

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO
IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Nikica OGRIS

MODEL ZDRAVJA GOZDOV V SLOVENIJI

DOKTORSKA DISERTACIJA

Ljubljana, 2007

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Nikica OGRIS

MODEL ZDRAVJA GOZDOV V SLOVENIJI

DOKTORSKA DISERTACIJA

MODEL OF FOREST HEALTH IN SLOVENIA

DOCTORAL DISSERTATION

Ljubljana, 2007

Doktorska disertacija je zaključek podiplomskega doktorskega študijskega programa bioloških in biotehniških znanosti na znanstvenem področju gozdarstva in obnovljivih gozdnih virov. Opravljena je bila na Katedri za varstvo gozdov in ekologijo prostoživečih živali Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani in na Znanstvenoraziskovalnem oddelku za varstvo gozdov Gozdarskega inštituta Slovenije.

Študijska komisija Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire je za mentorico doktorske disertacije imenovala izr. prof. dr. Majo Jurc.

Komisija za oceno in zagovor:

- Predsednik: izr. prof. dr. Andrej BONČINA
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo
in obnovljive gozdne vire
- Član: izr. prof. dr. Maja JURC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo
in obnovljive gozdne vire
- Član: izr. prof. dr. Sašo DŽEROSKI
Institut Jožef Stefan, Odsek za tehnologije znanja

Datum zagovora: 19. 12. 2007

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem besedilu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani različici.

Nikica Ogris

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dd
DK	GDK 4:111.83--015.6(043.3)=163.6
KG	zdravje gozdov/varstvo gozdov/modeli/podnebne spremembe/ sanitarna sečnja/vrstna sestava/stopnja spremenjenosti
AV	OGRIS, Nikica, univ. dipl. inž. gozdarstva
SA	JURC, Maja (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2007
IN	MODEL ZDRAVJA GOZDOV V SLOVENIJI
TD	Doktorska disertacija
OP	XVI, 138 str., 38 pregl., 29 sl., 5 pril., 220 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	V disertaciji predstavljamo model za ocenjevanje zdravja gozdov v Sloveniji. Model je prostorski z ločljivostjo 1 km × 1 km in ga sestavlja več kot 20.000 celic. Zdravje gozdov ocenjujemo s pomočjo sanitarnega poseka, in sicer v zvezni spremenljivki kot delež lesne zaloge v celici modela. Model smo zgradili s pomočjo metode strojnega učenja M5', ki gradi regresijska odločitvena drevesa. V razvoj modela gozdov Slovenije je bilo vključenih 245 spremenljivk. Model je bil izračunan za tri scenarije podnebnih sprememb in 12 desetletnih obdobj, t. j. za obdobje 1981–2100. Z modelom za ocenjevanje zdravja gozdov smo preskušali tri hipoteze: (1) zdravstveno stanje gozdov v Sloveniji se bo zaradi podnebnih sprememb poslabšalo; (2) gozdovi s spremenjeno drevesno sestavo so labilnejši, tako v obdobju 1995–2005 kot v podnebnih spremembah; (3) zdravje gozda v Sloveniji se bo zaradi podnebnih sprememb v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo bolj poslabšalo kot v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo. Vse tri hipoteze so potrjene. (1) Povečal se bo povprečni delež potencialne sanitarne sečnje v lesni zalogi (povprečno 0,02–0,05 % lesne zaloge na 10 let) in povečala se bo potencialna površina, kjer se lahko pojavi sanitarna sečnja (povprečno 72–111 km ² na 10 let). Hipotezo (2) preskušamo s pomočjo enostavne analize variance, kjer je odvisna spremenljivka povprečni delež sanitarne sečnje v lesni zalogi in faktor stopnja ohranjenosti drevesne sestave. S tveganjem, manjšim od 0,05, trdimo, da obstaja statistično značilna razlika vsaj med dvema povprečnima sanitarnima sečnjama po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave tako v obdobju 1995–2005 kot v podnebnih spremembah. Hipotezo (3) smo preskušali z intervalom zaupanja za razliko povprečij in t-preskusom. V gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo bo povprečni sanitarni posek pri 95 % zaupanju za 2,05–3,38 % lesne zaloge večji kot v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo, če privzamemo Smolejevo klasifikacijo ohranjenosti drevesne sestave. Rezultat disertacije so tudi modeli za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in drugih vzrokov (po klasifikaciji sanitarne sečnje Zavoda za gozdove Slovenije), katerih projekcije so bile izračunane za tri scenarije podnebnih sprememb do konca 21. stoletja. Potencialnih sanitarnih sečenj zaradi žuželk bo predvidoma več, zaradi žleda in dela v gozdu manj, in zaradi drugih vzrokov drastično več.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dd
 DC FDC 4:111.83--015.6(043.3)=163.6
 CX forest health/forest protection/model/climate change/
 sanitary felling/species composition/alteration
 AU OGRIS, Nikica
 AA JURC, Maja (supervisor)
 PP SI-1000 Ljubljana, Vecna pot 83
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and
 Renewable Forest Resources
 PY 2007
 TI MODEL OF FOREST HEALTH IN SLOVENIA
 DT Doctoral Dissertation
 NO XVI, 138 p., 38 tab., 29 fig., 5 ann., 220 ref.
 LA sl
 AL sl/en
 AB In this dissertation, a model for assessing forest health in Slovenia is presented. The model is spatial with a resolution of 1 km × 1 km, consisting of over 20,000 cells. Forest health is assessed with the help of sanitary felling as a dependant variable of the wood stock portion in a model cell. The model was built with the M5' machine learning method that builds regression trees. Altogether, 245 variables were included at the model development. The model was computed for three climate change scenarios and 12 ten-year periods, i.e. for the period 1981–2100. Three hypotheses were tested with the model: (1) Forest health conditions in Slovenia will deteriorate because of climate change impacts; (2) Forests with altered tree species composition are more labile, as in the period 1995–2005 and in future climate change; (3) Forest health in Slovenia will deteriorate more in forests with altered tree species composition than in forests with preserved tree species composition because of climate change impacts on forests. All three hypotheses have been proven to be true. (1) The average portion of potential sanitary felling at wood stock will increase (in average 0.02–0.05 % of wood stock per ten years) and the potential area sensitive for sanitary felling will increase (in average 72–111 km² per ten years). Hypothesis (2) is tested with analysis of variance, where a dependant variable is the average portion of sanitary felling at wood stock and a factor is the index of species composition alternation. We affirm that there is a statistically significant difference between the mean sanitary felling from one level of the species composition alternation index to another at a 95 % confidence level as in period 1995–2005 and in climate change. Hypothesis (3) is tested with confidence interval for the difference between the means and t-test. The mean sanitary felling in the forests with altered tree species composition is likely to be greater for 2.05–3.38 % of wood stock at 95 % confidence than in the forests with preserved tree species composition, when Smolej's classification of tree species composition is taken. The results of the dissertation are also models for assessing potential sanitary felling because of insects, freezing rain, work in forest and other causes (after Slovenia Forest Service's classification of sanitary felling). For these models, the projections were calculated for three climate change scenarios until the end of 21st century. There will be probably more sanitary felling because of insects, because of freezing rain and work in forests there will be less sanitary felling, and because of other causes, there will be a drastic increase in sanitary felling.

KAZALO VSEBINE

	str.
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VIII
Kazalo slik	XI
Kazalo prilog	XIII
Okrajšave in simboli	XIV
Slovarček	XV
1 UVOD	1
2 DOSEDANJA RAZISKOVANJA	8
2.1 MODELIRANJE	8
2.1.1 Modeli kot znanstveni pripomoček	8
2.1.2 Elementi modeliranja	8
2.1.3 Postopek modeliranja	9
2.1.4 Metode strojnega učenja	10
2.1.4.1 Klasifikacija in regresija	11
2.1.4.2 Odločitvena drevesa	11
2.1.4.3 Weka	12
2.1.4.4 Primeri uporabe metod strojnega učenja v varstvu gozdov v Sloveniji	12
2.2 VARSTVO GOZDOV V SLOVENIJI	14
2.2.1 Poročevalska, diagnostična in prognostična služba za gozdove	14
2.2.1.1 Organiziranost	16
2.2.1.2 Delovanje Zavoda za gozdove Slovenije v primeru naravnih nesreč in ujm	16
2.2.1.3 Spremljanje stanja škodljivih biotskih dejavnikov	17
2.2.2 Spremljanje razvrednotenja in poškodovanosti gozdov	18
2.2.3 Sistem varstva rastlin v Sloveniji	19
2.2.4 Mednarodni sistem varstva rastlin	21
2.2.5 Viri informacij za varstvo gozdov v Sloveniji	23
2.2.5.1 Podatkovna zbirka Gozdni fondi in Timber	24
2.2.5.2 Podatkovna zbirka Gozdne inventure	25
2.2.5.3 Podatkovna zbirka Spremljanje razvrednotenja in poškodovanosti gozdov	26
2.2.5.4 Sistem kartiranja in beleženja vrst gliv v Sloveniji – <i>Boletus informaticus</i>	26
2.3 VAROVANJE GOZDOV V EVROPI IN V SVETU	28
2.3.1 Helsinški proces	28
2.3.1.1 Prva ministrska konferenca (Strasbourg, 1990)	28
2.3.1.2 Druga ministrska konferenca (Helsinki, 1993)	29
2.3.1.3 Tretja ministrska konferenca (Lizbona, 1998)	29

2.3.1.4	Četrta ministrska konferenca (Dunaj, 2003).....	30
2.3.2	Montrealski proces	31
2.4	SCENARIJI PODNEBNIH SPREMEMB.....	32
2.5	OCENJEVANJE SPREMENJENOSTI VRSTNE SESTAVE GOZDOV	38
2.6	PRESOJA ZDRAVJA GOZDNEGA EKOSISTEMA	41
2.6.1	Kazalci zdravja ekosistema.....	42
2.6.2	Postopki presoje zdravja ekosistema	42
3	METODE DELA.....	45
3.1	SCENARIJI PODNEBNIH SPREMEMB.....	45
3.2	MODEL ZDRAVJA GOZDOV V SLOVENIJI.....	46
3.2.1	Poskus 1: regresijsko drevo, 11 vzrokov sanitarnih sečenj po drevesnih vrstah v deležu lesne zaloge	48
3.2.2	Poskus 2: regresijsko drevo, 11 vzrokov sanitarnih sečenj v deležu lesne zaloge.....	50
3.2.3	Poskus 3: klasifikacijsko drevo, 11 vzrokov sanitarnih sečenj, odvisna spremenljivka je binarna	52
3.2.4	Poskus 4: regresijsko drevo, sanitarna sečnja skupaj v deležu lesne zaloge	53
3.2.5	Podatkovna zbirka in spremenljivke	53
3.2.6	Predpostavke in omejitve modela.....	66
3.3	VPLIV SPREMENJENOSTI DREVESNE SESTAVE NA ZDRAVJE GOZDOV	67
3.4	INDEKS ZDRAVJA GOZDA.....	68
4	REZULTATI.....	70
4.1	REZULTATI MODELOV ZA ŠTIRI VRSTE SANITARNIH SEČENJ	70
4.1.1	Obravnavanje potencialnih sprememb sanitarnega poseka v deležu lesne zaloge.....	74
4.1.2	Obravnavanje potencialnih sprememb sanitarnega poseka na površini. 76	
4.2	REZULTATI MODELA ZA SKUPNO SANITARNO SEČNJO.....	87
4.2.1	Obravnavanje potencialnih sprememb sanitarnega poseka v deležu lesne zaloge.....	88
4.2.2	Obravnavanje potencialnih sprememb sanitarnega poseka na površini. 90	
4.3	VPLIV SPREMENJENOSTI DREVESNE SESTAVE NA ZDRAVJE GOZDOV	93
4.3.1	Vpliv spremenjenosti drevesne sestave na zdravje gozdov v obdobju 1995–2005	94
4.3.2	Vpliv spremenjenosti drevesne sestave na zdravje gozdov v podnebnih spremembah	96

4.4	INDEKS ZDRAVJA GOZDA	101
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	103
5.1	PODNEBNE SPREMEMBE	103
5.1.1	Vpliv na pojav novih, doslej neznanih škodljivcev in bolezni	104
5.2	MODELI ŠTIRIH VRST SANITARNIH SEČENJ	105
5.3	MODEL SKUPNE SANITARNE SEČNJE	108
5.4	VPLIV SPREMENJENOSTI DREVESNE SESTAVE NA ZDRAVJE GOZDOV	111
5.5	INDEKS ZDRAVJA GOZDA	113
5.6	PRISPEVEK DISERTACIJE K RAZVOJU ZNANOSTI IN STROKOVNA VREDNOST NOVIH DOGNANJ.....	114
5.7	PREDLOGI ZA DELO NAPREJ	115
6	POVZETEK	116
6.1	POVZETEK	116
6.2	SUMMARY	120
7	VIRI.....	124

ZAHVALA

PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Količina poseka po različnih vrstah sanitarnega poseka v obdobju 1995–2005 v Sloveniji v 1000 m ³ (Timber, 1995–2005)	4
Preglednica 2: Vrsta poseka v podatkovni zbirki Timber	24
Preglednica 3: Delež (%) gozdov v Sloveniji v letu 2001 po razredih ohranjenosti drevesne sestave za tri različne klasifikacije	39
Preglednica 4: Sanitarni posek po drevesnih vrstah za obdobje 1995–2005 v deležu (%) 11. vrst sanitarnih sečenj (vsak stolpec predstavlja vsoto 100 %)	49
Preglednica 5: Največji korelacijski koeficienti modelov iz poskusa št. 1	50
Preglednica 6: Največji korelacijski koeficienti in najmanjše napake modelov iz poskusa št. 2	51
Preglednica 7: Največji koeficienti kape in najmanjše napake za modele iz poskusa št. 3	52
Preglednica 8: Seznam spremenljivk, ki so bile uporabljene pri razvoju modela zdravja gozdov v Sloveniji, njihov pomen in vir	54
Preglednica 9: Seznam uporabljenih virov pri izboru spremenljivk za modele posameznih vrst sanitarnih sečenj	59
Preglednica 10: Uporabljeni sklopi spremenljivk po posameznih modelih in njihovi rangi pomembnosti po algoritmu ReliefF	60
Preglednica 11: Zanesljivost in velikost modelov za ocenjevanje sanitarne sečnje	70
Preglednica 12: Najpomembnejših 20 spremenljivk za model za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in drugih vzrokov. Pomembnost spremenljivke je izražena v povprečnem rangi rezultatov algoritma ReliefF	73
Preglednica 13: Razlika (v %) med projekcijo modelov za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda in dela v gozdu za obdobje 1991–2000 po scenariju B in veljavnih podatkih ZGS za obdobje 1995–2005	75
Preglednica 14: Povprečna sprememba sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda in dela v gozdu na 10 let (v % lesne zaloge) v Sloveniji po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb; model za žuželke in žled za obdobje 1981–2100, model za delo v gozdu za obdobje 1981–2040	76
Preglednica 15: Indeks povprečne spremembe potencialnega deleža v lesni zalogi za sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda in dela v gozdu na 10 let (v %) glede na povprečje 1995–2005 v Sloveniji po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb; model za žuželke in žled za obdobje 1981–2100, model za delo v gozdu za obdobje 1981–2040	76
Preglednica 16: Spodnje meje odvisne spremenljivke (% LZ) v modelih za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in skupne sanitarne sečnje za izračun potencialno poškodovanih površin	77

Preglednica 17: Povprečna sprememba potencialne površine (km ²) sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in drugih vzrokov na 10 let v Sloveniji po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb; model za žuželke, žled in drugo za obdobje 1981–2100, model za delo v gozdu za obdobje 1981–2040	78
Preglednica 18: Indeks povprečne spremembe potencialnih površin za sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in drugih vzrokov na 10 let (v %) glede na površino v obdobju 1995–2005 v Sloveniji po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb; model za žuželke, žled in drugo za obdobje 1981–2100, model za delo v gozdu za obdobje 1981–2040	79
Preglednica 19: Sprememba potencialne površine sanitarne sečnje zaradi žuželk v Sloveniji glede na površino v obdobju 1995–2005 po GGO; v scenariju B in treh obdobjih...	81
Preglednica 20: Sprememba potencialne površine sanitarne sečnje zaradi žleda v Sloveniji glede na površino v obdobju 1995–2005 po GGO; v scenariju B in treh obdobjih...	83
Preglednica 21: Sprememba potencialne površine sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu v Sloveniji glede na površino v obdobju 1995–2005 po GGO; v scenariju B in obdobju 2031–2040	85
Preglednica 22: Sprememba potencialne površine sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov v Sloveniji glede na površino v obdobju 1995–2005 po GGO; v scenariju B in treh obdobjih	87
Preglednica 23: Najpomembnejših 20 spremenljivk za model za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje; pomembnost spremenljivke je izražena v povprečnem rangui rezultatov algoritma ReliefF	88
Preglednica 24: Razlika (v %) med projekcijo modelov za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje za obdobje 1991–2000 po scenariju B in veljavnih podatkih ZGS za obdobje 1995–2005	89
Preglednica 25: Povprečna sprememba skupne sanitarne sečnje v deležu lesne zaloge na 10 let v Sloveniji za obdobje 1981–2100 po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb	89
Preglednica 26: Indeks povprečne spremembe skupne sanitarne sečnje na 10 let (v %) v Sloveniji glede na povprečje 1995–2005 za obdobje 1981–2100 po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb	89
Preglednica 27: Povprečna sprememba potencialne površine (km ²) skupne sanitarne sečnje na 10 let v Sloveniji za obdobje 1981–2100 po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb	90
Preglednica 28: Indeks povprečne spremembe potencialnih površin za skupno sanitarno sečnjo na 10 let (v %) v Sloveniji glede na dejansko površino v obdobju 1995–2005 za obdobje 1981–2100 po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb	90
Preglednica 29: Sprememba potencialne poškodovane površine zaradi skupnih sanitarnih sečenj v Sloveniji glede na površino v obdobju 1995–2005 po GGO; v scenariju B in treh obdobjih	93
Preglednica 30: Analiza variance za sanitarni posek v obdobju 1995–2005 glede na različne stopnje ohranjenosti drevesne sestave po klasifikaciji, Smolej (2001)	95

Preglednica 31: Analiza variance za sanitarni posek v obdobju 1995–2005 glede na različne stopnje ohranjenosti drevesne sestave po klasifikaciji ZGS.....	95
Preglednica 32: Duncanov preskus mnogoterih primerjav za sanitarno sečnjo v obdobju 1995–2005 med različnimi stopnjami ohranjenosti drevesne sestave po dveh različnih klasifikacijah	95
Preglednica 33: Analiza variance za sanitarni posek po treh scenarijih podnebnih sprememb glede na različne stopnje ohranjenosti drevesne sestave po klasifikaciji po Smoleju (2001).....	98
Preglednica 34: Analiza variance za sanitarni posek po treh scenarijih podnebnih sprememb glede na različne stopnje ohranjenosti drevesne sestave po klasifikaciji ZGS	98
Preglednica 35: Duncanov preskus mnogoterih primerjav za sanitarno sečnjo v treh scenarijih podnebnih sprememb med različnimi stopnjami ohranjenosti drevesne sestave po dveh različnih klasifikacijah	99
Preglednica 36: Intervali zaupanja (95 %) za razliko povprečij med sanitarnim posekom v obdobju 1995–2005 in tremi scenariji podnebnih sprememb po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave upoštevajoč klasifikacijo po Smoleju (sanitarni posek v % lesne zaloge).....	101
Preglednica 37: Intervali zaupanja (95 %) za razliko povprečij med sanitarnim posekom v obdobju 1995–2005 in tremi scenariji podnebnih sprememb po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave upoštevajoč klasifikacijo po ZGS (sanitarni posek v % lesne zaloge)	101
Preglednica 38: Delež (%) površin po GGO glede na stopnjo zdravstvenega stanja (<i>EHI</i>) v obdobju 1995–2005.....	102

KAZALO SLIK

Slika 1: Sanitarni posek v GGE v obdobju 1995–2005 v Sloveniji (v % lesne zaloge).....	5
Slika 2: Shema postopka modeliranja (Jørgensen in Bendoricchio, 2001)	9
Slika 3: Shematski prikaz organiziranosti službe PDP (Katalog znanj ..., 2001).....	15
Slika 4: Sistem zdravstvenega varstva rastlin v Sloveniji in mesto gozdarstva v njem (Jurc, 2006)	19
Slika 5: Diagram poteka zbiranja podatkov za zbirko <i>Boletus informaticus</i> (Ogris in sod., 2006b)	27
Slika 6: Predvidena sprememba temperature pritalnega zraka (v °C) zaradi podnebnih sprememb za izbranih 5 krajev v Sloveniji do leta 2100 (Bergant, 2006).....	34
Slika 7: Predvidena sprememba količina padavin (v %) zaradi podnebnih sprememb za izbranih 5 krajev v Sloveniji do leta 2100 (Bergant, 2006)	35
Slika 8: Predvidena sprememba evapotranspiracije (v %) zaradi podnebnih sprememb za izbranih 5 krajev v Sloveniji do leta 2100 (Bergant, 2006)	36
Slika 9: Predvideni primanjkljaj padavin (v %) zaradi podnebnih sprememb za izbranih 5 krajev v Sloveniji do leta 2100 (Bergant, 2006)	37
Slika 10: Karta ohranjenosti drevesne sestave gozdov v Sloveniji po Smoleju (2001)	40
Slika 11: Karta ohranjenosti drevesne sestave gozdov v Sloveniji po ZGS (Gozdni fondi ..., 2001)	40
Slika 12: Uporaba ekoloških kazalcev pri presoji zdravja gozda (prirejeno po Jørgensen, 2005)	41
Slika 13: Postopek ekološkega modeliranja za presojo zdravja ekosistema (Jørgensen in sod., 2005).....	43
Slika 14: Postopek izračuna indeksa zdravja ekosistema (Jørgensen in sod., 2005)	44
Slika 15: Podnebni tipi v Sloveniji (prirejeno po Ogrin, 1996)	45
Slika 16: Shema modela zdravja gozdov v Sloveniji	46
Slika 17: Točke popisa poškodovanosti gozdov v Sloveniji v letih 1991, 1995 in 2000 na mreži 4 km × 4 km	69
Slika 18: Projekcija za povprečni sanitarni posek zaradi dela v gozdu (v % lesne zaloge) v obdobju 1981–2040 v Sloveniji	76
Slika 19: Projekcije gibanja potencialnih površin za sanitarno sečnjo zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in drugih vzrokov v Sloveniji za tri scenarije podnebnih sprememb; model za žuželke, žled in drugo za obdobje 1981–2100, model za delo v gozdu za obdobje 1981–2040	79
Slika 20: Prostorski razpored sanitarne sečnje zaradi žuželk v Sloveniji; dejanski posek in posek kot ga napove model za obdobje 1995–2005; za scenarij B podnebnih sprememb v treh obdobjih, t. j. 2031–2040, 2061–2070, 2091–2100	80

Slika 21: Prostorski raspored sanitarne sečnje zaradi žleda v Sloveniji; dejanski posek in posek kot ga napove model za obdobje 1995–2005; za scenarij B podnebnih sprememb v treh obdobjih, t. j. 2031–2040, 2061–2070, 2091–2100	82
Slika 22: Prostorski raspored sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu v Sloveniji; dejanski posek in posek kot ga napove model za obdobje 1995–2005; za scenarij B podnebnih sprememb v treh desetletjih 2011–2040	84
Slika 23: Prostorski raspored sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov v Sloveniji; dejanski posek in posek kot ga napove model za obdobje 1995–2005; za scenarij B podnebnih sprememb v treh obdobjih, t. j. 2031–2040, 2061–2070, 2091–2100	86
Slika 24: Projekcije gibanja potencialnih površin, kjer se lahko zgodi sanitarna sečnja v Sloveniji; za tri scenarije podnebnih sprememb in obdobje 1981–2100	91
Slika 25: Prostorski raspored skupne sanitarne sečnje v Sloveniji; dejanski posek in posek kot ga napove model za obdobje 1995–2005; za scenarij B podnebnih sprememb v treh obdobjih, t. j. 2031–2040, 2061–2070, 2091–2100	92
Slika 26: Okvirji z ročaji za sanitarni posek (povprečni posek na leto v % LZ) v obdobju 1995–2005 glede na različne stopnje ohranjenosti drevesne sestave po dveh klasifikacijah, po Smoleju in ZGS	94
Slika 27: Okvirji z ročaji za sanitarni posek (povprečni posek na leto v % LZ) v modelu za ocenjevanje zdravja gozda za tri scenarije podnebnih sprememb v obdobju 1981–2100 glede na različne stopnje ohranjenosti drevesne sestave po dveh klasifikacijah: Smolej (2001) in ZGS (Gozdni fondi, 2001)	97
Slika 28: Karta indeksa zdravja gozda (<i>EHI</i>) v Sloveniji za obdobje 1995–2005	102
Slika 29: Vzajemno delovanje med podnebnimi spremembami, motnjami, gozdovi in upravljanjem (Dale in sod., 2001)	110

KAZALO PRILOG

Priloga A: Regresijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi žuželk

Priloga B: Regresijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi žledu

Priloga C: Regresijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi dela v gozdu

Priloga D: Klasifikacijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi drugih vzrokov

Priloga E: Regresijsko drevo za skupno sanitarno sečnjo

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

- ARSO – Agencija Republike Slovenije za okolje
 EHI – indeks zdravja ekosistema, angl. Ecosystem Health Index (Jørgensen in sod., 2005)
 EPPO – Evropska in mediteranska organizacija za varstvo rastlin, angl. European and Mediterranean Plant Protection Organization
 FAO – Organizacija Združenih narodov za prehrano in kmetijstvo, angl. Food and Agriculture Organization of the United Nations
 FURS – Fitosanitarna uprava Republike Slovenije
 GCM – model splošne cirkulacije, angl. General Circulation Model
 GGE – gozdnogospodarska enota
 GGO – gozdnogospodarsko območje
 GIS – Gozdarski inštitut Slovenije
 IPCC – mednarodni panel za podnebne spremembe, angl. Intergovernmental Panel on Climate Change
 IPPC – mednarodna konvencija o varstvu rastlin, angl. International Plant Protection Convention
 ISPM – mednarodni standardi za fitosanitarne ukrepe, angl. International Standards For Phytosanitary Measures
 KE – krajevna enota ZGS
 LZ – lesna zaloga
 MCPFE – ministrska konferenca za varstvo gozdov v Evropi, angl. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe
 MKGP – Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
 PDP – poročevalska, diagnostična in prognostična služba za gozdove
 PIS – prostorski informacijski sistem
 ReliefF – algoritem za ocenjevanje kakovosti spremenljivk v okviru reševanja klasifikacijskih in regresijskih problemov (Kononenko, 1994; Robnik-Šikonja in Kononenko, 1997)
 s. p. ali s. s. – sanitarni posek ali sanitarna sečnja
 SRES – posebno poročilo o scenarijih emisij, angl. Special Report on Emissions Scenarios (Emissions scenarios ..., 2000)
 SURS – Statistični urad Republike Slovenije
 TGP – toplogredni plini
 WTO – Svetovna trgovinska organizacija, angl. World Trade Organization
 ZGS – Zavod za gozdove Slovenije

SLOVARČEK

Bolezen je vsaka motnja metabolizma (presnove) in anatomsko-histološke strukture, izzvana zaradi biotskih ali abiotskih dejavnikov, ki slabijo življenjsko moč rastline, če ta motnja negativno vpliva na idealno ali gospodarsko vrednost (uporabnost) rastline (Maček, 1983).

Epifitocija nastane, če se neka bolezen pojavi na velikem številu rastlin, v številnih sestojih v nekem kraju, pokrajini, državi ali celo na vsem kontinentu (Maček, 1983). Pojav ustreza epidemiji v humani medicini in epizootiji v veterini. Epifitocije lahko nastanejo, če so hkrati izpolnjeni trije pogoji: 1. množična zastopanost parazita velike virulentnosti; 2. razširjenost občutljivih rastlin gostiteljic; 3. ustrezne podnebne razmere.

Golobrst ali **defoliacija** je obžiranje listja ali iglic po robu, v obliki luknjic v listni površini, obžiranje listnih žil ter celih listov ali iglic, votlenje listov ali iglic (Jurc in Jurc, 2006).

Java je programski jezik, ki je preprost, predmetno usmerjen, mrežen, razumljiv, robusten, varen, neodvisen od operacijskega sistema, prenosen, zelo zmogljiv, večniten in dinamičen.

Naravna nesreča je nesreča, ki jo povzročijo potres, udor, poplava, zemeljski plaz in snežni plaz, ter nesreča v kmetijstvu ali gozdarstvu, ki jo povzročijo neugodne vremenske razmere, kot so žled, pozeba, suša, neurje in toča, ali množičen izbruh rastlinskih škodljivih organizmov in živalskih bolezni.

Lokalna populacija je skupina posameznikov, ki živijo v isti zaplati in zato medsebojno vplivajo eden na drugega (Hanski in Simberloff, 1997).

Metapopulacija je skupina posameznikov, ki živijo v isti habitatni zaplati, kjer je mogoča migracija iz ene lokalne populacije vsaj v eno drugo zaplato (Hanski in Simberloff, 1997).

Model je poenostavljena podoba resničnosti in pomeni orodje za reševanje problemov (Jørgensen in Bendoricchio, 2001).

Osutost je okularno ocenjen delež (%) manjkajočih asimilacijskih organov (listov, iglic) v primerjavi z namišljenim normalnim drevesom istega socialnega položaja, iste drevesne vrste in z enakega rastišča. Ocenjuje se na 5 % natančno. Cilj ocenjevanja osutosti je ocena vitalnosti drevesa skupaj z drugimi znaki (Kovač in sod., 2000: 26).

Poškodba je sprememba ali motnja dela drevesa, ki negativno učinkuje na sposobnost opravljanja njegove funkcije (Jurc in Jurc, 2006).

Sanitarni posek je posek bolnega, poškodovanega ali sušečega se drevja, ki je odstranjeno iz sestoja z namenom izboljšanja zdravstvenega stanja sestoja (Jurc D. in sod., 2003).

Scenarij je verjeten in pogosto poenostavljen opis morebitnega poteka prihodnosti, ki temelji na razumljivih in smiselnih predpostavkah o ključnih povezavah in dejavnikih (Houghton in sod., 2001).

Simptom je vsaka sprememba, ki nastane zaradi delovanja škodljivega dejavnika in tak dejavnik nakazuje (npr. golobrst, prebarvanje, odmiranje) (Jurc in Jurc, 2006).

Sistem skupina po naravnih zakonih povezanih, soodvisnih teles, enot, ki sestavljajo zaključeno celoto.

Škodljivec ali **škodljivi organizem** je katera koli vrsta, sev ali biotip rastline, živali ali patogenega povzročitelja, ki so škodljivi rastlinam ali rastlinskim proizvodom (FAO glossary ..., 1990; Glossary of ..., 1995; International plant ..., 1997; Zakon o ratifikaciji ..., 2000; Zakon o zdravstvenem ..., 2001).

Zdrav ekosistem je tisti, ki je trajen, t. j., ima sposobnost vzdrževati zgradbo (organizacijo) in funkcijo (vitalnost) skozi čas kljub stresnim dejavnikom (odpornost) (Costanza in Mageau, 1999).

Zaplata (ali habitatna zaplata) je zvezno območje prostora z vsemi potrebnimi viri za obstoj lokalne populacije in je ločeno z neprimernimi habitatmi drugih zaplat (Hanski in Simberloff, 1997).

1 UVOD

Gozd pokriva 59,3 % površine Slovenije (Projekt posodobitve ..., 2003), zato je največji in morda najpomembnejši del naravne dediščine. Gozd, v celovitem pogledu, kot ga ima Slovenija, želimo ohraniti in povečati njegovo vrednost. Gozd sam po sebi opravlja vrsto ekoloških funkcij, človeški družbi pa s svojim obstojem nudi še številne socialne in gospodarske funkcije¹. Vendar lahko v polnosti opravlja svoje funkcije le, če je zdrav.

Kaj je zdrav gozd? Odgovor na to vprašanje obstaja, in sicer ga navajamo v obliki splošne definicije kot zdravje gozdnega ekosistema. V preteklosti je definicija zdravja ekosistema vključevala več konceptov (Costanza in Mageau, 1999; Jørgensen in sod., 2005):

- homeostazo,
- odsotnost bolezni,
- pestrost ali kompleksnost,
- stabilnost ali odpornost,
- vitalnost ali težnjo po rasti in
- ravnotežje med komponentami sistema.

Čeprav pri premišljevanju o zdravju gozda lahko upoštevamo vse ali vsaj večino navedenih pogledov, to velikokrat ni dovolj za izpolnjevanje pogojev zdravega ekosistema. Vsi našteti pogledi niso dovolj splošni in ne vključujejo pogleda trajnosti. *Zdrav ekosistem je tisti, ki je trajen, t. j. ima sposobnost vzdrževati zgradbo (organizacijo) in funkcijo (vitalnost) skozi čas vključno s stresnim dejavnikom (odpornost)* (Costanza in Mageau, 1999; Brown in Ulgiati, 2005).

Motnja (stresni dejavnik) nikakor ni tujek v gozdnem ekosistemu: je gibalo njegovega sukcesijskega razvoja in dinamičnosti njegovega ravnotežja (Anko, 1993). Anko (1993) poudarja, da so stresi pomembni zato, ker zmanjšujejo prilagodljivost gozdnega ekosistema za gozdnogospodarske ukrepe, katerih cilj je oblikovanje mnogonamenskega gozda.

Kako vemo, da je gozd zdrav? Zdravje gozda bi lahko ocenilo več izvedencev, in sicer vsak iz svojih pogledov. Skupna ocena bi morda pokazala, koliko je gozd zdrav. Lahko pa zdravje gozda izmerimo. Organizacijo, vitalnost in odpornost gozdnega ekosistema je mogoče boljše ali slabše meriti z različnimi kazalci. Tako je, npr., kazalec za vitalnost metabolizem, za organizacijo vrstna pestrost in za odpornost čas okrevanja. Če zdravje gozda lahko merimo, ga lahko tudi modeliramo.

Kaj je model? *Model je poenostavljena podoba resničnosti in pomeni orodje za reševanje problemov* (Jørgensen in Bendoricchio, 2001). Model ne bo nikoli vseboval vseh lastnosti nekega obstoječega sistema, ker bi bil potem že sam obstoječ sistem (*ibid*). Toda

¹ Funkcije gozdov so ekološke: varovanje gozdnih zemljišč in sestojev, hidrološka, biotopska ter podnebna funkcija; socialne: zaščitna funkcija – varovanje objektov, rekreacijska, turistična, poučna, raziskovalna, higiensko-zdravstvena funkcija, funkcija ohranjanja biotske raznovrstnosti in varstva naravnih vrednot, funkcija varovanja kulturne dediščine, obrambna ter estetska funkcija; proizvodne: lesnoproizvodna funkcija, pridobivanje drugih gozdnih dobrin ter lovnogospodarska funkcija.

pomembno je, da model vsebuje značilne lastnosti, ki so bistvene v kontekstu problema, ki ga želimo rešiti oziroma opisati. Z modeli poskušamo simulirati procese in lastnosti, ki sestavljajo sistem², t. j. v našem primeru gozdni ekosistem. Cilj je razumeti procese in napovedati učinke sprememb in interakcij. Simulacijo dosežemo z opisom sistema v pomenu temeljnih načel delovanja. Zato modele lahko štejemo kot serije enačb, ki izražajo zakone v obravnavanem sistemu.

Zaradi več razlogov morajo biti modeli poenostavitev realnega sveta. V gozdnem ekosistemu so procesi kompleksni, med njimi potekajo interakcije in povratne povezave. Zato je pri modeliranju takšnega ekosistema vedno vključeno veliko računanja ne glede na problem, ki ga model poskuša rešiti ali pojasnjevati. Rešitve se začnejo z nekim začetnim stanjem in raziskujejo učinke sprememb v določeni komponenti gozdnega ekosistema. Mejni pogoji so določeni iz merjenih podatkov ali iz drugih simulacij. Taki podatki so redko popolni ali dovolj natančni. Zato so rezultati, ki jih dajejo modeli, vedno negotovi (Jørgensen in Bendoricchio, 2001).

Model se vedno razvije za izpolnjevanje določenega namena in doseganje izbranega cilja, t. j. pojasnjevanje določenega problema. Vse v modelu je podrejeno njegovemu namenu, npr. kompleksnost, število vključenih spremenljivk, prostorska in časovna ločljivost. Zaradi sposobnosti modelov, da simulirajo različne procese, je z njimi mogoče napovedovati, kako bi se določen proces razvijal ob izbranih izhodnih pogojih. Rezultat je sicer bolj ali manj verjeten, uporaba modelov pa je pomembna zaradi pridobivanja koristnih informacij (Jørgensen in Bendoricchio, 2001).

V Sloveniji se z zdravjem gozda neposredno in največ ukvarja varstvo gozdov, v okviru tega pa Poročevalska, diagnostično-prognostična služba za gozdove (PDP), ki je del javne gozdarske službe (Jurc D, 2006). V Sloveniji je prognostični del te službe precej nerazvit v pomenu modeliranja, čeprav so metode prognoze predvsem za nekatere škodljivce že pripravljene, vendar se v praksi ne uporabljajo (Vasić, 1981). V Sloveniji je malo razvitih modelov za napovedovanje pojavljanja škodljivih organizmov, npr. modeliranje pojavnosti smrekovih podlubnikov za območje Dinarskega gorstva (Jurc M in sod., 2006). Za abiotske poškodbe je razvit prostorski model požarne ogroženosti (Kobler, 2001; Kobler in sod., 2006), ni pa še nobenega razvitega modela za napovedovanje pojavnosti katere koli bolezni gozdnega drevja.

V varstvu gozdov so se uveljavili trije izrazi: bolezen, škodljivec in abiotska poškodba kot glavni vzroki za krhanje zdravja gozda. Ob tem navajamo njihove definicije.

- Bolezen je vsaka motnja metabolizma (presnove) in anatomsko-histološke strukture, izzvana zaradi biotskih ali abiotskih dejavnikov, ki slabijo življenjsko moč rastline, če motnja negativno vpliva na idealno ali gospodarsko vrednost (uporabnost) rastline (Maček, 1983).
- Škodljivec ali škodljivi organizem je katera koli vrsta, sev ali biotip rastline, živali ali patogenega povzročitelja, ki škoduje rastlinam ali rastlinskim proizvodom (FAO

² Sistem je skupina po naravnih zakonih povezanih, soodvisnih teles, enot, ki sestavljajo zaključeno celoto.

glossary ..., 1990; Glossary of ..., 1995; International plant ..., 1997; Zakon o ratifikaciji ..., 2000; Zakon o zdravstvenem ..., 2001).

- Abiotska poškodba je poškodba³ zaradi neživega dejavnika. Najpogostejši škodljivi abiotski dejavniki, ki delujejo na gozd, so: žled, sneg, veter, onesnažen zrak, požar, usad in plaz.

Vedno več je dokazov, da je zdrav ekosistem tisti, ki je bogat s paraziti (Hudson in sod., 2006). Trditev je v nasprotju z zahtevami za zdrav ekosistem, ki sta jih postavila Costanza in Mageau (1999), t. j., da v zdravem ekosistemu ni bolezni. To je na videz sporna trditev, saj paraziti lahko pomembno vplivajo na gostiteljevo zdravje. Vendar je njihov vpliv lahko veliko večji: oblikujejo populacijsko dinamiko svojih gostiteljev, spremenijo interspecifično tekmovanje, vplivajo na pretok energije v ekosistemu in se kažejo kot pomembni gonilniki biotske pestrosti. Zato vplivajo na vrsto ekosistemskih funkcij, njihov vpliv pa je zelo velik na zgradbo nekaterih prehrabnih verig. Paraziti lahko vplivajo na dolžino prehranjevalnih verig in na število povezav med različnimi trofičnimi ravni. Če paraziti prispevajo k podaljševanju prehranjevalnih verig, ki so sestavljene iz številnih vrst in imajo mnoge povezave, posledično lahko prispevajo k večji stabilnosti zgradbe združbe in prehranjevalnih verig. Zaradi vsega naštetega so paraziti lahko dober pokazatelj zdravja ekosistema in celo prispevajo k zdravju gozda.

Dober kazalec zdravja gozda je lahko sanitarni posek, ki predstavlja posek bolnega, poškodovanega ali sušečega se drevja, ki je odstranjeno iz sestoja z namenom izboljšanja zdravstvenega stanja sestoja (Jurc D in sod., 2003). To je drevje, ki so ga škodljivi biotski dejavniki (škodljivci, bolezni, divjad, delo v gozdu) ali škodljivi abiotski dejavniki (veter, sneg, žled, suša, plaz, usad, onesnažen zrak) poškodovali v taki meri, da nima gozdnogojitvene prihodnosti. V sanitarni posek je vključeno tudi oslabilo drevje, ki ga je iz sanitarnovarstvenih razlogov najbolje ločiti iz sestoja. Tako preprečimo namnožitev potencialno nevarnih organizmov.

V obdobju 1995–2005 je sanitarni posek znašal približno 9 mio. m³, kar je 31,2 % celotnega poseka v Sloveniji (preglednica 1). V obdobju 1995–2005 pa je sanitarni posek znašal od 500.000 m³ do 1,2 mio. m³ na leto, kar je od 19,3 % do 45,6 % celotnega poseka na leto. Tolikšne količine posekanega lesa zaradi varstveno-sanitarnih razlogov pomenijo ogromno gospodarsko škodo. Največ škode povzročijo škodljivci; to so predvsem podlubniki (30,3 % sanitarnega poseka). Bolezni, ki jih povzročajo glive, so drugi najpogostejši vzrok sanitarnega poseka (14,6 %). Abiotski dejavniki, ki si sledijo po vrsti: žled, sneg in veter, skupaj zavzemajo 35 % sanitarnega poseka. Zaradi dela v gozdu se poškoduje kar nekaj drevja (7,1 % sanitarnega poseka). Posek drevja zaradi emisije, divjadi, plazov, usadov in požarov pomeni manjši delež v sanitarnem poseku (2,6 %).

³ Poškodba je sprememba ali motnja dela drevesa, ki negativno učinkuje na sposobnost opravljanja njegove funkcije (Jurc in Jurc, 2006), in nastane kot posledica delovanja škodljivih biotskih ali abiotskih dejavnikov na rastlino. Škoda je vrednostni izraz poškodbe.

Preglednica 1: Količina poseka po različnih vrstah sanitarnega poseka v obdobju 1995–2005 v Sloveniji v 1000 m³ (Timber, 1995–2005)

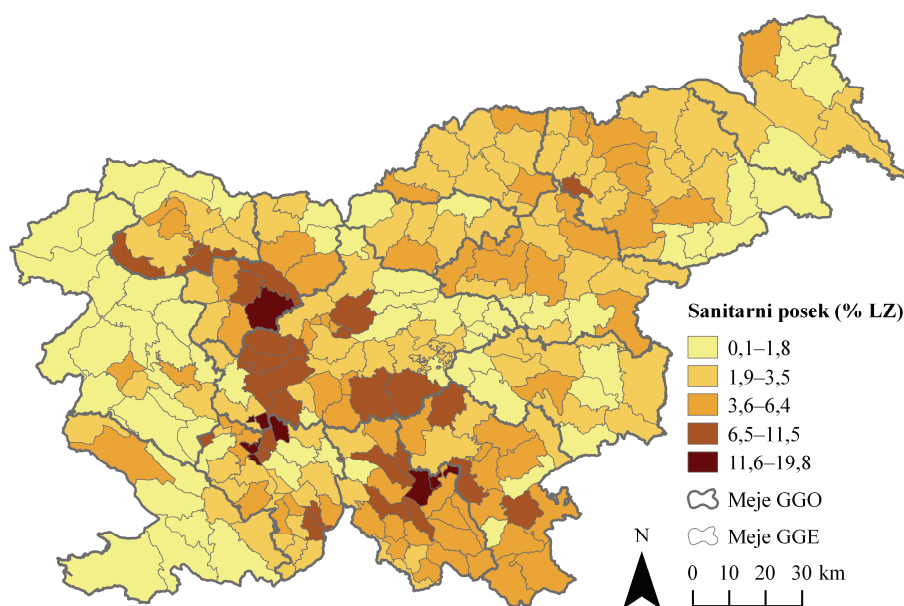
Leto	Žuželke	Bolezni, glive	Žled	Sneg	Drugo	Veter	Delo v gozdu	Emisija	Divjad	Plaz, usad	Požar	Skupaj s. p. *	Cel posek	Delež s. p. (%)
1995	169	120	1	16	108	88	39	34	3	2	7	589	2094	28,1
1996	88	102	231	461	83	29	43	16	2	3	5	1063	2331	45,6
1997	81	109	623	102	74	57	50	15	5	3	1	1120	2570	43,6
1998	172	125	215	46	78	42	63	13	7	7	1	768	2472	31,0
1999	103	105	65	164	78	55	68	7	5	6	1	657	2399	27,4
2000	119	130	43	38	83	47	76	7	6	4	1	553	2612	21,2
2001	133	124	23	19	80	34	72	6	7	5	1	505	2619	19,3
2002	169	126	12	13	95	64	66	7	8	2	5	566	2651	21,3
2003	407	125	9	112	86	166	57	4	6	3	3	976	3013	32,4
2004	550	131	4	38	85	159	51	5	4	2	3	1031	2935	35,1
2005	747	123	3	14	84	173	54	4	4	2	2	1212	3242	37,4
Skupaj	2737	1319	1226	1022	934	915	639	119	56	39	31	9039	28938	31,2
S. p. (%)	30,3	14,6	13,6	11,3	10,3	10,1	7,1	1,3	0,6	0,4	0,3	100,0		

*Opomba: s. p. = sanitarni posek

S primerjavo med gozdnogospodarskimi območji (GGO) (slika 1) ugotovimo območja, kjer je bila v obdobju 1995–2005 sanitarna sečnja največja glede na delež lesne zaloge, t. j. tam, kjer so nastale gozdnogospodarske težave. GGO Kočevje in GGO Ljubljana zavzemata največji delež v sanitarnem poseku, t. j. 15,4 % in 15,1 %, sledijo GGO Novo mesto z 11,1 %, GGO Kranj z 10,1 %, GGO Maribor z 8,6 %, GGO Postojna z 8,1 %, GGO Slovenj Gradec s 6,3 %, GGO Bled s 5,9 % in GGO Celje s 5,3 %. Manjši delež sanitarnega poseka je bil v GGO Brežice, in sicer 4,0 %, v GGO Nazarje 3,7 %, v GGO Tolmin 3,4 %, v GGO Murska Sobota 1,8 % in v GGO Sežana 1,2 %.

V drevesni sestavi sanitarnega poseka v obdobju 1995–2005 je največji delež zavzela navadna smreka (56,4 %) v glavnem zaradi podlubnikov ter snega, vetra in žleda. Kot drugo sanitarno najpogostejše posekamo navadno jelko (16,4 %), in sicer zaradi sušenja iz neznanih vzrokov, bolezni, škodljivcev in vetra. V deležu sanitarnega poseka je navadna bukev na tretjem mestu (10,8 %) zaradi žleda, vetra in snega ter dela v gozdu. Pravi kostanj (4,6 % v sanitarnem poseku) posekamo zaradi bolezni, t. j. kostanjevega raka. Rdeči bor je v sanitarnem poseku zastopan s 4,2 %. Glavni vzrok sanitarnega poseka rdečega bora sta sneg in žled. V sanitarnih sečnjah se graden (2,4 %) pojavlja večinoma zaradi žleda in bolezni. Glavna vzroka za sanitarni posek črnega bora (1,0 %) sta bolezen in požar.

Zakon o odpravi posledic naravnih nesreč (2005) definira naravno nesrečo kot nesrečo, ki jo povzročijo: potres, udor, poplava, zemeljski plaz in snežni plaz, ter nesrečo v kmetijstvu ali gozdarstvu, ki jo povzročijo neugodne vremenske razmere, kot so žled, pozeba, suša, neurje in toča ali množičen izbruh rastlinskih škodljivih organizmov in živalskih bolezni. Po omenjenem zakonu se vsi naštetih vzroki sanitarnih sečenj (razen dela v gozdu) obravnavajo kot naravne nesreče in je za odpravo njihovih posledic mogoče pridobiti sredstva iz proračuna Republike Slovenije, kar pa je strošek za državo.



Slika 1: Sanitarni posek v GGE v obdobju 1995–2005 v Sloveniji (v % lesne zaloge)

Posek zaradi podlubnikov se povečuje od leta 1999 naprej. Zelo se je povečal v zadnjih treh letih, 2003–2005, ko je dosegal ekstremnih 407.000, 550.000 in 747.000 m³ leto⁻¹. Glavni vzrok za zelo veliko povečanje sanitarnega poseka na splošno je več zaporednih suš, ki so nastale v letih 2000, 2001 in 2003. Leto 2003 je bilo izredno suho, saj je padavin primanjkovalo skoraj povsod v Sloveniji – padlo je le od 55 do 70 % običajnih letnih padavin (Cegnar, 2003). Ko nastane fiziološka suša, ni organa v rastlini, ki ne bi trpel in bil v stresu (Larcher, 1995). Zaradi škodljivcev najbolj trpi smreka, in sicer v GGO Kočevje, Ljubljana in Novo mesto. Škodljivci (žuželke, podlubniki) poleg smreke poškodujejo še jelko v GGO Kočevje in Postojna. Posek zaradi bolezni se iz leta v leto le malo spreminja; povprečno znaša 120.000 m³ leto⁻¹. Izmed bolezni največ škode naredi rdeča trohnoba na jelki in smreki v GGO Ljubljana, Slovenj Gradec in Bled. Zelo veliko škode je naredil kostanjev rak in še vedno se iz leta v leto zaradi te bolezni na domačem kostanju poseka ogromno dreves, in sicer največ v GGO Maribor, Ljubljana, Novo mesto in Brežice. Žled je naredil največ škode v letih 1997, 1996 in 1998, ko je polomil in podrl 623.000, 231.000 in 215.000 m³ drevja. Zaradi žleda najbolj trpijo bukev, smreka in rdeči bor v GGO Kranj, Celje in Ljubljana. Iz leta v leto povzroči sneg različno veliko škodo. V zadnjih 10 letih je bil največji snegolom zabeležen leta 1996, ko je podrl 461.000 m³ drevja. Druga večja snegoloma sta bila v letih 1999 in 2003, ko je bilo podrtega 164.000 in 112.000 m³ drevja. Za težak sneg sta najbolj občutljiva smreka in rdeči bor. Sneg povzroča težave v glavnem v severni polovici Slovenije. V zadnjih treh letih se je za približno 3-krat povečal posek zaradi vetrolomov, in sicer od 159.000 do 173.000 m³, medtem ko je povprečje okoli 52.000 m³. Veter najpogosteje podira in lomi smreke, bukve in jelke v GGO Bled in Novo mesto. Povečan delež mrtve lesne mase zaradi abiotских dejavnikov (v glavnem veter in sneg) v gozdu je drugi najpomembnejši vzrok za namnožitev podlubnikov v zadnjih treh letih.

Navedeni podatki o sanitarnih sečnjah ponazarjajo zdravje gozda v Sloveniji. Zelo obsežne varstveno-sanitarne sečnje poškodovanih in obolelih dreves so velik problem vseslovenskega gozdarstva, saj so neposredno povezane z veliko gospodarsko škodo,

zmanjšujejo prilagodljivost reagiranja na gozdnogospodarske ukrepe in poraja se vprašanje trajnosti gospodarjenja z gozdom, še posebno v kontekstu podnebnih sprememb. V zadnjih desetletjih se podnebje spreminja, postaja vse topleje (Luterbacher in sod., 2004). V zgodovini Zemlje se je podnebje neprestano spreminjalo. V zadnjih desetletjih prejšnjega stoletja in še posebno v začetku 21. stoletja se vrstijo znanstveni dokazi, ki potrjujejo, da je človek s svojo aktivnostjo posegal in vse bolj posega v dinamičen proces podnebnih sprememb. Človek z izpusti toplogrednih plinov (TGP) vse hitreje spreminja sestavo ozračja, s spremenjeno rabo tal pa vpliva tudi na značilnosti zemeljske površine. TGP povzročajo učinek tople grede, t. j. višanje temperature površja. Klimatologi menijo, da bodo podnebne spremembe postale izrazitejše; to ne zadeva samo zviševanja temperature zraka, tal in oceanov, temveč tudi spreminjanje padavinskih vzorcev, oblačnosti, vlažnosti zraka in pogostosti meteoroloških pojavov (snežna odeja, nevihte, vremenske ujme). Posledice podnebnih sprememb bi lahko zelo vplivale na naravne ekosisteme in povzročile tudi veliko škodo v gozdarstvu (Simončič in sod., 2001; Impacts of Europe's ..., 2004; Jakša, 2005; Schröter in sod., 2005).

