280***
LD Ptuj						
Mladiči	6	140 ± 37	89	110	64,5	309
Lanščaki	8	425 ± 126	357	296	140	1.236
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	9	717 ± 107	321	698	240	1.210
Stara srnjad (5 in več let)	8	699 ± 156	440	515	337	1.711
Skupaj	***31***	***525 ± 71***	***394***	***458***	***64,5***	***1.711***
LD Jože Lacko – Ptuj						
Mladiči	6	153 ± 23	56	139	105	263
Lanščaki	8	362 ± 53	148	367	112	637
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	8	668 ± 97	275	611	338	1.067
Stara srnjad (5 in več let)	12	855 ± 82	283	859	411	1.373
Skupaj	***34***	***572 ± 60***	***349***	***462***	***105***	***1.373***
LD Dravinja – Majšperk						
Mladiči	6	99,3 ± 23	57	82	60,6	211
Lanščaki	8	546 ± 220	623	402	191	2.066
Mlada srnjad (2 – 4 leta)	10	645 ± 55	172	700	324	922
Stara srnjad (5 in več let)	9	986 ± 53	158	1.009	742	1.193
Skupaj	***33***	***615 ± 76***	***436***	***569***	***60,6***	***2.066***

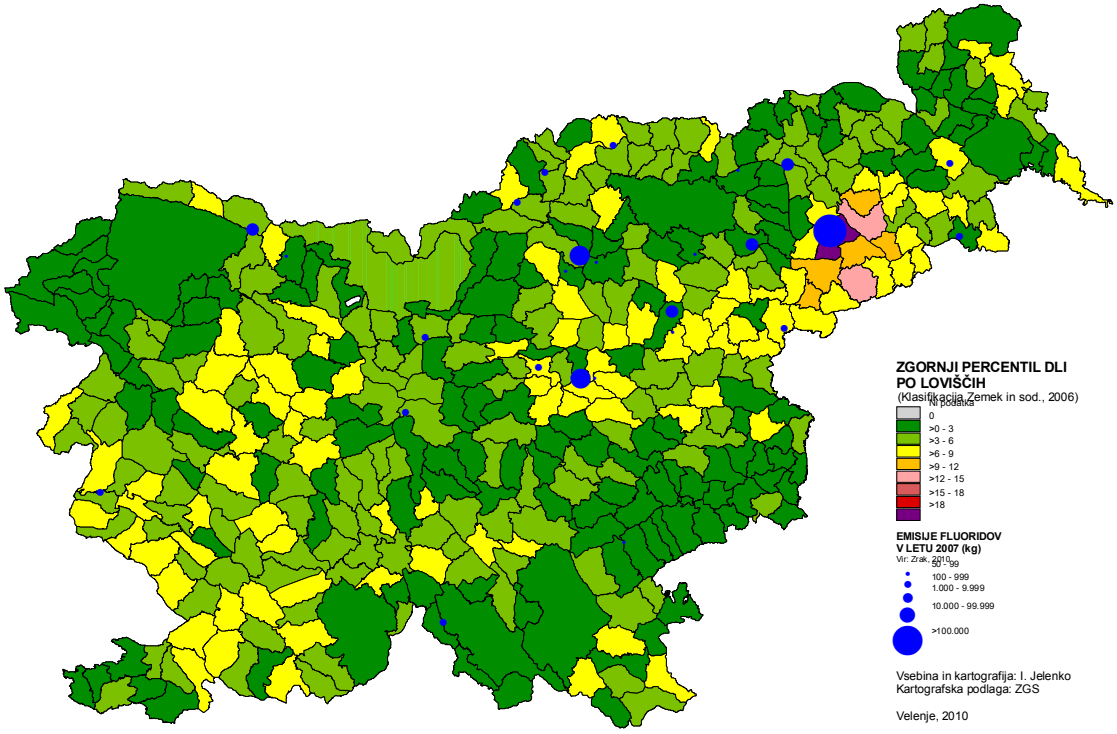
Priloga C: Zobna fluoroza (DLI – aritmetične sredine) odrasle (2+) srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 (klasifikacija po: Zemek in sod., 2006).

Annex C: Dental fluorosis (DLI – arithmetic means) of adult (2+) roe deer, culled in Slovenia in 2007 (classification as in: Zemek et al., 2006).



Priloga D: Zobna fluoroza (DLI – zgornji percentil) odrasle (2+) srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 (klasifikacija po: Zemek in sod., 2006).

Annex D: Dental fluorosis (DLI – ninth percentile) of adult (2+) roe deer, culled in Slovenia in 2007 (classification as in: Zemek et al., 2006).

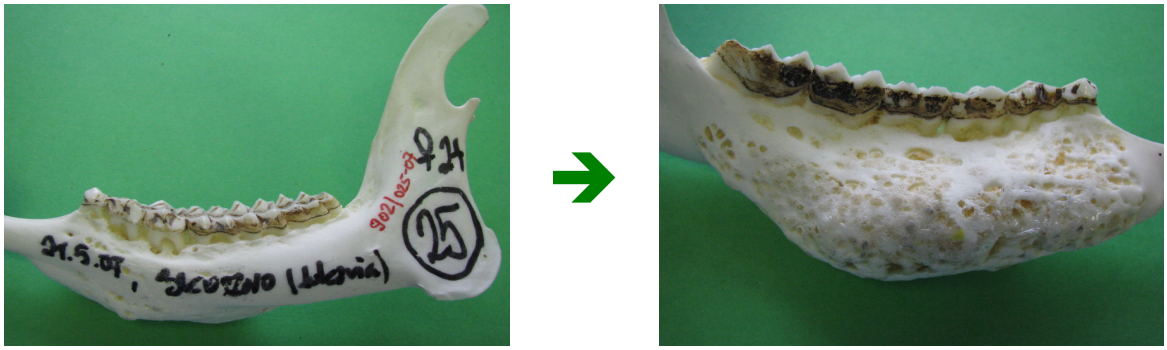


Priloga E: Primeri aktinomikoze na spodnjih čeljusti srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 (foto: B. Pokorny, I. Jelenko, 2009).

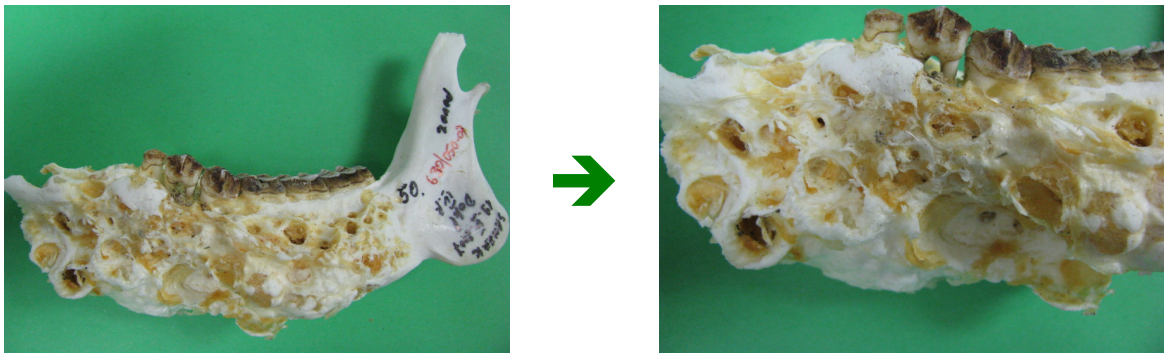
Annex E: Cases of actinomycosis on mandibles of roe deer, culled in Slovenia in 2007 (photo: B. Pokorny, I. Jelenko, 2009).

0305/053-07: LD Suha Krajina, zap. št. 53

0238/056-07: LD Škofja Loka, zap. št. 56



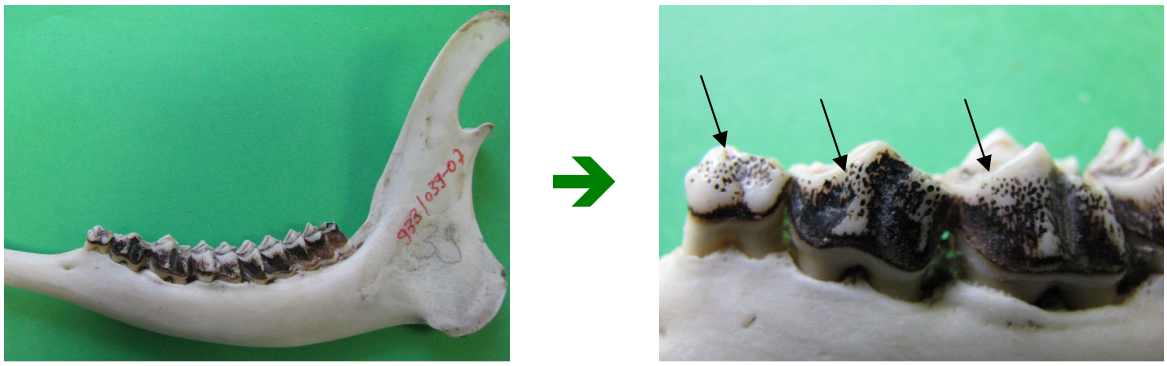
0902/025-07: LD Oljka, Šmartno ob Paki, zap. št. 25