V Sloveniji so gozdovi zelo spremenjeni zaradi človekovih dejavnosti. Ohranjenost drevesne sestave je eden od meril stabilnosti gozdnih sestojev in posredno celotnega gozdnega ekosistema. Tudi ohranjanje biodiverzitete je odvisno od ohranjenosti naravne drevesne sestave. Drevesne vrste so dominantne vrste gozdnega ekosistema in pomembno vplivajo na razmere v njem, saj sooblikujejo notranje okolje in habitate za druge organizme. Zato sta drevesna sestava in stopnja njene spremenjenosti predmet analize trajnosti (stabilnosti) gozda in izhodišče za gozdnogojitvene odločitve v prihodnosti na ravni gozdnega sestoja in celotne krajine (Bončina in Robič, 1998). Ker je stabilnost gozda eden od meril za zdrav gozd (Costanza in Mageau, 1999; Jørgensen in sod., 2005), obravnavamo spremenjenost vrste sestave gozdov tudi v modelu zdravja gozdov v Sloveniji.

V disertaciji preverjamo naslednje hipoteze:

- Zdravstveno stanje gozdov v Sloveniji se bo zaradi podnebnih sprememb poslabšalo.
- Gozdovi s spremenjeno drevesno sestavo so labilnejši⁴, tako v obdobju 1995–2005 kot v prihodnjih podnebnih spremembah.
- V Sloveniji se bo zdravje gozda zaradi podnebnih sprememb bolj poslabšalo v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo kot v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo.

Diaci in Grecs (2003) sta v svojem prispevku prikazala sodobne probleme gojenja gozdov v Sloveniji, ki so hkrati tudi problemi varstva gozdov, in jih razdelila po prednostih skupinah. Obravnavanje zdravstvenega stanja gozdov sta uvrstila v zelo pomembno skupino. Spremenjenost drevesne sestave in večanje števila sanitarnih sečenj sta uvrstila v srednje pomembno skupino. Na seznamu je še neusklajenost rastlinske in živalske komponente gozdov ter poškodbe drevja zaradi sečnje in spravila. Oba slednja problema sta posredno zajeta v sanitarni sečnji zaradi divjadi in dela v gozdu. Kot je razvidno, je

⁴ Labilen pomeni nestabilen (Slovar slovenskega knjižnega jezika).

problematika že identificirana (Diaci, 2006). V tej disertaciji navedeno problematiko obravnavamo v luči podnebnih sprememb in jo poskušamo količinsko ovrednotiti ter dokazati.

Tematika disertacije je obsežna, saj je pojem zdravje gozda kompleksen. V tem avtorskem delu obravnavamo zdravje gozda s pomočjo le enega kazalca, t. j. s sanitarno sečnjo. V Sloveniji je zdravstveno stanje gozdov obravnavano z izbranim kazalcem v luči podnebnih sprememb. Preskušamo tudi domnevo o razlikah med zdravjem gozda v gozdovih z ohranjeno in gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo.

2 DOSEDANJA RAZISKOVANJA

V tem poglavju navajamo obstoječa znanja o obravnavani tematiki doktorske disertacije. Najprej opisujemo, kaj so modeli, kakšni so postopki in metode modeliranja, in sicer s poudarkom na metodah strojnega učenja, ki smo jih izbrali kot temeljno orodje reševanja problematike, ki jo obravnava ta disertacija. Sledi poglavje o varstvu gozdov. Opisujemo organiziranost varstva gozdov v Sloveniji, njegovo umestitev v sistem varstva rastlin v Sloveniji in v mednarodni sistem varstva rastlin, s posebnim poudarkom na virih informacij za varstvo gozdov v Sloveniji. Pomembno je poglavje o varstvu gozdov, gledano z gledišča helsinškega procesa za Evropo in montrealskega procesa za gozdove zmernega pasu in borealne gozdove. V poglavju o helsinškem in montrealskem procesu navajamo merila za trajnostno gospodarjenje z gozdom in posebej kazalce za ocenjevanje zdravlja gozdnih ekosistemov. Nato je poglavje o podnebnih spremembah, v katerem se osredotočamo na opise scenarijev podnebnih sprememb v Sloveniji. Sledi poglavje o ocenjevanju spremenjenosti vrstne sestave gozdov kot enega izmed pogojev, ki so pomembni pri preverjanju stabilnosti gozda. Na koncu predstavljamo poglavje o presoji zdravlja gozdnega ekosistema.

2.1 MODELIRANJE

2.1.1 Modeli kot znanstveni pripomoček

Modeli so uporaben pripomoček v znanosti (Jørgensen in Bendoricchio, 2001):

- Modeli so uporabni pripomoček pri pregledu kompleksnih sistemov.
- Modeli se lahko uporabijo za odkrivanje lastnosti sistema.
- Modeli odkrivajo slabosti v našem znanju, zato jih lahko uporabimo za določevanje raziskovalnih prioritet.
- Modeli so uporabni pri preizkušanju znanstvenih hipotez.

2.1.2 Elementi modeliranja

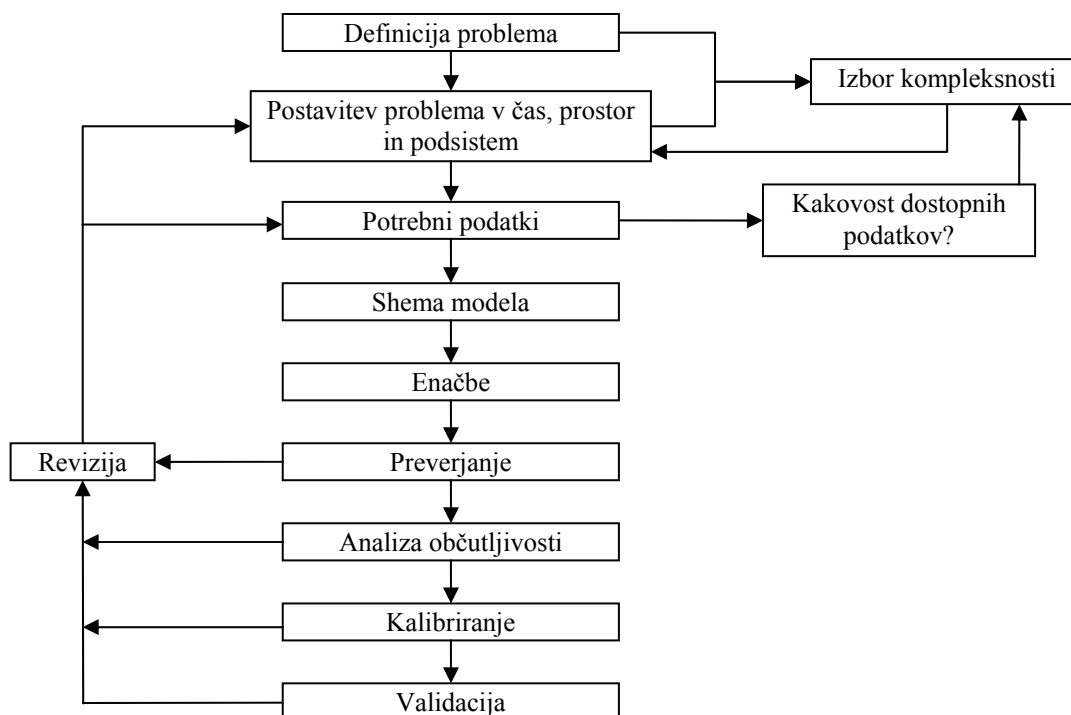
Ekološki model je sestavljen iz petih komponent (Jørgensen in Bendoricchio, 2001):

1. Funkcije ali zunanje spremenljivke, ki vplivajo na stanje ekosistema od zunaj.
2. Spremenljivke stanja, ki opisujejo stanje ekosistema.
3. Biološki, kemični in fizikalni procesi v ekosistemu so v modelu predstavljeni s pomočjo matematičnih enačb. Le-te podajajo odvisnosti med funkcijami in spremenljivkami, ki opisujejo stanje ekosistema.
4. Matematična predstavitev procesov v ekosistemu vsebuje koeficiente ali parametre. Parametri lahko veljajo za konstante za določen ekosistem ali del ekosistema. Parametre moramo preveriti s kalibracijo.
5. Večina modelov vsebuje tudi splošne konstante, kot so plinska konstanta, molekularne mase ipd.

2.1.3 Postopek modeliranja

Postopek modeliranja praviloma poteka po naslednjih korakih (slika 2) (Jørgensen in Bendoricchio, 2001):

1. Natančno opredelimo problem in namen modela.
2. Definiramo sistem in njegove robne pogoje (problem postavimo v čas, prostor in podsistem).
3. Naredimo seznam potrebnih podatkov in ugotovimo, kakšna je kakovost dostopnih podatkov.
4. Narišemo shemo modela.
5. Matematične enačbe.
6. Preverjanje modela (odprava logičnih napak).
7. Določanje občutljivosti modela (prilagajanje natančnosti vhodnih podatkov modelu, popravljanje zvez v modelu).
8. Kalibriranje in validacija modela (uporabimo realne vhodne podatke, za katere poznamo rezultate vnaprej).



Slika 2: Shema postopka modeliranja (Jørgensen in Bendoricchio, 2001)

2.1.4 Metode strojnega učenja⁵

Učenje je proces pridobivanja novega znanja. Pri strojnem učenju računalnik, t. j. stroj oz. računalniški program iz podatkov pridobi novo znanje (Kubat in sod., 1997; Džeroski, 2001). Odkrivanje znanja v podatkovnih zbirkah je definirano kot netrivialen proces spoznavanja veljavnih, novih, potencialno uporabnih in razumljivih vzorcev v podatkih (Fayyad in sod., 1996). Iz uporabniškega vidika je strojno učenje orodje za podatkovno rudarjenje in odkrivanje novega znanja. Obdelava podatkov ali podatkovno rudarjenje (angl. data mining) je eden pglavitnih korakov v procesu odkrivanja novega znanja, ki se osredotoča na iskanje vzorcev v podatkih s pomočjo določenih algoritmov. Drugi koraki v procesu učenja se ukvarjajo s pripravo podatkov za obdelavo in z vrednotenjem odkritih vzorcev (rezultatov).

Odkriti vzorci v podatkih naj bi veljali samo z neko stopnjo gotovosti, ki jo določi uporabnik sam. Vzorci naj bi potencialno vodili k dejanski uporabi (glede na merila koristnosti, ki jih postavi uporabnik). Vzorec, ki je zanimiv (glede na merila, ki jih postavi uporabnik) in je dovolj zanesljiv (glede na merila uporabnika) je znanje (Frawley in sod., 1991). Iskanje vzorcev v podatkih se opravi z uporabo različnih algoritmov podatkovnega rudarjenja. Različni algoritmi podatkovnega rudarjenja definirajo različne naloge podatkovnega rudarjenja.

Rezultat algoritma podatkovnega rudarjenja je navadno vzorec ali množica vzorcev, ki veljajo za dane podatke. Vzorec je definiran kot izjava v določenem jeziku, ki opisuje relacije med dejstvi v množici danih podatkov in je na neki način preprostejši kot seznam vseh dejstev v množici (Frawley in sod., 1991; Fayyad in sod., 1996). V podatkovnem rudarjenju imamo več različnih skupin vzorcev, ki so odvisni od naloge podatkovnega rudarjenja. Katero nalogo podatkovnega rudarjenja uporabimo, je odvisno od danih podatkov.

Naloge podatkovnega rudarjenja so naslednje:

- klasifikacija in regresija;
- razvrščanje v skupine;
- asociacijska analiza;
- druge naloge (npr. razvojna analiza).

Pri podatkovnem rudarjenju in odkrivanju znanja so osrednjega pomena vzorci. Algoritmi podatkovnega rudarjenja iščejo vzorce v danih podatkih. Odkriti vzorci, ki so veljavni, zanimivi in uporabni, so lahko znanje (Han in Kamber, 2001). Vzorec deli množico podatkov na več delov, ki so še vedno del celote, in vključuje prostorski vidik, ki ga lahko vizualiziramo.

Odkriti vzorci v podatkih lahko zavzamejo različno obliko:

- enačbe;

⁵ Poglavje o metodah strojnega učenja je v večji meri povzeto po dveh virih, ki na kratko in jedrnato opisujeta, kaj je strojno učenje in katere so njegove metode (Kubat in sod., 1997; Džeroski, 2001). Na nekaterih mestih tega poglavja so uporabljeni tudi viri drugih avtorjev, kar je navedeno s citiranjem virov.

- odločitvena drevesa;
- napovedovalna pravila;
- asociacijska pravila;
- primere, razdalje in razdelke;
- verjetnostne modele.

Problematika, ki jo obravnava doktorska disertacija Model zdravja gozdov v Sloveniji, je terjala nalogo klasifikacije in regresije. Odkriti vzorci so zavzeli obliko odločitvenih dreves. Zato v nadaljevanju na kratko opisujemo samo uporabljene naloge podatkovnega rudarjenja in kaj so odločitvena drevesa.

2.1.4.1 Klasifikacija in regresija

Naloge klasifikacije in regresije se ukvarjajo z napovedovanjem vrednosti ene spremenljivke iz vrednosti drugih spremenljivk. Ciljna spremenljivka je poimenovana razred (v statistiki je to odvisna spremenljivka), druge spremenljivke so poimenovane atributi (v statistiki so to neodvisne spremenljivke) (Han in Kamber, 2001; Witten in Frank, 2005).

Če je razred zvezen, je naloga regresija. Če je razred diskreten, je naloga klasifikacija. V obeh primerih je za vhod obdelave podatkov navadno vzet iz množice le del podatkov, iz katerih je potem izdelan model. Tak del podatkov se imenuje učna množica. Preostali del je rezerviran za vrednotenje izdelanega modela in se imenuje testna množica in se uporablja za ocenitev veljavnosti najdenega vzorca v učni množici na novih podatkih, ki jih predstavlja testna množica (Han in Kamber, 2001; Witten in Frank, 2005). Izdelan model se potem lahko uporablja za napovedovanje vrednosti razreda z novimi podatki.

2.1.4.2 Odločitvena drevesa

Odločitvena drevesa so hierarhične strukture v obliki drevesa, kjer vsako notranje vozlišče vsebuje preizkus na atribut, vsaka veja se ujema z rezultatom preizkusa in vsak list daje napoved vrednosti za razredno spremenljivko (Quinlan, 1986, 1993; Breiman in sod., 1998). Odvisno od tega, ali se ukvarjamo s klasifikacijskim ali regresijskim problemom, je odločitveno drevo poimenovano klasifikacijsko ali regresijsko drevo.

Listi klasifikacijskega drevesa vsebujejo konstante, listi regresijskih dreves pa linearne modele. Pomemben mehanizem, ki preprečuje pretirano prilagajanje dreves podatkom, je rezanje odločitvenih dreves. V ta namen določimo minimalno število primerov, ki ga mora opisovati vsak list drevesa, ali pa določimo stopnjo zaupanja za ocene točnosti posameznih listov odločitvenega drevesa.

Za razvoj modela zdravja gozdov smo uporabili klasifikacijsko in regresijsko drevo. Za klasifikacijsko drevo smo izbrali algoritem J48, ki omogoča izdelavo C4.5 odločitvenega drevesa (Quinlan, 1993). Za regresijsko drevo smo izbrali algoritem M5, ki ga je v osnovi razvil Quinlan (1992). Pozneje sta algoritem M5 izboljšala Wang in Witten (1997) in ga označujemo kot M5'.

2.1.4.3 Weka

Weka je zbirka najsodobnejših algoritmov strojnega učenja in orodij za podatkovno rudarjenje (Witten in Frank, 2005). Oblikovana je tako, da uporabnik lahko hitro in na fleksibilen način preizkusi obstoječe metode strojnega učenja na novih podatkih. Omogoča široko paleto orodij za celoten proces podatkovnega rudarjenja, vključno s pripravo vhodnih podatkov, s statističnim vrednotenjem učnih shem ter ponazoritvijo vhodnih podatkov in rezultatov učenja. To raznoliko in obširno orodje se uporablja prek skupnega grafičnega vmesnika, tako da njegovi uporabniki lahko primerjajo različne metode in izberejo tiste, ki so najprimernejše za obravnavani problem.

Program Weka so razvili na Univerzi Waikato na Novi Zelandiji, Oddelku za računalništvo v programskem jeziku java⁶. Program je prosto dostopen na spletu in javen za uporabo. Deluje skoraj na katerem koli računalniškem okolju in je preizkušen na operacijskih sistemih Linux, Windows in Macintosh.

Program Weka vključuje metode za vse običajne naloge podatkovnega rudarjenja: regresijo, klasifikacijo, razvrščanje v skupine, asociacijska pravila in izbor atributov. Spoznavanje vzorcev v podatkih je sestavni del raziskav, zato je v programu na voljo mnogo načinov za ponazoritev vzorcev in orodij za predpripravo podatkov. Program Weka sprejema podatke v formatu ARFF (ang. Attribute-Relation File Format). Iz analize rezultatov programa Weka je mogoče razbrati novo znanje. Drugi način je, da se uporabi razvite modele za izdelavo napovedi na novih primerih. Tretji način pa je, da uporabimo različne učne algoritme in izdelamo primerjavo njihove zmogljivosti, da ugotovimo, kateri je boljši; tistega potem uporabimo za izdelavo napovedi. Učni algoritmi se imenujejo klasifikatorji, ki jih uporabnik lahko izbira prek posebnega menija v grafičnem vmesniku Weke. Mnogo klasifikatorjev ima možnost nastavitve njihovih parametrov. Za merjenje zmogljivosti klasifikatorjev je namenjen posebni in skupni modul za vrednotenje.

2.1.4.4 Primeri uporabe metod strojnega učenja v varstvu gozdov v Sloveniji

V Sloveniji so bili na področju varstva gozdov razviti vsaj trije modeli s pomočjo metod strojnega učenja: model požarne ogroženosti gozdov (Kobler, 2001), model pojavljanja smrekovih podlubnikov v Dinarskem gorstvu (Jurc M. in sod., 2006), model populacijske dinamike navadnega jelena (Stankovski in sod., 1998).

Prostorski model požarne ogroženosti gozdov v Sloveniji

To je prostorski model za vsakodnevno ocenjevanje požarne ogroženosti gozdov na podlagi okoljskih, antropogenih in vremenskih vplivov. Okoljski in antropogeni vplivni dejavniki so zajeti v obliki slojev prostorskega informacijskega sistema (PIS), vreme pa posredno prek ocen požarne ogroženosti naravnega okolja, ki jih vsak dan objavlja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Model temelji na empiričnih podatkih o gozdnih požarih. Za izdelavo modela so bile uporabljene tri različne metode, in sicer:

⁶ Java je programski jezik, ki je preprost, predmetno usmerjen, mrežen, razumljiv, robusten, varen, neodvisen od operacijskega sistema, prenosen, visoko zmogljiv, večniten in dinamičen.

linearna regresija, binarna logistična regresija in induktivno učenje odločitvenega drevesa, od katerih je dala najboljše rezultate logistična regresija. Izbrani model je vgrajen v obliki PIS-aplikacije v okolju ArcView.

Linearna regresija je prilagajanje linearne funkcije empiričnim podatkov, pri čemer mora biti ciljna spremenljivka zvezna. Binarna logistična regresija se uporablja takrat, ko je odvisna spremenljivka diskretna in binarna, torej ima le dve možni vrednosti, neodvisne spremenljivke pa so zvezne (Hosmer in Lemeshow, 2001). Rezultat logistične regresije je izraz, ki napoveduje verjetnost dogodka kot funkcijo neodvisnih spremenljivk. Čeprav je v modelu požarne ogroženosti gozdov v Sloveniji logistična regresija dala boljše rezultate kot odločitveno drevo, to ni splošno pravilo (Perlich in sod., 2003). Primerjava med logistično regresijo in indukcijo odločitvenega drevesa je pokazala, da je logistična regresija boljša pri manjših podatkovnih nizih, indukcija dreves pa pri večjih podatkovnih nizih. V modelu požarne ogroženosti je bil model logistične regresije izbran zato, ker je samo ta upošteval časovni vidik, t. j. vremenske vplive na požarno ogroženost gozdov. Pozneje je bil model požarne ogroženosti izboljššan in vgrajen v sistem GIS UJME, t. j. prostorski del informacijskega sistema za zaščito in reševanje na Upravi Republike Slovenije za zaščito in reševanje pri Ministrstvu za obrambo Republike Slovenije (Kobler in sod., 2006).

Model pojavljanja smrekovih podlubnikov v Dinarskem gorstvu

Model preizkuša odvisnost pojavljanja smrekovih podlubnikov (*Ips typographus* in *Pityogenes chalcographus*) glede na različne okoljske dejavnike. V ta namen so uporabili metodo linearne regresije in indukcijo odločitvenih dreves. Vključeni so bili naslednji atributi: ekspozicija, starost feromona, število dni od zadnjega pregleda pasti, povprečna mesečna temperatura, mesečne padavine, mesec in število podlubnikov iz zadnjega pregleda pasti. V primerjavi z linearno regresijo je v tem modelu odločitveno drevo točneje prikazalo pojavljanje smrekovih podlubnikov. Validacijo modela so izvedli z 10-kratnim prečnim preverjanjem. Zanesljivost modelov so preverjali s Pearsonovim koeficientom korelacije, in sicer je model za *P. chalcographus* $r = 0,44$. Z večjim odločitvenim drevesom je bil korelacijski koeficient lahko večji kot 0,5. Model omogoča kratkoročno napoved gostote populacije smrekovih podlubnikov s pomočjo podatkov spremljanja gostote populacije smrekovih podlubnikov s pomočjo kontrolno-lovnih pasti in drugih neodvisnih spremenljivk modela.

Model populacijske dinamike navadnega jelena

Raziskava je modelirala populacijsko dinamiko navadnega jelena na površini 40.000 ha v sonaravno gospodarjenih gozdovih na visokem Krasu Notranjske. Uporabljen je bil program RETIS, ki je orodje strojnega učenja; razvil ga je Karalič (1992). RETIS je program, v katerega je vgrajen algoritem za gradnjo regresijskega drevesa, katerega listi predstavljajo modele linearne regresije. Model populacijske dinamike navadnega jelena vključuje več meteoroloških spremenljivk in oceno številčnosti jelenjadi v območju. Razvita sta bila dva modela: prvi je za ocenjevanje teže jelenjadi, drugi pa za ocenjevanje stopnje poškodb na javoru zaradi jelenjadi. Z modelom je mogoče dobro napovedati poškodbe gozda zaradi jelenjadi v bližnji prihodnosti. To je pomembno za vzdrževanje ravnotežja med populacijo jelenov in gozdom.

2.2 VARSTVO GOZDOV V SLOVENIJI

V Sloveniji je varstvo gozdov določeno v Zakonu o gozdovih (1993), natančneje pa v Pravilniku o varstvu gozdov (2000) in njegovih dopolnitvah (Pravilnik o spremembah in dopolnitvah ..., 2006). Pravilnik o varstvu gozdov "ureja pogoje za sonaravno, trajnostno in večnamensko gospodarjenje in rabo gozdov (izkoriščanje funkcij gozdov), ohranjanje biotskega ravnovesja gozdnega ekosistema, načrtovanje ukrepov za preprečevanje škodljivih vplivov na gozd, ter spremljanje poškodovanosti gozdov in varstvo gozdov pred požari". Biotsko ravnovesje vseh živih organizmov v gozdu se zagotavlja z obstojem, raznovrstnostjo, uravnoteženimi odnosi in razvojem avtohtonih organizmov v gozdu in gozdnem prostoru ter z ohranjanjem pestrih ekosistemov. Biotsko ravnovesje v gozdu se ohranja in obnavlja z upoštevanjem usmeritev in izvajanjem ukrepov, določenih z načrti za gospodarjenje z gozdovi.

Biotsko ravnovesje v gozdu se ohranja, obnavlja in pospešuje z načrtovanjem in izvajanjem naslednjih ukrepov (Pravilnik o varstvu gozdov, 2000):

- ohranjanjem redkih grmovnih in drevesnih vrst ter njihovih populacij;
- ohranjanjem redkih in ogroženih živalskih vrst ter njihovega življenjskega okolja;
- načrtnim puščanjem odmrle biomase;
- spremljanjem stanja in razvoja gozdnega ekosistema;
- ohranjanjem mokrišč in vodnih površin v gozdu;
- ohranjanjem posebno vrednih habitatov redkih in ogroženih rastlinskih in živalskih vrst;
- prilagajanjem gospodarjenja v predelih gozda, ki so posebno pomembni za redke in ogrožene rastlinske in živalske vrste
- in izvajanjem dodatnih ukrepov, kot so postavljanje in vzdrževanje gnezdnic, sajenje plodonosnih vrst grmovja in drevja, zaščita sadik pred prostoživečimi rastlinojedimi živalmi in drugi.

Dejavnost varstva gozdov obsega zlasti (Pravilnik o varstvu gozdov, 2000):

- spremljanje stanja in razvoja biotskih in abiotskih dejavnikov, ki so ali lahko postanejo škodljivi za gozd kot ekosistem;
- ugotavljanje neznanih škodljivih dejavnikov;
- napovedovanje pričakovanih škodljivih pojavov večjih razsežnosti;
- načrtovanje in zagotavljanje izvajanja ukrepov za preprečevanje škodljivih pojavov;
- poročanje o škodljivih pojavih.

Dejavnost varstva gozdov se opravlja v okviru dejavnosti javne gozdarske službe, t. j. v okviru poročevalske, diagnostične in prognozične službe za gozdove (PDP služba) ter redne javne gozdarske službe.

2.2.1 Poročevalska, diagnostična in prognozična služba za gozdove

Dejavnost varstva gozdov v Sloveniji je razdeljena na dve javni instituciji: na Gozdarski inštitut Slovenije (GIS) in Zavod za gozdove Slovenije (ZGS). Gozdarski inštitut Slovenije v okviru poročevalske, diagnostične in prognozične službe za gozdove skrbi tudi za:

- ugotavljanje neznanih škodljivih dejavnikov;

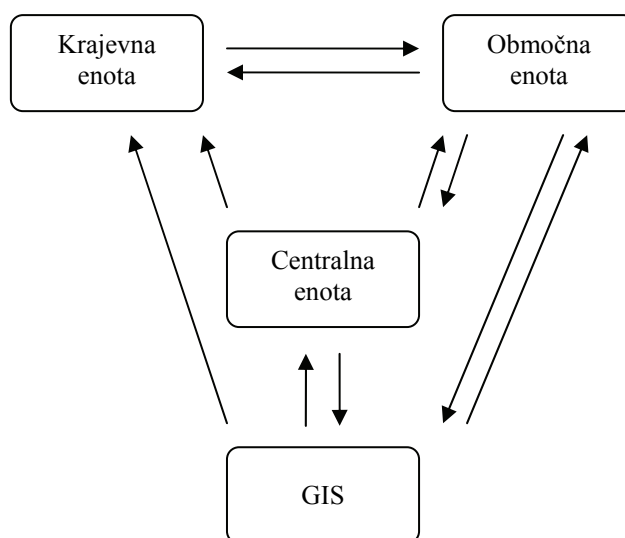
- napovedovanje pričakovanih škodljivih pojavov večjih razsežnosti;
- pripravlja, razvija in predlaga metode za spremljanje stanja biotskih in abiotskih dejavnikov v gozdu ter metode za izvajanje ukrepov za preprečevanje škodljivih pojavov, ločeno po posameznih gozdnogospodarskih območjih;
- ministrstvu poroča o pojavih in dejavnostih iz prejšnjih alinej.

Zavod za gozdove Slovenije v okviru dejavnosti javne gozdarske službe opravlja tudi naslednje naloge varstva gozdov:

- spremlja stanje in razvoj biotskih in abiotskih dejavnikov, ki so ali lahko postanejo škodljivi za gozd kot ekosistem;
- načrtuje in zagotavlja izvajanje ukrepov za preprečevanje škodljivih pojavov;
- ministrstvu poroča o stanju in ukrepih iz prejšnjih alinej;
- Gozdarski inštitut Slovenije obvešča o pojavu poškodb drevja neznanega vzroka, o pojavu karantenskega dejavnika oziroma o vseh pojavih neobičajno velikih ali intenzivnih poškodb v gozdovih ali gozdnem prostoru.

Dejavnost službe PDP se najbolje ugotavlja iz podatkov letnega poročila o varstvu gozdov, ki je del poročila o gozdovih, ki ga pripravi ZGS.

Vsak revirni gozdar sproti beleži škodljive biotske in abiotske dejavnike v gozdu (Katalog znanj ..., 2001). Podatke vnaša v predpisane obrazce in jih ob pojavu škodljivega dejavnika oz. na dva meseca preda vodji krajevne enote. Tu podatke vseh revirjev združijo in ob pojavu škodljivega dejavnika oz. na štiri mesece jih predajo vodji odseka za gojenje in varstvo gozdov na območni enoti (slika 3).



Slika 3: Shematski prikaz organiziranosti službe PDP (Katalog znanj ..., 2001)

Revirni gozdar mora za ustrezno izpolnjevanje obrazcev znati določiti najpogostejše povzročitelje poškodb drevja. Tisti škodljivci, ki so najpogostejše sposobni preiti v gradacijo, so navedeni v Pravilniku o varstvu gozdov (2000, 2006). O njihovem pojavu je obvezno treba poročati. Vendar je treba zabeležiti tudi druge škodljive dejavnike in poškodbe zaradi njih ter jih vpisati v posebne obrazce. Če revirni gozdar ne more sam

določiti povzročitelja poškodb, mora o takem pojavu obvestiti vodjo odseka za gojenje in varstvo gozdov na območni enoti. Če vodja odseka za gojenje in varstvo gozdov ne more določiti povzročitelja, mora o pojavu obvestiti vodjo službe za varstvo gozdov na centralni enoti in vzorce poškodovanega drevesa (skupaj s povzročiteljem, če je to le mogoče) poslati v Laboratorij za varstvo gozdov na GIS. Po opravljeni določitvi povzročitelja poškodb GIS obvesti pošiljatelja in centralno enoto ZGS o rezultatih pregleda vzorca (slika 3).

Vsak pojav, ki povzroča poškodbe na gozdnem drevju, mora biti registriran, še posebno, če se pojavi nenadno in v večjem obsegu. V vsakem trenutku pretelevarnost vnosa novih bolezni in škodljivcev. Samo na temelju sprotnega zaznavanja neobičajnih poškodb gozda lahko služba za varstvo gozdov, služba za varstvo rastlin in inšpekcijska služba (gozdarska in fitosanitarna) učinkovito ukrepajo in, če je mogoče, zatrejo povzročitelja oz. zmanjšajo njegov negativni vpliv.

2.2.1.1 Organiziranost

PDP služba je organizirana na dveh nivojih: v ožji in širši sestavi (Katalog znanj ..., 2001). Ožja sestava je jedro, ki usmerja varstvo gozdov v času, ko ni večjih varstvenih problemov. Kadar nastanejo problemi večjih razsežnosti, kot so naravna ujma, gradacija, epifitocija in požar, se ožji sestavi pridružijo nosilci izvajanja varstva gozdov z ogroženih območij. Ožjo sestavo službe PDP sestavljajo vodja službe za varstvo gozdov (ZGS), fitopatolog (GIS), entomolog (GIS) in republiški gozdarski inšpektor. V širši sestavi so še vodje odsekov za gojenje in varstvo gozdov na območnih enotah ZGS in gozdarski inšpektor ogroženega gozdnogospodarskega območja. Služba PDP v ožji sestavi ima redne sestanke, na katerih obravnava aktualno varstveno problematiko. Služba PDP v širši sestavi se sestaja zgolj po potrebi.

2.2.1.2 Delovanje Zavoda za gozdove Slovenije v primeru naravnih nesreč in ujm

Ob naravnih nesrečah in ujmah je ključnega pomena učinkovit informacijski sistem. Na ZGS poteka zbiranje podatkov po organizacijskih ravneh (Katalog znanj ..., 2001). Na vsaki organizacijski ravni je odgovorna oseba, ki zbira podatke s svoje ravni in jih posreduje na višjo raven. Vsaka odgovorna oseba odgovarja za točnost in kakovost podatkov na svoji ravni:

- na ravni revirja je za zbiranje podatkov in evidentiranje poškodb gozdov odgovoren revirni gozdar;
- na ravni krajevne enote je odgovorna in kontaktna oseba za zbiranje podatkov vodja krajevne enote;
- na ravni območne enote je odgovorna oseba vodja odseka za gojenje in varstvo gozdov. V primeru poškodb gozdnih prometnic pa podatke o poškodbah zbira vodja odseka za tehnologijo dela in gozdnih prometnic;
- na ravni ZGS je odgovorna oseba vodja službe za varstvo gozdov oz. vodja oddelka za gojenje in varstvo gozdov. Odgovorne osebe morajo o trenutnem stanju in zbranih informacijah sproti obveščati direktorja ZGS in vodjo oddelka za razvoj podeželja ter stike z lastniki gozdov in javnostjo;

- za koordinacijo dela in pripravo navodil, ki so potrebna za sanacijo, je pristojna komisija za izredne dogodke, ki jo s sklepom imenuje direktor.

V primeru naravnih ujm in drugih naravnih nesreč morajo delavci ZGS v najkrajšem mogočem času začeti zbirati podatke, ki jih sproti posredujejo odgovorni osebi na višjem nivoju. Določeni so časovni okvirji poročanja po posameznih ravneh, določena pa je tudi vsebina poročila. Poškodovano površino in lesno maso je treba začeti ocenjevati takoj. Časovni rok za končno oceno se določi za vsako naravno ujmo posebej. V območni enoti so za stike z mediji in poročanje podatkov o poškodbah pristojni vodja območne enote, po pooblastilu tudi vodja odseka za gojenje in varstvo gozdov ter vodja odseka za tehnologijo dela in gozdne prometnice. Za stike z mediji in sporočanje podatkov o poškodbah na ravni države je pristojen direktor ZGS, po pooblastilu: vodja službe za varstvo gozdov in narave v gozdnem prostoru, vodja oddelka za gojenje in varstvo gozdov, vodja oddelka za tehnologijo dela in gozdne prometnice, vodja oddelka za razvoj podeželja ter stike z lastniki gozdov in javnostjo. Centralna enota mora sporočati podatke o poškodbah gozdov na Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Upravo Republike Slovenije za zaščito in reševanje ter na prizadete lokalne skupnosti. Izdelava sanacijskih načrtov se začne takoj, ko je znana končna realna ocena poškodb.

2.2.1.3 Spremljanje stanja škodljivih biotskih dejavnikov

ZGS spremlja stanje in poroča o škodljivih biotskih dejavnikih, ki so navedeni v Prilogi PVG-VII/3 Pravilnika o varstvu gozdov (2006). V prilogi PVG-VII/3 so navedene bolezni in škodljivci, ki lahko preidejo v gradacijo in povzročijo obsežne poškodbe gozdov. Zato je treba redno zbirati podatke o stanju njihovih populacij in beležiti poškodbe, ki jih povzročajo. Škodljivci so navedeni po fitogeografskih regijah.

Če se poškodbe drevja pojavijo nenadoma ali če so obsežne ali če povzročitelj ni znan ali če se pojavi škodljiv organizem, ki je pod uradnim nadzorom (karantenski škodljivi organizmi), potem revirni gozdar o tem takoj obvesti vodjo krajevne enote in vodjo gojenja in varstva gozdov na območni enoti ZGS (Katalog znanj ..., 2001). Revirni gozdar izpolni obvestilo o pojavu poškodb drevja, zbere vzorce poškodovanih delov drevesa in povzročitelje poškodb, če jih uspe najti. Vodja odseka za gojenje in varstvo gozdov na območni enoti presodi, ali je treba poslati obvestilo in vzorec⁷ v diagnostični laboratorij, t. j. Laboratorij za varstvo gozdov na GIS in Laboratorij za ekološke študije na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete. Iz laboratorija pošiljatelja pisno obvestijo o rezultatih diagnoze⁸. Oba navedena laboratorija ustrezata pogojem, ki so navedeni v Pravilniku o pogojih glede strokovne, prostorske in tehnične usposobljenosti

⁷ Vzorec je določena količina rastlin, rastlinskih proizvodov, zemlje, škodljivih organizmov ali kateri koli drug organizem, predmet ali snov, ki lahko vsebuje ali širi škodljive organizme.

⁸ Poročilo o preskusu je dokument, ki ga izda laboratorij, v katerem je natančno, jasno in nedvoumno naveden analizni izvid z rezultati preskusa in tudi drugi predpisani podatki, povezani s preskusom.

laboratorijev⁹ za izvajanje laboratorijskih preiskav zaradi diagnostike škodljivih organizmov (2002, 2003). V laboratorijih je vzpostavljen sistem zagotavljanja kakovosti¹⁰.

2.2.2 Spremljanje razvrednotenja in poškodovanosti gozdov

Pravilnik o varstvu gozdov (2000, 2006) določa, da javna gozdarska služba spremlja stanje razvrednotenja in poškodovanosti gozdov v skladu z določili Uredbe Evropske skupnosti, št. 2152/2003. Namen spremljanja stanja je:

- spremljanje stanja razvrednotenja in poškodovanosti gozdov;
- ugotavljanje vplivov atmosferskega onesnaževanja na gozdne ekosisteme;
- spremljanje vgradnje ogljika, vpliva podnebnih sprememb in biotske raznovrstnosti v gozdovih;
- stalno preverjanje, ocenjevanje učinkovitosti in razvoj metodologij za spremljanje stanja;
- priprava podlag za načrtovanje ukrepov za ohranitev in obnovo poškodovanih gozdov.

Spremljanje stanja razvrednotenja in poškodovanosti gozdov poteka na dveh ravneh. Na prvi ravni spremljanje stanja razvrednotenja in poškodovanosti gozdov poteka na sistematični mreži stalnih vzorčnih ploskev, ki zajema celotno območje Slovenije in obsega:

- popis poškodovanosti dreves, ki se opravi vsako leto;
- popis stanja tal, ki se opravi vsakih 10 let;
- popis preskrbljenosti gozdnega drevja z mineralnimi hranili, ki se opravi vsakih 10 let.

Popis se opravi na mreži sistematično porazdeljenih stalnih vzorčnih ploskev z gostoto 16 km × 16 km, enkrat v 10 letih pa na mreži z gostoto 4 km × 4 km. V primeru večjih sprememb poškodovanosti gozdov se popis na mreži 4 km × 4 km opravi tudi pogostejše, če tako odloči minister, pristojen za gozdarstvo, na predlog GIS. Na drugi ravni spremljanje stanja poteka na izbranih stalnih opazovalnih ploskvah. Spremljanje stanja na 2. ravni obsega:

- popis stanja dreves, ki se opravi vsako leto;
- popis tal, ki se opravi vsakih 10 let;
- foliarni popis, ki se opravi vsaki dve leti;
- spremljanje rasti in prirastka, ki se opravi vsakih 5 let;
- meritve usedlin, ki se jih spremlja stalno;
- spremljanje meteoroloških razmer, ki se izvaja stalno;
- spremljanje talne raztopine, ki se izvaja vsakih 10 let;
- popis pritalne vegetacije, ki se opravi vsako leto;
- fenološka opazovanja, ki se opravijo vsako leto.

⁹ Laboratorij je organ, ki izvaja preskuse vzorcev zaradi določitve škodljivih organizmov (Pravilnik o pogojih glede strokovne ..., 2002, 2003).

¹⁰ Sistem zagotavljanja kakovosti je notranji sistem obvladovanja organiziranosti laboratorija za izvajanje specifičnih preskusov na način, ki zagotavlja stalno učinkovitost postavljene ureditve.

Ministrstvu je treba najpozneje do 31. decembra tekočega leta posredovati letna poročila o spremljanju stanja gozdov.

2.2.3 Sistem varstva rastlin v Sloveniji

V Sloveniji je varstvo gozdov uvrščeno v širši kontekst varstva rastlin, ki je določen z Zakonom o zdravstvenem varstvu rastlin (2001). S tem zakonom je bila ustanovljena Fitosanitarna uprava Republike Slovenije (FURS) kot organ v sestavi Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (slika 4). FURS je osrednji odgovorni organ za zdravstveno varstvo rastlin v državi, za koordinacijo in izmenjavo informacij med organi in izvajalci javnih služb ter za poročanje Evropski komisiji. FURS je bil ustanovljen tudi za uresničevanje mednarodnih konvencij in mednarodnih sporazumov s področja zdravstvenega varstva rastlin, ki obvezujejo Republiko Slovenijo.

Poleg Uprave zdravstveno varstvo rastlin izvajajo še drugi izvajalci javne službe (slika 4). Izvajalci javne službe zdravstvenega varstva rastlin morajo izvajati oziroma sodelovati pri izvajanju stalnega nadzora rastlin, rastlinskih proizvodov, zemljišč, prostorov za skladiščenje, predelavo in shranjevanje rastlin in rastlinskih proizvodov, sredstev za prevoz rastlin in rastlinskih proizvodov ter drugih nadzorovanih predmetov z namenom ugotavljanja in poročanja o pojavu in širjenju škodljivih organizmov ter njihovega zatiranja.



Slika 4: Sistem zdravstvenega varstva rastlin v Sloveniji in mesto gozdarstva v njem (Jurc, 2006)

Na področju zdravstvenega varstva rastlin v gozdarstvu morajo organi Republike Slovenije in izvajalci javne službe ravnati v skladu Zakona o zdravstvenem varstvu rastlin (2001) in v skladu s predpisi, ki urejajo področje gozdarstva.

Precejšnji del Zakona o zdravstvenem varstvu rastlin (2001) določa in razlaga sezname škodljivih organizmov, ki so razvrščeni v različne sezname glede na nevarnost za zdravje in obstoj posameznih vrst rastlin ter glede na nevarnost povzročitve velike ekonomske škode. Za preprečevanje vnosa in širjenja škodljivih organizmov je potreben stalen nadzor škodljivih organizmov, izvajati pa je treba tudi ukrepe, določene z zakonom. Seznami so naslednji:

- škodljivi organizmi, ki se štejejo za posebno nevarne rastlinam in rastlinskim proizvodom, so razvrščeni v:
 - seznama I. A in II. A, ki se nanašata na celotno ozemlje Skupnosti;
 - seznama I. B in II. B, ki se nanašata na določena varovana območja;
- rastline, rastlinski proizvodi in nadzorovani predmeti, s katerimi se lahko prenašajo škodljivi organizmi in pomenijo nevarnost za zdravstveno varstvo rastlin, so razvrščeni v naslednje sezname:
 - seznam III. A, ki se nanaša na prepoved uvoza;
 - seznam III. B, ki se nanaša na prepoved uvoza v določena varovana območja;
 - seznam IV. A, ki se nanaša na posebne fitosanitarne zahteve;
 - seznam IV. B, ki se nanaša na posebne fitosanitarne zahteve za določena varovana območja;
 - seznam V. A, ki vsebuje: a) seznam V. A. I, ki se nanaša na rastlinski potni list, b) seznam V. A. II, ki se nanaša na rastlinski potni list za določena varovana območja;
 - seznam V. B, ki vsebuje: a) seznam V. B. I, ki se nanaša na fitosanitarno spričevalo, b) seznam V. B. II, ki se nanaša na fitosanitarno spričevalo za določena varovana območja.

Če se na ozemlju Republike Slovenije pojavi škodljiv organizem oz. obstaja sum o njegovi prisotnosti s seznamoma I. A in II. A oziroma se na določenem varovanem območju pojavi škodljiv organizem s seznamoma I. B ali II. B, se odvzame uradni vzorec in pošlje v laboratorij, ki opravlja diagnostične preiskave. Le-ta potrdi ali ovrže sum na okužbo s škodljivim organizmom in poskusi ugotoviti vzrok okužbe. Ob tem mora zagotoviti tak način ravnanja z uradnim vzorcem, da ni nevarnosti za širjenje škodljivih organizmov ter da zagotovi identiteto vzorca. Diagnostične preiskave opravlja laboratorij, ki mu je dodeljeno javno pooblastilo. Ko je ugotovljena okužba s škodljivim organizmom s seznamoma I. A in II. A oziroma na varovanem območju s seznamoma I. B in II. B, pristojni inšpektor odredi uničenje ali drugačno odstranitev, tretiranje in druge predpisane ukrepe. Uprava o pojavu in nevarnosti škodljivega organizma obvesti organizacije, službe in imetnike rastlin ter jih seznani z najpomembnejšimi ukrepi, s katerimi lahko preprečujejo okužbo s škodljivimi organizmi.

Prepovedana sta vnos in širjenje škodljivih organizmov s seznamoma I. A in II. A. Na varovanem območju sta prepovedana tudi vnos in širjenje škodljivega organizma s seznamoma I. B in II. B, za katerega je območje priznано kot varovano.

Zakon natančno določa še naslednje zadeve:

- vodenje registra pridelovalcev, predelovalcev, uvoznikov in distributerjev rastlin, rastlinskih proizvodov in nadzorovanih predmetov;

- uvoz, izvoz in tranzit pošilk;
- premeščanje rastlin, rastlinskih proizvodov in nadzorovanih predmetov, kjer se obravnava tematika rastlinskih potnih listov;
- biotično varstvo rastlin.

V Sloveniji sta del sistema varstva rastlin še fitosanitarna in gozdarska inšpekcija (slika 4), ki zagotavljata enotno izvajanje postopkov dela in ukrepov na področju zdravstvenega varstva rastlin, inšpekcijsko spremljata zdravstveno stanje rastlin, zagotavljata strokovno usposabljanje inšpektorjev, sodelujeta pri pripravi predpisov s svojega delovnega področja ter opravljata druge zadeve, določene z zakonom ali drugim predpisom. Inšpekciji pri svojem delu sodelujeta z Upravo, z drugimi inšpekcijami, zavodi in drugimi organizacijami in s strokovnjaki za kmetijstvo in gozdarstvo v Republiki Sloveniji in tujini.

2.2.4 Mednarodni sistem varstva rastlin

Z ratifikacijo Mednarodne konvencije za varstvo rastlin (International plant ..., 1997; Zakon o ratifikaciji ..., 2000) (IPPC) se je Slovenija zavezala k mednarodnemu sodelovanju in določila svojo notranjo organiziranost na področju varstva rastlin. Začetek zgodovine IPPC sega v leto 1881, ko je bil v Bernu v Švici podpisan sporazum 12 držav o ukrepih zaradi širjenja trsne uši (*Phylloxera vastatrix*). Prvi osnutek besedila mednarodne konvencije je bil pripravljen leta 1929 v Rimu. Zaradi 2. svetovne vojne so bile aktivnosti konvencije ponovno opredeljene na 3. in 4. zasedanju konference FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), ki je bila v Rimu v letih 1947 in 1948. Leta 1951 je bila konvencija prvič sprejeta na 6. zasedanju konference FAO. Veljati je začela leta 1952. Predlogi sprememb so se prvič pojavili leta 1973. Spremembe so bile sprejete leta 1979, veljati pa so začele leta 1991 s podpisom dveh tretjin pridruženih članic konvencije. Leta 1992 je bil ustanovljen Sekretariat IPPC, kateremu je leta 1993 sledila ustanovitev komiteja strokovnjakov za fitosanitarne ukrepe. Naslednje aktivnosti glede ponovnih sprememb konvencije so se začele že leta 1995. Novembra leta 1997, v času 29. zasedanja konference FAO, je bilo potrjeno novo revidirano besedilo konvencije, ki je v veljavi od novembra 2005. Namen IPPC je, da bi pogodbenice zagotovile skupne in učinkovite ukrepe za preprečevanje širjenja in vnašanja rastlinam in rastlinskim proizvodom škodljivih organizmov ter uveljavljale ustrezne ukrepe za njihovo zatiranje in da bodo sprejele zakonodajne, tehnične in upravne ukrepe. Vodilno telo IPPC je komisija za fitosanitarne ukrepe (Commission on Phytosanitary Measures – CPM), ki se načeloma sestaja enkrat na leto in ob tej priložnosti določi prioritete sprejemanja Mednarodnih standardov za fitosanitarne ukrepe (International Standards for Phytosanitary Measures – ISPMs). Vsi standardi in še mnogo drugih dokumentov so dostopni na medmrežju, na Mednarodnem fitosanitarnem portalu (International phytosanitary ..., 2006).

Med druge pomembne sporazume štejemo še Splošni sporazum o tarifah in trgovini (General Agreement on Tariffs and Trade – GATT), ki je bil sprejet v okviru Svetovne trgovinske organizacije (World Trade Organization – WTO). Njegov 20. člen omogoča ureditev trgovine v posamezni državi tako, da se zavaruje zdravje ljudi, živali in rastlin. Slovenija je ratificirala tudi Sporazum o uporabi sanitarnih in fitosanitarnih ukrepov (Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures – SPS) znotraj

WTO, ki ureja temeljna pravila trgovanja v povezavi z varno hrano in postavlja standarde za zdravje živali in rastlin.

Slovenija je tudi članica Evropske in sredozemske organizacije za varstvo rastlin (European and Mediterranean ..., 2006) (EPPO). EPPO ima status medvladne organizacije, ki je odgovorna za mednarodno sodelovanje na področju varstva rastlin v Evropi in regiji Sredozemlja. Ustanovljena je bila leta 1951 s 15 članicami. Dandanes vključuje že 47 članic: skoraj vse države vzhodne in zahodne Evrope ter regije Mediterana.

Cilji EPPO so:

- zdravstveno varstvo rastlin v kmetijstvu, gozdarstvu in na neobdelanih površinah;
- razviti mednarodno strategijo proti vnosu in širitvi škodljivih organizmov za rastline;
- spodbujati poenotenje fitosanitarne zakonodaje in vseh drugih področij, ki so povezana z uradnim varstvom rastlin;
- promovirati uporabo sodobnih, varnih in učinkovitih metod zatiranja škodljivih organizmov;
- nuditi storitev dokumentacije na temo varstva rastlin.

Strokovno delo EPPO poteka v dveh delovnih skupinah: to sta delovni skupini za fitosanitarne zakonodaje in delovna skupina za sredstva za varstvo rastlin. Njihovo delo je omejiti širjenje škodljivih organizmov med državami (v pomenu rastlinske karantene) in preverjati delo varstva rastlin v državah članicah. Delovna skupina zaupa posamezne naloge različnim panelom. Le-ti so sestavljeni iz različnih strokovnjakov iz držav članic, ki so jih kot posameznike imenovala nacionalne organizacije za varstvo rastlin (v Sloveniji je to FURS), ki pripravljajo osnutke za delovno skupino kot neodvisno izvedensko mnenje. Za gozdarstvo so pomembni predvsem paneli v okviru prve delovne skupine, npr. panel za fitosanitarne ukrepe, panel za karantenske škodljive organizme v gozdarstvu, panel za oceno tveganja zaradi škodljivega organizma, panel za diagnostiko, panel za fitosanitarne postopke. Slovenija ima svoje predstavnike v večini navedenih panelov.

EPPO kot rezultat dela različnih delovnih skupin znotraj EPPO predlaga uporabo različnih standardov, ki so v bistvu IPPC-regionalni standardi. Da bi bili standardi mednarodno sprejeti, je vsak vključen v precej zapleten postopek sprejemanja. EPPO pripravlja standarde za tri področja: za področje zdravstvenega varstva rastlin, za področje sort rastlin in semenarstva ter za področje fitofarmacevtskih sredstev in gnojil. Tu navajamo skupine standardov s področja zdravstvenega varstva rastlin:

- splošni fitosanitarni ukrepi (PM1);
- posebne fitosanitarne zahteve za škodljive organizme (PM2);
- fitosanitarni postopki (PM3);
- analiza tveganja zaradi škodljivega organizma (PM5);
- varna uporaba biotičnega varstva (PM6);
- diagnostični protokoli za nadzorovane škodljive organizme (PM7);
- specifični fitosanitarni ukrepi za blago (PM8);
- državni sistem obvladovanja škodljivih organizmov (PM9).

2.2.5 Viri informacij za varstvo gozdov v Sloveniji

Da bi varstvo gozdov delovalo, mora imeti vzpostavljen učinkovit informacijski sistem. V prejšnjih poglavjih smo spoznali, da je sistem varstva gozdov precej kompleksen, deluje na različnih ravneh, povezan je z mnogimi organizacijami, in sicer zaradi uresničevanja naslednjega cilja: omogočiti pogoje za sonaravno, trajnostno in večnamensko gospodarjenje in rabo gozdov, ohranjanje biotskega ravnovesja gozdnega ekosistema, načrtovanje ukrepov za preprečevanje škodljivih vplivov na gozd, ter spremljanje poškodovanosti gozdov in varstvo gozdov pred požari (Pravilnik o varstvu gozdov, 2000, 2006).