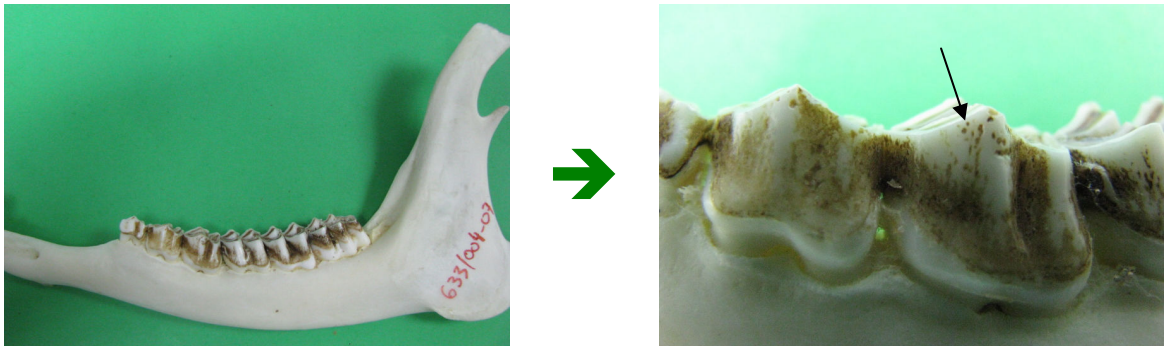
0630/050-07: LD Ruše, zap. št. 50

Priloga F: Primeri hipoplazije sklenine kočnikov srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 (foto: B. Pokorny, I. Jelenko, 2009).

Annex F: Cases of hypoplasia of check teeth of roe deer, culled in Slovenia in 2007 (photo: B. Pokorny, I. Jelenko, 2009).