Običajna komunikacijska pot v varstvu gozdov je naslednja: dostava vzorca, postavitve diagnoze, zbiranje virov, odgovor pošiljatelju vzorca, v katerem se diagnostik odloči tudi o primernem ukrepanju. Za kakovostne odločitve¹¹ diagnostik potrebuje kakovostne informacije (Gašperšič, 1995). Iz tega sledi, da bo varstvo gozdov tem uspešnejše pri svojem delu, čim več znanja, izkušenj in bolj kakovostnih informacij bo imel diagnostik oz. izvedenec v danem trenutku. Pri iskanju informacij je zelo pomembno, da jih najdemo hitro. Hiter dostop do informacij omogoča medmrežje, ki postaja nepogrešljiv vir informacij skoraj na vseh znanstvenih in gospodarskih področjih.

Ker so predlogi za ukrepanje eden od rezultatov varstva gozdov, je to posledično povezano z načrtovanjem in upravljanjem gozdov. Usmeritve za načrtovanje ukrepov varstva gozdov so sestavni del gozdnogospodarskih načrtov. Ukrepi varstva gozdov, ki jih je treba izvajati, se določijo z gozdnogojitvenim načrtom (Pravilnik o varstvu gozdov, 2000, 2006). Da bo gospodarjenje z gozdovi sonaravno, trajnostno in večnamensko, potrebujemo čim bolj celotno informacijo o gozdovih in uporabljati moramo različne vire informacij (Gašperšič, 1995), kar velja tudi za varstvo gozdov.

ZGS obdeluje podatke in pripravlja informacije o stanju in razvoju gozdov, kot je določeno v 56. členu Zakona o gozdovih (1993). Rezultat takega dela je podatkovna zbirka. GIS opravlja program statističnih raziskav za gozdove ter razvija in strokovno usmerja informacijski sistem za gozdove, kot je določeno v 74. členu Zakona o gozdovih (1993). Rezultat takega dela so tudi podatkovne zbirke. Zbirke, ki se najpogosteje uporabljajo v varstvu gozdov, so: podatkovne zbirke prostorskega informacijskega sistema (PIS), ki jih v večini pripravi Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS), meteorološke podatkovne zbirke, ki jih pripravlja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), podatkovne zbirke o tleh, ki jih pripravlja Center za pedologijo in varstvo okolja (CPVO), podatkovne zbirke Statističnega urada Republike Slovenije (SURS).

V varstvu gozdov poleg podatkovnih zbirk uporabljamo še:

- objavljene vire, to so predvsem znanstveni in strokovni članki ter monografije;

¹¹ Odločati v ožjem smislu pomeni poiskati rešitev za določen problem, t. j. izbirati med dvema ali več možnostmi za njegovo rešitev oziroma dosego določenega cilja. Odločanje v širšem smislu vključuje poleg samega akta odločanja še podrobnejšo opredelitev problema na podlagi zbranih informacij in iskanje variantnih rešitev problema in njihovo kritično presojo (Gašperšič, 1995).

- neobjavljene vire, kot so mnenja in izkušnje drugih izvedencev za varstvo gozdov ter drugi ustni viri;
- informacije na medmrežju.

V nadaljevanju podrobneje opisujemo podatkovne zbirke in druge vire informacij, ki so med najpomembnejšimi v varstvu gozdov. To so: podatkovna zbirka Gozdni fondi, podatkovna zbirka Timber, podatkovna zbirka Gozdne inventure, podatkovna zbirka Spremljanje razvrednotenja in poškodovanosti gozdov, podatkovna zbirka Glive Slovenije – *Boletus informaticus*.

2.2.5.1 Podatkovna zbirka Gozdni fondi in Timber

Podatkovna zbirka Gozdni fondi je sestavljena iz treh preglednic: Odseki, Drevna in Razfaz (Mikulič, 1990). V preglednici Odseki dobimo temeljne informacije o odseku, to je o: površini, sektorju lastništva, koordinati centroida, nadmorski višini, ekspoziciji, nagibu, kamnitosti, skalovitosti, vrsti matične podlage in njeni stopnji razpadlosti, talnem tipu, globini tal, stopnji ohranjenosti drevesne sestave in etatu. Preglednica Drevna vsebuje podatke o drevesnih vrstah, ki se pojavljajo v odsekih, to je podatke o lesnih zalogah in prirastkih v treh razširjenih debelinskih stopnjah. Preglednica Razfaz vsebuje podatke o razvojnih fazah v določenem odseku, kot so površina razvojne faze, njena zasnova, negovanost, sklep in poškodovanost.

Preglednica 2: Vrsta poseka v podatkovni zbirki Timber

Vrsta	Naziv	Vrsta	Naziv
100	Negovalne sečnje	400	Za gozdno infrastrukturo
101	Izbiralno redčenje	500	Krčitve
102	Pomladitvena sečnja	501	Cesta
103	Drugo	502	Daljnovid
104	Sečnja na panj	503	Urbanizacija
200	Umetna obnova	504	Kmetijska raba
300	Varstveno-sanacijske sečnje	505	Drugo
301	Žuželke	506	Rudarstvo
302	Bolezni, glive	507	Energetika
303	Divjad	600	Sečnja zunaj gozda
304	Veter	700	Drugo
305	Sneg	800	Posek brez odobritve
306	Žled	900*	Posek oslabelega drevja
307	Plaz, usad		
308	Požar		
309	Emisija		
310	Poškodbe zaradi dela v gozdu		
311	Drugo		

*Opomba: razdelitev podvrst poseka pri 900 je enaka kot pri 300

Podatkovna zbirka Timber je zbirka podatkov o poseku gozdnega drevja. Posek se spremlja po drevesni vrsti in vrsti poseka (preglednica 2) v določenem odseku. V okviru posamezne drevesne vrste in vrste poseka so v podatkovni zbirki še podatki o debelinski strukturi poseka, in sicer številčno in tudi volumensko. Podatkovna zbirka Timber za celotno območje Slovenije obstaja v enotni elektronski obliki od leta 1995 naprej. Za oceno zdravja gozdov je posebno pomembna razdelitev varstveno-sanacijskih sečenj na 11

vzrokov. Del varstveno-sanacijskih sečenj je v kategoriji posek oslabelega drevja, kar moramo upoštevati pri obdelavah (preglednica 2).

Sanitarni posek zaradi drugih vzrokov (koda 311 in 911) je vrsta varstveno-sanacijske sečnje ali posek oslabelega drevja, v katerega uvrščamo sanitarni posek zaradi kompleksnih pojavov ali neznanih vzrokov ali sečnje, ki je ne moremo uvrstiti v eno od kategorij 301–310 (preglednica 2). To so npr. sušenja dreves ali sestojev zaradi kompleksa dejavnikov kot je, npr. propadanje hrastov (Führer, 1998; Thomas in sod., 2002), jesena (Kowalski, 2006) ali jelke (Šolar, 1988).

2.2.5.2 Podatkovna zbirka Gozdne inventure

Gozdna inventura je osrednji nosilec informacij v gozdarstvu (Hočevár, 1990b). Sloni na pridobivanju količinskih in strukturnih podatkov o stanju in razvoju gozdnih sestojev po načelu iz malega v veliko. Gozdna inventura temelji na kontrolni vzorčni metodi, ki je sistem stalnih, koncentričnih krožnih ploskev (velikih 2 in 5 arov), na katerih potekajo snemanja predvidoma vsakih 10 let (Hočevár, 1990a). Osnova je sistematična vzorčna mreža velikosti 1 km × 1 km, ki prekriva vse gozdne površine Slovenije ne glede na lastništvo in tip gozda. Tako je zagotovljena zanesljiva ocena stanja in razvojnih teženj gozdov na ravni gozdnogospodarskega območja in države. Na posameznih delih sistematične mreže je vzorčna mreža zgoščena na 100 m × 200 m do 250 m × 500 m, kar omogoča pridobivanje zanesljivih informacij in ocen na ravni manjših stratumov (npr. gozdnogospodarskih enot).

Podatkovna zbirka gozdne inventure je sestavljena iz treh preglednic: SVP, PloskDV in PloskTH. Preglednica SVP vsebuje temeljne podatke o stalni vzorčni ploskvi, to je o lokaciji, nagibu, gozdni združbi, nadmorski višini, ekspoziciji, razvojni fazi. Preglednica PloskDV je osrednjega pomena podatkovne zbirke in vsebuje podatke o drevesnih vrstah, ki se pojavljajo na posameznih vzorčnih ploskvah. V notranjem koncentričnem krogu so izmerjena vsa drevesa, katerih prsni premer je večji ali enak kot 10 cm. V zunanjem koncentričnem krogu pa so izmerjena le drevesa, katerih prsni premer je večji ali enak 30 cm. Iz preglednice PloskDV dobimo podatke o točni lokaciji dreves na vzorčni ploskvi (azimut in razdalja) in za vsako drevo se spremljajo naslednji podatki: drevesna vrsta, debelina v prsni višini, volumen, socialni položaj, poškodovanost, višina, kakovost in koda drevesa, iz katerega izvemo, kakšen je status drevesa, npr. drevo je posekano, drevo je sušica, vraslo drevo, ali pa opisuje napako pri izmeri drevesa. Preglednica PloskTH vsebuje podatke o mrtvi biomasi, t. j. trohnečih drevesih na stalni vzorčni ploskvi. Mrtvo biomaso na vzorčni ploskvi se spremlja po razširjenih debelinskih razredih iglavcev in listavcev ter se razlikuje med stoječo in ležečo mrtvo biomaso. Podatki iz preglednice PloskTH omogočajo preverjanje 6. člena Pravilnika o varstvu gozdov (2000, 2006), t. j. o načrtnem puščanju biomase v gozdu kot enem izmed ukrepov za ohranjanje biotskega ravnovesja.

Podatki iz gozdne inventure so nepogrešljivi pri simulacijah gozdnih sestojev, kajti le iz te podatkovne zbirke lahko zremo potrebne podatke o gostoti in višini dreves, debelinskem prirastku in o prirastku lesne zaloge. Prednost kontrolne vzorčne metode je možnost natančnega spremljanja nekaterih sprememb v gozdu, kar omogoča oceno razvojnih teženj

in kontrolo učinkovitosti gospodarskih in gojitvenih ukrepov v odvisnosti od sestojnih tipov in rastišča. Torej so podatki iz gozdne inventure vir kakovostnih informacij, na podlagi katerih se lahko odločamo in načrtujemo nadaljnja ukrepanja.

2.2.5.3 Podatkovna zbirka Spremljanje razvrednotenja in poškodovanosti gozdov

Spremljanje razvrednotenja in poškodovanosti gozdov je določeno s Konvencijo o daljinskem transportu onesnaženega zraka (angl. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution), ki je bila sprejeta v okviru United Nations Economic Commission for Europe in s Pravilnikom o varstvu gozdov (2000, 2006). Prej se je spremljanje razvrednotenja in poškodovanosti gozdov imenovalo popis propadanja gozdov (Kovač in sod., 2000). Kratek opis spremljanja stanja smo navedli v poglavju št. 2.2.2. Tu navajamo natančnejši opis podatkovne zbirke in njen pomen v varstvu gozdov.

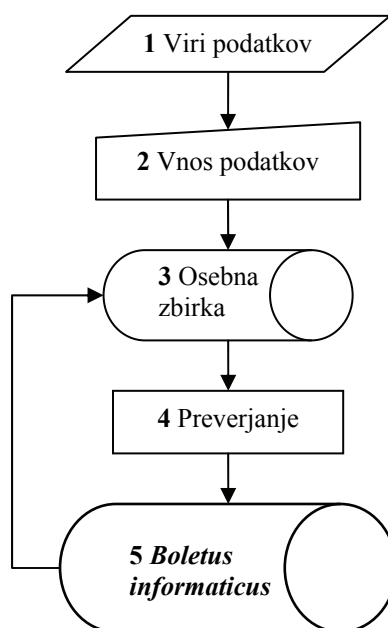
Podatkovna zbirka spremljanja stanja gozdov je sestavljena iz dveh preglednic: T in D. Preglednica T vsebuje podatke o traktu oz. koncentričnih stalnih ploskvah, kot so koordinate, vrste lastništva, oblika mikroreliefa, ekspozicija, kamnina, skalovitost, kamnitost, gozdna združba, sestojna zgradba, razvojna faza, mešanost sestoja, oblika mešanosti sestoja, sklep sestoja, starost sestoja, nastanek sestoja ter sklep, mešanost in vrsta poškodb mladja, gošče ali letvenjaka. V Preglednici D so podatki o posameznih drevesih na traktu oz. ploskvi, t. j. drevesna vrsta, lokacija drevesa na ploskvi (azimut, razdalja), obseg debla v prsni višini, koda drevesa, socialni položaj, osutost, tip osutosti, porumenelost, tip porumenelosti, suhe veje, poškodbe iglic ali listov, poškodbe debla in korenčnika.

Del spremljanja razvrednotenja in poškodovanosti gozdov je ugotavljanje povzročiteljev poškodb, s čimer želimo zagotoviti informacijo o njihovem vplivu na stanje krošnje (Jurc in Jurc, 2006). Dolgotrajno spremljanje povzročiteljev bo lahko omogočilo temeljne podatke o razširjenosti, pojavljanju in škodljivosti biotskih in abiotskih dejavnikov v Evropi. Ugotavljanje povzročiteljev poškodb poteka na 1. in 2. ravni spremljanja stanja in se sestoji iz naslednjih delov: opisa simptomov, določitve povzročitelja in količinske ocene poškodbe. Natančen opis postopka je v Priročniku za ugotavljanje povzročiteljev poškodb (Jurc in Jurc, 2006). Ker je bilo ugotavljanje povzročiteljev poškodb uvedeno leta 2006, podatkov še ni na voljo.

2.2.5.4 Sistem kartiranja in beleženja vrst gliv v Sloveniji – *Boletus informaticus*

V Sloveniji je bil sistem kartiranja gliv natančno opisan že v monografiji Glive Slovenije (Jurc in sod., 2005). Tu povzemamo temeljne dele in značilnosti (Ogris in sod., 2006b).

V Sloveniji sistem kartiranja gliv temelji na vnosu podatkov v računalniški program *Boletus informaticus*. Postopek poteka v petih korakih (slika 5): (1) iz različnih virov se podatki (2) vnesejo (3) v osebno podatkovno zbirko, ki se (4) prek podsistema preverjanja podatkov priložnostno posreduje (5) v centralno zbirko *Boletus informaticus*. V nadaljevanju opisujemo vsako od naštetih enot.



Slika 5: Diagram poteka zbiranja podatkov za zbirko *Boletus informaticus* (Ogris in sod., 2006b)

Viri podatkov

Viri podatkov za kartiranje gliv v Sloveniji so naslednji: taksonomske zbirke (mikoteke), zasebne taksonomske zbirke, literatura, popisi gliv z ekskurzij, lokalni popisi gliv, razstave svežih gob, drugi podatki amaterskih poznavalcev in podatki iz Poročevalske, prognostične in diagnostične službe za gozdove. Pri zbiranju podatkov o glivah sodeluje več organizacij. Za zbiranje podatkov o makroglivah sta najpomembnejša Mikološka zveza Slovenije in Inštitut za sistematiko višjih gliv. Od leta 1961 (takrat je bila to Mikološka sekcija Prirodoslovnega društva) Mikološka zveza s svojimi dejavnostmi intenzivno zbira vse podatke iz svojih dejavnosti, kot so predvsem razstave svežih gob, zapiski članov gobarskih društev in popisi gliv z ekskurzij. Inštitut za sistematiko višjih gliv pa dejavno prispeva k poznavanju vrstne pestrosti gliv v Sloveniji z različnimi lokalnimi popisi makrogliv. Gozdarski inštitut Slovenije, ki vodi mikoteko (zbirka eksikatov gliv) za območje Slovenije, skupaj z Zavodom za gozdove Slovenije opravlja Poročevalsko, prognostično in diagnostično službo za gozdove, ki je predvsem vir podatkov o patogenih vrstah gliv na gozdnem in parkovnem drevju, t. j. večinoma mikrogliv.

Osebna podatkovna zbirka in vnos podatkov

Osebna podatkovna zbirka je lokalna zbirka *Boletus informaticus*, ki je nameščena na uporabniškem osebem računalniku. Podatke je vnašalo 12 oseb. Avtor podatka je določitelj vrste glive, določitelj pa je 121 (Jurc in sod., 2005).

Preverjanje podatkov

Preverjanje podatkov poteka na dveh ravneh: na prvi se podatki preverjajo računalniško z logičnimi kontrolami, na drugi pa preverjanje poteka pri izvedencih za določeno skupino gliv. Po končanem preverjanju se zapisi prenesejo v centralno zbirko *Boletus informaticus*, ki se vodi na Gozdarskem inštitutu Slovenije.

Centralna zbirka podatkov *Boletus informaticus*

V centralno zbirko podatkov se stekajo vsi viri podatkov. Centralna zbirka *Boletus informaticus* se vodi na Gozdarskem inštitutu Slovenije, kar je združljivo z njegovo funkcijo vodenja mikoteke na državni ravni. Ker je osebna podatkovna zbirka ločena od centralne zbirke, je nujno potrebna povratna zanka. Npr.: brez aktualiziranega seznama gliv na obeh ravneh bi sistem postal nepovezljiv. V povratni zanki se iz centralne podatkovne zbirke v osebno zbirko posredujejo vsi posodobljeni in preverjeni zapisi. Uporabniku se redno posredujejo tudi vsi skupni sezname, kot so seznam imen gliv, sezname povezanih organizmov, sezname določevalcev in nabiralcev gliv idr.

2.3 VAROVANJE GOZDOV V EVROPI IN V SVETU

2.3.1 Helsinški proces

Leta 1990 so se začela prizadevanja za opredelitev splošnih smernic za trajnostno rabo gozdov v Evropi, znana tudi kot Helsinški proces ali Panevropski proces. Na srečanjih na ministrski ravni (Ministerial Conference ..., 2007) in srečanjih na strokovni ravni so poskušali opredeliti merila in kazalce za ovrednotenje napredka v prizadevanjih, da bi upoštevali načela trajnostnega gospodarjenja z gozdom in ohranili biotsko raznovrstnost v evropskih gozdovih. Vsaka tri leta organizirajo ministrsko konferenco, in sicer država, ki usklajuje proces, in država, ki po ministrski konferenci prevzame usklajevanje, to je vodenje posebne strukture, imenovane Enota za povezavo (angl. Liason Unit). Doslej so bile 4 ministrske konference, in sicer: v Strasbourgu leta 1990, Helsinkih leta 1993, Lizboni leta 1998 in na Dunaju leta 2003 (prirejeno po Skoberne, 2004).

2.3.1.1 Prva ministrska konferenca (Strasbourg, 1990)

V Strasbourgu so se decembra 1990 na pobudo in ob predsedovanju Francije in Finske sestali ministri za gozdarstvo na prvi ministrski konferenci. Udeležili so se je predstavniki 31 evropskih držav, Evropske unije in štirih mednarodnih organizacij. Osredotočili so se na strokovno in znanstveno sodelovanje, sprejeli pa so splošno izjavo (General Declaration) ter šest resolucij:

- S1 – Evropsko omrežje stalnih vzorčnih površin za spremljanje gozdnih ekosistemov;
- S2 – Ohranitev gozdnih genetskih virov;
- S3 – Decentralizirana evropska banka podatkov o gozdnih požarih;
- S4 – Prilagajanje gospodarjenja z gorskimi gozdovi novim razmeram v okolju;
- S5 – Širitev mreže EUROSILVA za raziskave o fiziologiji drevja;
- S6 – Evropska mreža za raziskovanje gozdnih ekosistemov.

Za izvedbo vsake resolucije je določen mednarodni koordinator, vsaka država pogodbenica pa je imenovala nacionalnega koordinatorja. Slovenija je podpisala vse resolucije.

2.3.1.2 Druga ministrska konferenca (Helsinki, 1993)

Na drugi ministrski konferenci v Helsinkih (junij 1993) so poleg pregleda opravljenega dela v okviru posameznih resolucij obravnavali izvajanje za gozd pomembnih odločitev, sprejetih na svetovnem vrhu v Riu leta 1992. Konferenca so se udeležili predstavniki 37 evropskih držav, Evropske unije, treh držav opazovalk, sedmih mednarodnih organizacij in treh nevladnih organizacij. Ugotovitve so strnili v splošni izjavi in štirih resolucijah:

- H1 – Splošne smernice za trajnostno gospodarjenje z gozdovi v Evropi;
- H2 – Splošne smernice za ohranitev biotske raznovrstnosti v evropskih gozdovih;
- H3 – Sodelovanje gozdarstva z državami v gospodarskem razvoju;
- H4 – Strategija za dolgoročni proces prilagajanja evropskih gozdov podnebnim spremembam.

Resolucije H1, H2 in H3 je podpisalo 37 držav (med njimi Slovenija, ki je podpisala tudi resolucijo H4) in Evropska skupnost. Za izvajanje skrbita gostiteljici zadnjega in prihodnjega srečanja, odločitve sprejema strokovna skupina (Expert Level Follow-Up Meeting) na letnih srečanjih. Na prvem srečanju strokovne skupine po Helsinški konferenci (First Expert Level Follow-up Meeting of the Helsinki Conference) v Ženevi, ki je bilo od 23. do 24. junija 1994, so obravnavali ter sprejeli šest načel in kazalce za zbiranje in ocenjevanje informacij o izvajanju splošnih smernic za trajnostno gospodarjenje z gozdovi, opredeljenimi v helsinških resolucijah. Drugo srečanje strokovne skupine po Helsinški konferenci je bilo v Antaliji (Turčija) od 23. do 24. januarja 1995. Udeleženci so pripravili Antalijsko izjavo (Antalya Statement), s katero so potrdili sprejeta merila iz leta 1994, hkrati pa tudi opredelili bolj kvantitativne oblike za opredeljevanje na globalni ravni. Poudarili so potrebnost povezave s Komitejem za gozdarstvo (FAO/COFO – FAO Committee on Forestry) FAO in Komisijo Združenih narodov za trajnostni razvoj (CSD).

2.3.1.3 Tretja ministrska konferenca (Lizbona, 1998)

Konferenca je potekala od 2. do 4. junija 1998 v Lizboni, organizirali sta jo Portugalska in Avstrija. Udeleženci so sprejeli splošno izjavo, v kateri je med drugim tudi odstavek o sodelovanju z ministrskim procesom Okolje v Evropi, in dve resoluciji:

- L1 – Ljudje, gozdovi in gozdarstvo – Izboljševanje socio-ekonomskih vidikov trajnostnega gospodarjenja z gozdovi;
- L2 – Vseevropska merila, kazalci in operative usmeritve za trajnostno gospodarjenje z gozdovi (Pan-European Criteria for Sustainable Forest Management).

Za resolucijo L2 je določenih 6 meril za trajnostno gospodarjenje z gozdovi:

1. Ohranjanje in primerno izboljšanje gozdnih virov in njihovih prispevkov h globalnemu kroženju ogljika.
2. Ohranjanje zdravja in vitalnosti gozdnih ekosistemov.
3. Ohranjanje in spodbujanje lesnoproizvodnih in drugih funkcij gozdov.
4. Ohranjanje in primerno izboljšanje biotske pestrosti gozdnih ekosistemov.
5. Ohranjanje in primerno izboljšanje varovalnih funkcij v urejanju gozdov (posebej tal in vodo).
6. Ohranjanje preostalih socio-ekonomskih funkcij in pogojev.

Za temo disertacije so posebno zanimivi kazalci za 2. merilo trajnostnega gospodarjenja z gozdovi, to so kazalci za ohranjanje zdravja in vitalnosti gozdnih ekosistemov. Kazalci so štirje:

1. Skupna količina in spremembe v onesnaževanju tal z onesnaževalci zraka v obdobju 5 let.
2. Spremembe v osutosti krošenj z uporabo klasifikacij UN/ECE in EU v obdobju 5 let.
3. Poškodbe zaradi biotskih in abiotskih vzrokov:
 - a. poškodbe zaradi žuželk in bolezni; poškodovanost se meri z izgubo prirastka ali smrtnostjo dreves;
 - b. letna površina gozdov, poškodovana zaradi gozdnih požarov;
 - c. letna površina gozdov, poškodovana zaradi ujm in količine poseka na takih površinah;
 - d. delež površin, ki se uspešno obnovljajo zaradi poškodb od divjadi ali drugih živali ali paše v gozdu.
4. Spremembe v ravnotežju hranil in kislosti tal v zadnjih 10 letih (pH in CEC).

Za ohranjanje zdravja in vitalnosti gozdnih ekosistemov veljajo tudi splošne usmeritve za gozdnogospodarsko načrtovanje:

- Cilj gozdnogospodarskega načrtovanja bi moral biti ohranjati in izboljšati zdravje in vitalnost gozdnih ekosistemov ter rehabilitacijo degradiranih gozdnih ekosistemov, kjer koli je to mogoče s pomočjo gojitvenih ukrepov.
- Zdravje in vitalnost gozda bi bilo treba periodično spremljati, posebno ključne biotske in abiotske dejavnike, ki lahko potencialno vplivajo na zdravje in vitalnost gozdnih ekosistemov, kot so škodljivci, bolezni, paša, požari in poškodbe zaradi podnebnih dejavnikov, onesnaženja zraka in dela v gozdu.
- Gozdnogospodarski načrti ali njihovi ekvivalenti bi morali določiti načine, kako zmanjšati tveganje zaradi degradacije in poškodb gozdnih ekosistemov. Gozdnogospodarsko načrtovanje bi moralo uporabiti politične instrumente, ki bi podprli našteje aktivnosti.

2.3.1.4 Četrta ministrska konferenca (Dunaj, 2003)

Pod geslom Vrh o živečem gozdu (Living Forest Summit) je potekala konferenca 40 evropskih ministrov in predstavnikov Evropske skupnosti od 28. do 30. aprila 2003 na Dunaju. Podpisali so dunajsko izjavo Evropski gozdovi – skupne koristi, vzajemne odgovornosti (European Forests – Common Benefits, Shared Responsibilities) ter sprejeli 5 resolucij:

- V1 – medsektorsko sodelovanje in državni programi za gozdove (Cross-sectoral cooperation and national forest programmes);
- V2 – ekonomska ocena trajnostnega gospodarjenja z gozdovi (Economic viability of SFM);
- V3 – socialna in kulturna razsežnost trajnostnega gospodarjenja z gozdovi (Social and cultural dimensions of SFM);

- V4 – biotska raznovrstnost gozdov (Forest biological diversity) s prilogama (okvirni program sodelovanja in Smernice MCPFE za ocenjevanje gozdnih zavarovanih površin).

Vse informacije o dosedanjih srečanjih, vključno s celotnimi besedili resolucij in izjav, so na spletni strani: <http://www.mcpfe.org>

2.3.2 Montrealski proces

Montrealski proces (The Montréal Process, 2007) sestavljajo skupine izvedencev in udeležencev konference s ciljem oblikovati mednarodna merila in pokazatelje za ohranjanje in trajnostno gospodarjenje z zmernimi in borealnimi gozdovi. Montrealski proces je bil ustanovljen v Ženevi, in sicer junija 1994. Članstvo v delovni skupini je prostovoljno. Evropske države niso članice montrealskega procesa, ker so vključene v helsinški proces.

Leta 1993 je bil v Montrealu v Kanadi mednarodni seminar izvedencev za trajnostni razvoj zmernih in borealnih gozdov. Seminar se je osredotočal na merila in pokazatelje, ki bi lahko pomagali definirati in meriti trajnostni razvoj gozdov. Na 6. srečanju delovne skupine v montrealskem procesu v Santiagu, Čile, februarja 1995, se je 10 držav sporazumelo o merilih in pokazateljih za ohranjanje in trajnostno gospodarjenje z gozdovi. Ta sporazum so poimenovali Deklaracija Santiago. Leta 1995 sta se pridružili še dve državi. Zdaj je 12 držav v montrealskem procesu. Države, ki so se pridružile montrealskemu procesu, imajo 90 % gozdov zmernega pasu in borealnih gozdov ter upravljajo s 60 % svetovnih gozdov.

Montrealski proces obsega 7 določil za trajnostno gospodarjenje z gozdovi:

1. ohranjanje biotske pestrosti;
2. ohranjanje proizvodne sposobnosti gozdnih ekosistemov;
3. ohranjanje zdravja gozdnih ekosistemov;
4. ohranjanje tal in vodnih virov;
5. ohranjanje prispevanja gozdov h globalnemu ciklu ogljika;
6. ohranjanje in izboljšanje dolgoročnih družbeno-ekonomskih koristi za potrebe družbe;
7. zakonski in ekonomski okvir za ohranjanje gozdov in trajnostno gospodarjenje.

Kazalci za tretje določilo montrealskega procesa, t. j. ohranjanje zdravja gozdnih ekosistemov, so trije:

- površina in delež gozdov, ki so pod vplivom dejavnikov ali procesov v taki meri, da presegajo zgodovinsko variabilnost, npr. žuželke, bolezni, invazivne vrste, požari, ujme, goloseki, poplave in domače živali;
- površina in delež gozdov, ki jih zadevajo negativni vplivi določenih onesnaževalcev zraka (npr. sulfati, dušik, ozon) ali ultravijoličnih B-žarkov;
- površina in delež gozdov, katerim se zmanjšuje biološka komponenta, ki nakazuje na spremembe v temeljnih ekoloških procesih (npr. tla, kroženje hranil, širjenje semen, peloda) in/ali ekološke zveznosti (spremljanje stanja funkcionalnih skupin kot so glive, epifiti, nematode, hrošči idr.).

Vse informacije o montrealsem procesu, sestankih skupin, deklaracijah in poročil so dostopne na spletni strani: <http://www.mpci.org>

2.4 SCENARIJI PODNEBNIH SPREMEMB

Pri modeliranju pojavljanja bolezni in škodljivcev gozdnega drevja nas velikokrat zanima, kako se bodo obnašali v prihodnosti in še posebno v spremenjenih razmerah. Zdaj vemo, da se podnebne spremembe že dogajajo (Luterbacher in sod., 2004; Solomon in sod., 2007). Obstaja veliko različnih scenarijev podnebnih sprememb, ki se nanašajo na različno prostorsko in časovno merilo ter so izdelani z različno metodologijo različne kompleksnosti. Večina klimatologov se strinja, da podnebne spremembe prinašajo višje temperature zraka, kar pomeni višjo evapotranspiracijo. Četudi se količina in razporeditev padavin ne bosta bistveno spremenili, to pomeni večjo verjetnost za pogostejše suše. Prav vse našete spremenljivke, t. j. temperatura, padavine in evapotranspiracija, so zelo pomembne za pojavljanje bolezni in škodljivcev gozdnega drevja. Če želimo modelirati pojavnost bolezni in škodljivcev zaradi podnebnih sprememb, to ni mogoče brez scenarijev podnebnih sprememb.

Podnebje je kaotičen sistem, katerega stanja ne moremo natančno napovedati leta vnaprej (Lorenz, 1967). Lahko pa ob predpostavkah o razvoju družbe, posledičnih emisijah toplogrednih plinov in različnih aerosolov in s tem o spreminjanju lastnosti ozračja ocenimo, kakšen vpliv bo imel človek na podnebje v prihodnosti (Benestad, 2003). Ker so to okvirne ocene sprememb povprečnega stanja ter variabilnosti podnebja, jih ponavadi označujemo kot scenarije in ne kot napovedi. Scenarij je verjeten in pogosto poenostavljen opis morebitnega poteka prihodnosti, ki temelji na razumljivih in smiselnih predpostavkah o ključnih povezavah in dejavnikih (Houghton in sod., 2001).

Za Slovenijo je scenarije podnebnih sprememb izdelal Bergant (2006, 2007). Pripravljene so napovedi za temperaturo, padavine in evapotranspiracijo. Scenariji so sestavljeni kot mesečna povprečja 30-letnih obdobj z razmikom 10 let v obdobju 1961–2100 za devet krajev v Sloveniji: Ljubljana, Novo mesto, Maribor, Murska Sobota, Rateče-Planica, Postojna, Slap pri Vipavi, Bilje in Portorož. Temperature so v °C, evapotranspiracija in padavine pa v $\text{mm} \cdot \text{dan}^{-1}$. Scenariji posameznih podnebnih spremenljivk nosijo oznake MIN, AVG in MAX. Scenarij AVG pomeni mediano vseh napovedi vseh modelov in scenarijev emisij, MAX pa maksimum in MIN minimum. Z drugimi besedami: AVG pomeni srednjo vrednost vseh scenarijev, MIN in MAX pa naj bi bila maksimalen razpon glede na vse scenarije.

Scenariji podnebnih sprememb so bili izdelani s pomočjo metode glavnih komponent in s pomočjo regresije delnih najmanjših kvadratov. Izdelani so bili ločeno za posamezne letne čase. Pri projekcijah so bili uporabljeni rezultati štirih modelov splošnega kroženja: HadCM3 (Anglija), ECHAM4-OPYC3 (Nemčija), CSIRO (Avstralija), DOE-NCAR (ZDA). Simulacije so bile narejene na temelju scenarijev emisij (SRES) mednarodnega panela za podnebne spremembe (IPCC). Bergant (2006, 2007) je v simulacijah uporabil IPCC SRES A2 in B2 scenarij, naknadno pa je z metodo prirejanja vzorcev priredil še za IPCC SRES A1T, A1FI, A1B, in B1 scenarije emisij (Emissions scenarios ..., 2000).

Evapotranspiracija je ocenjena z Blaney-Criddlejevo metodo. Metoda zmanjša vpliv evapotranspiracije glede na Penmann-Montiethove napovedi predvsem v mesecih z nizko temperaturo. Slabo je tudi ujemanje za meteorološki postaji Slap pri Vipavi in Bilje. Modeliranje padavin je še kompleksnejše kot modeliranje temperature. Delež pojasnjene variabilnosti rezultatov modelov splošnega kroženja (GCM) ponavadi ne presega 25 %, zato je upravičeno dvomiti o njihovi zanesljivosti.

V naslednjih grafikonih (slika 6, slika 7, slika 8) so prikazani scenariji padavin, temperature in evapotranspiracije glede na povprečje za obdobje 1961–1990 za izbranih 5 krajev v Sloveniji. Vsak od petih krajev je izbran kot predstavnik posameznih podnebnih tipov (slika 15), ki so v Sloveniji: Portorož kot predstavnik sredozemskega podnebja, Postojna kot predstavnik zmernocelinskega podnebja zahodne in južne Slovenije, Ljubljana kot predstavnik zmernocelinskega podnebja osrednje Slovenije, Murska Sobota kot predstavnik subpanonskega podnebja in Rateče kot predstavnik gorskega podnebja. Razlika scenarijev med padavinami in evapotranspiracijo pokaže potencialni primanjkljaj padavin in s tem večjo verjetnost za nastanek suše (slika 9).

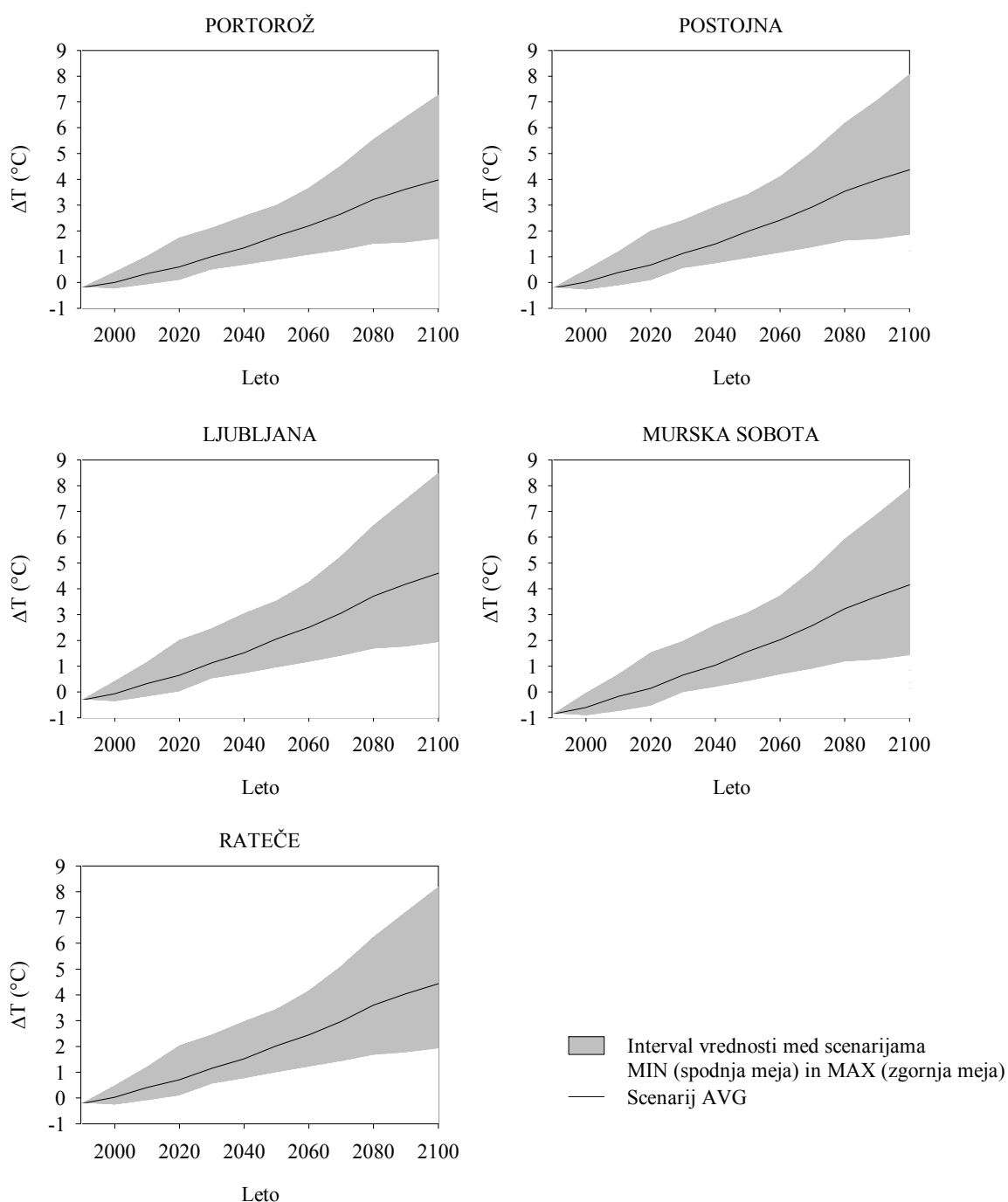
Začetek grafikona (slika 6) prikazuje, kako model dobro napoveduje spremenljivko za sedanje razmere. Če bi bil model točen, bi se grafikon moral začeti pri vrednosti nič. Iz slik vidimo, da je večinoma res temu tako, le pri Murski Soboti je temperatura že na začetku skoraj za 1 °C podcenjena. Iz grafikonov je mogoče razbrati splošno pravilo napovedovanja, ki je: bolj ko se napoved nanaša na daljno prihodnost, manj je verjetna. Po scenariju AVG bi lahko v obdobju 2071–2100 v Sloveniji pričakovali povečanje povprečnih letnih temperatur za 4,5 °C, po scenariju MIN za 2 °C in po scenariju MAX celo za 8 °C.

Slika 7 prikazuje potencialno spremembo količine padavin do leta 2100 glede na referenčno obdobje 1961–1990. Modelna napoved za obdobje 1990–2000 je skoraj pri vseh krajih podcenjena do 10 %, le pri Ratečah je nekoliko precenjena. Iz grafikonov je razvidno, da za padavine ni mogoče povsem natančno napovedati, ali jih bo več ali manj. Verjetnost scenarijev za količino padavin je majhna. V Sloveniji bo po scenariju AVG v obdobju 2071–2100 verjetno za približno 8 % manj padavin, po scenariju MIN 31 % manj in po scenariju MAX 14 % več.

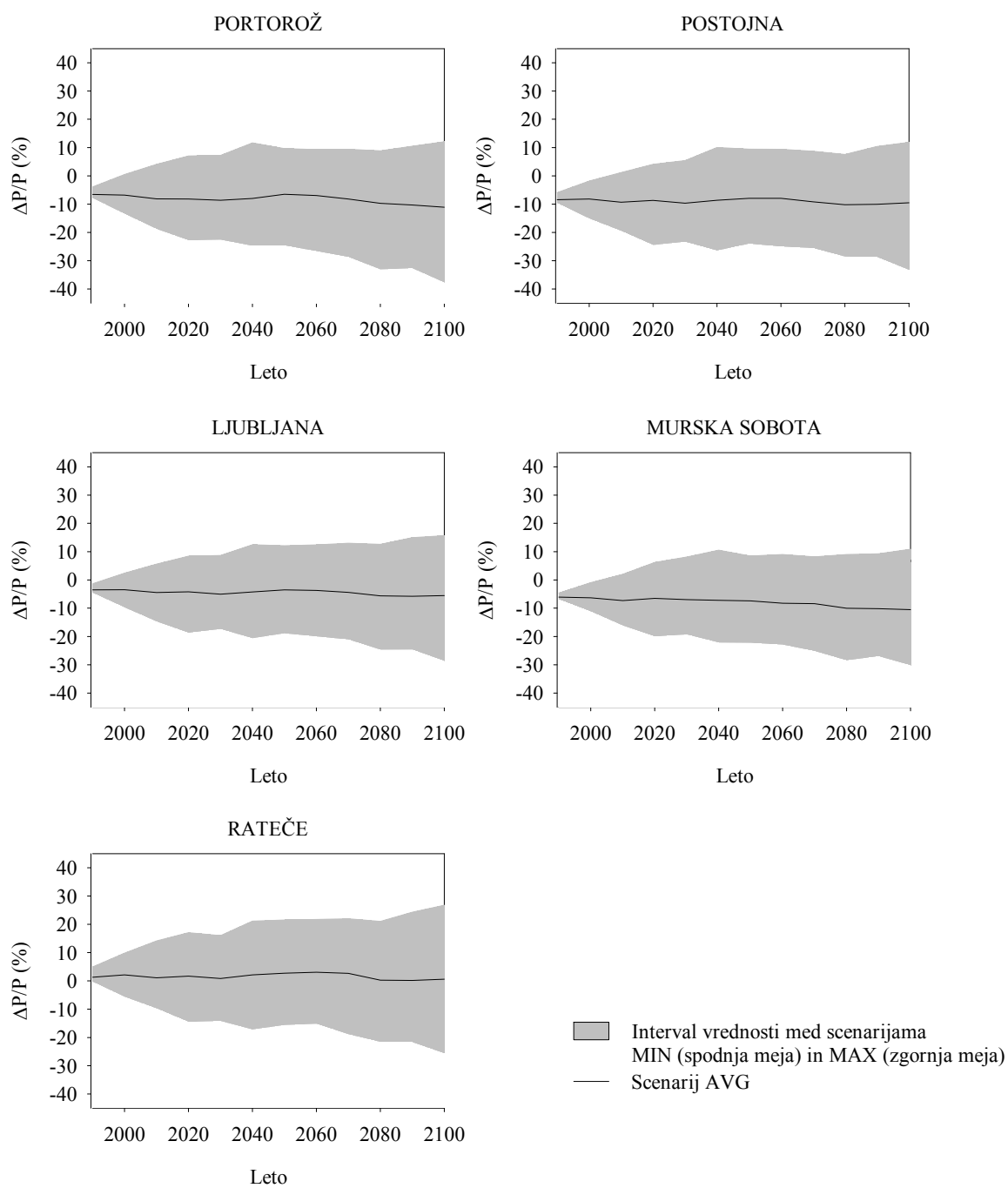
Ker se bo povprečna temperatura načeloma poviševala (slika 6), je pričakovati višjo evapotranspiracijo (slika 8). Modelna napoved za obdobje 1990–2000 se glede na referenčno obdobje 1961–1990 povečini dobro ujema, le za Mursko Sobotu je nekoliko podcenjena. Po teh podatkih v Sloveniji lahko pričakujemo po scenariju AVG v obdobju 2071–2100 povprečno 22 % povečanje evapotranspiracije glede na referenčno obdobje 1961–1990, po scenariju MIN 14 % povečanje in po scenariju MAX 41 % povečanje evapotranspiracije.

Razlika med potencialno količino padavin (slika 7) in potencialno evapotranspiracijo (slika 8) podaja potencialni primanjkljaj padavin oz. na nekakšen način verjetnost za nastanek meteorološke suše (slika 9). Iz grafikonov je razvidno, da je največja verjetnost za nastanek meteorološke suše v sredozemskem in subpanonskem tipu podnebja. Tako bo

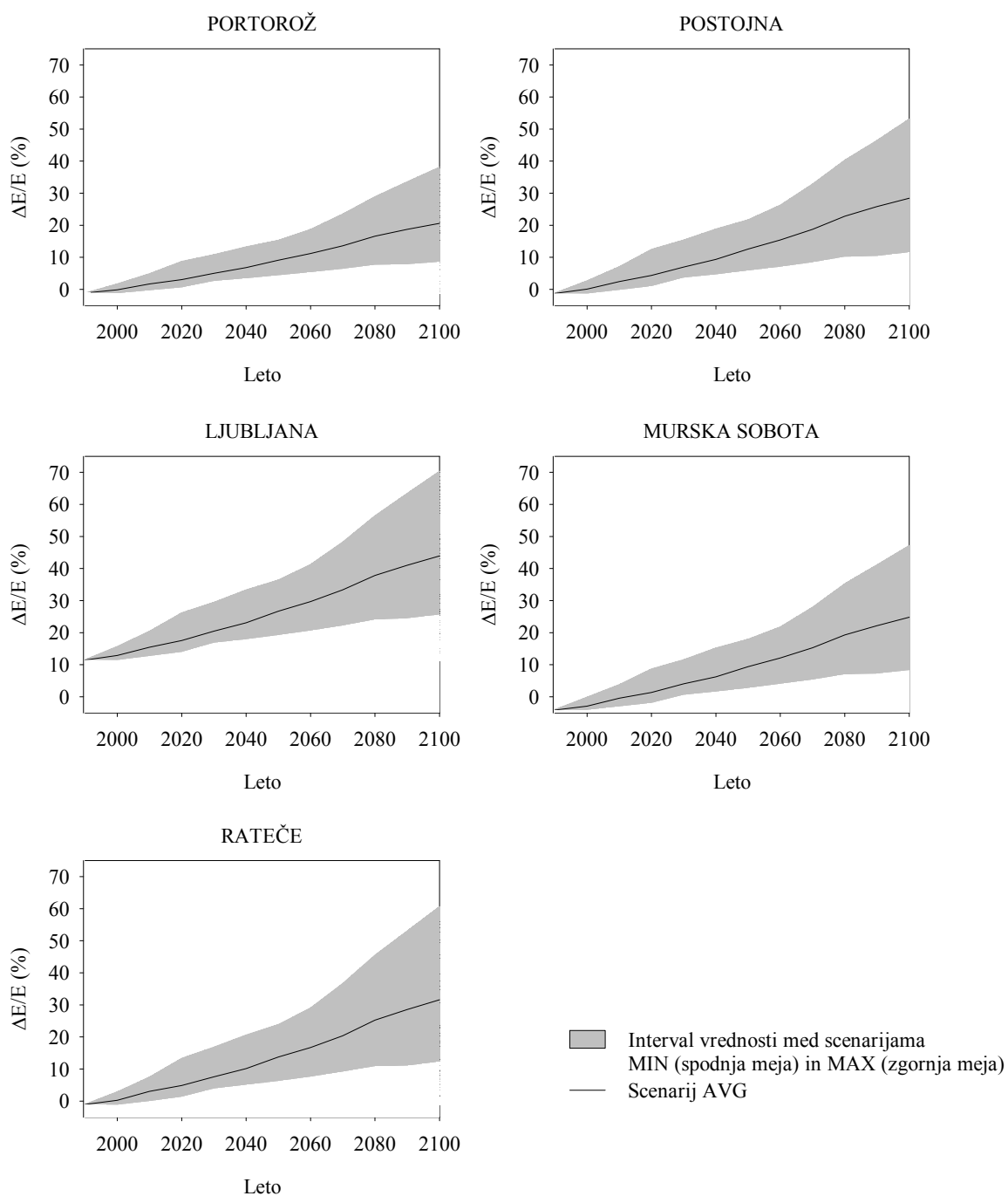
mogoče v Portorožu v obdobju 2071–2100 po scenariju AVG primanjkovalo 30 % padavin, v Murski Soboti 35 % in Mariboru 5 %. V območjih zmernocelinskega in gorskega podnebja bo predvidoma dovolj padavin. O napovedovanju suše zaradi podnebnih sprememb je v Sloveniji že narejen model (Kajfež-Bogataj in Bergant, 2005). Sušnik (2006) ugotavlja, da v večjem delu Slovenije v zadnjih dvajsetih letih beležimo povečanje ekstremno suhih in zelo suhih vegetacijskih obdobj.



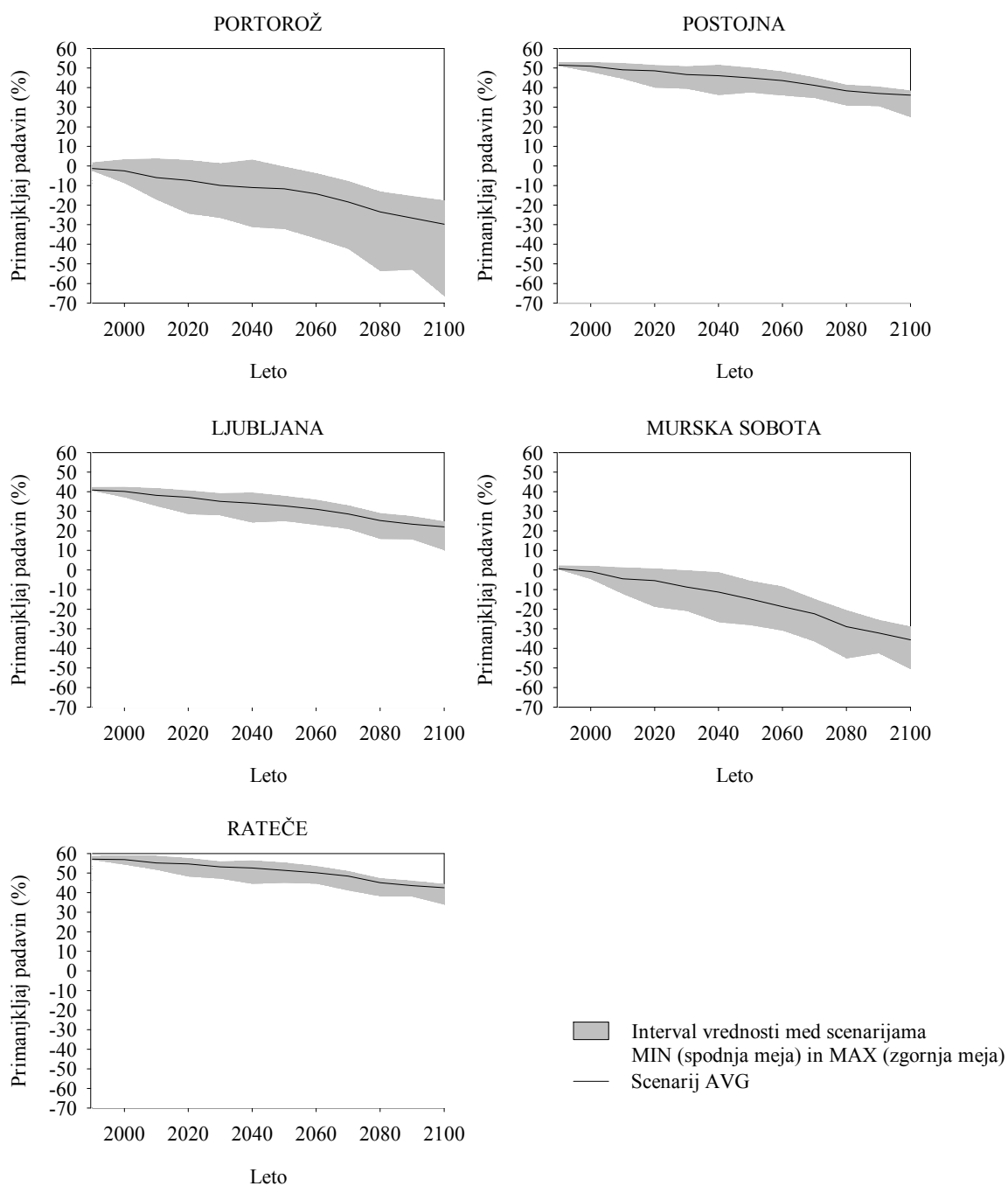
Slika 6: Predvidena sprememba temperature pritalnega zraka (v $^{\circ}\text{C}$) zaradi podnebnih sprememb za izbranih 5 krajev v Sloveniji do leta 2100 (Bergant, 2006)



Slika 7: Predvidena sprememba količina padavin (v %) zaradi podnebnih sprememb za izbranih 5 krajev v Sloveniji do leta 2100 (Bergant, 2006)



Slika 8: Predvidena sprememba evapotranspiracije (v %) zaradi podnebnih sprememb za izbranih 5 krajev v Sloveniji do leta 2100 (Bergant, 2006)



Slika 9: Predvideni primanjkljaj padavin (v %) zaradi podnebnih sprememb za izbranih 5 krajev v Sloveniji do leta 2100 (Bergant, 2006)

2.5 OCENJEVANJE SPREMENJENOSTI VRSTNE SESTAVE GOZDOV

V Sloveniji so gozdovi zelo spremenjeni zaradi človekovih dejavnosti. Ohranjenost drevesne sestave je eden od meril stabilnosti gozdnih sestojev in posredno celotnega gozdnega ekosistema. Tudi ohranjanje biodiverzitete je odvisno od ohranjenosti naravne drevesne sestave. Drevesne vrste so dominantne vrste gozdnega ekosistema in pomembno vplivajo na razmere v njem, saj sooblikujejo notranje okolje in habitate za druge organizme. Zato sta drevesna sestava in stopnja njene spremenjenosti predmet analize trajnosti (stabilnosti) gozda in izhodišče za gozdnogojitvene odločitve v prihodnosti na ravni gozdnega sestoja in celotne krajine (Bončina in Robič, 1998). Ker je stabilnost gozda eden od meril za zdrav gozd (Costanza in Mageau, 1999; Jørgensen in sod., 2005), obravnavamo spremenjenost vrste sestave gozdov tudi v modelu zdravja gozdov v Sloveniji.