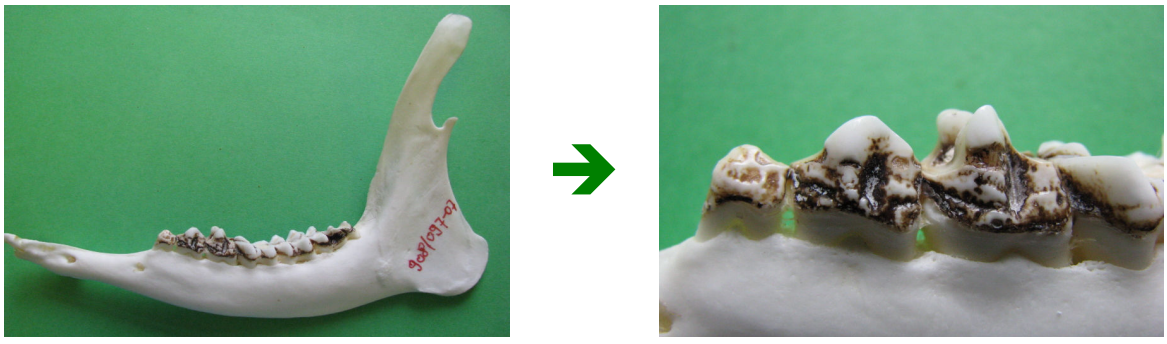


0933/039-07: LD Podsreda, zap. št. 39



0633/004-07: LD Fram, zap. št. 4

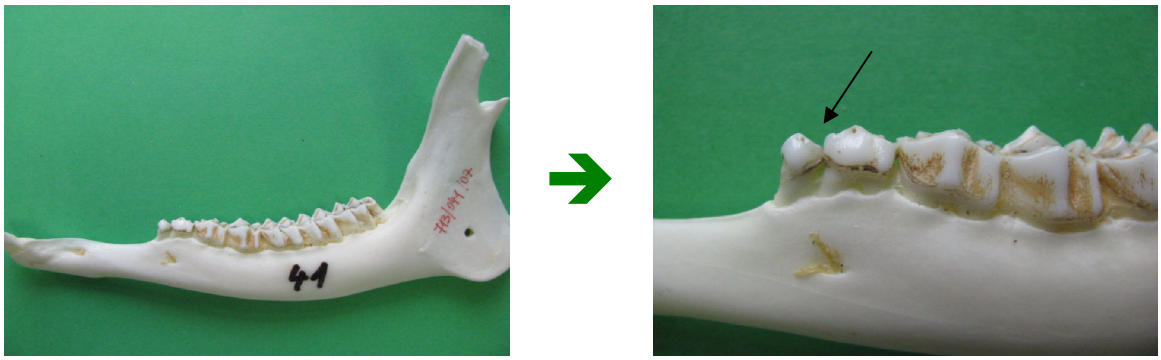
1015/019-07: LD Voličina, zap. št. 19



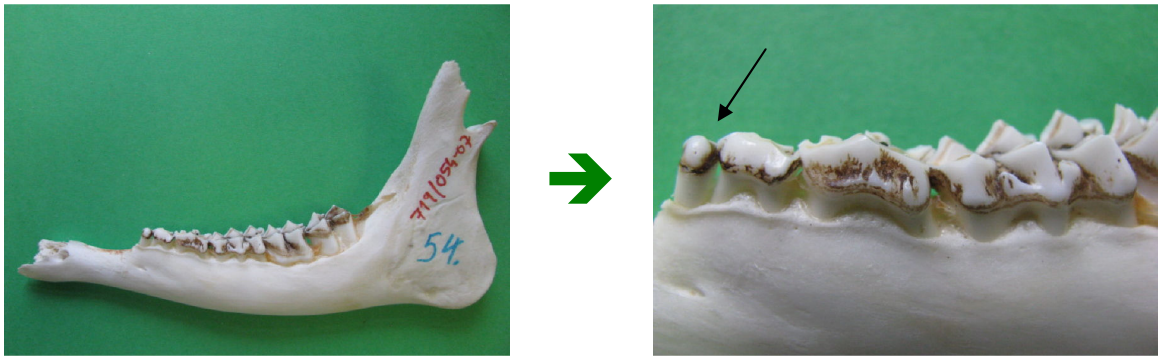
0908/097-07: LD Vojnik, zap. št. 97

Priloga G: Primeri prisotnosti prvega predmeljaka (P_1) pri srnjadi, odvzeti iz Slovenije v letu 2007 (foto: B. Pokorny, I. Jelenko, 2009).

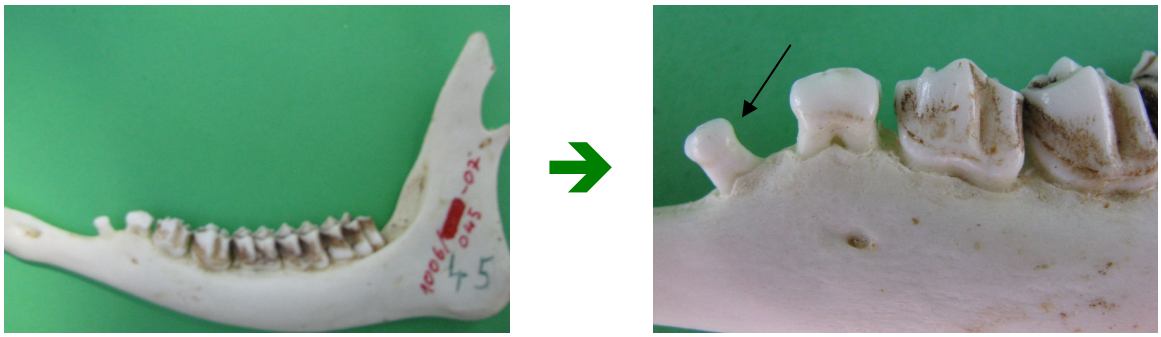
Annex G: Cases of the appearance of the first premolar (P_1) of roe deer, culled in Slovenia in 2007 (photo: B. Pokorny, I. Jelenko, 2009).



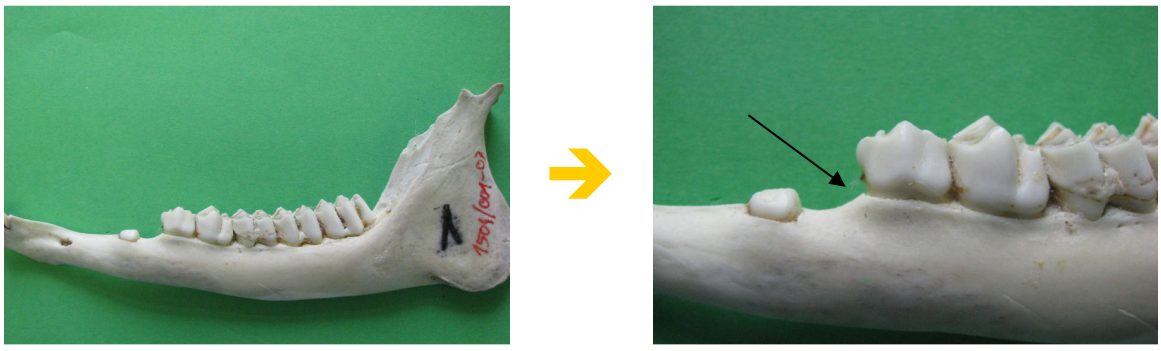
0713/041-07: LD Artiče, zap. št. 41



0719/054-07: LD Dobova, zap. št. 54



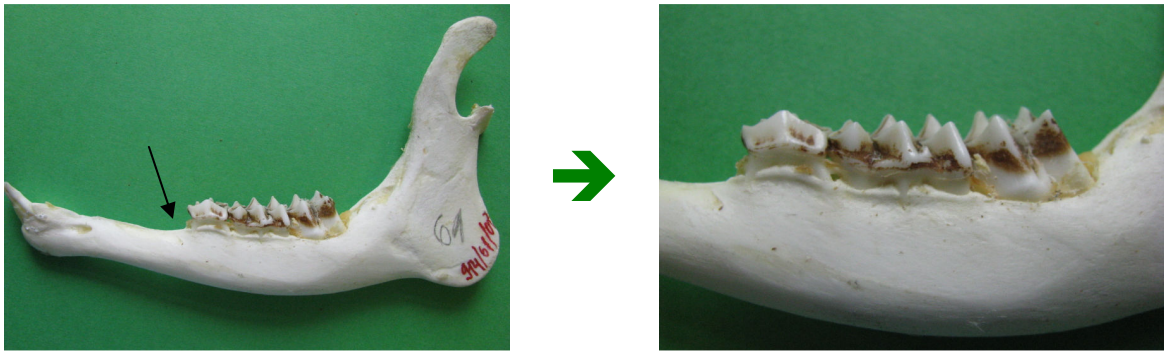
1006/045-07: LD Pesnica - Jarenina, zap. št. 45



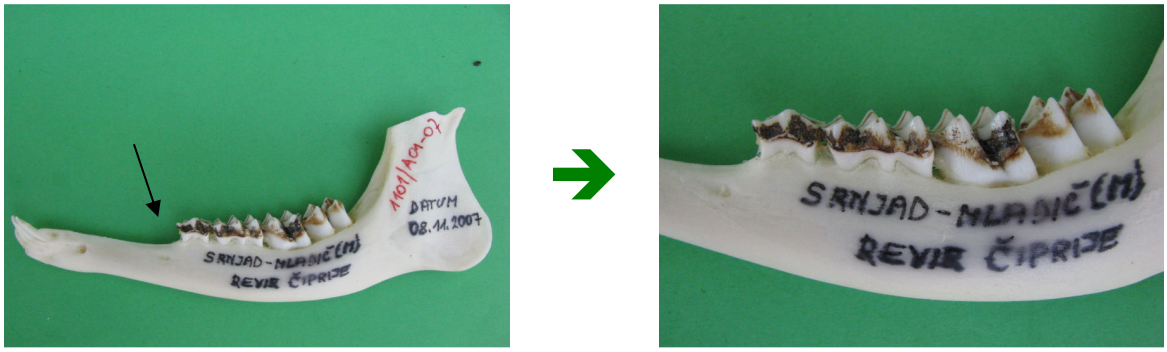
1504/001-07: LD Juršinci, zap. št. 1 (na čeljusti manjka P_2 – puščica!)