V Sloveniji ocenjujemo spremenjenost drevesne sestave z indeksom spremenjenosti vrstne sestave (Gašperšič, 1995; Bončina in Robič, 1998, cit. po Robič, 1988). Indeks je uporaben za primerjanje vrstne sestave in za ocenjevanje spremenjenosti katere koli vrstne sestave. Spremenjenost vrstne sestave ocenjujemo kvantitativno, pri čemer ocenjujemo razmerja med vrstami, kar izražamo v odstotkih, ki so določeni glede na različne numerične znake, npr.: temeljnico, lesno zalogo, zastiranje. Vsota deležev posameznih vrst je 100 %. Prostorski okvir za izračunavanje indeksa spremenjenosti drevesne sestave je različen: lahko je sestoj ali pa so ureditvene enote, npr. odsek, oddelek, rastiščnogojitveni razred, gospodarska enota itn. V izbrani prostorski enoti dejanske deleže drevesnih vrst primerjamo z modelno vrednostjo, ki je lahko naravno razmerje drevesnih vrst na določenem rastišču, lahko je ciljno stanje, lahko pa tudi drevesna sestava drugih gozdnih sestojev. Indeks spremenjenosti drevesne sestave izračunamo z naslednjo enačbo (Bončina in Robič, 1998, cit. po Robič, 1988):

$$I_d = \frac{100 \cdot \sqrt{\sum (S_i - M_i)^2}}{\sqrt{\sum S_i^2 + \sum M_i^2}}, \quad \dots(1)$$

kjer so

$i = 1, \dots, n$

n = število vseh različnih vrst

M_i = modelna vrednost za delež posamezne vrste

S_i = dejanska vrednost za delež posamezne vrste

Namesto indeksa vrstne spremenjenosti lahko uporabimo tudi indeks ohranjenosti drevesne sestave (I_n), ki ga izračunamo tako, da I_d odštejemo od 100 (Bončina in Robič, 1998):

$$I_n = 100 - I_d \quad \dots(2)$$

Indeks spremenjenosti vrstne sestave lahko zavzame vrednosti od 0 do 100 %. Zaradi prikazovanja rezultatov lahko tvorimo razrede spremenjenosti drevesne sestave, v katere

uvrščamo površine analiziranih gozdnih sestojev. Pravilnik o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih (1998) določa štiri razrede ohranjenosti gozdov glede na delež drevesnih vrst, ki so tuje v naravni sestavi gozdne združbe:

1. ohranjeni: tuje drevesne vrste je do 30 %;
2. spremenjeni: tuje drevesne vrste je 31 do 70 %;
3. zelo spremenjeni: tuje drevesne vrste je 71 do 90 %;
4. izmenjani: tuje drevesne vrste je več kot 90 %.

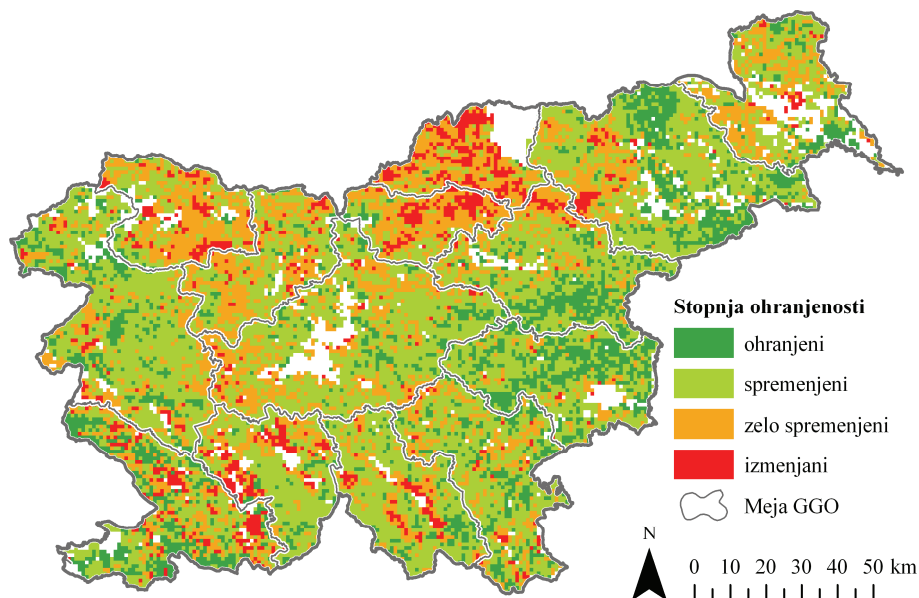
Smolej (2001) je za območje skoraj celotne Slovenije izračunal indeks spremenjenosti vrstne sestave gozdnih združb po metodologiji, ki sta jo razvila Bončina in Robič (1998). Površina, ki jo zajema obdelava, pokriva 97,65 % vseh gozdov v Sloveniji. Razlog, da obdelava ni zajela vseh gozdov, je v tem, ker so v preglednici Odseki podatkovne zbirke Gozdni fondi (ZGS) za nekaj odsekov manjkali podatki o gozdni združbi oz. njeni površini. Slednji odseki so bili odstranjeni iz obdelave. Modele okvirne naravne in optimalne sestave gozdov je oblikoval ZGS (Smolej, 2001, cit. po Pregled rastišč ..., 2000). V avtorskem delu (Smolej, 2001) se nahaja dopolnjeno gradivo. Modeli optimalne sestave drevesnih vrst se nanašajo na skupine in podskupine gozdnih rastišč. Nekateri modeli optimalne sestave drevesnih vrst upoštevajo še fitogeografsko delitev in globino tal, kar je Smolej (2001) upošteval pri obdelavi. Za vsako rastišče veljajo definirane gozdne združbe. Dejanska drevesna sestava je bila pridobljena iz preglednice Drevna podatkovne zbirke Gozdni fondi, kjer je za vsak gozdni odsek znano, katere drevesne vrste rastejo tam in kolikšna je njihova lesna zaloga. Ker so modeli optimalne drevesne sestave določeni samo za nekaj drevesnih vrst, druge drevesne vrste pa so upoštevane v treh skupinah drevesnih vrst (plemeniti listavci, mehki listavci, ostali trdi listavci), je Smolej (2001) moral prilagoditi podatke iz preglednice Drevna tako, da je dejanska sestava postala primerljiva z modelno.

Preglednica 3: Delež (%) gozdov v Sloveniji v letu 2001 po razredih ohranjenosti drevesne sestave za tri različne klasifikacije

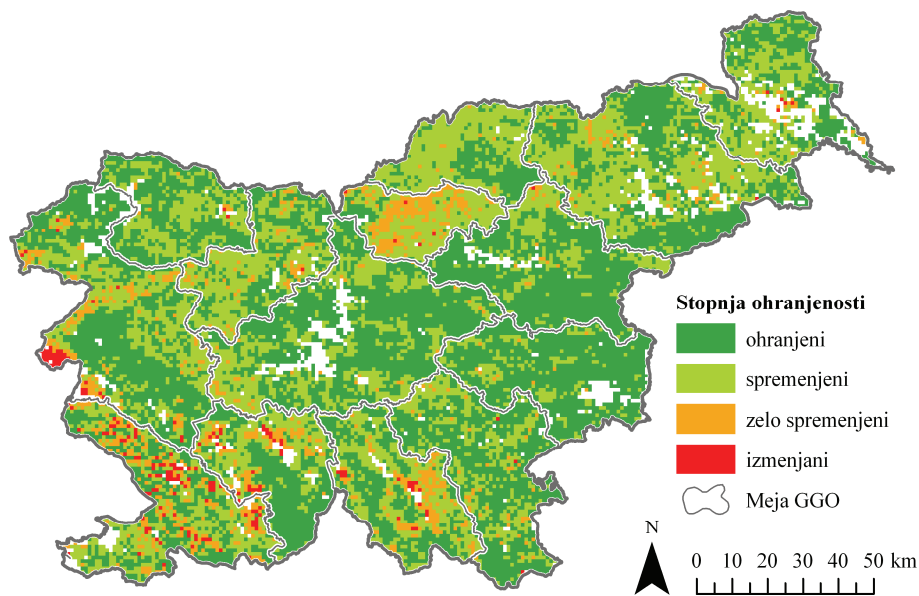
Razred ohranjenosti	Delež gozdov (%)		
	Klasifikacija po Smoleju, <i>M</i> = okvirna naravna sestava	Klasifikacija po Smoleju, <i>M</i> = optimalna sestava	Klasifikacija po ZGS
Ohranjeni	21,9	19,9	54,3
Spremenjeni	43,7	53,9	32,7
Zelo spremenjeni	22,9	22,2	10,0
Izmenjani	11,5	4,0	3,0

Po Smolejevih (2001) izsledkih je v Sloveniji glede na naravno sestavo gozdov okoli 43 % gozdov s spremenjeno drevesno sestavo, glede na optimalno sestavo pa celo skoraj 54 % (preglednica 3, slika 10). Zelo spremenjenih gozdov je za več kot petino površine vseh gozdov v Sloveniji, je pa tudi precej gozdov z izmenjano drevesno sestavo, in sicer glede na naravno sestavo, 11,5 %, glede na optimalno sestavo pa nekoliko manj (4 %). Preglednica 3 v zadnjem stolpcu prikazuje podatke o ohranjenosti gozdov iz podatkovne zbirke Gozdni fondi (2001, slika 11). Slednji podatki se precej razlikujejo od tistih, ki jih je izračunal Smolej (2001). Razlog je v tem, da podatki v Odsekih izhajajo iz opisov sestojev, ki se izvajajo po Pravilniku o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih (1998). V Sloveniji je po podatkih iz zbirke Gozdni fondi več kot polovica površine gozdov z

ohranjeno drevesno sestavo, slaba tretjina s spremenjeno drevesno sestavo, zelo spremenjenih je 10 %, izmenjanih pa 3 %.



Slika 10: Karta ohranjenosti drevesne sestave gozdov v Sloveniji po Smoleju (2001)



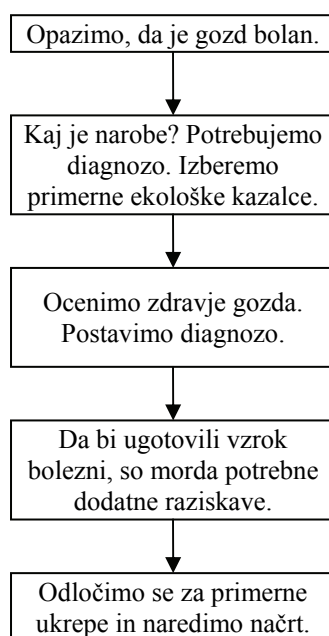
Slika 11: Karta ohranjenosti drevesne sestave gozdov v Sloveniji po ZGS (Gozdni fondy ..., 2001)

Krč (1999a, 1999b) je razvil dodatno metodo za ocenjevanje spremenjenosti gozdnih sestojev po višini in vrsti lesnih zalog. Metoda je podatkovno zahtevnejša in izračun obsežnejši kot pri metodi, ki sta jo razvila Bončina in Robič (1998), saj moramo poleg struktur lesnih zalog po drevesnih vrstah poznati tudi dejanske in modelno optimalne višine lesnih zalog pri določeni starosti sestojev oz. po razvojnih fazah gozda in proizvodno dobo. Z modelom, ki ga je razvil Krč (1999a, 1999b), lahko izračunamo spremenjenost vrstne sestave samo za tiste odseke, kjer se pojavlja le ena gozdna združba. Kjer je več gozdnih združb, namreč ni na voljo podatkov o lesnih zalogah po drevesnih

vrstah in gozdnih združbah, pač pa le o lesnih zalogah na ravni odsekov. Smolej (2001) je slednji problem rešil z metodo ponderiranja modelov, kjer so uteži površinski deleži gozdnih združb v odseku. Metoda ponderiranja modelov predpostavlja, da je lesna zaloga enakomerno porazdeljena po odseku, kar pri izračunu indeksa spremenjenosti drevesne sestave lahko vodi do napake, še posebno, če je gozd raznolik. Primerjava rezultatov med obema metodama, t. j. med metodama po Bončini in Robiču (1998) ter Krču (1999a, 1999b), se bistveno ne razlikujejo, vendar ima metoda po Krču (1999a, 1999b) lahko večjo uporabno vrednost. Primerjava višine lesnih zalog po drevesnih vrstah namreč lahko kaže na izkoriščenost proizvodne sposobnosti rastišč. Izbor metode ocenjevanja spremenjenosti drevesne sestave je odvisen od potrebe in podatkov, ki jih imamo na voljo.

2.6 PRESOJA ZDRAVJA GOZDNEGA EKOSISTEMA

Presoja zdravlja gozdnega ekosistema ali katerega koli drugega ekosistema poteka prek več korakov (slika 12).



Slika 12: Uporaba ekoloških kazalcev pri presoji zdravlja gozda (prirejeno po Jørgensen, 2005)

Če opazimo, da je gozd bolan, navadno želimo zvedeti, kaj je z njim narobe, kaj je vzrok takemu stanju in kaj lahko naredimo, da bomo gozd pozdravili. Odgovore na postavljena vprašanja dobimo z uporabo ekoloških kazalcev. Takoj se pojavi naslednje vprašanje, ki je, katere kazalce uporabiti. Dandanes je znano, da zdravja nekega ekosistema ni mogoče oceniti samo z enim ali nekaj splošnimi kazalci. Sicer obstajajo splošni kazalci, ki jih lahko uporabimo skoraj vsakič, ko presojamo zdravje ekosistema, vendar niso nikoli zadostni, da bi lahko opravili celotno diagnozo (Jørgensen, 2005). Tudi to ni mogoče, da bi sestavili skupine kazalcev, ki bi jih lahko uporabljali za določene probleme ali določene ekosisteme. Ker so ekosistemi zelo različni med sabo, celo ekosistemi iste vrste se zelo razlikujejo, vedno obstajajo določeni kazalci, ki jih izberemo različno od primera do primera glede na najboljšo presojo (Jørgensen, 2005).

2.6.1 Kazalci zdravja ekosistema

Dober ekološki kazalec je tisti, ki (Jørgensen in sod., 2005):

- se uporablja na lahek način;
- je občutljiv že za majhne spremembe v delovanju stresnega dejavnika;
- je neodvisen od izhodiščnih stanj;
- se lahko uporabi v širnih območjih in velikem številu združb;
- ga je mogoče količinsko opredeliti.

Ekološke kazalce lahko razdelimo v 8 ravni: od najbolj okrnjene oblike do najbolj celostnih kazalcev. Kazalci za presojo zdravja ekosistema ne vključujejo podnebnih razmer, ker te obravnavamo kot popolnoma naravne razmere (Jørgensen in sod., 2005). Razdelitev kazalcev zdravja ekosistema se deli na naslednje ravni:

1. raven: upošteva prisotnost ali odsotnost določenih vrst organizmov;
2. raven: uporablja razmerje med posameznimi skupinami organizmov;
3. raven: temelji na koncentraciji kemičnih snovi;
4. raven: uporablja koncentracijo ali gostoto celotne trofične ravni kot kazalce;
5. raven: za kazalce uporablja hitrost procesov;
6. raven: vključuje sestavljene kazalce;
7. raven: vključuje celostne kazalce, kot so, odpornost, prilagodljivost, biotska pestrost, vse vrste raznovrstnosti, velikost in povezanost ekološke mreže, hitrost kroženja ogljika in dušika, hitrost pretoka energije;
8. raven: so termodinamične spremenljivke, ki jih lahko imenujemo "nadcelostni" kazalci, ker želijo zajeti celostno podobo ekosistema, ne da bi vključevali podrobnosti.

V okviru tretje ministrske konference za varstvo gozdov v Evropi (poglavje št. 2.3.1.3, str. 29), ki je potekala v Lizboni leta 1998, so v 2. resoluciji določena vseevropska merila, pa tudi kazalci in operativne usmeritve za trajnostno gospodarjenje z gozdovi. Eno izmed 6. meril za trajnostno gospodarjenje je ohranjanje zdravja in vitalnosti gozdnih ekosistemov. Ocenjevanje ohranjenosti zdravja in vitalnosti gozda poteka prek štirih kazalcev. V disertaciji upoštevamo le dva izmed njih, t. j. poškodovanost gozda zaradi biotskih in abiotskih vzrokov prek sanitarne sečnje in osutost krošenj. Pri presoji zdravja gozda v Sloveniji nismo upoštevali preostalih dveh kazalcev zdravja gozda, kot sta spremenjenost kislosti tal ter ravnotežje hranil in onesnaževanje tal, in sicer zaradi pregrobe prostorske ločljivosti podatkov iz spremljanja razvrednotenja in poškodovanosti gozdov (poglavje št. 2.2.5.3, str. 26).

2.6.2 Postopki presoje zdravja ekosistema

Poznamo tri načine presoje zdravja ekosistema (Jørgensen in sod., 2005): metoda neposredne meritve, ekološko modeliranje in indeks zdravja ekosistema. V nadaljevanju podrobneje opisujemo vsako od naštetih metod.

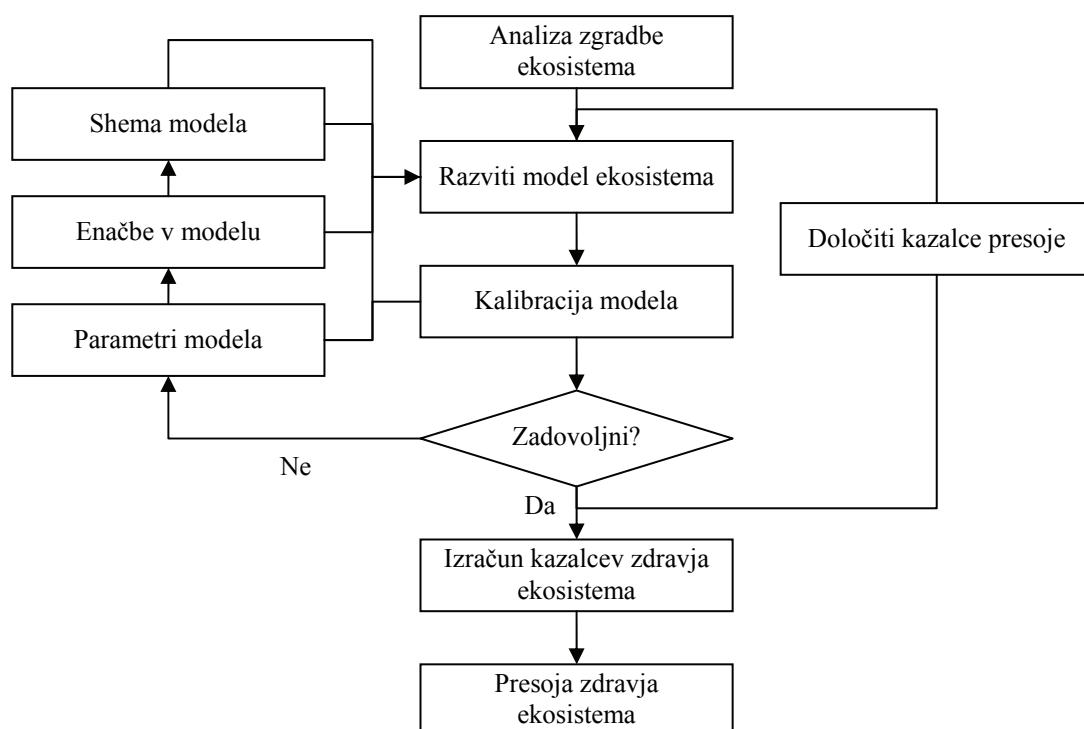
Postopek metode neposredne meritve je naslednji:

- ugotoviti potrebne kazalce za postopek presoje;
- neposredno izmeriti ali posredno izračunati izbrane kazalce;

- presoditi zdravje ekosistema glede na rezultate kazalcev.

Slika 13 prikazuje razvoj ekološkega modela za presojo zdravja ekosistema. V shemo je na levi strani zgoraj vključena shema, ki splošno velja za postopek razvoja katerega koli modela (slika 2). Potrebni so pet korakov:

- določiti je treba zgradbo modela in njegovo kompleksnost glede na zgradbo ekosistema;
- razviti ekološki model s pomočjo oblikovanja njegove sheme, razvojem enačb in ocenitvijo parametrov modela;
- model kalibrirati tako, da ustreza za uporabo v procesu presoje zdravja ekosistema;
- izračunati kazalce zdravja ekosistema;
- oceniti zdravje ekosistema glede na vrednosti kazalcev.



Slika 13: Postopek ekološkega modeliranja za presojo zdravja ekosistema (Jørgensen in sod., 2005)

Indeks zdravja ekosistema (*EHI* – Ecosystem Health Index) je bil razvit z namenom, da bi zdravje ekosistema lahko izrazili količinsko v vrednostih od 0 do 100. Domneva je: kadar je *EHI* enak 0, je ekosistem najbolj bolan, kadar je *EHI* 100, potem je ekosistem popolnoma zdrav. *EHI* se navadno deli na pet razredov: 0–19 %, 20–39 %, 40–59 %, 60–79 %, 80–100 %, kar ustreza petim razredom zdravja: najslabši, slab, srednji, dober, najboljši.

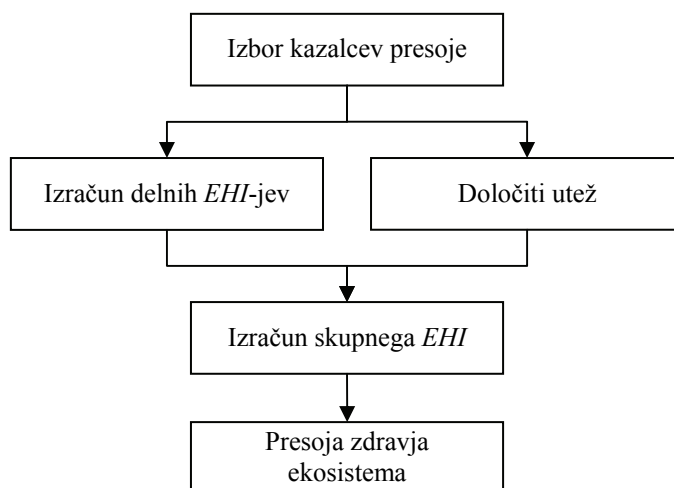
EHI lahko izračunamo s pomočjo naslednje enačbe (Jørgensen in sod., 2005):

$$EHI = \sum_{i=1}^n \omega_i \times EHI_i, \quad \dots(3)$$

kjer je *EHI* skupen indeks zdravja ekosistema, *EHI_i* je *i*-ti indeks zdravja ekosistema za *i*-ti kazalec, ω_i je ponder za *i*-ti kazalec.

Slika 14 prikazuje postopek izračuna skupnega *EHI*. Pri izračunu *EHI* je potrebnih pet korakov:

- izbrati temeljne in dodatne kazalce;
- izračunati vse delne *EHI*-je za vse kazalce;
- določiti ponderje za vse izbrane kazalce;
- izračunati skupen *EHI* z uporabo delnih *EHI*-jev in ponderjev za vse kazalce;
- presoditi zdravje ekosistema glede na vrednost skupnega *EHI*.

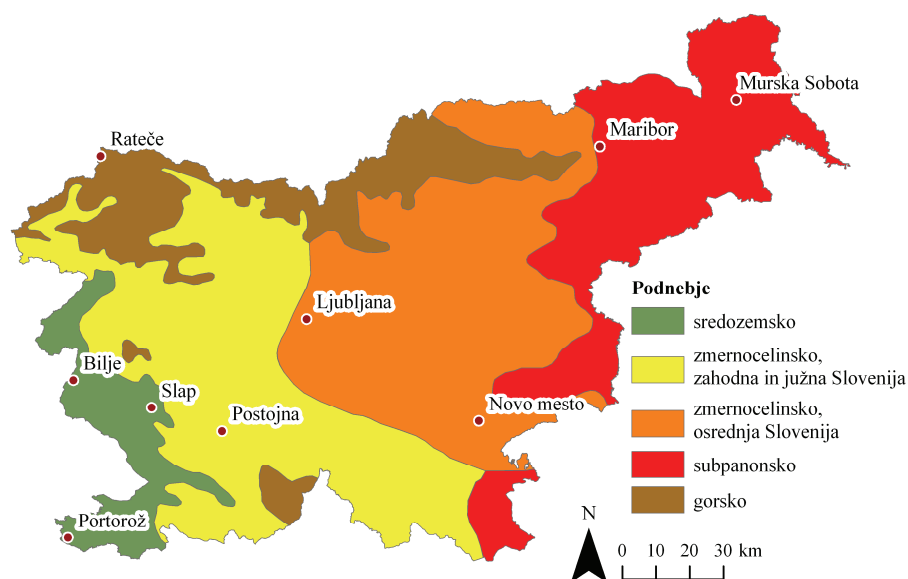


Slika 14: Postopek izračuna indeksa zdravja ekosistema (Jørgensen in sod., 2005)

3 METODE DELA

3.1 SCENARIJI PODNEBNIH SPREMEMB

Za preskušanje postavljenih hipotez v disertaciji potrebujemo izdelane scenarije podnebnih sprememb v prostorski ločljivosti $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$. Scenariji podnebnih sprememb (spremenljivke: temperatura, padavine in evapotranspiracija) so bili izdelani za 9 izbranih krajev (glej poglavje št. 2.4 str. 32) (Bergant, 2006). Scenariji so v obliki mesečnih in 30-letnih povprečij za obdobje 1980–2100. Naša naloga je bila, kako iz napovedi za 9 krajev ugotoviti, kakšne so napovedi za vsak km^2 v Sloveniji. Na razpolago imamo klimatološke karte povprečnih temperatur zraka, povprečnih mesečnih in letnih vsot korigiranih padavin in povprečne referenčne evapotranspiracije za obdobje 1971–2000 v digitalni rasterski obliki z ločljivostjo 1 km^2 , ki jih je izdelala Agencija Republike Slovenije za okolje (Povprečna temperatura ..., 2006; Povprečna mesečna ..., 2006; Povprečna referenčna ..., 2006). Razkorak med točkovnimi in površinskimi vrednostmi smo premostili tako, da smo najprej digitalizirali karto podnebnih tipov (Ogrin, 1996). Potem smo ugotovili, v kateri podnebni tip spada vsak od 9 krajev (slika 15). Tako so kraji postali predstavniki podnebnih tipov. Nato smo izračunali razliko med scenarijem za določen kraj (podatki po Bergantu, 2006) in podatki za referenčno obdobje 1971–2000 na točki kraja (podatki po ARSO, 2006) za vsako spremenljivko posebej (povprečne mesečne in povprečne letne vrednosti). Če je bilo več krajev v enem podnebnem tipu, smo upoštevali njihovo povprečno vrednost po posamezni spremenljivki in časovni dimenziji. Izračunano razliko smo prenesli na območje celotnega podnebnega tipa, ki ga kraj ali več krajev predstavlja, t. j. izračunano razliko smo prišteli oz. odšteli od vrednosti v referenčnem obdobju 1971–2000 po posameznih celicah, ki se nahajajo v istem podnebnem tipu kot obravnavan kraj. To je omogočilo izračun scenarijev podnebnih sprememb za celotno območje Slovenije.

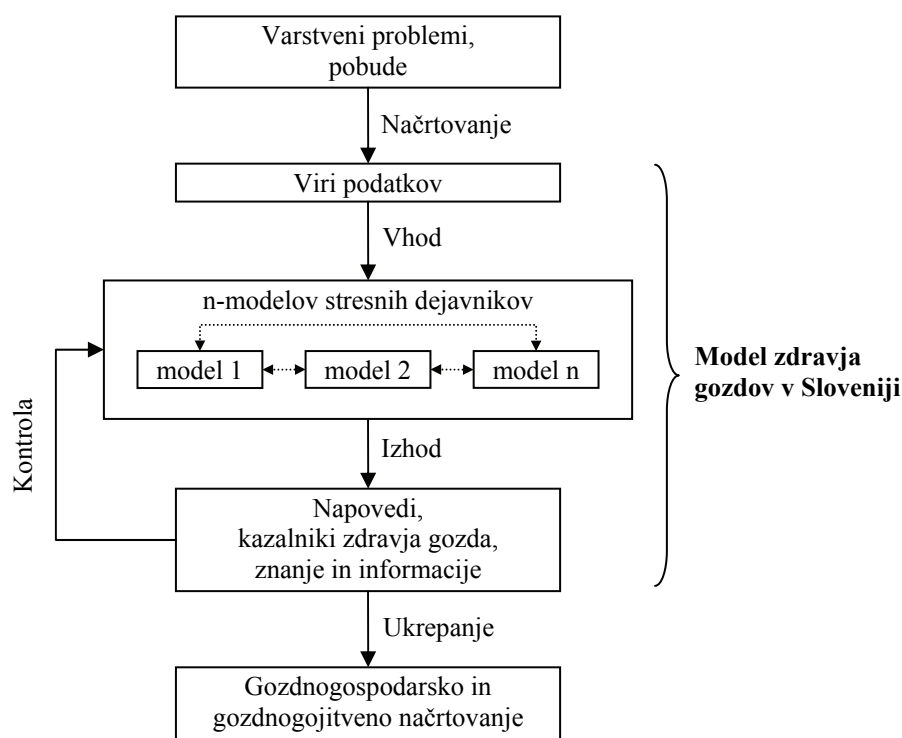


Slika 15: Podnebni tipi v Sloveniji (prirejeno po Ogrin, 1996)

V disertaciji uporabljamo tri scenarije podnebnih sprememb z oznakami A, B in C. Scenarij A je optimistični scenarij in upošteva kombinacijo MIN temperature, MIN evapotranspiracije in MAX padavin. Scenarij B je srednji scenarij, pri katerem smo upoštevali kombinacijo AVG temperature, AVG padavin in AVG evapotranspiracije. Scenarij C je pesimistični scenarij, ki je sestavljen iz kombinacije MAX temperature, MAX evapotranspiracije in MIN padavin. V optimističnem scenariju je indeks sušnosti izražen kot kvocient med MIN evapotranspiracije in MAX padavin, v srednjem scenariju kot AVG evapotranspiracije in AVG padavin, v pesimističnem scenariju pa kot MAX evapotranspiracije in MIN padavin. Scenariji so navedeni kot 30-letna povprečja s korakom po 10 let (1961–1990, 1971–2000, ..., 2071–2100).

3.2 MODEL ZDRAVJA GOZDOV V SLOVENIJI

Narisali smo shemo modela zdravja gozdov v Sloveniji (slika 16).



Slika 16: Shema modela zdravja gozdov v Sloveniji

Jedro modela zdravja gozdov predstavljajo podmodeli¹² izbranih stresnih dejavnikov, ki delujejo na gozd. Podmodeli so lahko med sabo povezani in soodvisni, torej so rezultati enega modela lahko vhod za drugi model. Da začnemo razvijati neki model, mora za to biti pobuda; v našem primeru gozdno-varstveni problem. Ob pozitivni presoji, da razvoj modela lahko pripomore k rešitvi problema, je naslednji korak načrtovanje razvoja modela

¹² Model je lahko sestavljen iz več podmodelov, t. j. enot modela, ki modelu pomagajo pri reševanju njegove naloge. Podmodel je lahko samostojen model, ki je prav tako zgrajen iz podmodelov, ki v kontekstu nadrejenega modela postanejo podmodeli podmodela. Zapleteno izražanje pri hierarhični zgradbi modelov lahko poenostavimo s shemo modela in poimenovanjem vsake enote modela.

(slika 2). Vhod v model so različni viri podatkov. Izhod modela zdravja gozdov so različne napovedi, kazalniki zdravja gozdov in novo znanje o gozdnem ekosistemu. Izhode vsakega podmodela je treba preveriti, narediti analizo občutljivosti, kalibriranje in validacijo podmodela. S pod modeli dobimo dodatne informacije o problemu, ki nam lahko pomagajo pri kakovostnejšem odločanju, ko predlagamo ustrezne ukrepe, ki bi morda pomagali pri rešitvi problema. Predlagani ukrepi lahko postanejo sestavni del gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtov. Zdravje gozdov lahko presodimo s pomočjo različnih ekoloških kazalcev, ki so rezultat podmodelov modela zdravja gozdov (slika 12, slika 13, slika 14).

Sanitarna sečnja je lahko dober kazalec zdravja gozdov. Na podlagi te predpostavke smo zgradili model zdravja gozdov v Sloveniji in vanj vključili vseh 11 vzrokov sanitarne sečnje, na podlagi katerih smo poskušali zgraditi več podmodelov kot sestavni del modela zdravja gozdov in jih natančno opisujemo v nadaljevanju. Delo zaključimo z modelom, ki podaja oceno zdravja gozdov v Sloveniji za obdobje 1981–2100 za različne scenarije podnebnih sprememb. Zdravje gozda v Sloveniji za sedanje razmere, t. j. obdobje 1995–2005 poskušamo oceniti tudi z indeksom zdravja gozda *EHI*, v katerega poleg sanitarne sečnje vključimo še osutost krošnje, kot kazalec vitalnosti gozda.

Končna oblika modela zdravja gozdov je nastala s štirimi poskusi, ki so se med sabo razlikovali po obliki odločitvenega drevesa, po obravnavi sanitarne sečnje in obliki odvisne spremenljivke. Poskusi so bili naslednji:

- poskus 1: regresijsko drevo, ki napoveduje 11 vzrokov sanitarnih sečenj po drevesnih vrstah v deležu lesne zaloge;
- poskus 2: regresijsko drevo, ki napoveduje 11 vzrokov sanitarnih sečenj v deležu lesne zaloge;
- poskus 3: klasifikacijsko drevo, ki napoveduje 11 vzrokov sanitarnih sečenj v binarni obliki;
- poskus 4: regresijsko drevo, ki napoveduje sanitarno sečnjo skupaj v deležu lesne zaloge.

Prostorska ločljivost vseh modelov je $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$. Vsi modeli so bili zgrajeni v programskem okolju Weka (Witten in Frank, 2005). Modeli so dveh vrst: regresijsko odločitveno drevo in klasifikacijsko odločitveno drevo.

Za izdelavo regresijskega drevesa smo izbrali algoritem *M5'* (Quinlan, 1992; Wang in Witten, 1997). Algoritem *M5'* omogoča izdelavo različno velikih regresijskih dreves. Velikost regresijskega drevesa uravnavamo prek t. i. rezanja. Stopnjo rezanja določamo s parametrom, ki določa, koliko primerov mora biti najmanj v listu drevesa, da se zanj izdelata list in linearni model. Za vsak model je bilo izdelanih 10 regresijskih dreves, katerih parameter (najmanjše število razvrščenih primerov na list drevesa) so bile vrednosti 4, 9, 16, 36, 81, 169, 500, 1000, 5000 in 10000.

Za klasifikacijsko drevo smo izbrali algoritem *J48*, ki omogoča izdelavo *C4.5* odločitvenega drevesa (Quinlan, 1993). Za vsak model, ki je bil vrste klasifikacijsko drevo, smo izdelali 10 različno velikih dreves. Velikost klasifikacijskega drevesa uravnavamo z dvema parametroma: s stopnjo zaupanja in najmanjšim številom razvrščenih primerov na list drevesa. Pri vseh modelih smo za stopnjo zaupanja uporabili privzeto vrednost 0,25. Za

najmanj razvrščenih primerov na list drevesa so bile vzete enake vrednosti kot pri regresijskem drevesu, t. j. 4, 9, 16, 36, 81, 169, 500, 1000, 5000 in 10000.

Veljavnost vseh modelov smo preverjali z 10-kratnim prečnim preverjanjem (Witten in Frank, 2005).

Uspešnost regresije se ugotavlja s korelacijskim koeficientom in korenomo relativne kvadratne napake (Witten in Frank, 2005: 178). Točnost klasifikacijskih dreves je podana s koeficientom kapa. To je mera za ujemanje dveh klasifikacij, ki izključuje delež pričakovanega naključnega ujemanja med klasifikacijama (Carletta, 1996). Vrednosti kape so od 1 do -1 . Kapa ima vrednost 1, ko se napovedane frekvence v razredih popolnoma ujemajo z dejanskimi. Navadno velja, če so vrednosti kape od 1 do 0,8, da je ujemanje zelo dobro, od 0,6 do 0,8 dobro, od 0,4 do 0,6 srednje, od 0,2 do 0,4 slabo in manj kot 0,2 zelo slabo (Witten in Frank, 2005).

Pri vsakem primeru modela smo izmed 10 odločitvenih dreves izbrali tistega, ki je imel čim večji koeficient korelacije, čim manjšo napako, po velikosti drevesa je bil čim manjši in je bil odvisen od podnebja.

V nadaljevanju podrobneje opisujemo vsakega od štirih poskusov.

3.2.1 Poskus 1: regresijsko drevo, 11 vzrokov sanitarnih sečenj po drevesnih vrstah v deležu lesne zaloge

V poskusu št. 1 smo razvili modele v vseh 11 vrstah sanitarnih sečenj in 36 drevesnih vrstah. V okviru vsake vrste sanitarne sečnje smo iz 36 drevesnih vrst izbrali tiste, ki v deležu posamezne sanitarne sečnje zavzemajo vsaj 1 % (preglednica 4). Takšnih primerov je bilo 62. Za vsak primer smo zgradili 10 različno velikih regresijskih dreves, kar je skupaj 620 modelov.

Učni primer pri poskusu št. 1 je celica velikosti 1 km^2 , kjer je odvisna spremenljivka delež določene vrste sanitarne sečnje v lesni zalogi celice po posameznih drevesnih vrstah v obdobju 1995–2005, seznam uporabljenih neodvisnih spremenljivk po vrsti sanitarne sečnje je naveden v naslednjih preglednicah: preglednica 8, preglednica 10 (glej poglavje št. 3.2.5, str. 53).

Za odvisno spremenljivko smo izbrali sanitarno sečnjo izraženo v deležu lesne zaloge zato, ker smo s tem spremenljivko relativizirali in jo naredili medsebojno primerljivo za celotno območje Slovenije. Sanitarni posek izražen v absolutnih številkah ni medsebojno primerljiv po različnih območjih Slovenije, saj enaka količina sanitarnega poseka ima različen pomen v gozdovih z različno lesno zalogo.

Izvedli smo poskus, kjer smo preskušali uspešnost regresije glede na različno definirano odvisno spremenljivko (seznam uporabljenih neodvisnih spremenljivk je bil vedno enak). Izvedli smo tri poskuse. V prvem poskusu je bila odvisna spremenljivka izražena v absolutnih številkah sanitarne sečnje, t. j. v m^3 , v drugem poskusu je bila odvisna spremenljivka izražena v $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ in v tretjem poskusu kot % LZ. V povprečju je

najzanesljivejše rezultate dal tretji poskus, kjer je bila odvisna spremenljivka izražena kot količina sanitarne sečnje v % LZ. Tako smo lahko z gotovostjo izbrali najprimernejšo obliko odvisne spremenljivke za nadaljnje preskuse v disertaciji.

Sanitarni posek drevesne vrste_k zaradi vzroka_j v celici_i modela izražen v deležu lesne zaloge smo izračunali po naslednji enačbi:

$$\frac{\text{sanitarni posek } dv_k \text{ v celici}_i \text{ zaradi vzroka}_j \text{ v obdobju od 1995 do 2005 (m}^3\text{)}}{\text{lesna zaloga } dv_k \text{ v celici}_i \text{ v obdobju od 1995 do 2005 (m}^3\text{)}} \cdot 100, \quad \dots(4)$$

kjer so

dv_k – drevesna vrsta [1–36] (preglednica 4)

i – celica modela [1–20.376]

j – vzrok sanitarnega poseka [1–11] (preglednica 2)

Preglednica 4: Sanitarni posek po drevesnih vrstah za obdobje 1995–2005 v deležu (%) 11. vrst sanitarnih sečenj (vsak stolpec predstavlja vsoto 100 %)

Drevesna vrsta	Žuželke	Bolezni	Divjad	Veter	Sneg	Žled	Plaz, usad	Požar	Emisija	Delo v gozdu	Drugo
smreka	92,2	26,5	94,2	63,3	58,4	33,8	65,6	7,9	50,6	55,2	13,3
jelka	6,1	24,9	2,3	12,5	3,1	3,1	6,7	4,9	39,3	13,6	71,9
rdeči bor	0,5	1,7	0,1	1,9	19,5	8,9	1,1	2,4	1,5	0,3	1,7
črni bor	0,1	2,8	0,0	0,7	0,3	0,5	0,0	74,3	2,3	0,0	0,8
zeleni bor	0,2	1,8	0,1	1,4	0,8	0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,2
macesen	0,0	0,1	0,1	0,5	0,5	0,4	0,5	0,2	0,1	0,5	0,2
bukev	0,2	3,3	0,7	13,9	11,2	39,0	16,4	6,5	1,3	27,6	3,1
graden	0,1	4,6	0,5	1,8	2,3	5,1	1,5	0,5	4,4	0,6	4,1
dob	0,3	1,9	0,2	0,6	0,2	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	1,1
kostanj	0,2	26,5	0,3	0,4	0,8	3,5	0,5	0,3	0,2	0,1	0,7
robinija	0,0	0,5	0,0	0,2	0,2	0,2	1,2	0,1	0,0	0,0	0,3
gorski javor	0,0	0,2	0,2	0,9	0,4	1,5	1,7	0,1	0,1	1,2	0,2
ostrolistni javor	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
topokrpi javor	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
veliki jesen	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,4	1,6	0,0	0,0	0,1	0,1
ostrolistni jesen	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
gorski brest	0,1	3,7	0,6	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,6
poljski brest	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
lipa in lipovec	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0
beli gaber	0,0	0,2	0,0	0,3	0,7	0,7	1,1	0,0	0,0	0,1	0,2
češnja	0,0	0,1	0,0	0,3	0,3	0,5	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1
maklen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
brek	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
mokovec	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
črni gaber	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,8	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0
mali jesen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
puhasti hrast	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
cer	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,4	0,0	0,1	0,0

– Se nadaljuje –

– Nadaljevanje preglednice št. 4 –

Drevesna vrsta	Žuželke	Bolezni	Divjad	Veter	Sneg	Žled	Plaz, usad	Požar	Emisija	Delo v gozdu	Drugo
trepetlika	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
topoli	0,0	0,2	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1
črna jelša	0,0	0,3	0,0	0,1	0,3	0,2	0,5	0,2	0,0	0,0	0,4
siva jelša	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
breza	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2
vrbe	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2
jerebika	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
grmišča	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Skupaj modelov	2	10	2	6	5	7	9	5	6	4	6

Opomba: sivo obarvana polja označujejo kombinacijo: vrsta sanitarne sečnje – drevesna vrsta, za katero so bili razviti modeli

Preglednica 5 prikazuje največje korelacijske koeficiente zgrajenih modelov v poskusu št. 1 po vrsti sanitarnih sečenj in po drevesnih vrstah. Povprečen korelacijski koeficient je samo 0,17 ($n = 620$). Odločili smo se, da je spodnja meja za korelacijski koeficient, ki je potrebna za zadovoljivo zanesljivost modela, 0,5. Temu pogoju ne ustreza niti eden od zgrajenih modelov v poskusu št. 1. Najbližje sta modela za žled-bukev ($r = 0,49$) in žuželke-smreka (0,40). Poskus št. 1 je propadel zaradi premajhne točnosti modelov.

Preglednica 5: Največji korelacijski koeficienti modelov iz poskusa št. 1

Drevesna vrsta	Žuželke	Bolezni	Divjad	Veter	Sneg	Žled	Plaz, usad	Požar	Emisija	Delo v gozdu	Drugo
smreka	0,405	0,205	0,260	0,298	0,201	0,205	0,030	0,006	0,128	0,318	0,155
jelka	0,245	0,137	0,043	0,198	0,145	0,137	0,018	0,002	0,099	0,096	0,314
rdeči bor		0,111		0,103	0,142	0,234	0,020	0,013	0,055		0,210
črni bor		0,081						0,214	0,292		
zeleni bor		0,221		0,199							
bukev		0,074		0,094	0,334	0,492	0,061	0,031	0,219	0,220	0,126
graden		0,291		0,114	0,240	0,386	0,034		0,080		0,212
dob		0,375									0,367
kostanj		0,273				0,272					
robinija							0,012				
gorski javor						0,247	0,002			0,067	
veliki jesen							0,064				
gorski brest		0,378									
beli gaber							0,012				

Opomba: v preglednici je izpolnjenih le 62 polj, in sicer za tiste primere, za katere so bili razviti modeli

3.2.2 Poskus 2: regresijsko drevo, 11 vzrokov sanitarnih sečenj v deležu lesne zaloge

V poskusu št. 2 je vrsta modelov enako regresijsko drevo kot pri prejšnjem poskusu. Razlika je v tem, da nismo želeli napovedovati sanitarne sečnje v deležu lesne zaloge natančno po drevesnih vrstah, ampak samo skupaj po posameznih vrstah sanitarne sečnje.

Domnevali smo, da bi se taka posplošitev odvisne spremenljivke lahko odrazila v večji zanesljivosti modelov. Domnevo smo potrdili. Posplošitev odvisne spremenljivke v poskusu št. 2 se je odrazila v povprečno višjih korelacijskih koeficientih modelov ($r = 0,42$). Kljub boljšemu rezultatu poskusa št. 2 so samo trije od enajstih modelov dali zadovoljive rezultate, kar pomeni, da so imeli korelacijski koeficient nad 0,50 (preglednica 6). To so modeli: za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi žuželk ($r = 0,66$), za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi žledolomov ($r = 0,65$) in za ocenjevanje potencialnih sanitarnih sečenj zaradi dela v gozdu ($r = 0,63$). V procesu izbiranja optimalnih modelov izmed 10 zgrajenih so bili navadno izbrani modeli z nekoliko manjšim korelacijskim koeficientom, in sicer: model za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi žuželk je bil izbran z največjim r , izbrani model za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi žledu je imel $r = 0,639$ (napaka = 76,99), izbrani model za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu je imel $r = 0,608$ (napaka = 79,56). Za slednje izbrane modele smo izdelali napovedi za tri scenarije podnebnih sprememb, ki jih navajamo v rezultatih.

Preglednica 6: Največji korelacijski koeficienti in najmanjše napake modelov iz poskusa št. 2

Vzrok za sanitarne sečnje	Korelacijski koeficient	Koren relativne kvadratne napake
Žuželke	0,665	75,009
Bolezni	0,442	90,681
Divjad	0,339	94,591
Veter	0,421	92,015
Sneg	0,494	87,479
Žled	0,650	76,099
Plaz, usad	0,032	99,950
Požar	0,292	96,098
Emisija	0,347	94,010
Poškodbe zaradi dela v gozdu	0,634	77,736
Drugo	0,342	94,991

Opomba: sivo obarvana polja označujejo vrste sanitarnih sečenj, ki smo jih obravnavali naprej v rezultatih

Učni primer pri poskusu št. 2 je celica velikosti 1 km², kjer je odvisna spremenljivka delež določene vrste sanitarne sečnje v lesni zalogi celice v obdobju 1995–2005, seznam uporabljenih neodvisnih spremenljivk po vrsti sanitarne sečnje je naveden v preglednicah: preglednica 8, preglednica 10 (glej poglavje št. 3.2.5, str. 53).

Sanitarni posek zaradi vzroka_j v celici_i modela izražen v deležu lesne zaloge smo izračunali po naslednji enačbi:

$$\frac{\text{sanitarni posek v celici}_i \text{ zaradi vzroka}_j \text{ v obdobju od 1995 do 2005 (m}^3\text{)}}{\text{lesna zaloga v celici}_i \text{ v obdobju od 1995 do 2005 (m}^3\text{)}} \cdot 100, \quad \dots(5)$$

kjer sta

i – celica modela [1–20.376]

j – vzrok sanitarnega poseka [1–11] (preglednica 2)

Čeprav so bili rezultati v poskusu št. 2 boljši kot rezultati v poskusu št. 1, še ni zadovoljil potrebe modela zdravja gozdov v Sloveniji. Celovito podobo o zdravju gozdov oz. o sanitarni sečnji dobimo le, če upoštevamo vse vrste sanitarnih sečenj.

3.2.3 Poskus 3: klasifikacijsko drevo, 11 vzrokov sanitarnih sečenj, odvisna spremenljivka je binarna

Pri poskusu št. 3 smo domnevali, da bi lahko s poenostavitvijo odvisne spremenljivke dosegli kakovostnejše rezultate. V poskusu št. 3 smo odvisno spremenljivko spremenili v binarno spremenljivko, t. j. diskretno spremenljivko, ki lahko zavzame vrednosti 0 ali 1. Vrednost 0 pomeni, da v celici modela ni bilo sanitarne sečnje. Vrednost 1 pa pomeni, da je v celici modela bila opravljena sanitarna sečnja.

Učni primer pri poskusu št. 3 je celica velikosti 1 km², kjer je odvisna spremenljivka sanitarna sečnja v binarni obliki, seznam uporabljenih neodvisnih spremenljivk po vrsti sanitarne sečnje je naveden v preglednicah: preglednica 8, preglednica 10 (glej poglavje št. 3.2.5, str. 53).

V poskusu št. 3 smo s poenostavitvijo odvisne spremenljivke dosegli le nekoliko boljše rezultate kot pri poskusu št. 2 (preglednica 7). Pri poskusu št. 3 smo kakovost modelov preskušali s koeficientom kapa, saj so modeli klasifikacijska drevesa. Če spodnjo mejo za koeficient kapa postavimo pri 0,5 (srednje ujemanje), potem temu pogoju ustrezajo modeli za sanitarno sečnjo zaradi žleda (kapa = 0,55), žuželk (kapa = 0,52) in dela v gozdu (kapa = 0,50), kar je podobno kot pri poskusu št. 2. V poskusu št. 3 smo pridobili še dodaten model za sanitarno sečnjo zaradi drugih vzrokov (kapa = 0,50). Tako smo dobili 4 modele, ki dajejo zadovoljive napovedi. Trije napovedujejo količino sanitarne sečnje v deležu lesne zaloge, eden pa napoveduje samo prostorsko pojavljanje, ne količine. Izbrani štirje modeli ne dajejo celostne podobe o sanitarni sečnji (zdravju gozdov) v Sloveniji.

Preglednica 7: Največji koeficienti kape in najmanjše napake za modele iz poskusa št. 3

Vzrok za sanitarne sečnje	Koeficient kapa	Koren relativne kvadratne napake
Žuželke	0,518	82,040
Bolezni	0,297	106,350
Divjad	0,411	91,028
Veter	0,295	97,932
Sneg	0,443	91,472
Žled	0,557	80,416
Plaz, usad	0,333	100,576
Požar	0,301	97,723
Emisija	0,467	91,940
Poškodbe zaradi dela v gozdu	0,503	88,609
Drugo	0,503	85,723

Opomba: sivo polje označuje model, ki smo ga obravnavali naprej v rezultatih

Ker poskus št. 3 s klasifikacijskim drevesom ni dal bistveno boljših rezultatov kot poskus št. 2 z regresijskim drevesom, smo pomislili tudi na možnost, da bi ponovili poskus št. 3 z logistično regresijo. Perlich in sod. (2003) so primerjali kakovosti modelov med logistično regresijo in indukcijo odločitvenega drevesa. Primerjava je pokazala, da je logistična

regresija boljša pri manjših podatkovnih nizih, indukcija dreves pa pri večjih. Zaradi slednjih dejstev smo opustili različico poskusa št. 3 z logistično regresijo, saj so v našem primeru podatkovni nizi zelo veliki, in sicer več kot 20.000 podatkov za vsako neodvisno spremenljivko.

3.2.4 Poskus 4: regresijsko drevo, sanitarna sečnja skupaj v deležu lesne zaloge

Naloga 4. poskusa je bila zgraditi model, ki bo napovedoval sanitarno sečnjo skupaj v zvezni spremenljivki, t. j. sanitarni posek v deležu lesne zaloge. Tako smo sicer zgubili vpogled v vzroke sanitarnih sečenj, pridobili pa smo celosten pogled na sanitarno sečnjo.

Učni primer pri poskusu št. 4 je celica velikosti 1 km², kjer je odvisna spremenljivka delež celotne sanitarne sečnje v lesni zalogi celice v obdobju 1995–2005 in neodvisne spremenljivke so, kot je to navedeno v preglednicah: preglednica 8, preglednica 10 (glej poglavje št. 3.2.5, str. 53).

Sanitarni posek skupaj v celici_i izražen v deležu lesne zaloge smo izračunali po naslednji enačbi:

$$\frac{\text{celoten sanitarni posek v celici}_i \text{ v obdobju od 1995 do 2005 (m}^3\text{)}}{\text{lesna zaloga v celici}_i \text{ v obdobju od 1995 do 2005 (m}^3\text{)}} \cdot 100, \quad \dots(6)$$

kjer je i celica modela [1–20.376].

Največji korelacijski koeficient med 10 regresijskimi drevesi, t. j. modeli za napovedovanje celotne sanitarne sečnje, je 0,54. Za izračun napovedi nismo uporabili samo enega modela izmed 10 izdelanih, ampak smo izbrali štiri najkakovostnejše glede na merila, ki smo jih postavili v poglavju št. 3.2, str. 48. Povprečje izbranih štirih modelov je dalo napovedi, ki jih opisujemo v rezultatih. Povprečje korelacijskih koeficientov izbranih modelov znaša 0,46, koren relativne kvadratne napake pa 89,0 %.

3.2.5 Podatkovna zbirka in spremenljivke

V razvoj modela zdravja gozdov Slovenije je bilo vključenih skupaj 245 spremenljivk, od katerih jih je: 96 povezanih s podnebjem, 51 opisuje razmere v gozdu, 43 opisuje tla, 17 podaja relief, 15 podaja pokrajinski vidik, 12 prikazuje sanitarno sečnjo, 6 prikazuje vire onesnaževanja, 5 opisuje geološke razmere (preglednica 8).

Pri velikem številu spremenljivk lahko nastane pretirano prileganje podatkov odločitvenemu drevesu oz. modelu (angl. overfitting). Da bi se izognili temu problemu, smo zgradili več modelov z različno stopnjo rezanja odločitvenih dreves. Pretirano prileganje podatkov ne nastane zato, ker modeli slonijo na več kot 20.000 podatkov za vsako vključeno spremenljivko.

Preglednica 8: Seznam spremenljivk, ki so bile uporabljene pri razvoju modela zdravja gozdov v Sloveniji, njihov pomen in vir

Naziv spremenljivke	Opis spremenljivke	Vir podatkov
DV11, DV21, ..., DV89	delež LZ 36 drevesnih vrst v LZ celice [%]	
IGL	delež LZ iglavcev v LZ celice [%]	
LST	delež LZ listavcev v LZ celice [%]	
RK	rastiščni koeficient (Košir, 1976, 1992)	
LAST	najpogostejša vrsta lastništva [2, 3, 5, 6]	
LAST_AVG	povprečno število lastnikov	(Gozdni fondi ..., 2001)
LAST_POV	povprečna površina posesti [ha]	
SPR_RAZD_AVG	povprečna pravilna razdalja [m]	
SPR_RAZD_MAKS	maksimalna pravilna razdalja [m]	
SPR_RAZD_MIN	minimalna pravilna razdalja [m]	
SPR_SMER	najpogostejša smer spravila [0, 1, 2, 3]	
SPR_SREDSTVO	najpogostejše pravilno sredstvo [0, 1, ..., 6]	
ZDR_PESTR	indeks pestrosti gozdnih združb	
GC_DOLZ	dolžina gozdnih cest v celici [m/km ²]	(Gozdne ceste ..., 2007)
TROH_IGL	povprečen delež mrtve (stoječe in ležeče) biomase, iglavcev [%]	(Gozdna inventura ..., 2006)
TROH_LST	povprečen delež mrtve (stoječe in ležeče) biomase, listavcev [%]	
s302, s303, ..., 311*	sanitarni posek po posameznih vzrokih [v % LZ]	(Timber, 2005)
s4_5_6*	sanitarni posek zaradi vetra, snega in žleda [v % LZ]	
s2_11*	sanitarni posek vseh vzrokov razen žuželk [v % LZ]	
EMIS_ODD	povprečna oddaljenost od največjih virov onesnaževalcev zraka [m], ločljivost 100 m	(Predhodna ocena ..., 2003)
EMIS_NO2_ODD	povprečna oddaljenost od največjih virov onesnaževalcev zraka z NO ₂ [m], ločljivost 100 m	
EMIS_CO_ODD	povprečna oddaljenost od največjih virov onesnaževalcev zraka s CO [m], ločljivost 100 m	
EMIS_PRAH_ODD	povprečna oddaljenost od največjih virov onesnaževalcev zraka s prahom PM10 [m], ločljivost 100 m	
EMIS_PB_ODD	povprečna oddaljenost od največjih virov onesnaževalcev zraka s svincem [m], ločljivost 100 m	
EMIS_SO2_ODD	povprečna oddaljenost od največjih virov onesnaževalcev zraka s SO ₂ [m], ločljivost 100 m	
avg_z	povprečna nadmorska višina [m]	(Interferometrični radarski ..., 2000)
min_z	najmanjša nadmorska višina v celici modela [m]	
max_z	največja nadmorska višina v celici modela [m]	
stdev_z	standardni odklon nadmorske višine	
NAKL	povprečni naklon terena [%]	
NAKL_MAKS	največji naklon v celici modela [%]	
NAKL_STDEV	standardni odklon naklona v celici modela	
EKSP	povprečna ekspozicija [°]	
LAT	centroid celice, geografska širina [decimalne stopinje]	podatki (Interferometrični radarski ..., 2000) izračun v ArcInfo, ESRI
LON	centroid celice, geografska dolžina [decimalne stopinje]	
UKRIVLJENOST_PROFIL	ukrivljenost površja v smeri največjega naklona	
UKRIVLJENOST_PROFIL_MAX	največja ukrivljenost površja	
UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV	standardni odklon ukrivljenosti površja	
UKRIVLJENOST_PLAN	planimetrična ukrivljenost površja pravokotno na smer največjega naklona	

– Se nadaljuje –

– Nadaljevanje preglednice št. 8 –

Naziv spremenljivke	Opis spremenljivke	Vir podatkov
TOPEX_05K	izpostavljenost površja, koeficient=0,5 km	podatki (Interferometrični radarski ..., 2000) izračun po Lanquaye (2003)
TOPEX_1K	izpostavljenost površja, koeficient=1 km	
TOPEX_2K	izpostavljenost površja, koeficient=2 km	
CEST_ODD	oddaljenost od ceste [m], ločljivost 100 m	(Statistični GIS ..., 2001)
ŽELEZNICA_ODD	oddaljenost od železnice [m], ločljivost 100 m	
NASELJE_ODD	oddaljenost od naselja [m], ločljivost 100 m	
ODD_GOZD_ROB	oddaljenost od gozdnega roba [m], ločljivost 100 m	(Projekt posodobitve ..., 2003)
ODD_GOZD	oddaljenost od najbližjega gozda [m], ločljivost 200 m	
ODD_NEGOZD	oddaljenost od najbližjega negozda [m], ločljivost 200 m	
ZAPLATA	površina največje zaplate gozda, ki vsaj delno leži v kvadrantu [km ²]	
ED	indeks razdrobljenosti gozda: gostota robov [m/ha]	
GOZD	delež gozdnatih površin v celici modela [%]	
TRAV	delež travnikov [%]	
KMET	delež kmetijskih površin [%]	
GRAD	delež grajenih površin [%]	
RABA_MAX	površinsko najobsežnejša raba tal v celici (po šifrantu MKGP 1, 2, ..., 21)	
RABA_MED	najpogostejša raba tal (po šifrantu MKGP 1, 2, ..., 21)	(Kategorizacija vodotokov ..., 2000)
RABA_VAR	variabilnost rabe tal [%]	
VODA_RAZD	povprečna razdalja do vodotoka [m], ločljivost 100 m	(Hidrogeološka karta ..., 2001)
HIDROGEO	podatki iz hidrogeološke karte (po šifrantu 1, 2, ..., 8)	(Gozdni fondi ..., 2001)
MAT_PODLAGA	matična podlaga (po šifrantu ZGS), ki je površinsko najobsežnejša v celici modela	(Gozdni fondi ..., 2001)
MAT_PODLAGA_MED	matična podlaga, ki se najpogosteje pojavlja v celici modela (po šifrantu ZGS)	
MAT_PODLAGA_VAR	variabilnost matične podlage v celici modela	
tla_sotna	delež šotnih tal v celici modela [%]	(Pedološko rekartiranje ..., 1999)
tla_antropogena	delež antropogenih tal v celici modela [%]	
tla_eluvialno_iluvialna	delež eluvialno-iluvialnih tal v celici modela [%]	
tla_halomorfna	delež holomorfni tal v celici modela [%]	
tla_humusno_akumulativna	delež humusno akumulativnih tal v celici modela [%]	
tla_kambicna	delež kambičnih tal v celici modela [%]	
tla_nerazvita	delež nerazvitih tal v celici modela [%]	
tla_obrecna	delež obrežnih tal v celici modela [%]	
tla_oglejena	delež oglejenih tal v celici modela [%]	
tla_psevdooglejena	delež psevdoglejenih tal v celici modela [%]	
GLOB_TAL	povprečna globina tal [cm]	
GLOB_ZG	povprečna globina zgornjega horizonta [cm]	
PH	povprečen pH zgornjega horizonta	
PES, MELJ, GLINA	povprečni delež peska, melja, gline [%]	
FOSF, KALIJ	izmenljivi fosfor, kalij [mg/100g]	
OS	povprečni delež organske snovi [%]	
OS5	organska snov na globini 0–5 cm [%]	
OS10	organska snov na globini 5–10 cm [%]	
OS20	organska snov na globini 10–20 cm [%]	
OS20nad	organska snov na globini nad 20 cm [%]	

– Se nadaljuje –

– Nadaljevanje preglednice št. 8 –

Naziv spremenljivke	Opis spremenljivke	Vir podatkov
DUSIK	celokupni dušik [%]	(Pedološko rekartiranje ..., 1999)
OGLJ	vsebnost ogljika [%]	
CN	CN razmerje (OGLJ/DUSIK)	
CA, MG, K, NA, H	izmenljivi Ca, Mg, K, Na, H [mmolc/100g]	
T	izmenjalna kapaciteta tal [mmolc/100g]	
V	stopnja nasičenosti z bazami [%]	(Gozdni fondi ..., 2001)
SKALNAT	povprečna skalovitost površja [%]	
KAMNIT	povprečna kamnitost površja [%]	(Podatki iz (Pedološko rekartiranje ..., 1999); izračun po Knisel in Davis (2000))
BD	gostota tal [g/cm ³]	
POR	poroznost tal [cm ³ /cm ³]	
FC	vodna kapaciteta tal [cm/cm]	
BR15	točka venenja [pri 1500 kPa cm/cm]	
CONA	evaporacija [mm/d0,5]	
PF	prepustnost tal [cm/h]	
KSOIL	indeks erodibilnosti tal	(Wischmeier in Smith, 1978)
STRELA	pogostost udara strele [1–6]	(Gliha-Vavpotič, 1983)
ZLED_OGR	ogroženost zaradi žleda, v štirih kategorijah	(Kastelec, 1997)
SNEG_VISINA0	skupna višina novozapadlega snega, na leto [cm]	(Povprečna skupna ..., 2006)
SNEG_TRAJ0	povprečno trajanje snežne odeje, na leto [dni]	(Povprečno število dni ..., 2006)
PAD11_12_1	povprečna količina padavin od novembra do januarja [mm]	(Povprečna mesečna ..., 2006)
PAD0	letna vsota padavin [mm]	
PAD1, PAD2, ..., PAD12	povprečna količina padavin po mesecih [mm]	(Povprečna referenčna ..., 2006)
ETP0	letna referenčna evapotranspiracija [mm]	
ETP1, ETP2, ..., ETP12	povprečna referenčna evapotranspiracija po mesecih [mm]	
TSUM–10, TSUM–5, TSUM0, TSUM5, TSUM10, TSUM15, SUM16, TSUM20	temperaturna vsota, prag = –10 °C, –5 °C, 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C, 16 °C, 20 °C	(Povprečna temperatura ..., 2006)
TMP49	povprečna temperatura zraka od aprila do septembra [°C]	
TMP11_12_1	povprečna temperatura zraka od novembra do januarja [°C]	
TMP0	povprečna letna temperatura zraka [°C]	
TMP1, TMP2, ..., TMP12	povprečna temperatura zraka po mesecih [°C]	(Povprečna mesečna ..., 2006; Povprečna referenčna ..., 2006)
SUS78	verjetnost sušnega stresa v juliju in avgustu v celici modela, izražena kot koeficient med evapotranspiracijo in padavinami	
SUS	verjetnost sušnega stresa v celici modela, izražena kot koeficient med evapotranspiracijo in padavinami (letnimi)	(Kastelec in sod., 2005; Zakšek in sod., 2005)
KVG0	letno kvaziglobalno sončno obsevanje [J/m ²]	
KVG1, KVG2, ..., KVG12	kvaziglobalno sončno obsevanje po mesecih [J/m ²]	

– Se nadaljuje –

– Nadaljevanje preglednice št. 8 –

Naziv spremenljivke	Opis spremenljivke	Vir podatkov
VETER0	povprečna letna hitrost vetra [m/s]	(Povprečna hitrost vetra ..., 2006)
VETER1, VETER2, ..., VETER12	povprečna hitrost vetra po mesecih [m/s]	
VETER11_12_1	povprečna hitrost vetra od novembra do januarja [m/s]	
RV0	povprečna letna relativna zračna vlažnost [%]	(Povprečna relativna ..., 2006)
RV1, RV2, ..., RV12	povprečna relativna zračna vlažnost po mesecih [%]	

*Opomba: označene spremenljivke so bile pri poskusu št. 1 obravnavane po drevesnih vrstah v celici modela, pri drugih poskusih pa so bile obravnavane brez ločevanja po drevesnih vrstah

Podatkovna zbirka za izgradnjo modela zdravja gozdov vsebuje 245 neodvisnih spremenljivk. Podatkovna zbirka je v formatu Microsoft Access 2003. Preglednica 8 v zadnjem stolpcu navaja za vsako spremenljivko tudi vir podatkov. Ker je model zdravja gozdov v Sloveniji v ločljivosti $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$, je bilo treba prirediti večino spremenljivk iz izvirne prostorske ločljivosti in oblike v pravilno kilometrsko mrežo modela zdravja gozdov. Prostorska ločljivost spremenljivk je navadno manjša kot v modelu zdravja gozdov v Sloveniji, le pri vseh podnebnih spremenljivkah se prostorska ločljivost ujema z ločljivostjo v modelu zdravja gozdov. Pri prirejanju preostalih spremenljivk za potrebe modela zdravja gozdov je bil največkrat uporabljen postopek ponderirane srednje vrednosti, kjer je utež površina spremenljivke. Nekatere spremenljivke so bile izračunane po posebnih postopkih, ki jih opisujemo v nadaljevanju:

- ZDR_PESTR, indeks pestrosti gozdnih združb smo izračunali kot kvocient med številom gozdnih združb v celici modela in številom vseh gozdnih združb v Sloveniji;
- GC_DOLZ, dolžino gozdnih cest v celici modela predstavlja enostavna vsota dolžin linijskih poligonov v kvadrantu;
- TROH_IGL in TROH_LST, povprečen delež stoječe in ležeče mrtve biomase iglavcev oz. listavcev smo izračunali iz podatkovne zbirke Gozdne inventure tako, da smo sešteli vsa mrtva drevesa v vseh stalnih vzorčnih ploskvah v celici modela in dobljeno vrednost delili z vsoto vseh dreves (živih in mrtvih) v vseh stalnih vzorčnih ploskvah, ki so v celici modela;
- *_ODD, vse spremenljivke, ki se nanašajo na povprečno oddaljenost, smo izračunali iz izvornih podatkov s pomočjo orodja za analizo prostorskih podatkov v ESRI ArcInfo 9.2 programskem paketu, t. j. s funkcijo za izračun evklidske razdalje. Ločljivost izračuna povprečne oddaljenosti je 100 m ali 200 m;
- NAKL in EKSP, povprečen naklon terena in povprečna ekspozicija sta bila izračunana na podlagi digitalnega modela reliefa z ločljivostjo $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ v ESRI ArcInfo 9.2. Pri tem postopku je bilo treba pretvoriti podatke v TIN-format (angl. triangulated irregular network), t. j. format, ki se uporablja za reliefne modele. Ko smo enkrat imeli podatke v TIN-formatu, smo z orodjem za obdelavo tridimenzionalnih podatkov (3D Analyst) izračunali naklone in ekspozicijo;
- UKRIVLJENOST_*, vse spremenljivke o ukrivljenosti površja so bile izračunane v ESRI ArcInfo 9.2 programu z orodjem za obdelavo tridimenzionalnih podatkov (3D Analyst) s funkcijo Curvature. Podlaga za izračun spremenljivk o ukrivljenosti površja je bil digitalni model reliefa z ločljivostjo $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$;

- TOPEX_*, spremenljivke za izpostavljenost površja smo izračunali na podlagi digitalnega modela reliefa z ločljivostjo 100 m × 100 m po algoritmu, ki ga natančno opisuje Lanquaye (2003). Topex je definiran kot vsota vertikalnih kotov v osmih smereh neba do določene razdalje (Hannah in sod., 1995). Topex se uporablja pri študijah za izpostavljenosti površja zaradi vetra, saj je v zelo dobri korelaciji s hitrostjo vetra;
- ED, gostoto robov gozda smo izračunali po McGarigalu in Marksu (1995) iz podatkov o rabi tal (Projekt posodobitve ..., 2003);
- RABA_VAR, variabilnost rabe tal je izračunana kot kvocient med številom rabe tal v celici modela in številom vseh vrst rab tal;
- MAT_PODLAGA_VAR, variabilnost matične podlage je kvocient med številom matičnih podlag, ki se pojavljajo v celici modela, in številom vseh matičnih podlag;
- spremenljivke o tleh, katerih osnova je pedološka karta v merilu 1 : 25.000 (Pedološko rekartiranje ..., 1999), so bile izračunane po posebnem postopku iz podatkov o pedoloških profilih (Pedološko rekartiranje ..., 1999). Pedološka karta je sestavljena iz pedokartografskih enot (PKE). PKE je sestavljena iz ene ali več pedosistematskih enot (PSE). PSE je enota tal (talni tip) v določenem sistemu klasifikacije z značilnimi lastnostmi, ki se bistveno razlikujejo od lastnosti drugih tal. Pedološki profili se nanašajo na določeno točko v prostoru in spadajo v določeno PKE. Če je bilo izkopanih več pedoloških profilov v določenem PKE, smo upoštevali povprečne vrednosti spremenljivk vseh pedoloških profilov v določenem PKE. Za nekaj PKE ni bilo izkopanega nobenega pedološkega profila. Za take PKE smo privzeli vrednosti iz lastnosti, najbližjih PKE. Podatke iz PKE smo pretvorili v 1 km × 1 km mrežo po postopku ponderirane srednje vrednosti, kjer je utež površina PKE v celici modela;
- podatke za spremenljivke BD, POR, FC, BR15, CONA in PF smo pridobili iz modela GLEAMS (Knisel in Davis, 2000). Gostota tal, poroznost tal, vodna kapaciteta tal, točka venenja, evaporacija in prepustnost tal je bila določena na podlagi razpredelnih vrednosti, v katere vhodni podatek je tekstura tal, t. j. razmerje med glino, meljem in peskom;
- KSOIL, indeks erodibilnosti tal je bil določen po Wischmeierjevi in Smithovi enačbi (1978):

$$K = \frac{2,1 \cdot TF^{1,14} \cdot 10^{-4} \cdot (12 - a) + 3,25 \cdot (b - 2) + 2,5(c - 3)}{100} \quad \dots(7)$$

$$TF = (ME + PE) \cdot (100 - GL), \quad \dots(8)$$

kjer so

<i>TF</i>	teksturni faktor
<i>a</i>	delež organske snovi
<i>b</i>	struktura tal
<i>c</i>	prepustnost tal
<i>ME</i>	delež melja
<i>PE</i>	delež peska
<i>GL</i>	delež gline

V razvoju modelov za vsako vrsto sanitarne sečnje je bil uporabljen drugačen sklop spremenljivk (preglednica 10). Sklop spremenljivk za posamezno vrsto sanitarne sečnje smo izbrali na podlagi obstoječih raziskovanj (preglednica 9). V končni obliki vsakega modela je drugačen sklop spremenljivk; navadno je manj spremenljivk kot na začetku, saj v procesu izdelave modela, t. j. algoritma J48 in M5' izbereta le tiste spremenljivke, ki najboljše pojasnjujejo varianco odvisne spremenljivke, ki je v našem primeru sanitarna sečnja.

Preglednica 9: Seznam uporabljenih virov pri izboru spremenljivk za modele posameznih vrst sanitarnih sečenj

Model	Viri
Žuželke	Titovšek, 1988; Lobinger, 1994; Dutilleul in sod., 2000; Schroeder, 2001; Faccoli, 2002; Netherer in sod., 2003; Wermelinger in sod., 2003; Økland in Berryman, 2004; Wermelinger, 2004; Gilbert in sod., 2005; Jene, 2005; Jurc, 2005; Faccoli in Stergule, 2006; Kalič, 2006; Demšar, 2006; Jurc M in sod., 2006; Rouault in sod., 2006; Schopf, 2006
Bolezni	Maček, 1983; Butin, 1995; Vollbrecht in Jorgensen, 1995; Frankel, 1998; Korhonen in Stenlid, 1998; Stenlid in Redfern, 1998; Coakley in sod., 1999; Pukkala in sod., 2005; Thor, 2005; Desprez-Loustau in sod., 2006
Divjad	Stankovski in sod., 1998; Jerina, 2000, 2003, 2006; Debeljak in sod., 2001; Jerina in sod., 2002; Miklavčič, 2002
Veter	Mergen, 1954; Quine in White, 1993, 1998; Stathers in sod., 1994; Bell in sod., 1995; Hannah in sod., 1995; Kruijt in sod., 1995; Quine, 1995; Quine in sod., 1995; Wood, 1995; Ruel in sod., 1997; Gardiner in Quine, 2000; Jalkanen in Mattila, 2000; Ulanova, 2000; Müller, 2002; Lanquaye, 2003; Ogris in sod., 2004
Sneg	Deanković, 1969, 2006; Zupančič, 1973; Nykänen in sod., 1997; Peltola in sod., 1997, 1999; Jalkanen in Konôpka, 1998; Päätaalo in sod., 1999; Valinger in Fridman, 1999; Jalkanen in Mattila, 2000; Müller, 2002; Zhu in sod., 2006
Žled	Jones, 1996, 1998; Kastelec, 1997; Irland, 2000; Jones in sod., 2004; Cheng in sod., 2007
Plaz, usad	Natek, 1990; Komac, 2006
Požari	Pečenko in Stevanović, 1987; Van Wagner, 1987; Van Wagner in sod., 1992; Pečenko, 1994; Jakša, 1997; Flannigan in sod., 2000; Kobler, 2001; Kobler in sod., 2006
Emisije	Predhodna ocena ..., 2003
Delo v gozdu	Ivanek, 1976; Košir in Cedilnik, 1996; Košir, 1997; Robek in Medved, 1997; Winkler, 1997
Drugo	(vse spremenljivke iz modelov znanih vzrokov sanitarne sečnje)

Za ocenjevanje pomembnosti oz. kakovosti spremenljivk ima Weka vgrajeno celo skupino orodij (Witten in Frank, 2005). Pogostokrat se za ocenjevanje kakovosti spremenljivk uporablja algoritem Relief, ki sta ga razvila Kira in Rendell (1992). Algoritem Relief je Kononenko (1994) izboljšal in ga je poimenoval ReliefF. ReliefF ocenjuje kakovost spremenljivk upoštevajoč medsebojne odvisnosti (Robnik-Šikonja in Kononenko, 1997). Uporablja se tako pri klasifikacijskih kot pri regresijskih problemih. Ocena pomembnosti spremenljivk s pomočjo algoritma ReliefF se v programu Weka izvede z rangiranjem (Witten in Frank, 2005). Preglednica 10 prikazuje poleg uporabljenih spremenljivk po modelih tudi range pomembnosti spremenljivk, kot jih je izračunal algoritem ReliefF. Pomembnost spremenljivk smo izračunali samo za 5 modelov (žuželke, žled, delo v gozdu, drugo, sanitarna sečnja skupaj), to je za tiste, ki so se pokazali za dovolj zanesljive. Pri izračunu ocene pomembnosti posameznih spremenljivk smo upoštevali privzete vrednosti parametrov algoritma ReliefF, t. j. numNeighbours = 10, sampleSize = -1, seed = 1, sigma

= 2, weightByDistance = ne. Za preglednejši prikaz smo v rezultatih izdelali preglednici, ki prikazujeta najpomembnejših 20 spremenljivk (preglednica 12, preglednica 23). V preglednici (preglednica 10) lahko opazimo, da je lahko kakšna spremenljivka izločena iz modela, kljub pomembnemu rangi (čim manjša je številka, pomembnejša je spremenljivka). To se zgodi vsaj iz dveh razlogov: 1. algoritma M5' in J48 imata vgrajen svoj sistem izbora najodločilnejših spremenljivk; 2. izbor optimalnega modela ni vedno vključeval največje odločilno drevo (glej poglavje št. 3.2, str. 48).

Modeli za napovedovanje sanitarnih sečenj zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu, drugih vzrokov in skupne sanitarne sečnje so bili zagnani za tri scenarije podnebnih sprememb. Scenariji podnebnih sprememb vključujejo spremembe v temperaturi, padavinah, evapotranspiraciji in indeksu sušnosti (spremenljivka SUS in SUS78). Vse ostale spremenljivke so obravnavane kot konstante.

Preglednica 10: Uporabljeni sklopi spremenljivk po posameznih modelih in njihovi rangi pomembnosti po algoritmu ReliefF

Spremenljivka	Žuželke	Bolezni	Divjad	Veter	Sneg	Žled	Plaz. usad	Požar	Emisija	Delo v gozdu	Drugo	S. s. skupaj
DV11 - smreka	1					2,4				13	29	1,8
DV21 - jelka	8,5					12,5				7,9	23	8,5
DV31 - rdeči bor	5,1					23,7				196,4	93,6	11,9
DV32 - črni bor	118,9					154,5				189,6	183,9	43,4
DV33 - zeleni bor	16,3					114,2				133,9	214,6	19,9
DV34 - macesen	94,4					135,1				74,7	210,5	144,2
DV41 - bukev	11					12,8				55,3	24,6	38,5
DV51 - graden	4					20,3				201,9	87,8	11,8
DV52 - dob	15,3					145,1				182,8	187,7	34
DV55 - kostanj	33,5					18,2				191,9	185,9	24
DV56 - robinja	81,5					153				184,8	199,1	86,7
DV61 - gorski javor	19					16,9				41,7	190,7	43,7
DV62 - ostrolistni javor	37,1					72,3				131,7	223,9	65,9
DV63 - topokrpi javor	29,3					77,1				137,5	232,9	55,6
DV64 - veliki jesen	50,5					58,2				179,4	207	81,8
DV65 - ostrolistni jesen	44,2					121,9				159,6	230,2	67,8
DV66 - gorski brest	25,8					51,5				122,1	228	48,5
DV67 - poljski brest	36,6					122,3				163,9	228,1	59,3
DV68 - lipa in lipovec	11,9					56,2				171,7	202,9	33,5
DV71 - beli gaber	9,9					120,5				195	181,8	28,2
DV72 - češnja	33,1					97,6				173,4	213,4	67,1
DV73 - maklen	34,6					106,9				169,3	213	82,2
DV74 - brek	24					131,3				171,2	190,2	99,6
DV75 - mokovec	52,8					85,2				166,7	208,9	122
DV76 - črni gaber	110,5					120,7				188	188,7	136,2
DV77 - mali jesen	66,4					109,3				176,8	216,3	69
DV78 - puhasti hrast	92,7					136,3				178,2	194	86,8
DV79 - cer	71,4					128,6				184,7	182,9	83,1
DV81 - trepetlika	21,6					79				142,4	224,7	50,5

– Se nadaljuje –

– Nadaljevanje preglednice št. 10 –

Spremenljivka	Žuželke	Bolezni	Divjad	Veter	Sneg	Žled	Plaz, usad	Požar	Emisija	Delo v gozdu	Drugo	S. s. skupaj
DV82 – topoli	40,5					128,3				173,8	222,9	73,6
DV83 - črna jelša	42,9					137,5				186,2	203,8	84
DV84 - siva jelša	31,8					92,7				148,9	230,7	57,2
DV85 - breza	20,1					66,8				162,3	220,6	47,5
DV86 - vrbe	37,6					121,2				164,6	225,8	68
DV87 - jerebika	42,2					123				117,4	214,4	57
DV89 - grmišča	42,9					96,1				149	227,1	76,3
GC DOLZ						18,6				5	107,5	9,6
IGL										44,3	15,3	3
LAST										6	11,1	7,3
LAST AVG										180,2	210,1	59,9
LAST POV										124,8	218,6	87,7
LST										48,6	16,7	4
RK	49,5					27,6				49,5	17,9	67
SPR RAZD AVG										208,8	171,1	196,1
SPR RAZD MAX										207,2	196,9	197,9
SPR RAZD MIN										210,6	196,4	197
SPR SMER										213	5,2	199,1
SPR SREDSTVO										206,7	19,6	195
TROH IGL	146,2					182,7				216	154,7	199,9
TROH LST	145					182,3				214	82,7	192,9
ZDR PESTR						7,7				34	82,3	23,9
HIDROGEO										212	4	46
MAT PODLAGA						1				161,5	2	16,6
MAT PODLAGA MED										189,5	1	21,6
MAT PODLAGA VAR										15,3	75,6	20,2
VODA RAZD										18,3	35,1	14,9
ETP0	138					173,9				131,7	162,9	184,5
ETP1	127,6					165,3				143,2	134,7	173,7
ETP2	129,7					167,8				150,8	141,9	174,2
ETP3	132,3					172,9				158,1	155,3	176,5
ETP4	130,1					170,2				161,9	112	170,3
ETP5	136,6					176				158,2	169,5	180,6
ETP6	138,3					175				154,9	175,9	182,7
ETP7	135,3					171,1				148,8	177,7	179,4
ETP8	133,9					168,9				141,5	178,9	178
ETP9	129,5					171,2				145,8	158,4	175,9
ETP10	122,3					159,1				147,7	96,1	167
ETP11	126,6					164,2				143,5	131,4	172
ETP12	125,2					166,3				139,9	140,3	170,4
KVG0	111,3					114,7				39,1	98,2	157,1
KVG1	123,5					131,4				27,4	94,7	177,3
KVG2	118,7					112,3				30,3	107,2	167,2
KVG3	113,8					108				35,3	99,5	161,3
KVG4	103,1					88,9				50,9	87,2	149,7
KVG5	101					100,4				56,6	76,2	146,4

– Se nadaljuje –

– Nadaljevanje preglednice št. 10 –

Spremenljivka	Žuželke	Bolezni	Divljad	Veter	Sneg	Žled	Plaz, usad	Požar	Emisija	Delo v gozdu	Drugo	S. s. skupaj
KVG6	98,6					84,8				65,3	63,4	143
KVG7	96,7					80,2				74,2	57,4	139,7
KVG8	106,4					99,2				52,5	102,6	148
KVG9	115,1					116,1				33,2	103,7	163,1
KVG10	117					120,4				31,7	132,9	165
KVG11	120,6					125				27	86,7	171,6
KVG12	129					135,3				20,4	70,2	182,8
PAD0	61,9					46,2				92,7	64,8	94,9
PAD1	69					30,1				103,4	51,6	90,5
PAD2	73					43,4				111,1	62,6	98,6
PAD3	75,9					46,6				115,4	88,2	117,9
PAD4	63					37,5				107,7	54,6	94,2
PAD5	80,6					41,1				113,7	64,1	109,4
PAD6	53,7					55,6				95,8	60,7	100
PAD7	51,5					59,4				107,1	45,1	96,6
PAD8	65,1					84,7				96,3	85,1	112,3
PAD9	70,4					49				55,1	51,7	81,1
PAD10	89,6					55,3				25	39,1	97,7
PAD11	86,4					35,6				104,4	46,5	94,2
PAD12	75,9					27,4				82,1	43,4	89,3
PAD11 12 1						32					48,8	86,7
RV0										153,2	38	
RV1										125,3	40,6	
RV2										159	29,3	
RV3										138,8	40,3	
RV4										91,4	159,1	
RV5										101,3	137,9	
RV6										101,6	96,6	
RV7										116,3	88,5	
RV8										133,8	58,7	
RV9										152,5	54,7	
RV10										152,2	37	
RV11										128,8	35,9	
RV12										77,8	43,9	
SNeg TRAJ0						95,1					102	
SNeg VISINA0						74,4					146,3	
STRELA											3	
SUS	123,6					177				140	91,5	163,7
SUS78	140,3					178,9					200,5	182
TMP0	79					105,8				88,7	122,4	131,8
TMP1	60,3					86,1				118,5	65	94,8
TMP2	86,5					62,3				77,6	111,7	132,2
TMP3	77,5					108,4				84,5	136,1	131,6
TMP4	83,1					64,6				65,4	153,2	128,9
TMP5	83					74,1				66,5	156,4	134,5
TMP6	79,4					102,4				77	160,4	129

– Se nadaljuje –

– Nadaljevanje preglednice št. 10 –

Spremenljivka	Žuželke	Bolezni	Divljad	Veter	Sneg	Žled	Plaz, usad	Požar	Emisija	Delo v gozdu	Drugo	S. s. skupaj
TMP7	70,4					71,4				90,4	143,3	128,3
TMP8	54,7					80,1				64,1	122,7	122
TMP9	59,4					96,1				67,8	113,4	106,1
TMP10	59,9					82,3				65,2	111,8	115,6
TMP11	65,9					78,5				92,5	99	117,4
TMP12	57,7					63,7				73	57,9	79,1
TMP11 12 1						73,1					74,3	98,8
TMP49	71,9					79,4					145,1	126,1
TSUM-10						81,7				85,6	118,9	123,1
TSUM-5						74,7				81,6	120,9	117
TSUM0						70,8				105,9	150,3	106,5
TSUM5	65,3					87,3				121,1	150,9	105,1
TSUM10	84,4					100				117	110,2	111,1
TSUM15						62,9				73,2	75,8	117,4
TSUM16	146,8					99				52,9	77,7	134,6
TSUM20						141,4				196,4	44,1	61
VETER0						154				85,3	139,7	
VETER1						155,9				98,8	125,2	
VETER2						158				54,6	125,3	
VETER3						160,8				75,5	150,8	
VETER4						160,5				81,1	152,5	
VETER5						149,9				79,4	120,3	
VETER6						148,6				96,4	130,8	
VETER7						156,1				98,4	125,1	
VETER8						147,9				109,8	133	
VETER9						151,7				86,8	137,5	
VETER10						145,2				83,9	122,8	
VETER11						162,2				84,5	147,2	
VETER12						152,7				68,5	114	
VETER11 12 1						158,2					133	
ZLED_OGR						2,6					17,3	
EMIS_CO_ODD											18,2	37,9
EMIS_NO2_ODD											21,6	29,4
EMIS_ODD											12,8	30
EMIS_PB_ODD											6,8	27
EMIS_PRAH_ODD											8,1	40,7
EMIS_SO2_ODD											10,2	34,8
CEST_ODD										11,2	151,8	138,6
ED	28,5					140,7				194,1	213,3	78,2
GOZD	6					135,9				210,4	50	39,5
GRAD	144					184				2	198,8	191,5
KMET	75,4					178,1				4	96,2	43,8
NASELJE_ODD										16,7	172,8	73,1
ODD_GOZD						6				1	140,1	1,2
ODD_GOZD_ROB						33,2				9,2	196,7	28,9
ODD_NEGOZD						93,3				7,1	198	52,1

– Se nadaljuje –

– Nadaljevanje preglednice št. 10 –

Spremenljivka	Žuželke	Bolezni	Divjad	Veter	Sneg	Žled	Plaz, usad	Požar	Emisija	Delo v gozdu	Drugo	S. s. skupaj
RABA_MAX										215	29	5,5
RABA_MED										17	6	8,4
RABA_VAR										181,9	160,4	35,7
TRAV	142,3					179,9				3	122,4	166
ZAPLATA						10				17,8	14,1	22,7
ŽELEZNICA_ODD										202,8	24,4	190,9
avg_z	85,6					66				59,4	169,4	136,3
EKSP	87,3					111,5				135	178,5	83,7
LAT											20,6	
LON											9	
max_z	57,4					59,7				74,5	167,7	120,7
min_z	100,5					87,3				39,4	158,4	147,3
NAKL	115,2					22,2				42,6	74,7	156,9
NAKL_MAX										122,8	71	40,3
NAKL_STDEV										125,1	131,5	61,2
stdev_z	109,3					52,6				34,8	168,4	151,1
TOPEX_05K						76,6				59,6	171,3	108,9
TOPEX_1K						45,8				44,1	165	127,9
TOPEX_2K						39,5				92,2	131,8	141,4
UKRIV_PLAN						40,5				41,8	220,4	185
UKRIV_PROFIL						32				50,2	204,2	188
UKRIV_PROFIL_MAX										105,7	188,8	142,8
UKRIV_PROFIL_STDEV										128,4	172,2	141,5
s302												
s303												
s304						43,2						
s305												
s306												
s307												
s308												
s309												
s310												
s311												
s2_11												
s4_5_6												
BD	105,2					141,7				94,3	213,1	157
BR15	90,3					100,3				43,5	63,3	154
CA	61,2					26,8				124,5	52,1	116,2
CN	120,1					4,4				183,6	114,6	178
CONA	111,1					180,8				60,4	27,4	193,5
DUSIK	7,4					26,9				39	194,2	18,2
FC	142,5					78,8				11,5	192,1	150
FOSF	15,3					30,2				172,3	84,4	12,7
GLINA	44,2					121,8				165,5	33,4	66,3
GLOB_TAL	39,2					33,9				140,5	106,8	50,7
GLOB_ZG	23,3					148,6				87,4	68,6	105

– Se nadaljuje –

– Nadaljevanje preglednice št. 10 –

Spremenljivka	Žuželke	Bolezni	Divjad	Veter	Sneg	Žled	Plaz, usad	Požar	Emisija	Delo v gozdu	Drugo	S. s. skupaj
H	47,6					51,3				44,9	45,1	63,3
K	45,2					128,3				157,3	205,7	105,6
KALIJ	27,4					47,1				50,3	173,6	42
KAMNIT	101,9					24,4				14,2	82,8	81,6
KSOIL	77,1					133,2				23,6	165,1	140,2
MELJ	98,5					7,1				199	31,5	151,5
MG	22,2					44				58,7	68,7	58,9
NA	54,3					111				166,3	164,4	106,4
OGLJ	140,9					13				191,1	124,7	190,7
OS	92,2					55				75,7	123,1	121,7
OS10										24,7	80	87,7
OS20										24,4	99,8	109,7
OS20nad										26,2	145	115,4
OS5										24,4	72,5	80,2
PES	45,2					115,8				158,9	47,8	68,2
PF	99,6					90,4				40	33,6	161,2
PH	31,1					44				138,6	105,4	51
POR	103,4					143,4				106,6	216,7	160,2
S	132					9,8				201,6	80,9	186,6
SKALNAT	28,3					31,4				10,1	85,5	22,5
T	135,2					11,2				197,6	55,6	185
tla antropogena	91,3					167,5				192,4	185,4	154
tla eluvialno iluvialna	2,1					15,6				120,9	180,8	6
tla halomorfna	25,8					85,8				141,1	232,1	53,8
tla humusno akumulativna	107,3					6,3				22,6	26,4	73,2
tla kambicna	12,4					19,4				184,3	12,5	16,6
tla nerazvita	113,2					143,9				173,9	195,6	156,7
tla obrecna	15,2					43,1				207,3	68,5	38,9
tla oglejena	2,9					121,2				204	128,5	15,8
tla psevdooglejena	8,8					141,4				199,8	179,2	34,8
tla sotna	18,3					100,6				106,9	222,1	42,4
V	102,4					15,2				204,7	30,4	160,5
Skupaj uporabljenih spremenljivk	159	151	157	180	180	184	179	213	214	216	233	200
Skupaj upoštevanih spremenljivk	137	10	111	133	115	105	5	61	74	136	97	168

Opomba: številke v stolpcih žuželke, žled, delo v gozdu, drugo in sanitarna sečnja skupaj pomenijo povprečen rang spremenljivke v izbranem modelu glede na njeno pomembnost. Rang je bil določen s pomočjo algoritma ReliefF v programu Weka

Legenda:

-  spremenljivka ni bila uporabljena za izgradnjo modela
-  spremenljivka je bila uporabljena za izgradnjo modela, vendar se ne pojavlja v izbranem modelu
-  spremenljivka je bila uporabljena za izgradnjo modela in se pojavlja v izbranem modelu

3.2.6 Predpostavke in omejitve modela

Modeli za napovedovanje sanitarne sečnje temeljijo na mnogih predpostavkah, kar omejuje njihovo uporabo. Poglavitna predpostavka je, da se pravila, ki so bila ugotovljena v procesu z algoritmi J48 in M5', ne bodo spremenila v spremenjenih razmerah, kot jih prinašajo podnebne spremembe, ampak bodo ostala enaka. Zaradi kompleksnosti sistema, kot je zdravje gozdov, se predvidoma lahko povezave med atributi spremenijo zaradi vpliva drugega atributa.

Korelacijski koeficient izbranih modelov za ocenjevanje sanitarne sečnje je od 0,50 do 0,66. To so srednje vrednosti korelacijskega koeficienta, ki pomenijo relativno velike napake v izračunih, zato moramo biti pri razlagi zelo previdni. Zaradi velikega tveganja prenosa napak v rezultate modelov smo se odločili, da ne bomo napovedovali eksplicitnih vrednosti poškodb zaradi stresnih dejavnikov na gozd, ampak bomo iz njih poskušali izluščiti relativna razmerja jakosti poškodb glede na razmere v obdobju 1995–2005.

Pri napovedih zaradi podnebnih sprememb smo domnevali, da bodo nekatere spremenljivke ostale konstantne, čeprav se bodo z veliko gotovostjo spremenile. Take so: drevesna sestava, delež gozdnatih površin v celici modela, indeks razdrobljenosti gozda, povprečni delež organske snovi v tleh, količina odmrle lesne biomase, lastništvo, spremenljivke o spravilu lesa idr.

Scenariji podnebnih sprememb so precej negotovi. Bolj verjetne napovedi so za bližnjo prihodnost. Negotovost smo v modelu zmanjšali tako, da smo vključili več scenarijev, ki obsegajo celoten interval možnih sprememb v temperaturi, količini padavin in intenzivnosti evapotranspiracije. Model so lahko ponovno zažene s podatki drugečnega scenarija ali s podatki z večjo prostorsko ločljivostjo. Predvsem se bodo lahko izboljšale napovedi, ko bodo izdelani scenariji podnebnih sprememb ne samo za 9 krajev, kot je to v našem primeru, ampak za celotno območje Slovenije z večjo ločljivostjo.

V Sloveniji zgradba modela za ocenjevanje zdravja gozda temelji na podatkih o sanitarnem poseku v obdobju od 1995 do 2005. Časovni niz 11 let je precej kratek, da bi lahko iz njega z večjo zanesljivostjo ugotavljali povezave med atributi za pojasnjevanje proučevanega dejavnika. Podatki o sanitarnem poseku pred letom 1995 sicer obstajajo, vendar so slabše prostorske ločljivosti in na splošno slabše kakovosti (Ogris, 2006), kar je onemogočalo njihovo uporabo za razvoj modela za ocenjevanje zdravja gozdov v Sloveniji. Zadovoljiv bi bil 30-letni časovni niz. Obdobje 1995–2005 ni dober referenčni niz še iz enega razloga: ker je to obdobje, kjer je že opaziti vpliv podnebnih sprememb (Walther in sod., 2002).

Če prekrivamo vhodne podatke iz različnih virov in ločljivosti, se pojavi napaka, ki se prenaša na rezultate. Ta vpliv se lahko zmanjša z večjo celico modela. V našem primeru je bila celica velika $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$, kar se ujema z najmanjšo ločljivostjo spremenljivk, t. j. podnebnimi spremenljivkami, druge spremenljivke imajo v izhodišču večjo ločljivost. Večino dejavnikov se hitreje spreminja v prostoru, kot je izbrana velikost celice modela. Predvsem se bi lahko verjetnost napovedi modela izboljšala, če bi imeli podatke večje ločljivosti talnih spremenljivk, predvsem pa naslednjih: gostota tal, poroznost tal, vodna

kapaciteta tal, točka venenja, evaporacija in prepustnost tal, katerih vrednosti so bile določene na podlagi razpredelnih vrednosti.

3.3 VPLIV SPREMENJENOSTI DREVESNE SESTAVE NA ZDRAVJE GOZDOV

V doktorski disertaciji preskušamo domnevi, ki trdita, da spremenjenost drevesne sestave vpliva na zdravje gozdov, tako v obdobju 1995–2005 kot tudi v prihodnjih podnebnih spremembah, in sicer:

1. S prvo hipotezo preskušamo ali obstajajo statistično značilne razlike med povprečnim sanitarnim posekom po razredih ohranjenosti drevesne sestave; najprej posebej v obdobju 1995–2005 in potem še v prihodnjih spremembah podnebja.
2. Z drugo hipotezo preskušamo trditev, da bo razlika med povprečnim sanitarnim posekom v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo v obdobju 1995–2005 in v podnebnih spremembah večja kot razlika med povprečnim sanitarnim posekom v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo v obdobju 1995–2005 in v podnebnih spremembah.

Prvo domnevo smo preskušali z enostavno analizo variance (ANOVA). Na podlagi izida ANOVA smo sklepali na vpliv spremenjenosti drevesne sestave na zdravje gozdov v obdobju 1995–2005 in v podnebnih spremembah. Za preskus domneve za obdobje 1995–2005 smo vzeli podatke o povprečnem sanitarnem poseku na leto v tem obdobju v deležu lesne zaloge po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave iz podatkovne zbirke Timber (1995–2005). Za preskus domneve v podnebnih spremembah smo vzeli podatke, ki so rezultat modela za ocenjevanje zdravja gozdov v Sloveniji, t. j. rezultate modela za napovedovanje skupne sanitarne sečnje v deležu lesne zaloge, in sicer v povprečni vrednosti sanitarnega poseka za 12 desetletnih obdobj od 1981 do 2100 po posameznih razredih ohranjenosti drevesne sestave.

Indeks spremenjenosti drevesne sestave lahko izračunamo z različnimi modelnimi stanji. Za preskus vpliva spremenjenosti drevesne sestave na zdravje gozdov smo izbrali dve klasifikaciji. Prva je indeks spremenjenosti drevesne sestave, ki sedanje stanje primerja z okvirnim naravnim stanjem (Smolej, 2001); to označujemo kot klasifikacijo po Smoleju. Druga klasifikacija o stopnji ohranjenosti drevesne sestave izhaja iz podatkovne zbirke Gozdni fondi (2001), ki se določa na terenu pri opisovanju sestojev (glej poglavje št. 2.5, str. 38); to označujemo kot klasifikacijo ZGS.

Drugo hipotezo smo preskusili, kot opisujemo v nadaljevanju. Najprej primerjamo povprečne razlike sanitarnega poseka med obdobjem 1995–2005 in prihodnjimi podnebnimi spremembami (tri scenariji) po posameznih stopnjah ohranjenosti drevesne sestave. Štiri stopenjsko lestvico ohranjenosti drevesne sestave smo pretvorili v dvostopenjsko, t. j. v gozdove z ohranjeno drevesno sestavo in v gozdove s spremenjeno drevesno sestavo. V drugi stopnji smo združili vse tri stopnje spremenjene drevesne sestave, t. j. spremenjeni, zelo spremenjeni in izmenjani gozdovi. Podatki za obdobje 1995–2005 so povprečni sanitarni posek po letih in po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave (Timber, 1995–2005). Podatki za prihodnje podnebne spremembe so rezultati modela za napovedovanje skupne sanitarne sečnje za obdobje 1981–2100 (dvanajst

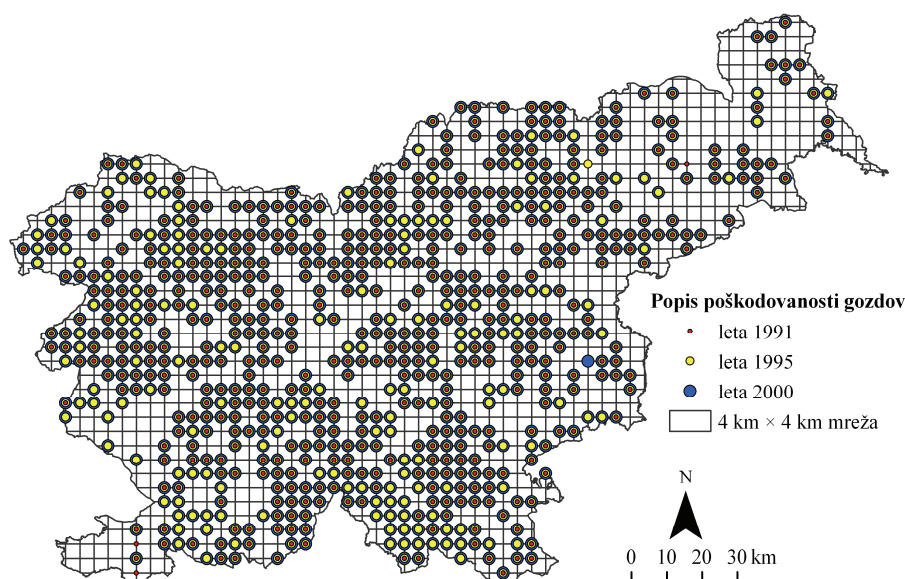
desetletnih obdobji po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave). Razliko povprečij smo izračunali s pomočjo intervala zaupanja za razliko povprečij (Košmelj, 2001: 126). Tako smo dobili tri razlike povprečij v ohranjenih gozdovih in tri razlike povprečij v spremenjenih gozdovih za tri različne scenarije podnebnih sprememb. Potem smo izračunali interval zaupanja za razliko povprečij med ohranjenimi in spremenjenimi gozdovi. Slednji interval zaupanja za razliko povprečij je pokazal, ali se bo zdravje gozda v spremenjenih gozdovih bolj poslabšalo kot v ohranjenih gozdovih. Preskus je bil izveden za dve klasifikaciji ohranjenosti drevesne sestave, t. j. po Smoleju in po ZGS.

3.4 INDEKS ZDRAVJA GOZDA

V okviru 3. ministrske konference za varstvo gozdov v Evropi (poglavje št. 2.3.1.3, str. 29), ki je potekala v Lizboni leta 1998, so v 2. resoluciji določena vseevropska merila, kazalci in operativne usmeritve za trajnostno gospodarjenje z gozdovi. Eno izmed šestih meril za trajnostno gospodarjenje je ohranjanje zdravja in vitalnosti gozdnih ekosistemov. Ocenjevanje ohranjenosti zdravja in vitalnosti gozda poteka prek štirih kazalcev. V Sloveniji imamo na voljo podatke zadovoljive kakovosti za dva kazalca, t. j. za kazalec poškodovanosti gozda zaradi biotskih in abiotskih vzrokov prek sanitarne sečnje in za osutost krošnje prek spremljanja razvrednotenja in poškodovanosti gozdov. Za preostala dva kazalca zdravja gozda, t. j. za spremenjenost kislosti tal in onesnaženost tal, pa sta nezadovoljive ločljivosti ($16 \text{ km} \times 16 \text{ km}$).