Priloga H: Primeri odsotnosti drugega predmeljaka (P_2) pri mladičih srnjadi, odvzete iz Slovenije leta 2007 (foto: B. Pokorny, I. Jelenko, 2009).

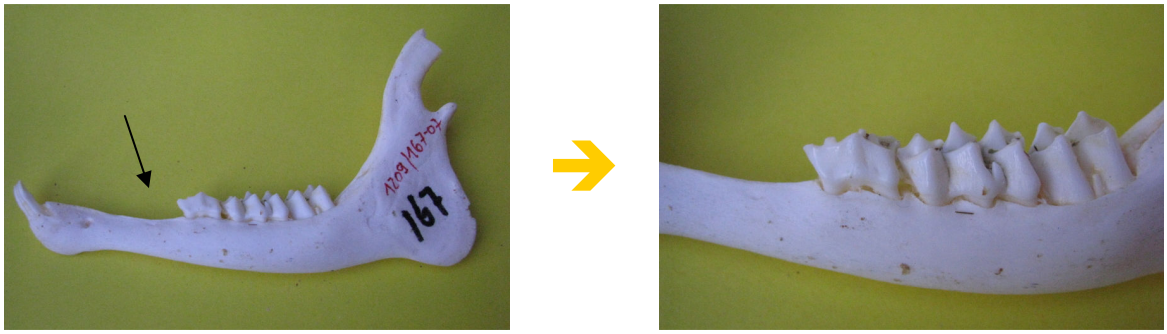
Annex H: Cases of the absence of the second premolar (P_2) of fawn roe deer, culled in Slovenia in 2007 (photo: B. Pokorny, I. Jelenko, 2009).



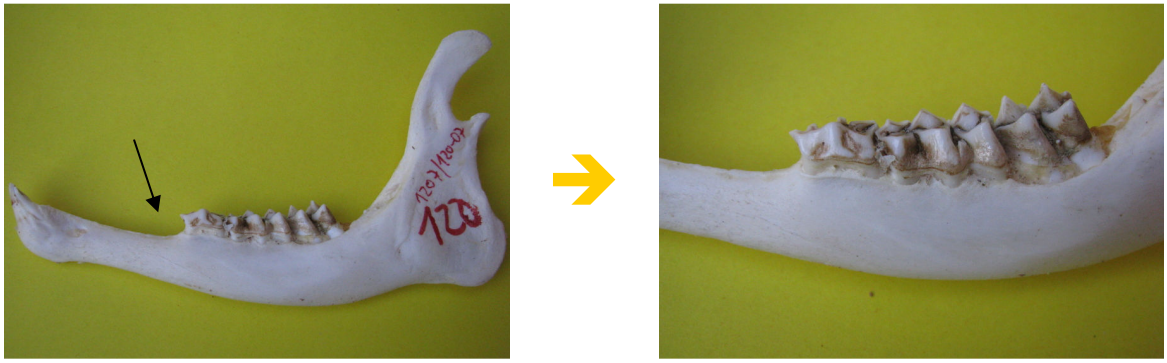
0914/061-07: LD Grmada – Celje, zap. št. 61