Ocenili smo zdravje gozda v Sloveniji za obdobje 1995–2005. Oceno zdravja smo izvedli s pomočjo dveh kazalcev za ocenjevanje ohranjenosti zdravja in vitalnosti gozda iz 2. lizbonske resolucije, t. j. s pomočjo sanitarne sečnje in osutosti krošnje¹³. Podatke o sanitarnem poseku drevja v Sloveniji smo črpali iz podatkovne zbirke o poseku drevja (Timber, 1995–2005). Podatke o osutosti krošnje dreves smo črpali iz popisa poškodovanosti gozdov (Kovač in sod., 2000). Prostorska ločljivost podatkov sanitarne sečnje je gozdni odsek, ki ima povprečno velikost 15,36 ha (Gozdni fondi, 2001). Ločljivost podatkov za osutost krošnje je točkovna na sistematični mreži $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$, kjer se osutost ocenjuje na traktih, ki so sestavljeni iz dveh M6 ploskev in ene koncentrične permanentne ploskve (Kovač in sod., 2000: 5). Popis osutosti krošenj na mreži $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$ se ne izvaja vsako leto ampak vsakih 2–10 let enkrat. Tako imamo podatke o osutosti za leta 1991, 1995 in 2000 (slika 17). Prostorsko ločljivost indeksa zdravja gozdov prilagodimo spremenljivki z najbolj grobo ločljivostjo, t. j. v našem primeru osutosti krošenj, ki se nahaja v ločljivosti $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$. Tako je ocena osutosti v celici modela pravzaprav povprečje osutosti krošenj dreves iz 1–4 traktov in treh let, t. j. 1991, 1995 in 2000. Pri tem smo predpostavljali, da je osutost enaka na celotni površini posamezne celice. Ocena sanitarne sečnje v celici je izražena kot povprečje sanitarne sečnje v obdobju 1995–2005; izražena je kot delež poseka v lesni zalogi celice.

¹³ Osutost je okularno ocenjen delež (%) manjkajočih asimilacijskih organov (listov, iglic) v primerjavi z namišljenim normalnim drevesom istega socialnega položaja, iste drevesne vrste in z enakega rastišča. Ocenjuje se na 5 % natančno. Cilj ocenjevanja osutosti je ocena vitalnosti drevesa skupaj z drugimi znaki (Kovač in sod., 2000: 26).



Slika 17: Točke popisa poškodovanosti gozdov v Sloveniji v letih 1991, 1995 in 2000 na mreži 4 km × 4 km

Oceno zdravja gozdov z dvema od štirih kazalcev iz 2. lizbonske resolucije smo izvedli s pomočjo indeksa zdravja ekosistema (Jørgensen in sod., 2005), ki smo ga obravnavali v poglavju št 2.6.2 o postopkih presoje zdravja ekosistema (str. 42). V postopku za izračun *EHI* (enačba 3, str. 44) potrebujemo določiti utež za vsak kazalec zdravja gozda. Sanitarnemu poseku smo priredili utež 1/10, osutosti krošenj pa za 2-krat večjo utež, t. j. 1/5. S takšno postavitvijo uteži smo predpostavljali, da sanitarna sečnja 2-krat bolj vpliva na oceno zdravstvenega stanja gozda, t. j. ga zmanjšuje, kot ocena osutosti krošnje dreves, saj pri sanitarni sečnji gre za to, da je iz gozda že odstranjeno bolno, poškodovano ali sušeče se drevja, pri oceni osutosti krošnje pa drevo še vedno stoji v gozdu ne glede na to, kolikšna je njegova osutost in vitalnost. Nadalje velja predpostavka, da je gozd najbolj bolan, ko je *EHI* enak 0, in popolnoma zdrav, kadar je *EHI* enak 100. Potem pri oceni zdravja gozda velja predpostavka, da je gozd zdrav takrat, ko v celici modela ni sanitarne sečnje in osutosti. Vse navedene predpostavke so narekovalle postavitev uteži.

Indeks zdravja gozda smo izračunali za celotno območje Slovenije za obdobje 1995–2005. Izdelali smo karto in preglednico indeksa zdravja gozda na ravni GGO.

4 REZULTATI

4.1 REZULTATI MODELOV ZA ŠTIRI VRSTE SANITARNIH SEČENJ

V tem poglavju navajamo rezultate modelov za ocenjevanje posameznih vrst sanitarnih sečenj, in sicer za sanitarni posek zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in drugih vzrokov (koda sečnje 311 in 911 po ZGS). Ker so to rezultati za samo 4 vrste od skupaj 11 vrst sanitarnih sečenj, z njimi ne dobimo celostne podobe o strukturi sanitarnega poseka. Zato z njimi ne moremo preskušati hipoteze o vplivu podnebnih sprememb na zdravstveno stanje gozdov. Rezultati so zanimivi z vidika posameznih vrst sanitarnih sečenj. Projekcije nakazujejo trende pojavljanja sanitarnih sečenj zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in drugih vzrokov do konca 21. stoletja za tri različne scenarije podnebnih sprememb. Pri razlagi rezultatov se moramo vedno zavedati, kakšne zanesljivosti so. Zanesljivost regresijskih dreves merimo s korelacijskim koeficientom, klasifikacijskih dreves pa s koeficientom kapa (preglednica 11). Korelacijski koeficienti: za model ocenjevanja sanitarnih sečenj zaradi žuželk $r = 0,67$, žleda $r = 0,64$, dela v gozdu $r = 0,61$. Koeficient kapa za model za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov znaša 0,50.

Modeli za ocenjevanje potencialnih sanitarnih sečenj so odločitvena drevesa. Velikost odločitvenih dreves se izraža v številu listov. V izbranih modelih se število listov giblje med 112 in 435 (preglednica 11). Tako velika odločitvena drevesa je težko pregledno prikazovati. Zato smo se odločili, da jih v disertaciji v izvorni velikosti ne bomo prikazovali. Vsa izvorna odločitvena drevesa so na ogled pri avtorju disertacije. V prilogah A, B, C in D prikazujemo porezana odločitvena drevesa za štiri vrste sanitarnih sečenj.

Preglednica 11: Zanesljivost in velikost modelov za ocenjevanje sanitarne sečnje

Model	Korelacijski koeficient	Koren relativne kvadratne napake	Velikost drevesa **
Žuželke	0,67	75,0	435
Žled	0,64	77,0	112
Delo v gozdu	0,61	79,6	116
Drugo	0,50*	85,7	156
S. s. skupaj	0,46	89,0	622***

Opombe:

*koeficient kapa

** velikost drevesa je podana s številom listov odločitvenega drevesa

*** vsota števila linearnih modelov iz izbranih štirih modelov (glej poglavje št. 3.2.4, str. 53)

Iz porezanega regresijskega drevesa za sanitarno sečnjo zaradi žuželk (priloga A) lahko ugotovimo, da je najodločilnejša spremenljivka $s2_11$, ki podaja količino sanitarne sečnje zaradi vseh vzrokov razen žuželk izraženo v deležu lesne zaloge celice modela. V isto kategorijo spadata še spremenljivki $s306$ in $s305$, ki izražata sanitarni posek zaradi žledu in snega; nahajata se v tretjem in četrtem nivoju regresijskega drevesa. Vse tri spremenljivke posredno opisujejo trofično kapaciteto gozda za žuželke. Na drugem mestu pomembnosti sta spremenljivki $DV11$ in $ETP0$, ki podajata delež smreke v celici modela in letno referenčno evapotranspiracijo. Znano je, da med žuželkami največ škode povzročajo podlubniki na smreki (preglednica 4). Zato je verjetno odločilno, koliko je smreke v

določenem območju, da nastanejo poškodbe zaradi podlubnikov. Poleg spremenljivke ETP0 se v porezanem regresijskem drevesu nahajajo še druge spremenljivke, ki so povezane s sušnim stresom, t. j. sušnost v juliju in avgustu (SUS78), količina padavin v juliju (PAD7), evapotranspiracija v juniju (ETP6), kvaziglobalno obsevanje v maju in juniju (KVG5, KVG6). Močna zasedenost spremenljivk v regresijskem drevesu, ki so povezane s sušnim stresom, nakazujejo, kako pomemben je sušni stres kot predpogoj za napad podlubnikov. V nižjih nivojih regresijskega drevesa se nahajajo spremenljivke: povprečni delež organske snovi v tleh (OS), delež kostanja (DV55), delež trepetlike (DV81), delež gozda v celici modela (GOZD). Vse slednje spremenljivke podrobneje odločajo, kateri linearni model se uporabi pri izračunu sanitarne sečnje zaradi žuželk.

Pri modelu za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žledu je najodločilnejša spremenljivka referenčna evapotranspiracija v maju (ETP5), kar je razvidno iz porezanega regresijskega drevesa (priloga B). Na drugem nivoju odločanja v regresijskem drevesu se nahajata spremenljivki: najmanjša nadmorska višina ($\min_z$) in količina padavine v mesecu avgustu (PAD8). Pri poškodbah gozdnega drevja zaradi žledu so odločilne še naslednje spremenljivke: količina padavin v decembru (PAD12), skupna višina novozapadlega snega in povprečno trajanje snežne odeje (SNEG_VISINA0, SNEG_TRAJ0), povprečna temperatura zraka med novembrom in januarjem (TMP11_12_1), kvaziglobalno obsevanje v januarju (KVG1) in vrsta matične podlage (MAT_PODLAGA). Na nižjih nivojih v regresijskem drevesu so pomembne naslednje spremenljivke: kvaziglobalno obsevanje v juliju (KVG7), količina kostanja (DV55), količina črnega gabra (DV76), količina gradna (DV51), količina smreke (DV11), količina izmenljivega kalija v tleh (KALIJ).

Pri modelu za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu je najodločilnejša povprečna letna relativna zračna vlažnost (RV0) (priloga C). Na drugem mestu po pomembnosti sta spremenljivki, ki podajata velikost zaplate (ZAPLATA) in količino kostanja v celici modela (DV55). Na različnih nivojih regresijskega drevesa se nahaja več spremenljivk o relativni zračni vlažnosti, in sicer v mesecu januarju, februarju, avgustu in oktobru. V regresijskem drevesu zavzema odločilno mesto še več podnebnih spremenljivk: evapotranspiracija v juniju (ETP6), količina padavin v septembru (PAD9), kvaziglobalno obsevanje v juliju (KVG7). Koliko poškodb gozdnega drevja nastane zaradi dela v gozdu odloča tudi povprečna velikost posesti (LAST_POV) in število lastnikov v celici (LAST_AVG). V določenih povezavah z drugimi spremenljivkami so pomembne tudi nekatere spremenljivke o tleh, t. j. koliko je organske snovi na globini 0–5 cm (OS5) in na globini 10–20 cm (OS20) ter kakšna je izmenjalna kapaciteta tal (T).

Na prvem nivoju klasifikacijskega drevesa za ocenjevanje potencialnih površin, kjer lahko nastane sanitarna sečnja zaradi drugih vzrokov (priloga D) se nahaja spremenljivka, ki določa delež jelke v celici modela (DV21). Če je delež jelke v celici modela manjši ali enak 18,3 % LZ, potem je pomembno, koliko padavin pade v septembru (PAD9). Če je delež jelke večji kot 18,3 % LZ, potem je pomembno, kje se gozd nahaja, t. j. na kateri geografski dolžini (LON). V modelu za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov pomembno mesto zavzemajo podnebne spremenljivke: relativna zračna vlažnost v juliju (RV7), količina padavin v marcu (PAD3), povprečno trajanje snežne odeje (SNEG_TRAJ0), verjetnost sušnega stresa (SUS). Od talnih spremenljivk so odločilne naslednje spremenljivke: kolikšen je delež humusno akumulativnih tleh (tla_humusno_akumula-

tivna) in koliko je izmenljivega fosforja v tleh (FOSF). Na nižjih nivojih klasifikacijskega drevesa se še nahajajo spremenljivke: oddaljenost od najbližjega gozda (ODD_GOZD), velikost največje zaplate gozda v celici modela (ZAPLATA), oddaljenost od največjih virov onesnaževalcev zraka s prahom (EMIS_PRAH_ODD).

Zaradi izredne velikosti odločitvenih dreves nismo prikazovali njihove izvirne zgradbe. Lahko pa prikažemo, kako spremenljivke pojasnjujejo model oz. koliko so pomembne pri odločitvah v odločitvenem drevesu. Za posredno pojasnjevanje pomembnosti spremenljivk pri posameznem modelu lahko uporabimo rezultate algoritma ReliefF (preglednica 12), saj algoritem upošteva medsebojne odvisnosti spremenljivk in izraža njihovo pomembnost v povprečnem rangju (Kononenko, 1994; Robnik-Šikonja in Kononenko, 1997). Preglednica 12 prikazuje najpomembnejših 20 spremenljivk za model za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žuželk, žledu, dela v gozdu in drugih vzrokov. Cel seznam spremenljivk in njihovih rangov po pomembnosti je prikazan že v metodah dela (preglednica 10).

V modelu za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žuželk so zelo pomembne spremenljivke, ki podajajo drevesno sestavo (preglednica 12). Kar 11 spremenljivk od najpomembnejših 20 je vezano na delež drevesne vrste v celici modela. Od teh je najpomembnejši delež smreke. To je razumljivo, saj je znano, da večino poškodb v sanitarni sečnji zaradi žuželk povzročajo smrekovi in jelovi podlubniki (Jurc D in sod., 2003). Na drugem mestu pomembnosti so spremenljivke, ki opisujejo talne tipe. To lahko razložimo z zgodovinskim dejstvom, da je smreka bila pospeševana po celem območju Slovenije – tudi na neavtohtonih rastiščih. Eden najpomembnejših rastiščnih dejavnikov so talni tip. To dejstvo, da je ReliefF postavil talne tipe tako visoko v ranžirni vrsti, morda dokazuje, da je predpogoj za izločanje smreke in jelke zaradi podlubnikov na nekem območju prav talni tip, t. j. neustrezno rastišče. Med najpomembnejšimi 20. spremenljivkami v modelu za žuželke sta še količina dušika in fosforja v tleh. Visoko korelacijo napadov smrekovih podlubnikov z vsebnostjo dušika in fosforja v tleh je že ugotavljal Dutilleul in sod. (2000).

Pri modelu za ocenjevanje sanitarne sečnje, ki nastane zaradi delovanja žledu, je najodločilnejša spremenljivka vrsta matične podlage (preglednica 12). To je razumljivo, saj je žledolom neposredno povezan z mehansko stabilnostjo drevesa, pri kateri je pogostokrat najodločilnejša prav vrsta matične podlage, ki določa, kako se drevo zakoreninja v tla. Med pomembnejše spremenljivke so se uvrstile spremenljivke, ki opisujejo drevesno sestavo v modelu. Predvsem je pomemben delež smreke, jelke, bukve, gorskega javorja in domačega kostanja v celici modela. To se približno ujema z deležem sanitarnega poseka zaradi žledu po drevesnih vrstah, t. j. zaradi žledu se največ poseka bukve, smreke in rdečega bora (Timber, 1995–2005; preglednica 4). Na tretjem mestu ranžirne vrste je stopnja ogroženosti zaradi pojava žledu. V skupini prvih 20 najpomembnejših spremenljivk se nahajajo tudi nekatere kemijske lastnosti tal, npr. CN, S, T, OGLJ in V. Visoko na ranžirni lestvici se nahaja delež melja, ki je eden od treh spremenljivk, ki določajo teksturo tal, ki pomembno prispeva k opisu mehanskih lastnosti tal. Zdi se, da je za nastanek žledoloma pomemben tudi krajinski vidik. Zato se v lestvici 20 najpomembnejših spremenljivk nahaja ODD_GOZD (povprečna oddaljenost do najbližjega gozda) in ZAPLATA (površina največje zaplate v celici). Pomembno je tudi, kakšna je pestrost gozdnih združb; iz zgradbe modela za žled je razvidno, da se žledolomi pogosteje pojavljajo tam, kjer je manjša pestrost gozdnih združb oz. kjer se pojavljajo enoličnejši sestoji.

Preglednica 12: Najpomembnejših 20 spremenljivk za model za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žuželk, žledu, dela v gozdu in drugih vzrokov. Pomembnost spremenljivke je izražena v povprečnem rangju rezultatov algoritma ReliefF

Model – žuželke		Model – žled	
Spremenljivka	Rang	Spremenljivka	Rang
DV11	1	MAT_PODLAGA	1
tla_eluvialno_iluvialna	2,1	DV11	2,4
tla_oglejena	2,9	ZLED_OGR	2,6
DV51	4	CN	4,4
DV31	5,1	ODD_GOZD	6
GOZD	6	tla_humusno_akumulativna	6,3
DUSIK	7,4	MELJ	7,1
DV21	8,5	ZDR_PESTR	7,7
tla_psevdooglejena	8,8	S	9,8
DV71	9,9	ZAPLATA	10
DV41	11	T	11,2
DV68	11,9	DV21	12,5
tla_kambicna	12,4	DV41	12,8
tla_obrecna	15,2	OGLJ	13
DV52	15,3	V	15,2
FOSF	15,3	tla_eluvialno_iluvialna	15,6
DV33	16,3	DV61	16,9
tla_sotna	18,3	DV55	18,2
DV61	19	GC_DOLZ	18,6
DV85	20,1	tla_kambicna	19,4

Model – delo v gozdu		Model – drugo (koda 311 ali 911 ZGS)	
Spremenljivka	Rang	Spremenljivka	Rang
ODD_GOZD	1	MAT_PODLAGA_MED	1
GRAD	2	MAT_PODLAGA	2
TRAV	3	STRELA	3
KMET	4	HIDROGEO	4
GC_DOLZ	5	SPR_SMER	5,2
LAST	6	RABA_MED	6
ODD_NEGOZD	7,1	EMIS_PB_ODD	6,8
DV21	7,9	EMIS_PRAH_ODD	8,1
ODD_GOZD_ROB	9,2	LON	9
SKALNAT	10,1	EMIS_SO2_ODD	10,2
CEST_ODD	11,2	LAST	11,1
FC	11,5	tla_kambicna	12,5
DV11	13	EMIS_ODD	12,8
KAMNIT	14,2	ZAPLATA	14,1
MAT_PODLAGA_VAR	15,3	IGL	15,3
NASELJE_ODD	16,7	LST	16,7
RABA_MED	17	ZLED_OGR	17,3
ZAPLATA	17,8	RK	17,9
VODA_RAZD	18,3	EMIS_CO_ODD	18,2
KVG12	20,4	SPR_SREDSTVO	19,6

Opomba: sivo obarvana polja označujejo spremenljivke, ki jih je algoritem ReliefF sicer spoznal za pomembne, vendar so jih M5' in J48 ter sam postopek izbora optimalnega modela izločili iz modelov

Pri modelu za ocenjevanje sanitarnega poseka drevja, ki ga treba posekati zaradi poškodb, ki nastanejo pri delu v gozdu, je pomemben drugačen sklop spremenljivk v primerjavi z

modeloma za žuželke in žled (preglednica 12). Tukaj so pomembnejše tiste spremenljivke, ki so v odvisnosti s posekom in spravirom lesa, t. j. s tehnologijo pridobivanja lesa. Najpomembnejša spremenljivka v modelu za delo v gozdu je povprečna oddaljenost do najbližjega gozda. Druga najpomembnejša je dolžina gozdnih cest in tretja vrsta lastništva. V ranžirni lestvici se nahajajo še druge spremenljivke, ki so vezane na razdaljo, to so: oddaljenost od gozdnega roba, oddaljenost do ceste, oddaljenost do naselja in oddaljenost do vodotoka. Težavnost dela v gozdu je v odvisnosti tudi od vrste matične podlage, skalovitosti in kamnitosti. Vse slednje spremenljivke so tudi zajete v seznamu najpomembnejših 20 spremenljivk za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu. Med pomembnejše spremenljivke so uvrščene še delež jelke in smreke v celici modela. To se delno ujema s sanitarnim posekom zaradi dela v gozdu v obdobju 1995–2005 (Timber), kjer je razvidno, da delo v gozdu najbolj poškoduje smreko, bukev in jelko (preglednica 4).

Za model za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov so pomembni splošnejši dejavniki v primerjavi z drugimi modeli (preglednica 12). Najpomembnejša spremenljivka za model za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov je tip hidrogeološke podlage. Ta vrsta sanitarne sečnje je odvisna od skupine dejavnikov, ki so povezani z onesnaževanjem zraka, t. j. npr. spremenljivki, ki podajata povprečno oddaljenost od največjih virov onesnaževalcev zraka zaradi prahu in CO. Ta odvisnost lahko nakazuje na to, da se v to skupino sanitarnih sečenj večinoma vpisuje poškodbe gozdov zaradi neznanih vzrokov, oz. poškodbe gozdov s sumom na daljinski transport onesnaženega zraka. Pomembne spremenljivke za model za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov so še geografska dolžina, vrsta lastništva, velikost največje zaplate in rastiščni koeficient v celici modela.

4.1.1 Obravnavanje potencialnih sprememb sanitarnega poseka v deležu lesne zaloge

Preskusili smo ujemanje podatkov med projekcijami modelov za ocenjevanje sanitarne sečnje za obdobje 1991–2000 po scenariju B in veljavnimi podatki za obdobje 1995–2005. Domnevamo, da se bi morala primerjava podatkov približno ujemati, če bi želeli prikazovati podatke iz projekcij takšne, kot so. Če se podatki iz projekcij in veljavnih podatkovnih zbirk ne ujemajo dovolj natančno, menimo, da iz projekcij lahko sklepamo kvečjemu na trende pojavljanja, ne smemo pa se naslanjati na konkretne vrednosti. Rezultat preskusa ujemanja podatkov med projekcijami in trenutno veljavnimi podatki je pokazal, da se podatki za večino vrst sanitarnih sečenj precej razlikujejo (preglednica 13). Razlika je dovolj majhna ($\pm 10\%$) le za sanitarno sečnjo zaradi dela v gozdu. Zato je model za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu edini, katerega podatke projekcij lahko prikazujemo v dejanskih izračunanih vrednostih (slika 18). Za vse druge modele, t. j. model za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žuželk in žleda, pa projekcije modelov lahko služijo le za ocenjevanje splošnih trendov.

Splošne trende potencialne sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda in drugih vzrokov smo ugotavljali s pomočjo koeficienta linearne regresije. Izvedli smo linearno regresijo za štiri vrste sanitarnih sečenj, kjer je bila odvisna spremenljivka povprečni delež sanitarne sečnje v lesni zalogi v obdobju 10 let, neodvisna spremenljivka pa desetletno obdobje na intervalu 1981–2100 (12 obdobj) in za tri scenarije podnebnih sprememb. Koeficient neodvisne

spremenljivke v linearni funkciji, ki ga izračunamo z linearno regresijo, pove naklon premice in s tem podaja določeno informacijo. Če ima koeficient pozitiven predznak, to pomeni, da ima določena vrsta sanitarne sečnje v izbranem scenariju podnebnih sprememb trend večanja potencialnih sanitarnih sečenj. Negativni predznak koeficienta pa pomeni splošni trend zmanjševanja potencialne sanitarne sečnje. Sama vrednost koeficienta pove, za koliko največ (v % lesne zaloge) se bo povprečno spremenila potencialna sanitarna sečnja v 10 letih na območju celotne Slovenije. Preglednica 14 prikazuje povprečne spremembe sanitarne sečnje na 10 let po treh scenarijih podnebnih sprememb. Enake rezultate nazorneje prikazuje preglednica 15, kjer so rezultati prikazani kot indeks povprečne spremembe sanitarne sečnje za 10 let v odstotkih glede na povprečje iz obdobja 1995–2005.

Preglednica 13: Razlika (v %) med projekcijo modelov za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda in dela v gozdu za obdobje 1991–2000 po scenariju B in veljavnih podatkih ZGS za obdobje 1995–2005

Model s. s.	Povprečje, ZGS, 1995–2005 (% LZ)	Povprečje, projekcija modela, 1991–2000 (% LZ)	Razlika (%)
Žuželke	0,77	3,10	300,5
Žled	0,34	0,14	–59,8
Delo v gozdu	0,12	0,11	–5,8

Rezultati modela za ocenjevanje potencialnih sanitarnih sečenj zaradi žuželk nakazujejo na to, da se bo intenzivnost poškodb zaradi žuželk najbolj povečala v scenariju C, manj v scenariju B in najmanj v scenariju A podnebnih sprememb (preglednica 14, preglednica 15). V scenariju A je projekcija povečanje povprečnih potencialnih poškodb zaradi žuželk, in sicer za 0,025 % v lesni zalogi na 10 let oz. 3,2 % več poškodb na 10 let glede na povprečni podatek iz referenčnega obdobja 1995–2005. Po scenariju B se bo potencialni sanitarni posek zaradi žuželk povprečno povečeval za 4,1 %, po scenariju C pa za 7,9 % na 10 let glede na referenčno obdobje.

Zagon modela za ocenjevanje potencialnih poškodb zaradi žleda kaže trend splošnega zmanjševanja poškodb (preglednica 14, preglednica 15). Po scenariju B v zagonu modela je projekcija zmanjševanja potencialnih sanitarnih sečenj zaradi žleda za povprečno 0,008 % LZ na 10 let oz. je to v indeksu spremenjenosti glede na referenčno obdobje 1995–2005 2,2 % na 10 let. Po scenariju C so potencialne poškodbe zaradi žleda še nekoliko manjše kot po scenariju B.

Model za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu je bil izračunan za obdobje 1981–2040 za razliko od ostalih modelov, ki so bili izračunani za obdobje 1981–2100. Razlog za to je v predpostavki, ki trdi, da so poškodbe drevja v gozdu, ki nastanejo zaradi dela, predvsem odvisne od tehnologije dela in ne od podnebnih sprememb. Ker se bo verjetno tehnologija dela v gozdu v naslednjih desetletjih spreminjala, smo skrajšali projekcijo modela za delo v gozdu do leta 2040. Zagon modela za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu predvideva zmanjševanje poškodb zaradi dela v gozdu (preglednica 14, preglednica 15). Če vzamemo scenarij C, kjer je pričakovati največje zmanjšanje potencialnih poškodb drevja zaradi dela v gozdu, zmanjšanje znaša povprečno 0,003 % lesne zaloge v desetih let oz. izhodiščno stanje, kar pomeni povprečno 2,3 % manj poškodb na 10 let. Model za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu je edini model, za katerega je smiselno prikazovati potencialno gibanje sanitarne sečnje v

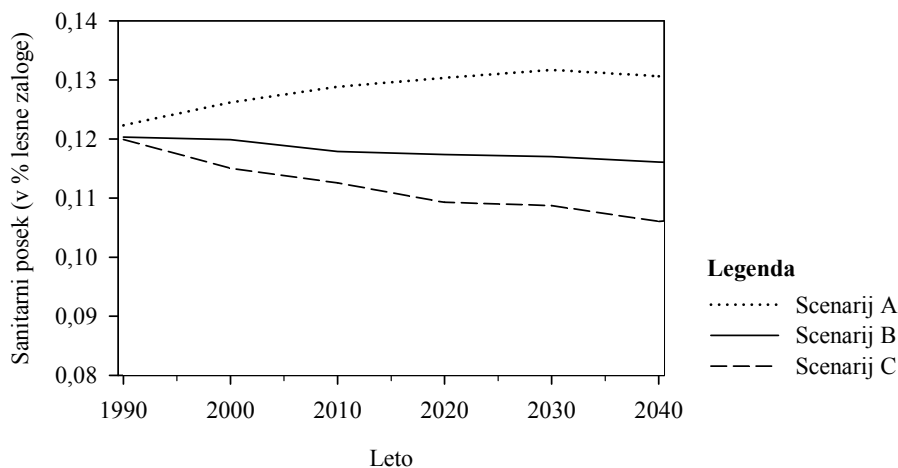
napovedanih vrednostih, saj se povprečne vrednosti projekcij za obdobje 1991–2000 dobro ujemajo z dejanskimi vrednostmi za obdobje 1995–2005 (preglednica 13). Slika 18 prikazuje projekcijo za povprečni sanitarni posek zaradi dela v gozdu na celico modela v obdobju 1990–2040 v Sloveniji. Grafikon potrjuje že ugotovljeno iz prej omenjenih preglednic (preglednica 14, preglednica 15). Projekcija za zagon modela se ob scenariju B komajda nekoliko zmanjša v obdobju 100 let. Kar nakazuje, da bodo podnebne spremembe verjetno zelo malo vplivale na sanitarno sečnjo zaradi dela v gozdu.

Preglednica 14: Povprečna sprememba sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda in dela v gozdu na 10 let (v % lesne zaloge) v Sloveniji po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb; model za žuželke in žled za obdobje 1981–2100, model za delo v gozdu za obdobje 1981–2040

Vrsta sanitarne sečnje	Scenarij A	Scenarij B	Scenarij C
Žuželke	0,025	0,032	0,061
Žled	–0,003	–0,008	–0,008
Delo v gozdu	0,002	–0,001	–0,003

Preglednica 15: Indeks povprečne spremembe potencialnega deleža v lesni zalogi za sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda in dela v gozdu na 10 let (v %) glede na povprečje 1995–2005 v Sloveniji po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb; model za žuželke in žled za obdobje 1981–2100, model za delo v gozdu za obdobje 1981–2040

Vrsta sanitarne sečnje	Scenarij A	Scenarij B	Scenarij C
Žuželke	3,17	4,12	7,93
Žled	–0,80	–2,22	–2,47
Delo v gozdu	1,46	–0,74	–2,26



Slika 18: Projekcija za povprečni sanitarni posek zaradi dela v gozdu (v % lesne zaloge) v obdobju 1981–2040 v Sloveniji

4.1.2 Obravnavanje potencialnih sprememb sanitarnega poseka na površini

Modeli za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in skupne sanitarne sečnje napovedujejo vrednosti v zvezni odvisni spremenljivki, t. j. v količini poseka, ki je izražena v deležu lesne zaloge. Model za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov je v primerjavi s prej naštetimi modeli različen v tem, da je njegova odvisna spremenljivka pojavljanje potencialne sanitarne sečnje v celici

modela v diskretni spremenljivki, t. j. v vrednostih 1 ali 0. Model za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov nam podaja neposredno potencialno površino, ki jo lahko prizadene ta vrsta sanitarne sečnje. Modeli za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in skupne sanitarne sečnje zaradi zvezne odvisne spremenljivke ne podajajo neposredne površinske predstave. Da lahko iz slednjih modelov pridobimo informacijo o površini pojava, moramo za vsak model določiti spodnjo mejo odvisne spremenljivke, ob kateri se celica modela začne šteti kot potencialna površina, kjer lahko nastane sanitarni posek določenega vzroka. Spodnje meje so določene v posebni preglednici (preglednica 16). Spodnja meja za dejansko sanitarno sečnjo v obdobju 1995–2005 je spodnja meja 95 % intervala zaupanja. Izračun spodnjih mej za projekcije temelji na predpostavki, da se dejanska poškodovana površina iz obdobja 1995–2005 mora ujemati s poškodovano površino, kot jo napovedujejo modeli za obdobje 1991–2000 za scenarij B podnebnih sprememb.

Preglednica 16: Spodnje meje odvisne spremenljivke (% LZ) v modelih za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in skupne sanitarne sečnje za izračun potencialno poškodovanih površin

Vrsta s. s.	Obdobje 1995–2005, dejanski podatki ZGS*	Obdobje 1995–2005, projekcija z modelom**	Projekcija za obdobje 1990–2000, scenarij B***
Žuželke	0,74	0,97	3,27
Žled	0,32	0,54	0,24
Delo v gozdu	0,11	0,19	0,19
S. s. skupaj	2,34	3,07	4,34

Opombe: spodnje meje odvisne spremenljivke so bile določene za različne primere prikaza rezultatov modelov (slika 20, slika 21, slika 22, slika 25): * za prvo karto na prej omenjenih slikah, ** za drugo karto in *** za vse preostale karte, ki se nanašajo na projekcije podnebnih sprememb

Rezultati obdelav o potencialni površini, kjer se lahko pojavi sanitarna sečnja, so prikazani na različne načine v več preglednicah in slikah. Slika 19 prikazuje 8 grafikonov s projekcijami gibanja potencialno poškodovanih površin zaradi 4 različnih vzrokov sanitarnih sečenj. Poleg te slike (slika 19) se lahko za pojasnjevanje splošnih trendov sanitarnih sečenj uporabljata še dve preglednici (preglednica 17, preglednica 18), v katerih so navedene povprečne spremembe potencialno poškodovanih površin na 10 let. Na koncu tega poglavja so štiri slike, ki prikazujejo prostorski razpored potencialnih sanitarnih posekov zaradi štirih različnih vzrokov (žuželke, žled, delo v gozdu, drugo) (slika 20, slika 21, slika 22, slika 23). Za razlago slednjih slik so bile izdelane štiri preglednice, ki slike pojasnjujejo v številkah (preglednica 19, preglednica 20, preglednica 21, preglednica 22).

Iz grafikonov (slika 19) lahko sklepamo o splošnem trendu gibanja potencialnih površin za posamezne vrste sanitarne sečnje pa tudi o potencialnih spremembah med posameznimi desetletji v obdobju 1981–2100. Splošni trend v kvantitativni obliki podajata preglednici (preglednica 17, preglednica 18). Splošni trend je izražen kot koeficient linearne regresije, ki podaja informacijo o povprečni spremembi potencialno poškodovane površine na 10 let.

Zagon modela za ocenjevanje poškodb zaradi žuželk v scenariju A kaže zmanjševanje, pri scenarijih B in C pa večanje potencialno dovzetnih površin za poškodbe zaradi žuželk. Po scenariju C je trend večanja povprečno 150 km² na 10 let, izraženo v indeksu povprečnih sprememb potencialnih površin je to 3,1 % na 10 let glede na površino, ki so jo žuželke prizadele v obdobju 1995–2005.

Projekcije gibanja potencialno poškodovanih površin zaradi žleda se zaradi vpliva podnebnih sprememb zmanjšujejo. Rezultati nakazujejo, da se bo verjetno zmanjšala površina, kjer bo potencialno nastala sanitarna sečnja zaradi žleda, t. j. povprečno do 197 km² v 10 letih manj površin oz. 6,1 % na 10 let, izraženo v indeksu povprečnih sprememb v scenariju C glede na referenčno obdobje 1995–2005.

Podnebne spremembe bodo predvidoma pozitivno vplivale na poškodbe gozdnega drevja zaradi dela v gozdu, saj model napoveduje zmanjševanje potencialno poškodovanih površin v vseh treh scenarijih podnebnih sprememb. Projekcija poškodb se zelo počasi manjša po vseh scenarijih; v scenariju A najhitreje, in sicer napoveduje povprečno zmanjševanje potencialno poškodovanih površin zaradi dela v gozdu do 32 km² v 10 letih, kar pomeni 0,9 % poškodovane površine v obdobju 1995–2005 (preglednica 17, preglednica 18).

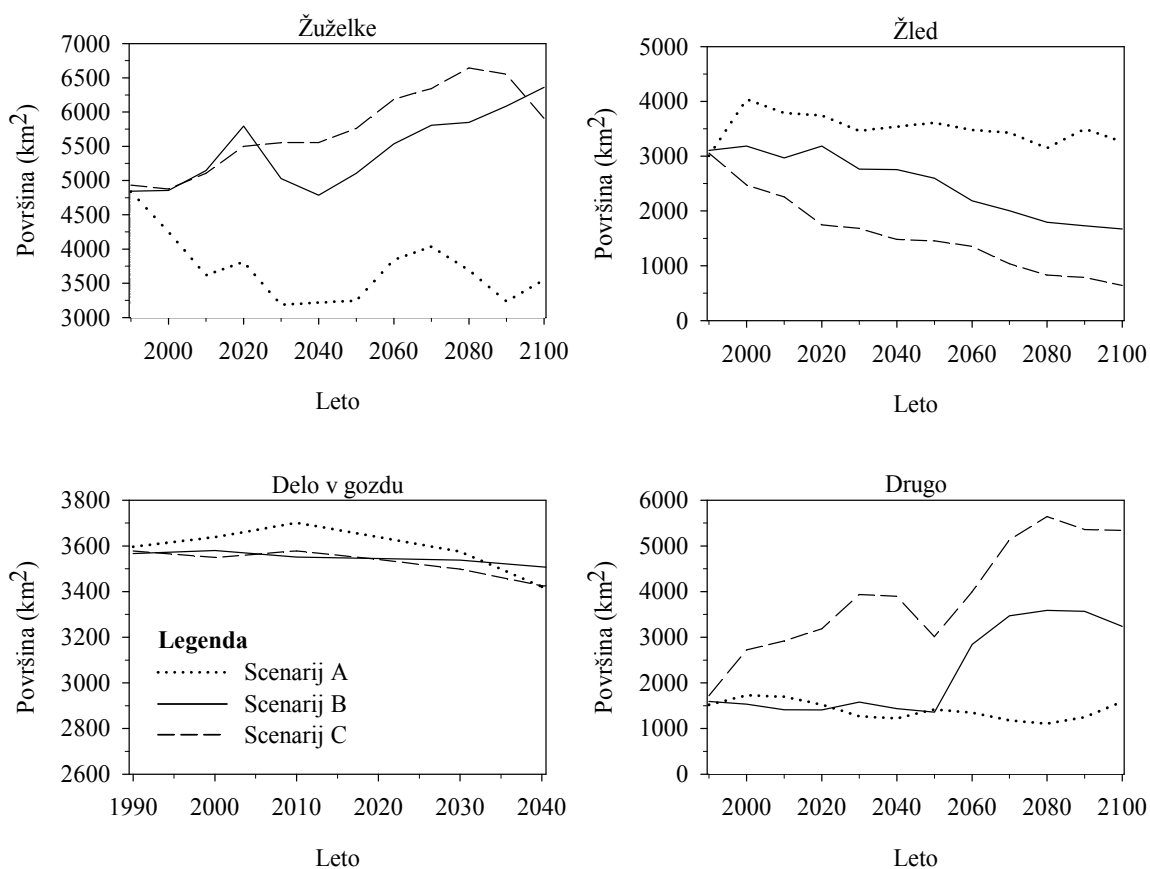
Zagon modela za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov je med izbranimi vrstami sanitarnih sečenj izjema, saj edini napoveduje tudi izredno povečanje potencialnih sanitarnih sečenj. Povprečna sprememba potencialne sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov se bo predvidoma v scenariju A zmanjšala, v scenarijih B in C pa povečala (preglednica 17, preglednica 18). Zagon modela v scenariju A kaže, da se bo potencialna sanitarna sečnja zaradi drugih vzrokov povprečno zmanjšala za 31 km² na 10 let oz. se bo pojavljala na 1,6 % površine manj na 10 let glede na izhodiščno stanje v obdobju 1995–2005. Projekcija scenarija B podaja povprečno povečanje potencialnih površin, kjer bi se lahko pojavila sanitarna sečnja zaradi drugih vzrokov za 230 km² na 10 let, kar ustreza 11,9 % referenčni površini, poškodovani zaradi drugih vzrokov. Pesimističen scenarij C nakazuje še večje potencialne poškodbe površin gozda zaradi drugih vzrokov; vsakih 10 let naj bi bilo povprečno 320 km² več potencialnih površin gozdov, na katerih bi se lahko zgodila sanitarna sečnja zaradi drugih vzrokov oz. to pomeni vsakih 10 let za 16,6 % več površin glede na velikost poškodovanih površin v referenčnem obdobju, kjer potencialno lahko nastane sanitarni posek zaradi drugih vzrokov. Potencialne poškodbe zaradi drugih vzrokov naj bi se skokovito povečale v 2. polovici 21. stoletja (slika 19).

Preglednica 17: Povprečna sprememba potencialne površine (km²) sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in drugih vzrokov na 10 let v Sloveniji po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb; model za žuželke, žled in drugo za obdobje 1981–2100, model za delo v gozdu za obdobje 1981–2040

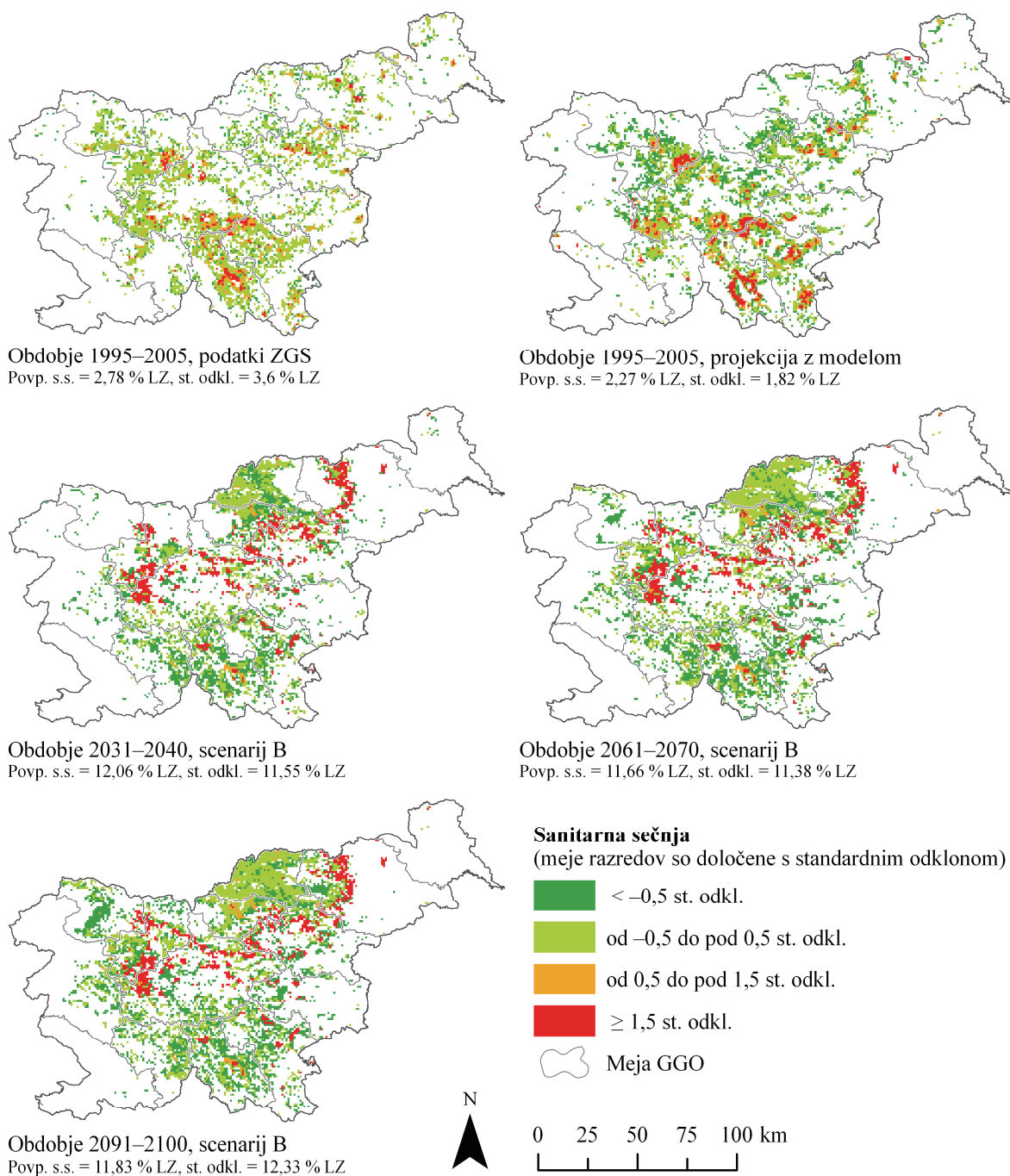
Vrsta s. s.	Scenarij A	Scenarij B	Scenarij C
Žuželke	–69	121	150
Žled	–28	–157	–197
Delo v gozdu	–32	–12	–27
Drugo	–31	230	320

Preglednica 18: Indeks povprečne spremembe potencialnih površin za sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in drugih vzrokov na 10 let (v %) glede na površino v obdobju 1995–2005 v Sloveniji po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb; model za žuželke, žled in drugo za obdobje 1981–2100, model za delo v gozdu za obdobje 1981–2040

Vrsta s. s.	Pov. (km ²) 1995–2005	Scenarij A	Scenarij B	Scenarij C
Žuželke	4861	–1,4	2,5	3,1
Žled	3206	–0,9	–4,9	–6,1
Delo v gozdu	3611	–0,9	–0,3	–0,8
Drugo	1932	–1,6	11,9	16,6



Slika 19: Projekcije gibanja potencialnih površin za sanitarno sečnjo zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in drugih vzrokov v Sloveniji za tri scenarije podnebnih sprememb; model za žuželke, žled in drugo za obdobje 1981–2100, model za delo v gozdu za obdobje 1981–2040



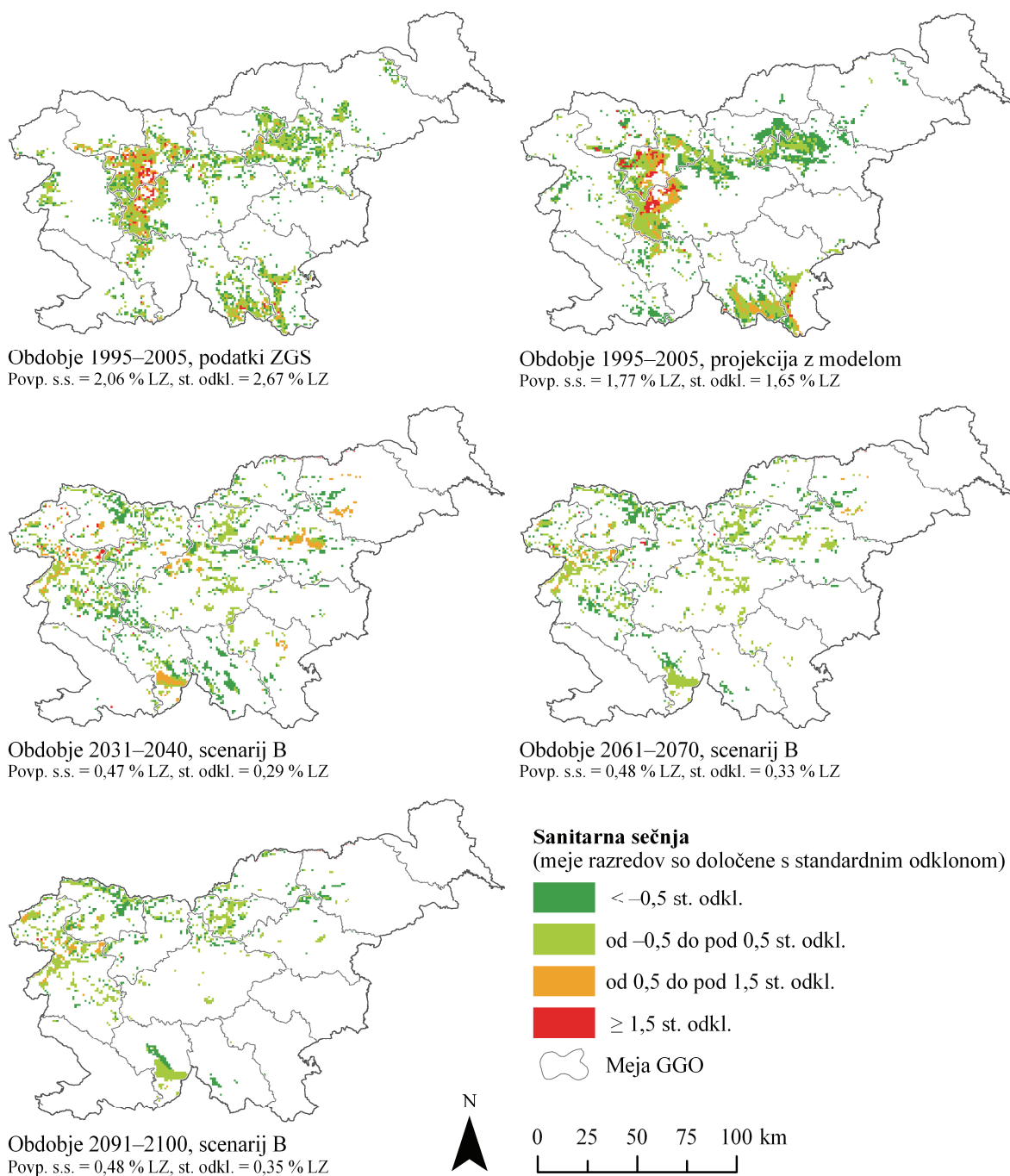
Slika 20: Prostorski razpored sanitarne sečnje zaradi žuželk v Sloveniji; dejanski posek in posek kot ga napove model za obdobje 1995–2005; za scenarij B podnebnih sprememb v treh obdobjih, t. j. 2031–2040, 2061–2070, 2091–2100

Na prvih dveh kartah iz prostorskega razporeda sanitarne sečnje zaradi žuželk v Sloveniji (slika 20) vidimo dejanski razpored sanitarne sečnje v obdobju 1995–2005 in kot ga napove model. Zato ju lahko uporabimo kot kazalec skladnosti. Iz primerjave prvih dveh kart lahko ugotovimo, da model dovolj dobro posnema dejanske razmere v naravi, morda nekoliko površinsko posplošuje, nekje precenjuje in drugje podcenjuje intenzivnost poškodb. Primerjava projekcije sanitarne sečnje zaradi žuželk za podnebne spremembe po

scenariju B za obdobje 2031–2040 s prostorsko razporeditvijo sanitarnih sečenj zaradi žuželk v obdobju 1995–2005 (referenčno obdobje) pokaže precejšnje spremembe. Spremembe, ki se zgodijo že v prvem prikazanem obdobju, se v poznejših obdobjih 2061–2070 in 2091–2100 samo še stopnjujejo v nakazano smer iz prvega obravnavanega obdobja 2031–2040 (preglednica 19). Površina potencialnih sanitarnih sečenj zaradi žuželk se bo predvidoma najbolj povečala v GGO Slovenj Gradec, Tolmin, Nazarje in Postojna. V dveh GGO se bo površina s potencialno sanitarno sečnjo zaradi žuželk verjetno precej zmanjšala, t. j. v GGO Murska Sobota in Sežana. Iz prostorkega prikaza projekcij (slika 20) je mogoče ugotoviti, da se bodo potencialne poškodbe zaradi žuželk povečale na severu države in na splošno se bo verjetno intenzivnost potencialnih poškodb zaradi žuželk premaknila v smeri proti severu.

Preglednica 19: Sprememba potencialne površine sanitarne sečnje zaradi žuželk v Sloveniji glede na površino v obdobju 1995–2005 po GGO; v scenariju B in treh obdobjih

GGO	Površina 1995–2005 (km ²)	Sprememba površine (%)		
		obdobje 2031–2040	obdobje 2061–2070	obdobje 2091–2100
Tolmin	82	44	122	194
Bled	253	–77	–28	36
Kranj	413	–16	28	46
Ljubljana	1008	–11	–3	6
Postojna	212	69	97	94
Kočevje	586	4	13	8
Novo mesto	647	–23	–19	–13
Brežice	268	–38	–9	–17
Celje	507	–2	7	18
Nazarje	165	105	147	159
Slovenj Gradec	124	354	489	520
Maribor	421	–28	–5	10
Murska Sobota	127	–83	–94	–94
Sežana	32	–75	–69	–66



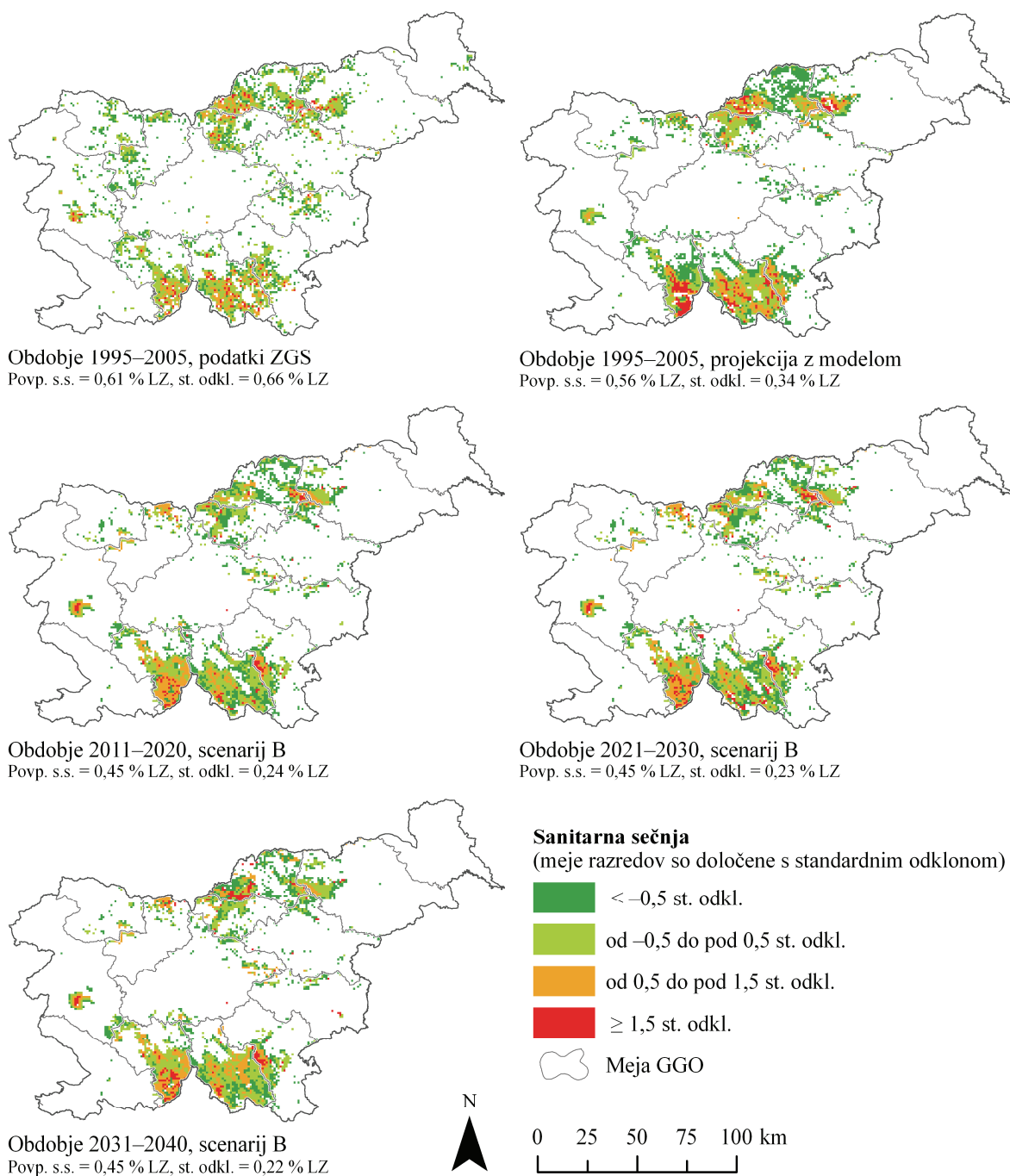
Slika 21: Prostorski razpored sanitarne sečnje zaradi žleda v Sloveniji; dejanski posek in posek kot ga napove model za obdobje 1995–2005; za scenarij B podnebnih sprememb v treh obdobjih, t. j. 2031–2040, 2061–2070, 2091–2100

Model za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi žleda zadovoljivo posnema realno stanje v naravi (slika 21). To lahko ugotovimo, če primerjamo prvi dve karti, ki se nanašata na obdobje 1995–2005. Model dobro ugotovi območja in intenzivnost poškodb gozdnega drevja zaradi žleda. Lahko pa tudi opazimo, da model vidno posplošuje, pri čemer se porazgubijo kakšne podrobnosti. Napoved potencialne sanitarne sečnje zaradi žleda za obdobje 2031–2040 je precej različna v primerjavi z dejansko razporeditvijo

poškodb zaradi žleda v referenčnem obdobju 1995–2005. Napovedi za potencialno sanitarno sečnjo zaradi žleda kažejo precejšnjo prostorsko prerazporeditev, t. j. predvsem splošen premik proti severu. Jasno pa je nakazan trend, t. j. splošno zmanjševanje površin, ki bi jih lahko potencialno prizadel žled. V obdobju 2031–2040 model napoveduje povečanje površin le v petih GGO, kjer bi se lahko potencialno zgodil žledolom, in sicer v GGO Slovenj Gradec, Bled, Tolmin, Postojna in Nazarje (preglednica 20). V vseh preostalih GGO pa model napoveduje zmanjševanje potencialnih površin, dovzetnih za žledolom. Nakazan trend v prvem obravnavanem obdobju se nadaljuje v obdobjih 2061–2070 in 2091–2100.

Preglednica 20: Sprememba potencialne površine sanitarne sečnje zaradi žleda v Sloveniji glede na površino v obdobju 1995–2005 po GGO; v scenariju B in treh obdobjih

GGO	Površina 1995–2005 (km ²)	Sprememba površine (%)		
		obdobje 2031–2040	obdobje 2061–2070	obdobje 2091–2100
Tolmin	200	208	170	146
Bled	56	271	282	373
Kranj	578	–59	–75	–78
Ljubljana	734	–36	–63	–85
Postojna	133	79	26	20
Kočevje	312	–45	–88	–90
Novo mesto	276	–57	–80	–88
Brežice	38	–32	–66	–76
Celje	551	–55	–70	–87
Nazarje	108	33	43	56
Slovenj Gradec	7	1614	1586	1314
Maribor	126	–8	–29	–45
Murska Sobota	2	–100	–100	–100
Sežana	79	–44	–54	–58



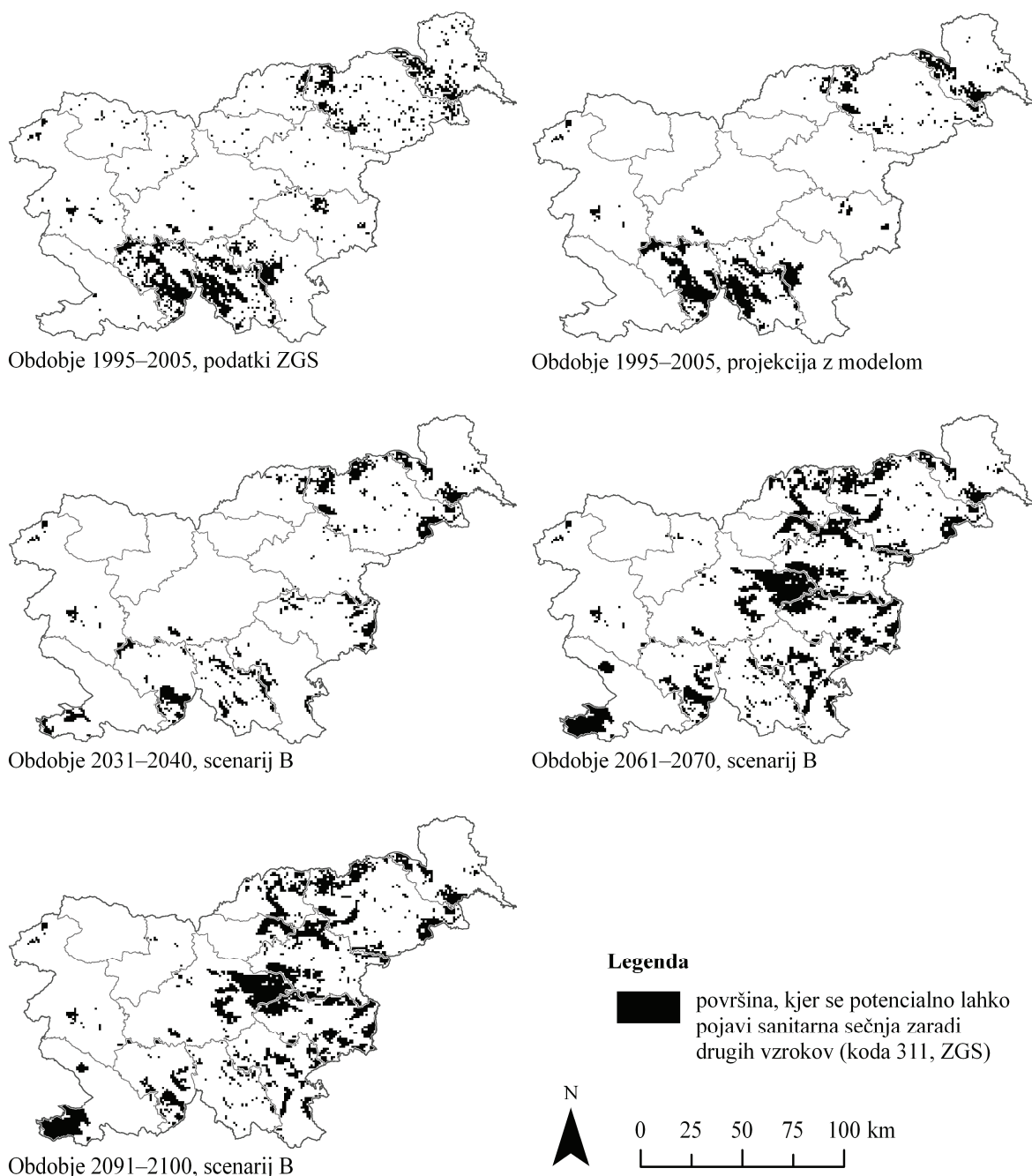
Slika 22: Prostorski razpored sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu v Sloveniji; dejanski posek in posek kot ga napove model za obdobje 1995–2005; za scenarij B podnebnih sprememb v treh desetletjih 2011–2040

Model za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje, ki nastane zaradi dela v gozdu, precej dobro posnema dejanske razmere v gozdovih Slovenije. To lahko vidimo, če primerjamo karto prostorskega razporeda sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu v obdobju 1995–2005 in karto, ki oceni potencialno sanitarno sečnjo za isto obdobje z modelom (slika 22). Ostale karte na sliki prikazujejo potencialni razpored sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu, ki ga terjajo podnebne spremembe v scenariju B. Splošna slika projekcij za potencialno sanitarno sečnjo zaradi dela v gozdu pod vplivom podnebnih sprememb se bistveno ne

spremeni glede na izhodiščne razmere v obdobju 1995–2005, tako številčno kot prostorsko (preglednica 21, slika 22). Največje spremembe bodo verjetno nastale v GGO Ljubljana, kjer se bo verjetno potencialna sanitarna sečnja zaradi dela v gozdu pojavljala na 74 % več površin v obdobju 2031–2040 glede na obdobje 1995–2005.

Preglednica 21: Sprememba potencialne površine sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu v Sloveniji glede na površino v obdobju 1995–2005 po GGO; v scenariju B in obdobju 2031–2040

GGO	Površina 1995–2005 (km ²)	Potencialna sprememba površine v obdobju 2031–2040 (%)
Tolmin	158	–30
Bled	142	–58
Kranj	235	–40
Ljubljana	99	74
Postojna	504	22
Kočevje	632	21
Novo mesto	282	5
Brežice	171	–47
Celje	235	–39
Nazarje	301	–1
Slovenj Gradec	514	5
Maribor	286	–13
Murska Sobota	28	–93
Sežana	20	20



Slika 23: Prostorski razpored sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov v Sloveniji; dejanski posek in posek kot ga napove model za obdobje 1995–2005; za scenarij B podnebnih sprememb v treh obdobjih, t. j. 2031–2040, 2061–2070, 2091–2100

Model za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov se od drugih modelov (žuželke, žled, delo v gozdu) razlikuje po tem, da ocenjuje le potencialno poškodovano površino, ne pa tudi intenzivnosti poškodb. Validacija modela za obdobje 1995–2005 je pokazala, da model zadovoljivo predvidi površine, ki so potencialno poškodovane zaradi drugih vzrokov (slika 23). Vendar model vidno posplošuje poškodovane površine in izpušča površine, kjer je poškodb manj. Podnebne spremembe bodo predvidoma zelo vplivale na potencialno sečnjo zaradi drugih vzrokov. Vpliv

podnebnih sprememb bo zelo občuten v šestih GGO, kjer se bo drastično povečal potencialni sanitarni posek zaradi drugih vzrokov, in sicer v GGO Celje, Sežana, Ljubljana, Nazarje, Brežice in Slovenj Gradec (preglednica 22). Na splošno se večji predel potencialne sečnje zaradi drugih vzrokov prestavi na vzhodno polovico države in ob morje. Potencialno poškodovana površina zaradi drugih vzrokov se hitro veča iz enega proučevanega obdobja v drugega.

Preglednica 22: Sprememba potencialne površine sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov v Sloveniji glede na površino v obdobju 1995–2005 po GGO; v scenariju B in treh obdobjih

GGO	Površina 1995–2005 (km ²)	Sprememba površine (%)		
		obdobje 2031–2040	obdobje 2061–2070	obdobje 2091–2100
Tolmin	65	–12	–17	–22
Bled	21	–100	–86	–95
Kranj	16	–100	–31	–50
Ljubljana	47	–38	989	949
Postojna	477	–56	–48	–58
Kočevje	423	–62	–73	–80
Novo mesto	162	–46	96	68
Brežice	68	150	581	581
Celje	23	9	1770	1635
Nazarje	12	–100	800	750
Slovenj Gradec	51	0	341	300
Maribor	295	28	74	71
Murska Sobota	251	–31	–31	–31
Sežana	18	439	1572	1483

4.2 REZULTATI MODELA ZA SKUPNO SANITARNO SEČNJO

Rezultati modela za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje so pravzaprav povprečje štirih najverjetnejših modelov. Modeli so regresijska drevesa, katerih odvisna spremenljivka je delež sanitarnega poseka v lesni zalogi celice. Prostorska ločljivost modela je 1 km². Povprečni korelacijski koeficient izbranih štirih modelov je 0,46. Model je bil izračunan za tri scenarije podnebnih sprememb (glej poglavje št. 3.1, str. 45) in 12 desetletnih obdobj 1981–1990, 1991–2000, ..., 2091–2100.

Z modelom za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje preverjamo domnevo, da se bo zdravstveno stanje gozdov v Sloveniji poslabšalo zaradi podnebnih sprememb.

Med rezultate modela se šteje tudi sama zgradba modela, ki jo tukaj prikazujemo s pomočjo porezanega regresijskega drevesa (priloga E). Izvorna regresijska drevesa (4) so prevelika, da bi jih lahko prikazali na pregleden način (preglednica 11); izvorna regresijska drevesa so dostopna na ogled pri avtorju disertacije. Pri razvrščanju primerov v modelu za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje najprej odloča, kolikšen je delež iglavcev v celici modela (IGL). Če je delež iglavcev v celici modela večji kot 28,7 %, potem se regresijsko drevo razveja naprej. Če je povprečna količina padavin v mesecu juliju (PAD7) manjša ali enaka 149,2 mm, potem za nadaljnje razvrščanje primerov odloča, kakšna je vrednost naslednjih spremenljivk: delež smreke v celici (DV11), količina padavin v septembru, juniju in oktobru (PAD9, PAD6 in PAD10), verjetnost nastopa sušnega stresa v juliju in avgustu (SUS78) in kakšen je standardni odklon ukrivljenosti površja (UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV). Če je povprečna količina padavin v mesecu juliju večja kot 149,2 mm,

potem na razvrščanje primerov odloča kolikšen je delež macesna v celici modela (DV34), povprečna količina padavin v oktobru (PAD10) in temperaturna vsota s pragom $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TSUM-10).

Splošen vpogled v model in odvisnosti med spremenljivkami lahko pridobimo tudi s pomočjo rezultatov algoritma ReliefF, t. j. ranžirne vrste, ki podaja pomembnost spremenljivk za pojasnjevanje odvisne spremenljivke, t. j. v našem primeru skupno sanitarno sečnjo (preglednica 23). Pregled 20 najpomembnejših spremenljivk pokaže, da so le-te presek najpomembnejših spremenljivk iz modelov za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi posameznih vzrokov (preglednica 12). Spremenljivka povprečne oddaljenosti od gozda je najpomembnejša spremenljivka v modelu za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu, delež smreke v celici modela je najpomembnejša spremenljivka v modelu za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žuželk, splošni delež iglavcev in listavcev je odločilen pri klasifikaciji v modelu za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov. Ker model za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje vključuje vse vrste sanitarnih sečenj, že prvih 20 najpomembnejših spremenljivk pripada najrazličnejšim kategorijam. Tako prvih 20 najpomembnejših spremenljivk zaobjame krajinski vidik, rabo tal, vrsto tal, lastniško kategorijo, drevesno sestavo, gozdne ceste, kemijske lastnosti tal, vodne razmere in matično podlago.

Preglednica 23: Najpomembnejših 20 spremenljivk za model za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje; pomembnost spremenljivke je izražena v povprečnem rangi rezultatov algoritma ReliefF

Spremenljivka	Povp. rang
ODD_GOZD	1,2
DV11	1,8
IGL	3
LST	4
RABA_MAX	5,5
tla_eluvialno_iluvialna	6
LAST	7,3
RABA_MED	8,4
DV21	8,5
GC_DOLZ	9,6
DV51	11,8
DV31	11,9
FOSF	12,7
VODA_RAZD	14,9
tla_oglejena	15,8
tla_kambicna	16,6
MAT_PODLAGA	16,6
DUSIK	18,2
DV33	19,9
MAT_PODLAGA_VAR	20,2

Opomba: sivo obarvano polje označuje spremenljivko, ki jo je algoritem ReliefF sicer spoznal za pomembno, vendar jo je algoritem M5' ter sam postopek izbora optimalnega modela izločil iz modela

4.2.1 Obravnavanje potencialnih sprememb sanitarnega poseka v deležu lesne zaloge

Po zagonu modela smo preverili, ali je smiselno prikazovati dejanske izračunane vrednosti. Postavili smo zahtevo, da se morajo izračunati za potencialno sanitarno sečnjo v obdobju

1991–2000 v scenariju B na splošno ujemati z dejanskimi vrednostmi sanitarnih sečenj iz obdobja 1995–2005. Odločili smo se, da je lahko največja še spremenljiva razlika ± 10 %. Izračun je pokazal, da je razlika prevelika (preglednica 24). Model za ocenjevanje potencialne skupne sanitarne sečnje v splošnem precenjuje njen obseg, in sicer za 56 %. To je prevelika razlika, da bi lahko prikazovali absolutne izračunane vrednosti modela. Kljub veliki razliki, ki je nastala med modelnim izračunom in realnimi vrednostmi za referenčno obdobje, na podlagi koeficienta korelacije domnevamo, da so projekcije modela toliko zanesljive, da iz njih lahko sklepamo na splošen trend pojavljanja sanitarnih sečenj. Trend pojavljanja potencialnih sanitarnih sečenj smo izračunali kot koeficient linearne regresije za 12 točk, t. j. 12 desetletnih obdobj in tri scenarije podnebnih sprememb (preglednica 25). Koeficient neodvisne spremenljivke, ki ga izračuna linearna regresija, podaja informacijo o naklonu premice, le-ta pa o splošnem trendu večanja ali zmanjševanja potencialnih sanitarnih sečenj. Negativna vrednost koeficienta pove, da se bo v povprečju zmanjšala potencialna sanitarna sečnja, pozitiven predznak pa nakazuje trend večanja potencialnih sanitarnih sečenj. Absolutna vrednost koeficienta linearne regresije pomeni povprečno spremembo skupne sanitarne sečnje v deležu lesne zaloge na 10 let za obdobje 1981–2100. Za nazornejši prikaz koeficienta regresije smo se odločili uporabiti indeks povprečne spremembe skupne sanitarne sečnje na 10 let (preglednica 26). Za stalno osnovo indeksa smo vzeli povprečni sanitarni posek v obdobju 1995–2005 (Timber, 2005).

Preglednica 24: Razlika (v %) med projekcijo modelov za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje za obdobje 1991–2000 po scenariju B in veljavnih podatkih ZGS za obdobje 1995–2005

Model s. s.	Povprečje, ZGS, 1995–2005 (% LZ)	Povprečje, projekcija modela, 1991–2000 (% LZ)	Razlika (%)
S. s. skupaj	2,39	3,74	56,4

Projekcija modela za ocenjevanje skupne potencialne sanitarne sečnje kaže trend rasti (preglednica 25, preglednica 26). Rezultati zagona modela kažejo trend povečanja potencialnih sanitarnih sečenj, in sicer za 0,02–0,05 % lesne zaloge na 10 let glede na scenarije podnebnih sprememb oz. enako izraženo v indeksu povprečnih sprememb skupne sanitarne sečnje na 10 let se poveča za 1,0–2,1 % glede na povprečje iz referenčnega obdobja. S projekcijo modela za ocenjevanje skupne potencialne sanitarne sečnje potrjujemo postavljeno hipotezo o povečanju sanitarnih sečenj zaradi podnebnih sprememb oz., zdravstveno stanje gozdov v Sloveniji se bo poslabšalo zaradi podnebnih sprememb. Dodaten dokaz navajamo v naslednjem poglavju, kjer obravnavamo potencialno sanitarno sečnjo po površini.

Preglednica 25: Povprečna sprememba skupne sanitarne sečnje v deležu lesne zaloge na 10 let v Sloveniji za obdobje 1981–2100 po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb

Model s. s.	Scenarij A	Scenarij B	Scenarij C
S. s. skupaj	0,029	0,024	0,050

Preglednica 26: Indeks povprečne spremembe skupne sanitarne sečnje na 10 let (v %) v Sloveniji glede na povprečje 1995–2005 za obdobje 1981–2100 po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb

Model s. s.	Scenarij A	Scenarij B	Scenarij C
S. s. skupaj	1,21	1,00	2,07

4.2.2 Obravnavanje potencialnih sprememb sanitarnega poseka na površini

V tem poglavju preskušamo domnevo o vplivu podnebnih sprememb na zdravstveno stanje gozdov v Sloveniji še z gledišča poškodovanih površin, ki jih zajemajo sanitarne sečnje.

Slika 24 prikazuje projekcijo za količino potencialnih površin, kjer lahko nastane sanitarna sečnja v Sloveniji zaradi podnebnih sprememb. Iz slike vidimo, da je trend naraščanje potencialno poškodovanih površin. Začetek projekcije je bil uravnan z dejansko poškodovano površino v obdobju 1995–2005 (glej poglavje št. 4.1.2, str. 76). Zaradi srednje zanesljivosti modela ($r = 0,46$) raje opazujemo splošen trend potencialnih površin, izračunan kot linearni regresijski koeficient (preglednica 27). Linearni regresijski koeficient podaja informacijo o naklonu regresijske premice. Negativni predznak koeficienta pove, da je splošen trend zmanjševanje, pozitiven predznak pa večanje potencialnih poškodovanih površin zaradi sanitarnih sečenj. Sama številka je izraz za povprečno spremembo potencialno poškodovane površine zaradi sečnje na 10 let. Slednja vrednost je podana tudi v obliki indeksa, kjer je stalna osnova dejanska poškodovana površina zaradi sanitarnih sečenj v obdobju 1995–2005 (preglednica 28). Indeks povprečne spremembe potencialnih površin za skupno sanitarno sečnjo nam pove, za koliko se bo povprečno spremenila potencialna poškodovana površina na 10 let, izražena v deležu dejanske poškodovane površine v obdobju 1995–2005.

Zagon modela za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje napoveduje splošno naraščanje potencialno poškodovanih površin. Glede na scenarij podnebnih sprememb so napovedi od 72 km² do 111 km² povprečno več potencialno poškodovanih površin na 10 let (preglednica 27). Razlike med posameznimi scenariji podnebnih sprememb nimajo večjega pomena, saj se scenariji precej prepletajo med seboj (slika 24).

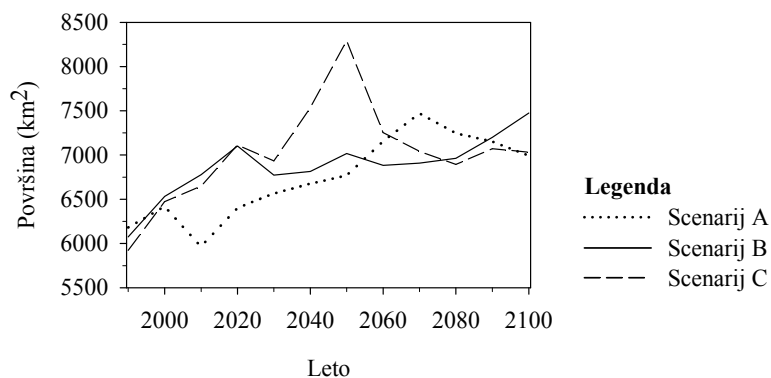
Sklepamo, da se bo povprečni potencialni sanitarni posek verjetno povečal zaradi podnebnih sprememb. S tem potrjujemo postavljeno hipotezo, da se bo zdravstveno stanje gozdov v Sloveniji zaradi podnebnih sprememb poslabšalo (upoštevajoč vse predpostavke!). Tak zaključek je skladen z zaključkom o skupnem potencialnem sanitarnem poseku, ki ga obravnavamo v deležu lesne zaloge (glej poglavje št. 4.2.1).

Preglednica 27: Povprečna sprememba potencialne površine (km²) skupne sanitarne sečnje na 10 let v Sloveniji za obdobje 1981–2100 po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb

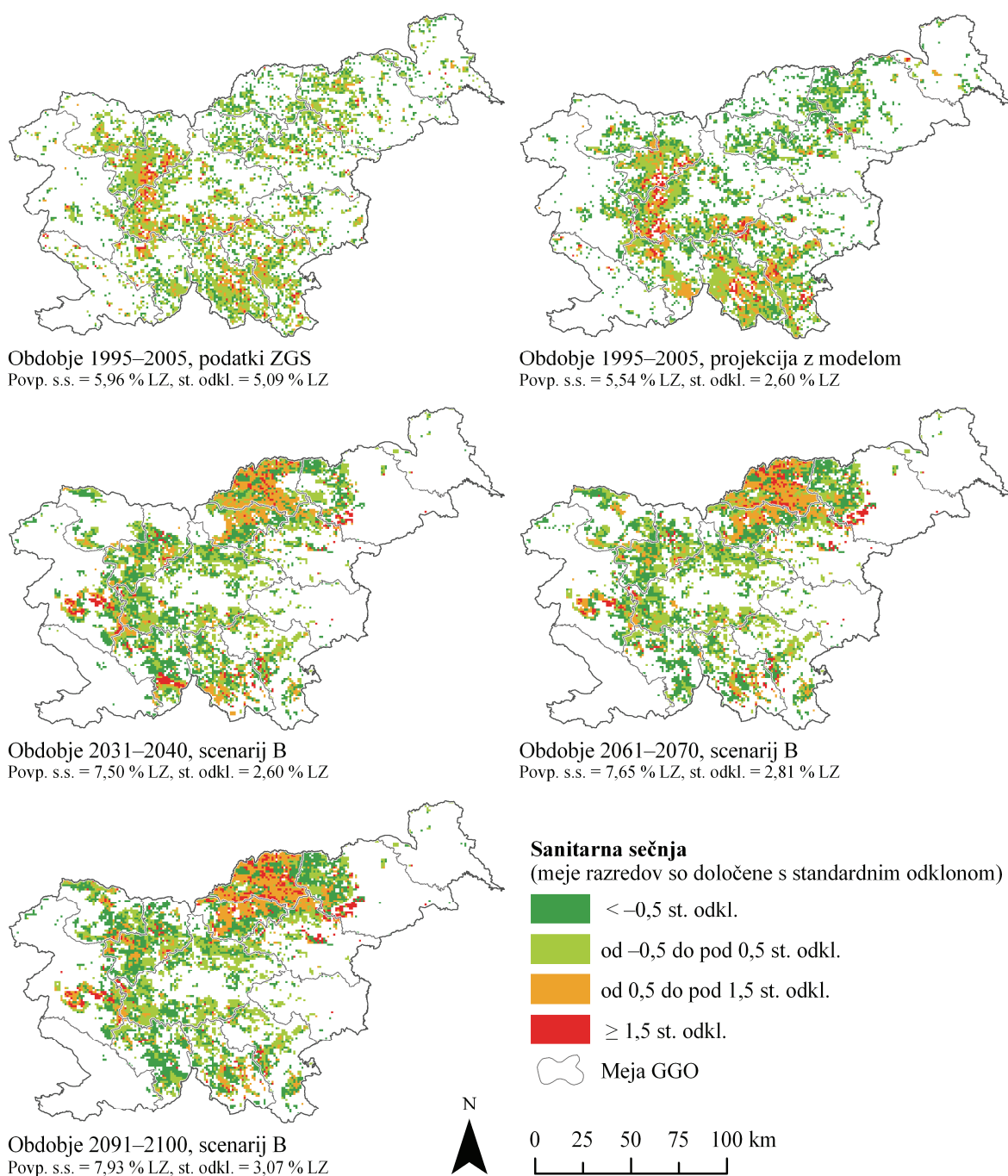
Model s. s.	Scenarij A	Scenarij B	Scenarij C
S. s. skupaj	111	78	72

Preglednica 28: Indeks povprečne spremembe potencialnih površin za skupno sanitarno sečnjo na 10 let (v %) v Sloveniji glede na dejansko površino v obdobju 1995–2005 za obdobje 1981–2100 po treh različnih scenarijih podnebnih sprememb

Model s. s.	Pov. (km ²) 1995–2005	Scenarij A	Scenarij B	Scenarij C
S. s. skupaj	6530	1,7	1,2	1,1



Slika 24: Projekcije gibanja potencialnih površin, kjer se lahko zgodi sanitarna sečnja v Sloveniji; za tri scenarije podnebnih sprememb in obdobje 1981–2100



Slika 25: Prostorski razpored skupne sanitarne sečnje v Sloveniji; dejanski posek in posek kot ga napove model za obdobje 1995–2005; za scenarij B podnebnih sprememb v treh obdobjih, t. j. 2031–2040, 2061–2070, 2091–2100

Obdelali smo rezultate modela in z njimi želeli prikazati potencialne spremembe skupne sanitarne sečnje na površini na ravni GGO (slika 25, preglednica 29). Rezultate smo obdelali za scenarij B podnebnih sprememb in za tri izbrana obdobja: 2031–2040, 2061–2070 in 2091–2100. Slika 25 najprej prikazuje prostorski razpored skupne sanitarne sečnje za obdobje 1995–2005 v štirih stopnjah intenzivnosti (meje razredov so standardni odkloni povprečne sanitarne sečnje izražene v deležu lesne zaloge celice modela), katere podlaga

so podatki o sanitarnem poseku (Timber, 1995–2005). Druga karta prikazuje preskus natančnosti napovedovanja modela. Če primerjamo prvo in drugo karto, se zadovoljivo ujemata v splošnem merilu, razlike so v malenkostih. Preostale tri karte prikazujejo potencialno sanitarno sečnjo zaradi podnebnih sprememb po scenariju B v treh različnih obdobjih. Vse tri karte so si navidez precej podobne med sabo – nakazujejo povečanje potencialnih sanitarnih sečenj na severnem delu Slovenije. Večja razlika nastane, če karte za napovedi pod vplivom podnebnih sprememb primerjamo s trenutnim stanjem, torej prvo karto, ki prikazuje sanitarni posek v obdobju 1995–2005. Razlike na ravni GGO so izračunane v posebni preglednici (preglednica 29). Verjetno se bo potencialna površina sanitarnih sečenj najbolj povečala v GGO Slovenj Gradec, Tolmin in Nazarje. Na podlagi teh podatkov je manj zanesljivo govoriti o zmanjšanju potencialne površine sanitarne sečnje zaradi umetno postavljene spodnje meje, ki določa, kdaj se celica modela šteje kot potencialna površina, na kateri bo opravljen sanitarni posek (glej poglavje št. 4.1.2, str. 76).

Preglednica 29: Sprememba potencialne poškodovane površine zaradi skupnih sanitarnih sečenj v Sloveniji glede na površino v obdobju 1995–2005 po GGO; v scenariju B in treh obdobjih

GGO	Površina 1995–2005 (km ²)	Sprememba površine (%)		
		obdobje 2031–2040	obdobje 2061–2070	obdobje 2091–2100
Tolmin	182	158	135	141
Bled	287	–14	50	79
Kranj	627	–1	8	19
Ljubljana	1071	19	15	20
Postojna	453	38	5	31
Kočevje	741	–15	–28	–19
Novo mesto	742	–34	–36	–32
Brežice	311	–76	–78	–77
Celje	513	–9	–10	–5
Nazarje	247	94	128	140
Slovenj Gradec	302	162	185	190
Maribor	662	–22	–6	–1
Murska Sobota	228	–73	–75	–73
Sežana	164	–60	–84	–74

4.3 VPLIV SPREMENJENOSTI DREVESNE SESTAVE NA ZDRAVJE GOZDOV

V tem poglavju navajamo rezultate preskusa dveh hipotez. Najprej preskušamo hipotezo, ali so gozdovi s spremenjeno drevesno sestavo labilnejši, tako v obdobju 1995–2005 kot v podnebnih spremembah. Potem preskušamo hipotezo, ki trdi, da se bo v Sloveniji zdravje gozda zaradi podnebnih sprememb bolj poslabšalo v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo kot v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo. Prvo hipotezo preskušamo s pomočjo enostavne analize variance, kjer je odvisna spremenljivka povprečni delež sanitarne sečnje v lesni zalogi in dejavnik stopnja ohranjenosti drevesne sestave. Za natančnejši preskus razlik med stopnjami ohranjenosti drevesne sestave smo uporabili Duncanov preskus mnogoterih primerjav. Drugo hipotezo preskušamo s pomočjo intervala zaupanja za razliko povprečij in t-preskusom. Stopnje ohranjenosti drevesne sestave so štiri: 1. ohranjena, 2. spremenjena, 3. zelo spremenjena, 4. izmenjana. V vsakem preskusu smo ločili dve različici, ki se razlikujeta po tem, kako je bila ugotovljena stopnja ohranjenosti drevesne sestave. Prva različica preskusov temelji na Smolejevih izračunih (2001) po metodologiji Bončina in Robič (1998). Druga različica preskusov pa temelji na

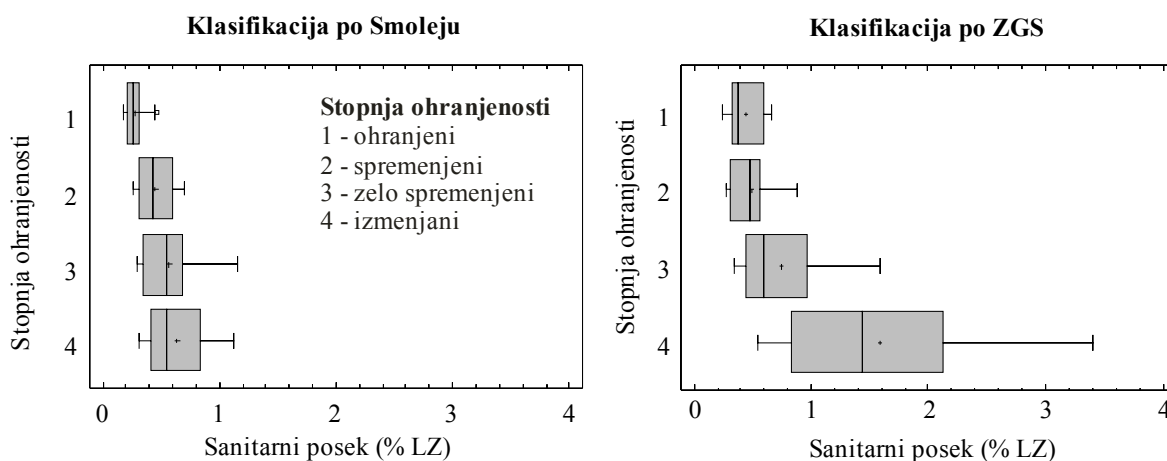
podatkih o ohranjenosti drevesne sestave iz podatkovne zbirke Gozdni fondi (2001) (glej poglavje št. 2.5, str. 38).

4.3.1 Vpliv spremenjenosti drevesne sestave na zdravje gozdov v obdobju 1995–2005

Slika 26 prikazuje strukturo povprečnega sanitarnega poseka. Povprečne vrednosti sanitarnih sečenj se precej razlikujejo po stopnjah ohranjenosti med klasifikacijama po Smoleju in ZGS. Pri klasifikaciji po Smoleju stopnje ohranjenosti drevesne sestave 2., 3. in 4. stopnje precej odstopajo od 1. stopnje. Pri klasifikaciji po ZGS so povprečni sanitarni poseki podobni v 1., 2. in 3. stopnji ohranjenosti drevesne sestave, 4. stopnja pa vidno odstopa od prvih treh. Kar slika 26 nakazuje, potrjuje analiza variance.

Glede na rezultate analize variance (preglednica 30, preglednica 31) sklepamo naslednje:

- ničelno domnevo o enakosti povprečnih sanitarnih sečenj po različnih stopnjah ohranjenosti drevesne sestave zavrnilo pri klasifikaciji po Smoleju in pri klasifikaciji po ZGS;
- s tveganjem, manjšim od 0,05, trdimo, da povprečna sanitarna sečnja, izražena v deležu lesne zaloge na celico modela, po obravnavanjih ni enaka (z verjetnostjo $p \leq 0,001$);
- ničelna domneva je zavrnila v prid alternativni domnevi, ki pravi, da obstaja statistično značilna razlika vsaj med dvema povprečnima sanitarnima sečnjama po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave;
- hipoteza, da so gozdovi s spremenjeno drevesno sestavo v obdobju 1995–2005 labilnejši, je potrjena ob predpostavki, da je sanitarna sečnja dober kazalec stabilnosti gozda;
- preskus nadaljujemo in ugotavljamo, med katerimi obravnavanji (stopnjami ohranjenosti drevesne sestave) so statistično značilne razlike.



Slika 26: Okvirji z ročaji za sanitarni posek (povprečni posek na leto v % LZ) v obdobju 1995–2005 glede na različne stopnje ohranjenosti drevesne sestave po dveh klasifikacijah, po Smoleju in ZGS

Preglednica 30: Analiza variance za sanitarni posek v obdobju 1995–2005 glede na različne stopnje ohranjenosti drevesne sestave po klasifikaciji, Smolej (2001)

Vir variabilnosti	Vsota kvadriranih odklonov	Stopinje prostosti	Srednji kvadrirani odklon	F	p
Obravnavanja	0,825222	3	0,275074	6,63	0,001
Ostanek	1,65886	40	0,0414715		
Skupaj	2,484082	43			

Preglednica 31: Analiza variance za sanitarni posek v obdobju 1995–2005 glede na različne stopnje ohranjenosti drevesne sestave po klasifikaciji ZGS

Vir variabilnosti	Vsota kvadriranih odklonov	Stopinje prostosti	Srednji kvadrirani odklon	F	p
Obravnavanja	9,25498	3	3,08499	13,78	0,0000
Ostanek	8,95543	40	0,223886		
Skupaj	18,21041	43			

Z Duncanovim preskusom mnogoterih primerjav iščemo statistično značilne razlike med posameznimi pari povprečnih sanitarnih sečenj po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave. Preglednica 32 prikazuje rezultate Duncanovega preskusa mnogoterih primerjav. Preskus načeloma potrjuje, kar smo lahko sklepali iz strukture povprečnih sanitarnih sečenj po različnih stopnjah ohranjenosti drevesne sestave (slika 26). Pri klasifikaciji po Smoleju obstajajo statistično značilne razlike (pri stopnji zaupanja 95 %) med tremi pari stopenj ohranjenosti, t. j. med 1. in 3., 1. in 4. in 2. in 4. oziroma: pri stopnji zaupanja 95 % so statistično značilne razlike med povprečnimi sanitarnimi sečnjami po naslednjih parih stopenj ohranjenosti drevesne sestave: ohranjena - zelo spremenjena, ohranjena - izmenjana in spremenjena - izmenjana. Pri klasifikaciji po ZGS so statistično značilne razlike v povprečni sanitarni sečnji ob 95 % stopnji zaupanja med prvimi tremi stopnjami ohranjenosti drevesne sestave in zadnjo stopnjo, t. j. 1. in 4., 2. in 4. in 3. in 4. ali nekoliko drugače: le v gozdovih z izmenjano drevesno sestavo se pojavlja statistično različna povprečna vrednost sanitarne sečnje. Med povprečnim sanitarnim posekom v gozdovih z ohranjeno, spremenjeno in zelo spremenjeno drevesno sestavo pa ni statistično značilnih razlik. Primerjava povprečnih sanitarnih sečenj po stopnjah spremenjenosti drevesne sestave pokaže tudi, da se le-ta načeloma večja s stopnjo spremenjenosti drevesne sestave pri klasifikaciji po Smoleju pa tudi pri klasifikaciji po ZGS s tem, da med vsemi ni statistično značilnih razlik. To prispeva k potrjevanju hipoteze, da so gozdovi s spremenjeno drevesno sestavo v obdobju 1995–2005 labilnejši.

Preglednica 32: Duncanov preskus mnogoterih primerjav za sanitarno sečnjo v obdobju 1995–2005 med različnimi stopnjami ohranjenosti drevesne sestave po dveh različnih klasifikacijah

Klasifikacija, Smolej (2001)			Klasifikacija, ZGS		
Stopnja Ohranjenosti	Povprečje	Homogene skupine	Stopnja ohranjenosti	Povprečje	Homogene skupine
1	0,278925	X	1	0,430165	X
2	0,449808	XX	2	0,484067	X
3	0,57084	XX	3	0,741711	X
4	0,639745	XX	4	1,57564	X

– Se nadaljuje –

– Nadaljevanje preglednice št. 32 –

Klasifikacija, Smolej (2001)		Klasifikacija, ZGS	
Kontrast	Razlika	Kontrast	Razlika
1-2	-0,170883	1-2	-0,053902
1-3	*-0,291916	1-3	-0,311546
1-4	*-0,360821	1-4	*-1,14548
2-3	-0,121032	2-3	-0,257644
2-4	*-0,189938	2-4	*-1,09158
3-4	-0,0689054	3-4	*-0,833932

Opomba: Zvezdica (*) označuje statistično značilno razliko; v stolpcu homogene skupine so statistično značilne razlike med posameznimi stopnjami ohranjenosti označene z nivojem znaka "X", t. j., če je znak v vertikalni smeri na istem nivoju, potem v primerjalnem paru ni statistično značilnih razlik.

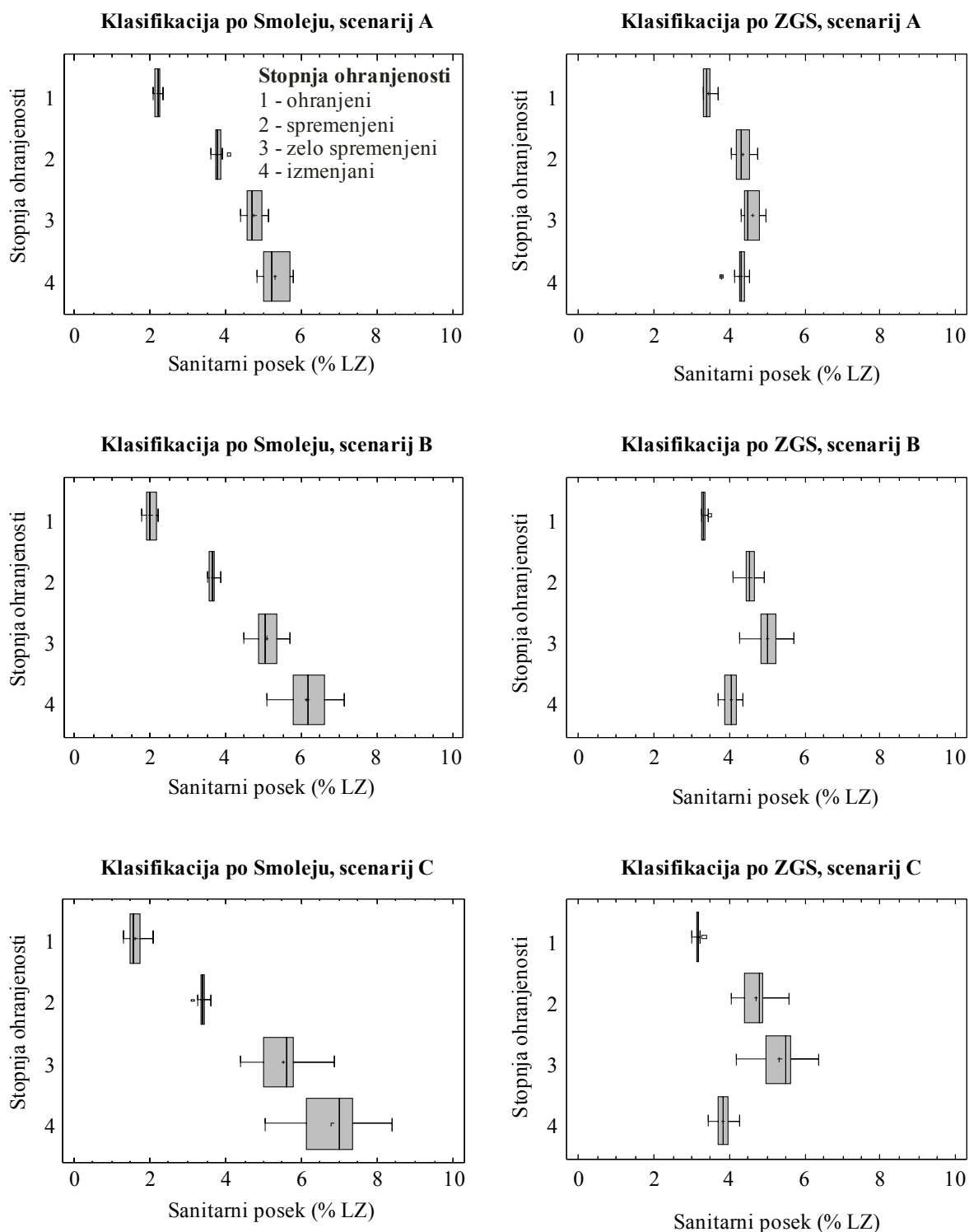
4.3.2 Vpliv spremenjenosti drevesne sestave na zdravje gozdov v podnebnih spremembah

Pri vplivu drevesne sestave na zdravje gozdov v podnebnih spremembah smo preskušali dve domnevi:

1. Tudi v podnebnih spremembah bo sanitarni posek večji v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo kot v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo. Z drugimi besedami povedano: tudi v podnebnih spremembah bodo gozdovi s spremenjeno drevesno sestavo labilnejši.
2. Razlika med povprečnim sanitarnim posekom v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo v obdobju 1995–2005 in v podnebnih spremembah bo večja kot razlika med povprečnim sanitarnim posekom v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo v obdobju 1995–2005 in v podnebnih spremembah. Z drugimi besedami lahko 2. domnevo opišemo tako: zdravje gozda v Sloveniji se bo zaradi podnebnih sprememb v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo bolj poslabšalo kot v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo.

Prvo hipotezo o vplivu podnebnih sprememb in stopnje ohranjenosti drevesne sestave na zdravstveno stanje gozdov v Sloveniji (stabilnost) preskušamo z enostavno analizo variance, kjer je ničelna hipoteza enakost povprečnih sanitarnih sečenj v celici modela po različnih stopnjah ohranjenosti drevesne sestave. Odvisna spremenljivka je povprečni delež sanitarne sečnje v lesni zalogi. Obravnavane so štiri stopnje ohranjenosti drevesne sestave. Ponovitev je 12, t. j. 12 desetletnih obdobj, in sicer v obdobju 1981–1990, 1991–2000, ..., 2091–2100. Vir podatkov za delež sanitarne sečnje v lesni zalogi so rezultati modela za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje zaradi podnebnih sprememb (glej poglavje št. 4.2, str. 87).

Struktura povprečnega sanitarnega poseka je podobna v vseh treh scenarijih podnebnih sprememb in obe klasifikaciji stopnje ohranjenosti drevesne sestave (slika 27). Iz slike lahko domnevamo, da so statistično značilne razlike med posameznimi povprečnimi sanitarnimi sečnjami po različnih stopnjah ohranjenosti drevesne sestave v vseh treh scenarijih podnebnih sprememb in obeh klasifikacijah stopnje ohranjenosti. Domnevo preskušamo z analizo variance.



Slika 27: Okvirji z ročaji za sanitarni posek (povprečni posek na leto v % LZ) v modelu za ocenjevanje zdravja gozda za tri scenarije podnebnih sprememb v obdobju 1981–2100 glede na različne stopnje ohranjenosti drevesne sestave po dveh klasifikacijah: Smolej (2001) in ZGS (Gozdni fondi, 2001)

Iz analize variance (preglednica 33, preglednica 34) lahko sklepamo na naslednje:

- ničelno domnevo o enakosti povprečnih sanitarnih sečenj po različnih stopnjah ohranjenosti drevesne sestave zavrnemo pri klasifikaciji po Smoleju pa tudi pri klasifikaciji po ZGS in za vse tri scenarije podnebnih sprememb;
- s tveganjem, manjšim od 0,05, trdimo, da povprečna sanitarna sečnja, izražena v deležu lesne zaloge na celico modela, ni enaka vsaj za en par obravnavanj pri vseh treh scenarijih podnebnih sprememb in obeh klasifikacijah (z verjetnostjo $p < 0,0001$);
- ničelna domneva je zavrnjena v prid alternativni domnevi, ki pravi, da je statistično značilna razlika vsaj med dvema povprečnima sanitarnima sečnjama po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave za vse tri scenarije podnebnih sprememb in za obe klasifikaciji stopnje ohranjenosti drevesne sestave;
- hipoteza, ki trdi, da bo stabilnost gozda v Sloveniji zaradi podnebnih sprememb v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo slabša kot v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo, je potrjena ob predpostavki, da je sanitarna sečnja dober kazalec zdravja oz. stabilnosti gozda;
- preskus nadaljujemo in ugotavljamo, med katerimi obravnavanji (stopnjami ohranjenosti drevesne sestave) so statistično značilne razlike.

Preglednica 33: Analiza variance za sanitarni posek po treh scenarijih podnebnih sprememb glede na različne stopnje ohranjenosti drevesne sestave po klasifikaciji po Smoleju (2001)

Vir variabilnosti	Vsota kvadriranih odklonov	Stopinje prostosti	Srednji kvadrirani odklon	F	p
Scenarij A					
Obravnavanja	67,1452	3	22,3817	404,26	0,0000
Ostane	2,43608	44	0,0553653		
Skupaj	69,58128	47			
Scenarij B					
Obravnavanja	116,754	3	38,9181	280,13	0,0000
Ostane	6,11286	44	0,138929		
Skupaj	122,86686	47			
Scenarij C					
Obravnavanja	187,108	3	62,3693	170,06	0,0000
Ostane	16,1371	44	0,366753		
Skupaj	203,2451	47			

Preglednica 34: Analiza variance za sanitarni posek po treh scenarijih podnebnih sprememb glede na različne stopnje ohranjenosti drevesne sestave po klasifikaciji ZGS

Vir variabilnosti	Vsota kvadriranih odklonov	Stopinje prostosti	Srednji kvadrirani odklon	F	p
Scenarij A					
Obravnavanja	9,44322	3	3,14774	84,35	0,0000
Ostane	1,64205	44	0,0373193		
Skupaj	11,08527	47			

– Se nadaljuje –

– Nadaljevanje preglednice št. 34 –

Vir variabilnosti	Vsota kvadriranih odklonov	Stopnje prostosti	Srednji kvadrirani odklon	F	p
Scenarij B					
Obravnavanja	18,768	3	6,25601	98,84	0,0000
Ostane	2,78487	44	0,0632925		
Skupaj	21,55287	47			
Scenarij C					
Obravnavanja	33,1966	3	11,0655	78,3	0,0000
Ostane	6,2185	44	0,14133		
Skupaj	39,4151	47			

Preglednica 35 prikazuje rezultate Duncanovega preskusa mnogoterih primerjav, s katerim iščemo statistično značilne razlike med posameznimi pari povprečnih sanitarnih sečenj po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave. Preskus ima 6 različic, in sicer je izveden za tri scenarije podnebnih sprememb in za dve različni klasifikaciji stopnje ohranjenosti drevesne sestave, to sta klasifikaciji po Smoleju in ZGS. Preskus načeloma potrjuje, kar smo lahko domnevali iz strukture povprečnih sanitarnih sečenj po različnih stopnjah ohranjenosti drevesne sestave (slika 27). Tako pri klasifikaciji po Smoleju kot pri klasifikaciji po ZGS in vseh treh scenarijih podnebnih sprememb so skoraj med vsemi pari povprečnih sanitarnih sečenj po stopnjah ohranjenosti statistično značilne razlike pri 95 % stopnji zaupanja. Edina izjema je par 2 - 4 (spremenjena - izmenjana drevesna sestava) pri klasifikaciji ZGS pod scenarijem A. Če primerjamo velikost povprečnega sanitarnega poseka po stopnjah ohranjenosti, ugotovimo, da se le-ta pri klasifikaciji po Smoleju značilno večja s stopnjo spremenjenosti drevesne sestave pri vseh scenarijih podnebnih sprememb. Pri klasifikaciji po ZGS pa se povprečni sanitarni posek večja do tretje stopnje spremenjenosti drevesne sestave, v 4. stopnji pa se spusti med 1. in 2. stopnjo. To potrjuje hipotezo, da bo v Sloveniji zdravje (stabilnost) gozda zaradi podnebnih sprememb v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo slabše kot v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo.