1101/A01-07: LPN Triglav, zap. št. manjka, podatki so razvidni s čeljusti



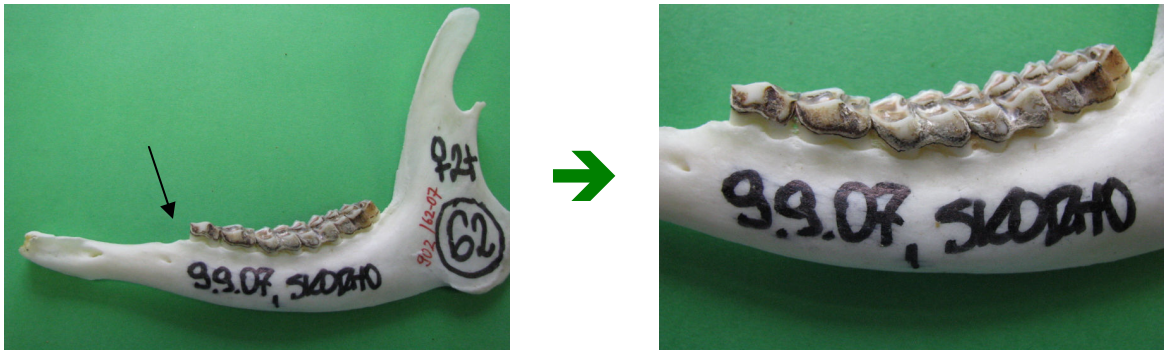
1209/167-07: LD Gorica, zap. št. 167



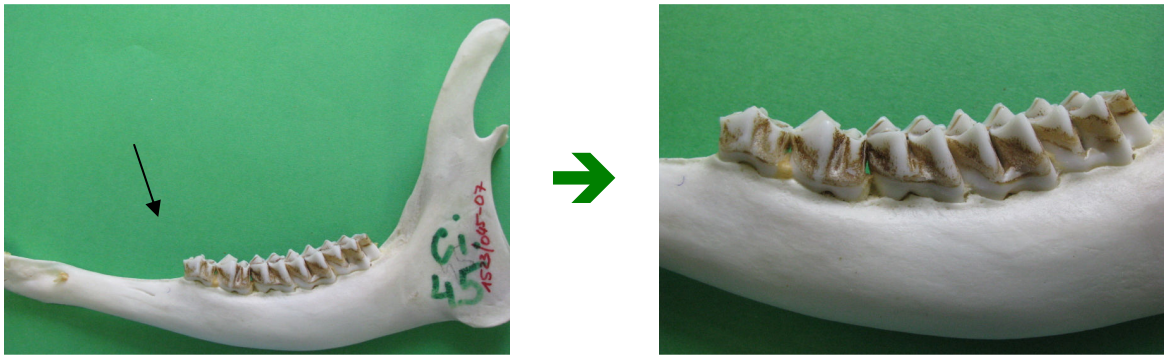
1207/120-07: LD Čepovan, zap. št. 120

Priloga I: Primeri odsotnosti drugega predmeljaka (P_2) pri odrasli srnjadi, odvzeti iz Slovenije leta 2007 (foto: B. Pokorny, I. Jelenko, 2009).

Annex I: Cases of the absence of the second premolar (P_2) of adult roe deer, culled in Slovenia in 2007 (photo: B. Pokorny, I. Jelenko, 2009).

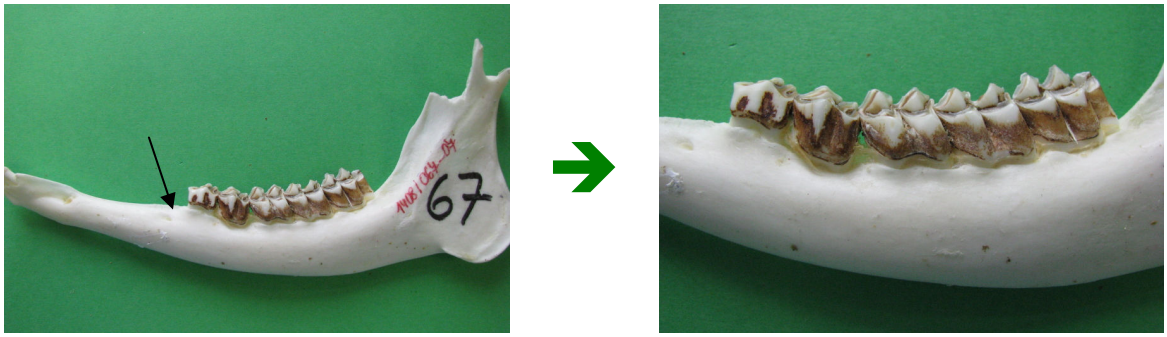


0902/062-07: LD Oljka, Šmartno ob Paki, zap. št. 62



1523/045-07: LD Cirkovce, zap. št. 45

0320/121-07: LD Predgrad, zap. št. 121



1408/067-07: LD Gornji Grad, zap. št. 67

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Ida JELENKO

ČELJUSTI SRNJADI (*Capreolus capreolus* L.) KOT BIOINDIKATOR ONESNAŽENOSTI OKOLJA IN PRIPOMOČEK ZA TRAJNOSTNO UPRAVLJANJE S SRNJADJO IN NJENIMI HABITATI

DOKTORSKA DISERTACIJA

Ljubljana, 2010