Preglednica 35: Duncanov preskus mnogoterih primerjav za sanitarno sečnjo v treh scenarijih podnebnih sprememb med različnimi stopnjami ohranjenosti drevesne sestave po dveh različnih klasifikacijah

Klasifikacija po Smoleju (2001)			Klasifikacija po ZGS		
Scenarij A					
Stopnja ohranjenosti	Povprečje	Homogene skupine	Stopnja ohranjenosti	Povprečje	Homogene skupine
1	2,18833	x	1	3,42305	x
2	3,80131	x	2	4,35058	x
3	4,74771	x	3	4,59942	x
4	5,30969	x	4	4,28031	x
Kontrast	Razlika		Kontrast	Razlika	
1-2	*-1,61298		1-2	*-0,927532	
1-3	*-2,55938		1-3	*-1,17637	
1-4	*-3,12136		1-4	*-0,857259	
2-3	*-0,946393		2-3	*-0,248837	
2-4	*-1,50838		2-4	0,070273	
3-4	*-0,561987		3-4	*0,319109	

– Se nadaljuje –

– Nadaljevanje preglednice št. 35 –

Klasifikacija po Smoleju (2001)			Klasifikacija po ZGS		
Scenarij B					
Stopnja ohranjenosti	Povprečje	Homogene skupine	Stopnja ohranjenosti	Povprečje	Homogene skupine
1	2,00523	X	1	3,32587	X
2	3,63348	X	2	4,54037	X
3	5,08763	X	3	5,01423	X
4	6,15068	X	4	4,04235	X
Kontrast	Razlika		Kontrast	Razlika	
1-2	*-1,62825		1-2	*-1,2145	
1-3	*-3,0824		1-3	*-1,68836	
1-4	*-4,14545		1-4	*-0,716481	
2-3	*-1,45416		2-3	*-0,47386	
2-4	*-2,51721		2-4	*0,498017	
3-4	*-1,06305		3-4	*0,971877	
Scenarij C					
Stopnja ohranjenosti	Povprečje	Homogene skupine	Stopnja ohranjenosti	Povprečje	Homogene skupine
1	1,63818	X	1	3,15082	X
2	3,39494	X	2	4,7029	X
3	5,50719	X	3	5,33359	X
4	6,79706	X	4	3,82699	X
Kontrast	Razlika		Kontrast	Razlika	
1-2	*-1,75676		1-2	*-1,55208	
1-3	*-3,86901		1-3	*-2,18278	
1-4	*-5,15888		1-4	*-0,676177	
2-3	*-2,11225		2-3	*-0,630695	
2-4	*-3,40212		2-4	*0,875906	
3-4	*-1,28987		3-4	*1,5066	

Opomba: Zvezdica (*) označuje statistično značilno razliko; v stolpcu homogene skupine so statistično značilne razlike med posameznimi stopnjami ohranjenosti označene z nivojem znaka "X", t. j., če je znak v vertikalni smeri na istem nivoju, potem v primerjalnem paru ni statistično značilnih razlik.

Domnevo, da se bo zdravje gozda v Sloveniji zaradi podnebnih sprememb v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo bolj poslabšalo kot v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo, smo potrdili z intervalom zaupanja za razliko povprečij. Primerjamo povprečne razlike sanitarnega poseka med obdobjem 1995–2005 in prihodnjimi podnebnimi spremembami (tri scenariji) po posameznih stopnjah ohranjenosti drevesne sestave. V gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo bo v podnebnih spremembah in po Smolejevi klasifikaciji povprečno od 0,97 % do 2,36 % večji sanitarni posek kot v obdobju 1995–2005; v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo je ta razlika še večja, t. j. od 3,62 % do 5,15 % (preglednica 36). Trdimo, da je pri 95 % zaupanju razlika povprečnih sanitarnih sečenj v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo od 2,05 % do 3,38 % večja kot v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo pri klasifikaciji po Smoleju. To dokazuje tudi t-preskus ($t = 11,32$; $p = 0,0003$), s katerim lahko pri 99 % zaupanju trdimo, da obstajajo statistično značilne razlike med razlikami povprečij.

Do podobnih sklepov pridemo tudi pri klasifikaciji po ZGS, le da so razlike povprečij na splošno manjše kot pri Smolejevi klasifikaciji. Domnevo, da se bo zdravje gozda v Sloveniji zaradi podnebnih sprememb v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo bolj poslabšalo kot v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo potrjujemo tudi pri klasifikaciji ZGS. V gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo bo v podnebnih spremembah in po klasifikaciji ZGS povprečno od 2,53 % do 3,21 % večji sanitarni posek kot v obdobju 1995–2005; v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo je ta razlika še večja, t. j. od 3,32 % do 3,85 % (preglednica 37). Interval 95 % zaupanja za razliko povprečij med ohranjenimi in spremenjenimi gozdovi po klasifikaciji ZGS pokaže, da bo v spremenjenih gozdovih povprečno od 0,44 % do 1,00 % večji sanitarni posek kot v ohranjenih gozdovih. Razliko povprečij smo preskusili še s t-preskusom ($t = 7,15$; $p = 0,002$). Slednji preskus je potrdil, da pri 99 % zaupanju obstajajo statistično značilne razlike med razlikami povprečij, t. j. razlikami povprečij sanitarnega poseka med obdobjem 1995–2005 in prihodnjimi podnebnimi spremembami po posameznih stopnjah ohranjenosti drevesne sestave.

Preglednica 36: Intervali zaupanja (95 %) za razliko povprečij med sanitarnim posekom v obdobju 1995–2005 in tremi scenariji podnebnih sprememb po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave upoštevajoč klasifikacijo po Smoleju (sanitarni posek v % lesne zaloge)

Drevesna sestava	Scenarij A	Scenarij B	Scenarij C	Povprečno
Ohranjena	$1,909 \pm 0,0808$	$1,726 \pm 0,1103$	$1,359 \pm 0,1556$	$1,664 \pm 0,6959$
Spremenjena*	$4,066 \pm 0,2435$	$4,403 \pm 0,3879$	$4,954 \pm 0,5344$	$4,383 \pm 0,7632$

*Opomba: spremenjena drevesna sestava je tukaj obravnavana kot skupina vseh razredov spremenjene drevesne sestave, t. j. spremenjeni, zelo spremenjeni in izmenjani gozdovi

Preglednica 37: Intervali zaupanja (95 %) za razliko povprečij med sanitarnim posekom v obdobju 1995–2005 in tremi scenariji podnebnih sprememb po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave upoštevajoč klasifikacijo po ZGS (sanitarni posek v % lesne zaloge)

Drevesna sestava	Scenarij A	Scenarij B	Scenarij C	Povprečno
Ohranjena	$2,992 \pm 0,1188$	$2,895 \pm 0,1101$	$2,720 \pm 0,1111$	$2,870 \pm 0,3427$
Spremenjena*	$3,476 \pm 0,2617$	$3,598 \pm 0,2950$	$3,687 \pm 0,3514$	$3,587 \pm 0,2632$

*Opomba: spremenjena drevesna sestava je tukaj obravnavana kot skupina vseh razredov spremenjene drevesne sestave, t. j. spremenjeni, zelo spremenjeni in izmenjani gozdovi

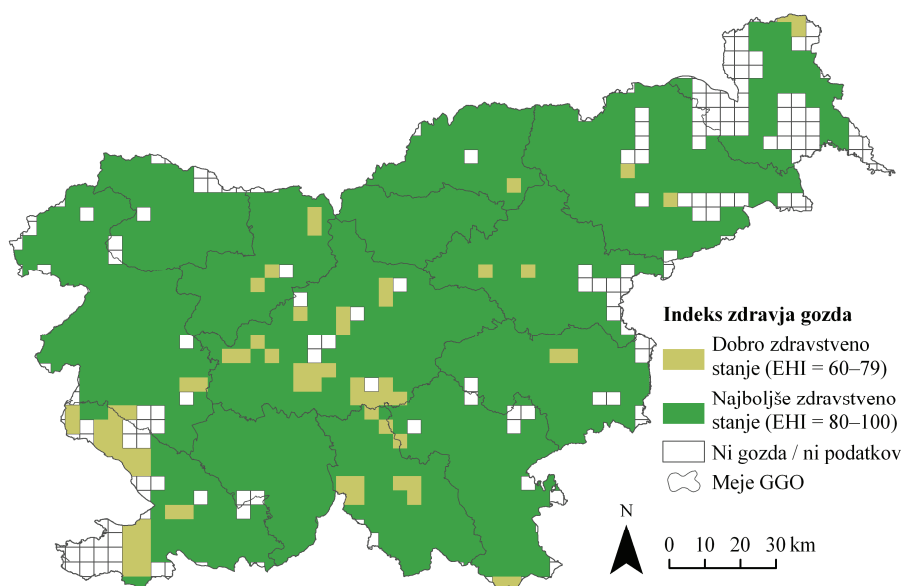
4.4 INDEKS ZDRAVJA GOZDA

Izdelali smo indeks zdravja gozda po metodologiji izračuna *EHI* (Jørgensen in sod., 2005). Izbor kazalcev za *EHI* smo izvedli na podlagi meril 2. lizbonske resolucije za ocenjevanje ohranjenosti zdravja in vitalnosti gozda. Indeks zdravja gozdov smo izračunali s pomočjo dveh kazalcev, t. j. sanitarne sečnje in osutosti krošenj. Sanitarni sečnji smo priredili dvakrat večji ponder kot osutosti. V nadaljevanju prikazujemo rezultate izračuna *EHI* za območje celotne Slovenije za obdobje 1995–2005 (slika 28). Da so rezultati preglednejši, smo se odločili prikazati podatke na ravni GGO (preglednica 38).

Splošna ocena zdravja gozda v Sloveniji na podlagi sanitarne sečnje in osutosti krošenj za obdobje 1995–2005 je zelo dobra. 94,5 % površin gozdov je ocenjenih z najboljšim zdravstvenim stanjem in 5,5 % površin gozdov z dobrim zdravstvenim stanjem (preglednica 38). Z najboljšim zdravjem gozda se lahko pohvalijo GGO Bled, Postojna in

Nazarje (100 % površin gozdov). Slabše vendar še vedno dobro zdravstveno stanje imajo v GGO Sežana (27 % površin gozdov), Kočevje (11,1 %) in Ljubljana (10,7 %).

Izdelali smo še analizo posameznih kazalnikov glede na to, koliko prispevajo k zdravju gozdov v Sloveniji v obdobju 1995–2005. Celotna sanitarna sečnja za vse gozdnate površine v Sloveniji pripisuje slabo zdravstveno stanje, t. j. v celoti spada v razred 20–39 % *EHI*. Pri osutosti je ocena nekoliko drugačna. Večina (93,5 %) površin gozdov v Sloveniji pripada srednjemu zdravstvenemu stanju glede na osutost, t. j. v razred 40–59 % *EHI*. Glede na osutost je 6,5 % površin gozdov razporejeno v dobro zdravstveno stanje, t. j. v razred 60–79 % *EHI*. Površina dobrega zdravstvenega stanja glede na osutost se večinoma nahaja v GGO Tolmin, Brežice in Novo mesto.



Slika 28: Karta indeksa zdravja gozda (*EHI*) v Sloveniji za obdobje 1995–2005

Preglednica 38: Delež (%) površin po GGO glede na stopnjo zdravstvenega stanja (*EHI*) v obdobju 1995–2005

GGO	Zdravstveno stanje	
	najboljše ($EHI \geq 80$)	dobro ($60 \leq EHI < 80$)
Tolmin	98,1	1,9
Bled	100,0	0,0
Kranj	93,8	6,2
Ljubljana	89,3	10,7
Postojna	100,0	0,0
Kočevje	88,9	11,1
Novo mesto	96,3	3,7
Brežice	97,9	2,1
Celje	98,8	1,2
Nazarje	100,0	0,0
Slovenj Gradec	98,3	1,7
Maribor	98,3	1,7
Murska Sobota	94,3	5,7
Sežana	73,0	27,0
Skupaj	94,5	5,5

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

V doktorski disertaciji preskušamo naslednje hipoteze:

- V Sloveniji se bo zdravstveno stanje gozdov poslabšalo zaradi podnebnih sprememb. Hipoteza je potrjena (glej poglavje št. 4.2, str. 87).
- Gozdovi s spremenjeno drevesno sestavo so labilnejši, tako v obdobju 1995–2005 kot v podnebnih spremembah. Hipoteza je potrjena (glej poglavje št. 4.3.1, str. 94).
- V Sloveniji se bo zdravje gozda zaradi podnebnih sprememb bolj poslabšalo v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo kot v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo. Hipoteza je potrjena (glej poglavje št. 4.3.2, str. 100).

Vse postavljene hipoteze so potrjene. Dokazila za vsako hipotezo so navedena v rezultatih. V nadaljevanju na kratko navajamo sklepe za vsako potrjeno hipotezo, razpravljamo o postavljenih trditvah, omejitvah modelov, predpostavkah, na katerih temeljijo modeli, in pomislekih, ki so se pojavili med razvojem modelov. Pišemo o morebitnih izboljšavah modelov in pomenu dognanj iz disertacije za razvoj gozdarstva in posebno varstva gozdov.

5.1 PODNEBNE SPREMEMBE

Mednarodni panel za podnebne spremembe (Climate change ..., 2007) je izdal poročilo, katerega povzetek pomembnih dognanj v kontekstu zdravja gozda v Sloveniji navajamo v nadaljevanju:

- Od leta 1906 do 2005 so se temperature na kopnem povečale za 0,74 °C ($\pm 0,18$ °C).
- Povprečna relativna zračna vlažnost se je povečala vsaj po letu 1980, in sicer nad kopnim, oceani in v troposferi. Povečanje relativne zračne vlažnosti je v skladu s pravilom, da toplejši zrak lahko veže več vlage.
- Na obeh poloblah so se zmanjšali ledeniki in snežna odeja. Projekcije kažejo še nadaljnje krčenje snežne odeje.
- Po letu 1960 so se na obeh poloblah ojačali zahodni vetrovi v srednjih geografskih širinah. Zaradi človekovega vpliva so se verjetno spremenili vzorci vetra.
- Po letu 1970 je opaziti intenzivnejše in daljše suše nad večjimi območji, posebno v tropskih in subtropskih predelih. To je povezano z višjimi temperaturami in manjšo količino padavin. Suše so povezane s spremembami temperature gladine morja, s spremenjenimi vzorci vetra in manjšo količino zapadlega snega.
- Frekvenca hudih nalivov se je povečala nad večino območij na kopnem, kar je skladno z višjo temperaturo in povečano relativno zračno vlažnostjo.
- Pogostejši so vročinski valovi: vroči dnevi in vroče noči.
- Večina opazovanj povišanja povprečne globalne temperature od sredine 20. stoletja naprej je zelo verjetno posledica povečanja izpustov toplogrednih plinov človeškega izvora.
- V naslednjih dveh desetletjih je pričakovati otoplitev za okoli 0,2 °C na 10 let na podlagi večine scenarijev SRES.
- V obdobju 2090–2099 se bo verjetno globalna temperatura povečala za 1,1–6,4 °C.

- Zelo verjetno je, da bodo vročinski ekstremi, vročinski valovi in hudi nalivi postali pogostejši.
- Slovenija bo imela 5–10 % več padavin od decembra do februarja (tako napoveduje več kot 90 % modelov) in 10–20 % manj padavin od junija do avgusta (tako napoveduje več kot 34 % modelov).

5.1.1 Vpliv na pojav novih, doslej neznanih škodljivcev in bolezni

Model za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje ne upošteva morebitnih sprememb v obnašanju že v Sloveniji prisotnih bolezni in škodljivcev. Načeloma za veliko večino organizmov velja, da se hitreje razvijajo ob zmerno višjih temperaturah. Že preprost premislek pove, da se bosta številčnost in razširjenost bolezni in škodljivcev povečali ob večji hitrosti razmnoževanja in življenjskega cikla. Vendar se bo predvidoma spremenila tudi fenologija dreves, kar bi lahko povzročilo neujemanje življenjskih ciklov škodljivcev oz. bolezni in njihovih gostiteljev (Ayres in Lombardero, 2000; Walther in sod., 2002). Posebno nevarni so tisti paraziti, ki so primarni ali fakultativni in imajo širok krog gostiteljev. Takšna je npr. gliva *Botryosphaeria dothidea*, ki že sedaj povzroča naravno katastrofo ob vsaki suši na Krasu na črnem gabru (Jurc in sod., 2006a). Druga toploljubna gliva je, npr., *Biscogniauxia mediterranea* var. *microspora* (J.H. Mill.) Y.M. Ju & J.D. Rogers, ki povzroča bolezen pooglenitev hrastov. Prvič so jo opazili kot posledico suše leta 2003 na Krasu; povzroča sušenje cera in puhastega hrasta. Glede na predvidevanja se bo s segrevanjem ozračja pojavila še severneje (Jurc in Ogris, 2006). Podobno se obnaša gliva *Biscogniauxia nummularia* (Bull.) Kuntze, ki povzroča bolezen pooglenitev bukve. Gliva je splošno razširjena v slovenskih gozdovih. Ob sušnem stresu postane patogena in povzroči sušenje drevja, kot se je zgodilo, npr., leta 2003 (Jurc, 2006). Po suši leta 2003 smo ugotovili primere neobičajno hitre rasti podgobja mraznic (*Armillaria* spp.) v kambialnem predelu bukev, ki so bile na pogled zdrave (Jurc D, 2007). Jakost bolezni je pri vseh vrstah iz rodu *Nectria* neposredno odvisna od oslabeledlosti drevesa ali njegovega dela, ki ga lahko, npr., povzroči suša (Butin, 1995; Jurc D, 2007). V zadnjih letih se vpliv spreminjanja okoljskih razmer kaže v spremembah razširjenosti nekaterih vrst žuželk pri nas glede na zemljepisno širino in nadmorsko višino (*Ips amitinus*, *Taphrorychus bicolor*, *Agrilus viridis*, *Lymantria dispar*, *Tortrix viridana*) in v povečanih škodah, ki jih le-te začenjajo povzročati v gozdovih (Jurc M, 2007). V Sloveniji se je v zadnjih nekaj letih pojavilo nekaj novih vrst žuželk na gozdnem drevju: *Xyleborus germanus*, *Metcalfa pruinosa*, *Leptoglossus occidentalis*, *Dryocosmus kuriphilus* (Jurc M, 2007). Vse našteje bolezni in škodljivci lahko bistveno spremenijo potencialno razširjenost vsake od drevesnih vrst.

Poleg bolezni in škodljivcev, ki se pojavljajo v Sloveniji, lahko pričakujemo vnos vedno več novih škodljivih organizmov, ki jih Slovenija še ne pozna. Ni pomembno, ali bo novega škodljivca prinesel človek ali pa bo prišel sam; pomembno je, koliko škode lahko naredi v gozdu. Jurc (2006) v svojem prispevku našteva predvidene pomembnejše grožnje slovenskim gozdovom v bližnji prihodnosti:

- fitoftorna sušica vej, *Phytophthora ramorum* Werres, De Cock & Man in 't Veld, povzroča sušenje hrasta; v Slovenijo so jo že večkrat vnesli s sadikami rododendronov, vendar se še ne širi v gozdovih; ima širok krog gostiteljev;

- borova ogorčica, *Bursapelenchus xylophilus* (Steiner & Buhner) Nickle, 1970, povzroča obsežno sušenje borov; prisotna je na Portugalskem, prenašalci škodljivca so kozlički iz rodu *Monochamus* (Jurc M in sod., 2003);
- kitajski kozliček, *Anaplophora glabirepennis* Motschulsky 1853, in citrusov kozliček, *Anaplophora chinensis* Thomson 1865, sta polifagna kozlička na več kot 40 rodovih drevja; napadata povsem zdravo drevje, prenašata se s paletami, vnesena sta že v Avstrijo, Nemčijo, Francijo in Italijo;
- kostanjeva šiškarica, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, 1951, povzroča šiške na poganjkih, listnih pecljih in cvetovih pravega kostanja, v Slovenijo je bila vnesena s sadikami leta 2004 (Odločba o nujnih ukrepih ..., 2005);
- *Platypus mutatus* (Chapuis, 1865), polifagen beljavar, primaren škodljivec, vnesen v Italijo iz Južne Amerike;
- siva veverica, *Sciurus carolinensis* (Gmelin, 1788); pozimi se hrani s skorjo več vrst listavcev, leta 1948 so jo vnesli v severno Italijo, konkurenčna je navadni veverici, *Sciurus vulgaris*.

Primer vpliva podnebnih sprememb na izumiranje vrste organizma oz. celotne skupine organizmov so žabe. Vzrok v globalnem izumiranju in skrajni ogroženosti žab je v višji temperaturi in patogeni glivi *Batrachochytrium dendrobatidis* Longcore, Pessier & D.K. Nichols (Blaustein in Dobson, 2006). Zaradi višje temperature se je spremenil način prenosa glive *Batrachochytrium*, ki je zdaj postala glavni vzrok za izumiranje žab v tropih. Rod žab *Atelopus*, npr., vključuje 110 vrst, od katerih jih je že 67 % izumrlo v zadnjih 20 letih zaradi omenjene glive in dviga temperature ozračja.

Jurc D (2007) meni, da se bo jakost poškodb gozdov zaradi bolezni večala s povečevanjem odstopanj od povprečnih vremenskih razmer. Interakcija med gostiteljem in patogenom, ki sta se evolucijsko razvijala skupaj, je uravnotežena in patogen v stabilnem okolju nikoli ne ogrozi preživetja gostitelja. Vendar sta pojav in jakost bolezni drevesa odvisna od treh dejavnikov: gostitelja, patogena in okolja. Okolje se je spremenilo in spremembe povzročajo razvoj drugačnih bolezni in v drugačni jakosti kot doslej. Pri obravnavanju zdravja gozda je najpomembnejše zavedanje, da so največja in stalno prežeha grožnja tisti škodljivi organizmi, ki so vneseni od drugod; z vse večjo mobilnostjo, trgovanjem, turizmom in na druge načine jih namreč nenehoma vnašamo k nam. Taki organizmi lahko mnogo hitreje in bolj ogrozijo zdravje gozda kot že prisotne bolezni.

5.2 MODEL I ŠTIRIH VRST SANITARNIH SEČENJ

V procesu razvoja modela za ocenjevanje zdravja gozdov v Sloveniji smo izvedli 4 poskuse (glej poglavje št. 3.2, str. 46). Zdravje gozdov v disertaciji ocenjujemo s pomočjo sanitarne sečnje, katere struktura se izraža v 11 vzrokih (preglednica 1, str. 4). Za potrebe modela zdravja gozdov v Sloveniji bi potrebovali modele, ki ocenjujejo potencialno sanitarno sečnjo za vseh 11 vzrokov. Vendar so se v procesu razvoja modelov pokazali za dovolj zanesljive le štirje modeli, t. j. za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in drugih vzrokov. S štirimi od enajstih vzrokov sanitarne sečnje ne moremo dobiti celostne podobe o potencialni sanitarni sečnji in posledično tudi ne za zdravje gozda. Rezultati so zanimivi z vidika posameznih vrst sanitarnih sečenj. Projekcije nakazujejo trende pojavljanja sanitarnih sečenj zaradi žuželk, žleda, dela v

gozdu in drugih vzrokov do konca 21. stoletja za tri različne scenarije podnebnih sprememb.

Modeli za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda in dela v gozdu so regresijska drevesa, katerih odvisna spremenljivka je sanitarna sečnja, izražena v deležu lesne zaloge v celici modela. Model za ocenjevanje sanitarnih sečenj zaradi drugih vzrokov je klasifikacijsko drevo, katerega napovedi so podane v binarni obliki (ena ali nič).

Rezultati modelov za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi posameznih vzrokov so navedeni v dveh ločenih poglavjih. Prvo (poglavje št. 4.1.1, str. 74) obravnava spremembe potencialne sanitarne sečnje zaradi podnebnih sprememb v deležu lesne zaloge. Drugo (poglavje št. 4.1.2, str. 76) pa obravnava spremembe potencialne sanitarne sečnje zaradi podnebnih sprememb na površini. Rezultati modela za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov so obravnavani le v drugem poglavju. V obeh poglavjih so rezultati prikazani kot splošni trendi s pomočjo koeficienta linearne regresije, ki podaja podatek o povprečni spremembi potencialne sanitarne sečnje zaradi podnebnih sprememb na 10 let v deležu lesne zaloge oz. na površini (km²).

Zaradi podnebnih sprememb se naj bi potencialna sanitarna sečnja zaradi žuželk povečala. Prav obratno naj bi podnebne spremembe vplivale na pojavljanje potencialnih poškodb gozdnega drevja zaradi žleda in dela v gozdu; potencialne sanitarne sečnje zaradi žleda in dela v gozdu bo verjetno vedno manj. Potencialne sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov se bodo načeloma pod vplivom podnebnih sprememb pojavljale na večjih površinah kot doslej. Po scenarijih B in C naj bi se drastično povečal povprečni sanitarni posek zaradi drugih vzrokov, po scenariju A pa za malenkost zmanjšal oz. ostal skoraj na enaki ravni, kot je bil v referenčnem obdobju 1995–2005.

Za izračun indeksa povprečnih sprememb sanitarnih sečenj smo uporabili referenčno obdobje 1995–2005. Referenčno obdobje mora biti skrbno izbrano, saj ga izbiramo tako, da ne vključuje neobičajnih dogodkov. Za obdobje 1995–2005 smo se odločili zato, ker nismo imeli veliko izbire. Vsa časovna vrsta podatkov o sanitarni sečnji, ki so na voljo, je za obdobje od leta 1995 naprej. Pred letom 1995 ni zbranih podatkov po enotni obliki. Podatki so bolj pomanjkljivi, bolj ko gremo v preteklost (Ogris, 2006). Referenčno obdobje bi bilo boljše, če bi bilo daljše, npr. 30 let. Ampak to ni bilo izvedljivo zaradi omejitve z dostopnostjo dovolj kakovostnih podatkov.

Scenarij A je obravnavan kot optimistični scenarij, scenarij B kot srednji scenarij, scenarij C pa kot pesimistični scenarij. Ko obravnavamo trende pojavljanja poškodb zaradi posameznih vrst sanitarnih sečenj pod vplivom podnebnih sprememb, se pri nekaterih vrstah sanitarnih sečenj pojavlja trend zmanjševanja, pri drugih pa trend povečevanja količine sečenj. V primeru zmanjševanja potencialnih sanitarnih sečenj bi se moral praviloma najbolj zmanjšati pri scenariju A, najmanj pri scenariju C, scenarij B pa bi moral biti med scenarijema A in C. V primeru povečevanja potencialnih sanitarnih sečenj bi se praviloma morala sanitarna sečnja najmanj povečati pri scenariju A, najbolj po scenariju C, scenarij B pa bi moral biti kot srednji scenarij med A in C. To okvirno pravilo se nekajkrat resda uresniči, vendar večinoma pa ne. Menimo, da so razlogi za to v kompleksnosti

sistema pojavljanja sanitarnih sečenj, ki povzroča prepletanje projekcij raznih scenarijev podnebnih sprememb.

Pojavlja se vprašanje, zakaj večina zgrajenih modelov za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje, npr. zaradi bolezni, snega, vetra in požarov, daje nezanesljive rezultate (preglednica 5, preglednica 6, preglednica 7). Razlogi za to so lahko številni, naštevamo jih samo nekaj. Prostorska in časovna ločljivost spremenljivk je groba. Velikost celice modela je $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$. Večina škodljivih dejavnikov na gozd deluje na površini, manjši kot 1 km^2 . Največkrat so to posamezna drevesa ali skupine dreves, redkeje celoten sestoje. Podnebne spremenljivke se nanašajo na letna in mesečna povprečja iz 30-letnega referenčnega obdobja 1971–2000. Škodljivi dejavniki za gozd, kot so veter, sneg, žled in požari, so posledica največkrat trenutnih, t. j. dnevnih oz. nekajdnevnih izrednih vremenskih razmer, ne pa povprečnih mesečnih ali povprečnih letnih vrednosti podnebnih spremenljivk.

Enih boljših izboljšav modela zdravja gozdov Slovenije bi bilo možno izvesti tako, če bi vsako bolezen ali škodljivca gozdnega drevja modelirali posebej, ne skupaj, saj se med sabo toliko razlikujejo, da njihovega pojavljanja ni mogoče posploševati z enim samim modelom. Vsaka bolezen ali škodljivec ima toliko svojevrstnih lastnosti in posebnosti, da jih posploševanje ne more zajeti. S splošnimi modeli lahko zajamemo generaliste, ne pa specialiste. V nadaljevanju navajamo povzetek modela, na primer za ocenjevanje škode, ki jo lahko povzroči samo ena bolezen in ne bolezni na splošno.

V času nastajanja disertacije je bila izdelana ocena tveganja za bolezen javorov rak (*Eutypella parasitica*) v Sloveniji zaradi podnebnih sprememb (Ogris in sod., 2007). Javorov rak je bil v Sloveniji in v Evropi prvič ugotovljen leta 2005 (Jurc in sod., 2006b). Bolezen se počasi širi po Sloveniji. Model širjenja javorovega raka v Sloveniji temelji na modelu, ki smo ga razvili za oceno tveganja na ravni Evrope (Ogris in sod., 2006a). Model vključuje več spremenljivk, ki zaobjemajo prostorsko in tudi časovno razsežnost širjenja bolezni. Napovedi modela temeljijo na trenutnem poznavanju dovzetnosti različnih vrst javorov za bolezen, razmnoževanje in širjenje glive, vendar s posebnim poudarkom na razširjenosti gostiteljev in primernosti podnebja. Prostorska analiza kart razširjenosti gostiteljev in kart povprečnih mesečnih vrednosti podnebnih spremenljivk je bila izdelana z uporabo uteži za vsako spremenljivko. Uteži posameznih spremenljivk so bile določene glede na stopnjo vpliva na širjenje glive. Oceno tveganja smo naredili za sedanje razmere in za tri izbrane scenarije podnebnih sprememb v dveh obdobjih, in sicer 2021–2050 ter 2071–2100. Pri izdelavi ocen tveganja zaradi podnebnih sprememb smo upoštevali morebitne potencialne spremembe v razširjenosti javorov. Rezultati so prostorsko prikazani na kartah in številsko v preglednicah po gozdnogospodarskih območjih. Če vzamemo srednji scenarij podnebnih sprememb v obdobju 2021–2050 (povprečno povečanje temperature za $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$), se bo tveganje najbolj povečalo v GGO Murska Sobota (133 %), Maribor (48 %), Slovenj Gradec (28 %) in Celje (25 %). Model širjenja javorovega raka napoveduje, da bo javorov rak verjetno postopoma postajal manj pomembna bolezen. Podmodel razširjenosti javorov namreč napoveduje manjšanje potencialnega areala javorov ne glede na scenarij podnebnih sprememb. Predvidevamo, da se bo pogostost javorovega raka verjetno povečevala (scenarij A) še naslednjih 50 let, potem pa se bo po modelnih napovedih njegov delež začel manjšati. Končna ocena za javorov rak v Sloveniji je: povprečna okuženost vseh javorov 3–5 %.

Žled je vremenski pojav, ki se pojavi tedaj, kadar se pri tleh zadržuje zelo hladen zrak, v višinah pa veter prinese toplega. Če so v njem padavinski oblaki nimbostratusi, iz takih oblakov dežuje, ko pa dežuje iz toplega zraka v hladen zrak nad nižinami, se tam hitro ohladi. Drobne kapljice se ohladijo na temperaturo pod 0 °C. Ko padejo na zmrznjena tla ali na hladne predmete, tam hipoma zmrznejo. Led oblije veje, debla, telefonske in električne žice ter drogove. Teža ledu je lahko tolikšna, da se lomijo veje in debla, zvijajo se železni stebri, žice se trgajo. Žled je najpogostejši v hribih dinarskega gorstva in ne seže do vrhov gora: najbolj izrazit je v pasu višin od 400 do 1000 metrov (Kastelec, 1997). Projekcije potencialne sečnje zaradi žleda v Sloveniji pod vplivom podnebnih sprememb kažejo zmanjševanje poškodb gozdnega drevja zaradi žleda. Slika 21 nakazuje prostorsko prerezporeditev potencialnih poškodb zaradi žleda. Lahko opazimo, da se bodo poškodbe pomaknile nekoliko proti severu. Podobno ugotavljajo tudi raziskovalci v Kanadi (Francis in Hengeveld, 1998; Dale in sod., 2001). V drugi raziskavi so s pomočjo metode statistično zmanjševanje skale za štiri scenarije podnebnih sprememb in analize diskriminante ugotovili, da se bo pogostost žledenja povečala na severu v hladnejših mesecih (december–februar), v toplejših mesecih (november, marec, april) pa naj bi se pogostost žledenja zmanjšala oz. zelo malo spremenila (Cheng in sod., 2007).

Raziskave, ki se ukvarjajo z vplivom podnebnih sprememb na herbivorne žuželke, napovedujejo, (1) da se bo povečala biološka aktivnost pa tudi s tem povezan večji vpliv floemofagov in defoliorjev na gozdove – to se že dogaja v evropskih in slovenskih gozdovih; (2) spremenila se bo razširjenost posameznih domačih herbivornih žuželk v velikosti areala pa tudi pojavljanje v višjih nadmorskih legah; (3) naselile in udomačile se bodo nove, eksotične herbivorne žuželke, ki bodo povzročale dodatno škodo na gozdnem drevju (Jurc M, 2007).

5.3 MODEL SKUPNE SANITARNE SEČNJE

Z modelom za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje preskušamo hipotezo, ali se bo v Sloveniji poslabšalo zdravstveno stanje gozdov zaradi podnebnih sprememb. Pri tem domnevamo, da je sanitarna sečnja dober pokazatelj zdravstvenega stanja gozdov. Model za ocenjevanje zdravja gozdov ali model za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje v Sloveniji je regresijsko drevo. Odvisna spremenljivka je delež sanitarnega poseka v lesni zalogi celice. Model je prostorski, katerega ločljivost je 1 km × 1 km. Zanesljivost modela je merjena s korelacijskim koeficientom, ki znaša 0,46 (povprečje štirih izbranih modelov). Model je bil izračunan za tri scenarije podnebnih sprememb in 12 desetletnih obdobj od 1981 do 2100.

Potencialne spremembe sanitarne sečnje obravnavamo iz dveh vidikov: potencialne spremembe v deležu lesne zaloge in potencialne spremembe v pojavljanju po površini. Zaradi nizkega korelacijskega koeficienta ($r = 0,46$) napovedi modela niso podane v neposrednih vrednostih projekcij, ampak samo glede splošnih trendov, ki smo jih izrazili s pomočjo koeficienta linearne regresije. Koeficient linearne regresije podaja podatek o povprečni spremembi potencialne sanitarne sečnje zaradi podnebnih sprememb na 10 let v deležu lesne zaloge oz. v površini (km²).

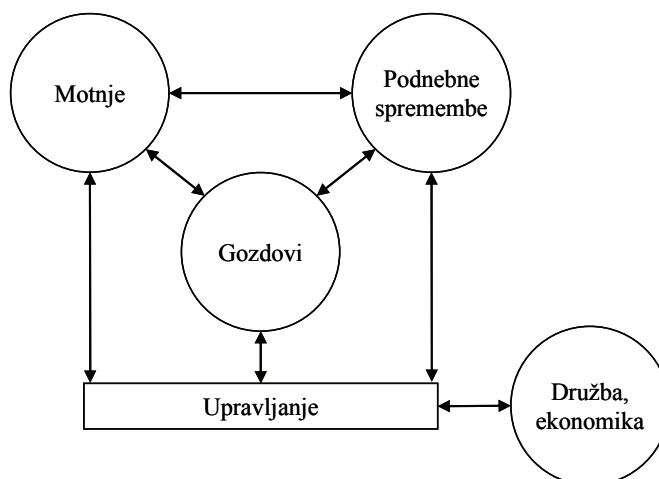
Z rezultati modela za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje potrjujemo hipotezo, da se bo v Sloveniji verjetno poslabšalo zdravstveno stanje gozdov zaradi podnebnih sprememb. Povečal se bo povprečni delež potencialne sanitarne sečnje v lesni zalogi (povprečno 0,02–0,05 % LZ na 10 let) in povečala se bo potencialna površina, kjer lahko nastane sanitarna sečnja (povprečno 72–111 km² na 10 let).

Zaradi velikosti modelov (preglednica 11) nismo natančneje obravnavali izvirne notranje zgradbe regresijskih in klasifikacijskih dreves. Zelo velika drevesa je zelo težko obravnavati, saj v njih nastaja mnogo soodvisnosti in povezav na različnih ravneh v drevesu. V prilogah A–E smo prikazali porezana odločitvena drevesa. Iz njih smo sklepali na osnovne odvisnosti med spremenljivkami, predvsem pa smo lahko ugotovili, katere spremenljivke so najodločilnejše za pojav določene vrste sanitarne sečnje. Tako je v modelu za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žuželk najodločilnejše, koliko je drugih vrst sanitarnih sečenj v celici (priloga A); s tem je podana na nek način trofična kapaciteta. V modelu za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žledu je najodločilnejša spremenljivka, ki podaja referenčno evapotranspiracijo v mesecu maju (priloga B); pomen spremenljivke sicer ne znamo razlagati, saj večina žledolomov nastane od decembra do februarja; ima pa razločljiv pomen druga najodločilnejša spremenljivka, t. j. najmanjša nadmorska višina v celici; znano je, da se žled pojavlja v višini od 400 do 1000 metrov (Kastelec, 1997). Pri modelu za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi dela v gozdu je najodločilnejša spremenljivka povprečna letna relativna zračna vlažnost (priloga C). Na prvem nivoju klasifikacijskega drevesa za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov se nahaja delež jelke v celici modela (priloga D); to mogoče nakazuje na problem sušenja jelke v zadnjih desetletjih prejšnjega stoletja zaradi neznanih vzrokov oz. zaradi transporta onesnaženega zraka na daljavo (Šolar, 1988). V modelu za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje (priloga E) je najodločilnejše, kolikšen je delež iglavcev v celici modela; to je verjetno povezano s sanitarno sečnjo zaradi žuželk, katera zavzema največji delež med vsemi vrstami sanitarnih sečenj (preglednica 1); žuželke največ škode naredijo na smreki in jelki (preglednica 4).

Pomembnost spremenljivk v posameznih modelih lahko izrazimo tudi s pomočjo algoritma ReliefF, ki upošteva medsebojne odvisnosti spremenljivk in izraža njihovo pomembnost v povprečnem rangi (Kononenko, 1994; Robnik-Šikonja in Kononenko, 1997) (preglednica 12, preglednica 23). V modelu za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žuželk so najpomembnejše spremenljivke, ki podajajo drevesno sestavo in opisujejo talne tipe. Pri modelu za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žledu je najodločilnejša spremenljivka vrsta matične podlage. To je razumljivo, saj je žledolom neposredno povezan z mehansko stabilnostjo drevesa, pri kateri je pomemben dejavnik zakoreninjenost in v povezavi s tem vrsta matične kamnine. Pri modelu za ocenjevanje sanitarnega poseka drevja zaradi dela v gozdu so pomembnejše tiste spremenljivke, ki so v odvisnosti s posekom in pravilom lesa, npr. oddaljenost do najbližjega gozda, dolžina gozdnih cest in vrsta lastništva. Za model za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov so pomembni splošnejši dejavniki v primerjavi z drugimi modeli, npr. hidrogeološka podlaga, onesnaženost zraka, geografska dolžina. V modelu za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje so vključene vse vrste sanitarnih sečenj. Zato že prvih 20 najpomembnejših spremenljivk za slednji model pripada najrazličnejšim kategorijam, npr. krajina, raba tal, vrsta tal, lastniška kategorija, drevesna sestava, gozdne ceste, kemijske lastnosti tal, vodne razmere in matična podlaga.

Preskušanje domneve o vplivu podnebnih sprememb na zdravje gozda na podlagi samo enega kazalca je sporno. Četudi je sanitarna sečnja dober kazalec zdravja gozda, sama ne more zaobjeti celotne problematike zdravja gozda. Ena boljših definicij za zdravje ekosistema je naslednja: "Zdrav ekosistem je tisti, ki je trajen, t. j., ima sposobnost vzdrževati zgradbo (organizacijo) in funkcijo (vitalnost) skozi čas kljub stresnim dejavnikom (odpornost)" (Costanza in Mageau, 1999; Brown in Ulgiati, 2005). Slednji pogled na zdravje ekosistema vključuje pogled trajnosti, ki ga ima slovensko gozdarstvo vključenega kot enega od treh temeljnih načel gospodarjenja z gozdovi, kot so sonaravno, trajnostno in večnamensko gospodarjenje z gozdovi. Če bi želeli obravnavati zdravje gozda v celovitejšem pogledu, bi morali izbrati primerne kazalce za vsakega od naštetih načel gospodarjenja z gozdom.

V Sloveniji se z zdravjem gozda najbolj neposredno ukvarja gozdarsko strokovno-znanstveno podpodročje varstvo gozdov. Definicija varstva gozdov je: "varstvo gozdov ureja pogoje za sonaravno, trajnostno in večnamensko gospodarjenje in rabo gozdov (izkoriščanje funkcij gozdov), ohranjanje biotskega ravnovesja gozdnega ekosistema, načrtovanje ukrepov za preprečevanje škodljivih vplivov na gozd, ter spremljanje poškodovanosti gozdov in varstvo gozdov pred požari" (Pravilnik o varstvu gozdov, 2000, 2006). Iz definicije varstva gozdov sledi, da za ocenitev zdravja gozda potrebujemo – poleg kazalcev za oceno sonaravnega, trajnostnega in večnamenskega gospodarjenja z gozdovi – še kazalce za biotsko ravnovesje in kazalce za ocenitev vpliva škodljivih dejavnikov na gozd. V tej disertaciji upoštevamo samo slednje, torej vpliv škodljivih dejavnikov na gozd, ki ga izražamo kvantitativno skozi sanitarno sečnjo.



Slika 29: Vzajemno delovanje med podnebnimi spremembami, motnjami, gozdovi in upravljanjem (Dale in sod., 2001)

Podnebne spremembe vplivajo na gozd neposredno pa tudi posredno. Motnje v gozdu so naravni in integralni del gozdnega ekosistema. Podnebne spremembe lahko spremenijo naravne medsebojne povezave v gozdu, katerih del so tudi motnje (slika 29). Ko motnje presežejo svoj naravni obseg, lahko nastanejo velike spremembe v gozdni strukturi in funkciji gozda. Vsaka motnja drugače vpliva na gozd. Vplivi podnebnih sprememb na gozd delujejo v zelo različnih časovnih in prostorskih merilih (Dale in sod., 2000, 2001).

Model za ocenjevanje zdravja gozdov, ki smo ga razvili v tej disertaciji, povezuje tri dele (slika 29); z določeno verjetnostjo pojasnjuje, v kolikšni meri bodo motnje zaradi podnebnih sprememb vplivale na gozd. Tako podaja koristno informacijo, ki jo lahko uporabimo pri gozdnogospodarskem in gozdnogojitvenem načrtovanju (glej shemo modela zdravja gozdov v Sloveniji, slika 16, str. 46), t. j. pri postavitvi novih ciljev in smernic, ki so prilagojeni na podnebne spremembe in predvidene motnje.

Slovensko gozdarstvo temelji na treh načelih, t. j. sonaravno, večnamensko in trajno gospodarjenje z gozdovi (Zakon o gozdovih, 1993). Za takšen način gospodarjenja je potreben vzpostavljen adaptiven sistem urejanja gozdov (Bončina in Poljanec, 2006), ki sloni na kontrolni metodi po Biolleyu in Gurnaudu (Gašperšič, 1995). Menimo, da je slovensko gozdnogospodarsko in gozdnogojitveno načrtovanje v svojih temeljih dobro pripravljeno na zmanjšanje ranljivosti gospodarjenja z gozdovi zaradi vpliva podnebnih sprememb (Bodin in Wiman, 2007). Kljub temu bo treba v prihodnosti zmanjšati tveganje zaradi vpliva podnebnih sprememb na gospodarjenje z gozdovi z ustreznim usmerjanjem razvoja gozdov (Diaci, 2007). V Sloveniji je razvoj gozdov na višjih ravneh določen s temeljnimi gozdarskimi zakoni in pravilniki, poleg tega pa še z gozdnogospodarskimi načrti, ki bi jih bilo treba prilagoditi tako, da bodo vključevali več variant ukrepanja (Gartner in sod., 2007). Med morebitnimi variantami ukrepanja se odločimo za optimalno glede na postavljene cilje po postopku, ki ga opisuje model odločanja (Gašperšič, 1995). Strinjamo se, da gojenja in upravljanja gozdov ni smiselno uravnati le glede na spreminjajoče se podnebje, vendar upoštevanje temeljnih previdnostnih ukrepov ne pomeni velikih odmikov od ustaljenega gospodarjenja (Diaci, 2007). Pri določanju ukrepov so potrebni kakovostni viri informacij. To so lahko izsledki iz različnih modelov in iz izvedenskih mnenj. Modeli, razviti v tej disertaciji, lahko nekoliko pripomorejo k naslednjim usmeritvam gojenja gozdov, ki jih je utemeljil Diaci (2007), in sicer ob upoštevanju stopnje nepredvidljivosti: izdelana je analiza dolgoročne stabilnosti gozdov z gledišča spremenjenosti drevesne sestave in sanitarnih sečenj.

5.4 VPLIV SPREMENJENOSTI DREVESNE SESTAVE NA ZDRAVJE GOZDOV

V okviru disertacije smo preskušali še dve hipotezi o vplivu spremenjenosti drevesne sestave na zdravje gozdov oz. stabilnost gozdov v obdobju 1995–2005 in v razmerah, ki bodo nastale zaradi predvidenih podnebnih sprememb. Hipotezi preskušamo s pomočjo enostavne analize variance in t-preskusa, kjer je odvisna spremenljivka povprečni delež sanitarne sečnje v lesni zalogi, dejavnik pa je stopnja ohranjenosti drevesne sestave. Opravljeni sta bili dve različici preskusa, ki se razlikujeta po tem, kako je bila ugotovljena stopnja ohranjenosti drevesne sestave. Prva različica preskusov temelji na Smolejevih izračunih (2001) po metodologiji Bončine in Robiča (1998). Druga različica preskusov pa temelji na podatkih o ohranjenosti drevesne sestave iz podatkovne zbirke Gozdni fondi (2001), katerih temelj so opisi sestojev. Za natančnejši preskus razlik med stopnjami ohranjenosti drevesne sestave smo uporabili Duncanov preskus mnogoterih primerjav.

Z analizo variance preskušamo ničelno hipotezo o enakosti povprečnih sanitarnih sečenj na celico modela, kjer so štiri obravnavanja, to je štiri stopnje ohranjenosti drevesne sestave. Iz rezultatov analize variance sledijo naslednji sklepi. Ničelno domnevo o enakosti

povprečnih sanitarnih sečenj po različnih stopnjah ohranjenosti drevesne sestave zavrremo pri klasifikaciji po Smoleju pa tudi pri klasifikaciji po ZGS. S tveganjem, manjšim od 0,05, trdimo, da povprečna sanitarna sečnja, izražena v deležu lesne zaloge, po obravnavanjih ni enaka. Ničelna domneva je zavrnjena v prid alternativni domnevi, ki je, da obstaja statistično značilna razlika vsaj med dvema povprečnima sanitarnima sečnjama po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave. Hipoteza o tem, da so gozdovi s spremenjeno drevesno sestavo labilnejši v obdobju 1995–2005, je potrjena ob predpostavki, da je sanitarna sečnja dober kazalec zdravja (stabilnosti) gozda.

Natančnejša analiza z Duncanovim preskusom je pokazala, da so pri klasifikaciji po Smoleju statistično značilne razlike med tremi pari stopenj ohranjenosti, t. j. med ohranjena - zelo spremenjena, ohranjena - izmenjana in spremenjena - izmenjana. Pri klasifikaciji po ZGS je Duncanov preskus pokazal, da se statistično značilno različna povprečna vrednost sanitarne sečnje pojavlja samo v gozdovih z izmenjano drevesno sestavo. Med povprečnim sanitarnim posekom v gozdovih z ohranjeno, spremenjeno in zelo spremenjeno drevesno sestavo pa ni statistično značilnih razlik.

Za preskus hipoteze o vplivu podnebnih sprememb in stopnje ohranjenosti drevesne sestave na zdravstveno stanje gozdov v Sloveniji smo izbrali rezultate zagona modela za ocenjevanje zdravja gozdov v Sloveniji, in sicer za tri scenarije podnebnih sprememb. Rezultati enostavne analize variance so pokazali naslednje. Ničelno domnevo o enakosti povprečnih sanitarnih sečenj po različnih stopnjah ohranjenosti drevesne sestave zavrremo pri klasifikaciji po Smoleju pa tudi pri klasifikaciji ZGS in za vse tri scenarije podnebnih sprememb. S tveganjem, manjšim od 0,05, trdimo, da povprečna sanitarna sečnja, izražena v deležu lesne zaloge na celico modela, ni enaka vsaj za en par obravnavanj pri vseh treh scenarijih podnebnih sprememb in obeh klasifikacijah. Ničelna domneva je zavrnjena v prid alternativni domnevi, ki pravi, da obstaja statistično značilna razlika vsaj med dvema povprečnima sanitarnima sečnjama po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave za vse tri scenarije podnebnih sprememb in za obe klasifikaciji stopnje ohranjenosti drevesne sestave. Hipoteza, ki trdi, da bodo gozdovi s spremenjeno drevesno sestavo v podnebnih spremembah labilnejši kot gozdovi z ohranjeno drevesno sestavo, je potrjena ob predpostavki, da je sanitarna sečnja dober kazalec zdravja gozda. Pri Duncanovem preskusu mnogoterih primerjav za podnebne spremembe je 6 različic preskusa, in sicer za tri scenarije podnebnih sprememb in dve različni klasifikaciji stopnje ohranjenosti drevesne sestave, t. j. klasifikacija po Smoleju in ZGS. Rezultati Duncanovega preskusa so pokazali, da pri klasifikaciji po Smoleju pa tudi pri klasifikaciji po ZGS in vseh treh scenarijih podnebnih sprememb obstajajo skoraj med vsemi pari povprečnih sanitarnih sečenj po stopnjah ohranjenosti statistično značilne razlike pri 95 % stopnji zaupanja. Edina izjema je par spremenjena - izmenjana drevesna sestava pri klasifikaciji ZGS pod scenarijem A.

Pri vplivu ohranjenosti drevesne sestave na sanitarni posek v prihodnjih podnebnih spremembah smo preskušali dve domneve. Najprej smo preskusili in tudi potrdili hipotezo, da bo tudi v prihodnje večji sanitarni posek v spremenjenih gozdovih kot v ohranjenih gozdovih. Potem smo preskusili in potrdili hipotezo, da bo razlika sanitarnega poseka glede na obdobje 1995–2005 v spremenjenih gozdovih večja kot v ohranjenih gozdovih, t. j. da se bo zdravje gozdov v spremenjenih gozdovih bolj poslabšalo kot v ohranjenih

gozdovih. Hipotezo smo potrdili tako po Smolejevi kot po ZGS klasifikaciji ohranjenosti drevesne sestave. Razliko smo izrazili v % LZ, ki znaša 2,05–3,38 % pri klasifikaciji po Smoleju in 0,44–1,00 % pri klasifikaciji po ZGS. Sonaravni koncept gospodarjenja z gozdovi nam narekuje, da pospešujemo naravno drevesno sestavo. Tukaj smo potrdili, da je in da bo sanitarni posek manjši v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo in smo s tem prispevali k potrjevanju sonaravnega koncepta gospodarjenja z gozdovi.

V disertaciji se pojavljajo pojmi kot so zdravje, trajnost in stabilnost gozda. Trajnost in stabilnost gozda sta sinonima (Gašperšič, 1995), zdravje gozda pa je eden od pogojev uresničitve načela trajnosti. Gozd je zdrav, kadar ohranja svojo notranjo strukturo navkljub motnjam (stresom) iz okolja do take mere, da opravlja svojo funkcijo, torej uresničuje gozdnogospodarske cilje (Costanza in Mageau, 1999; Brown in Ulgiati, 2005). Pri preverjanju hipoteze, o kateri razpravljamo v tem poglavju, smo notranjo strukturo gozda predstavili s spremenjenostjo oz. ohranjenostjo drevesne sestave, motnje pa smo izrazili v sanitarnem poseku. Takšno obravnavanje stabilnosti gozda je zelo omejeno, saj preskuša le enega izmed bioloških pogojev trajnosti. Pri celovitem preverjanju trajnosti (stabilnosti) je nujno treba upoštevati še gozdnogojitvene pogoje, obratovalno-tehnične pogoje, ustreznost gospodarjenja, učinkovitost organizacije in družbeno-gospodarske pogoje (Gašperšič, 1985, 1995).

V Sloveniji je uveljavljeno načelo sonaravnega gospodarjenja z gozdovi, ki med drugim terja rastišču primerno prilagoditev vrste in stopnje zmesi avtohtonih drevesnih vrst (Diaci, 2006; Mlinšek, 2006). Glede na izsledke raziskav o premiku gozdne vegetacije zaradi podnebnih sprememb v Sloveniji se bi lahko vegetacijski tip spremenil kar na 45 % vseh gozdnih površin v Sloveniji (Kutnar in Kobler, 2007). Zato bo potrebna pri določitvi ciljev (vrsta in stopnja zmesi drevesnih vrst na nekem območju) velika prilagodljivost iz enega v drugo ureditveno obdobje. To verjetno ne bo težko, saj imamo v Sloveniji uveljavljeno adaptivno urejanje gozdov (Gašperšič, 1995; Bončina in Poljanec, 2006). Zaradi potencialno pogostejših ujm in obsežnejših poškodb gozdov zaradi drugih vzrokov v prihodnosti bo verjetno pogostejše nastala situacija, ko bo treba spremeniti gozdnogospodarske in gozdnogojitvene načrte pred koncem ureditvenega obdobja, kot se je zgodilo, npr., pri katastrofalnem vetrolomu na Jelovici leta 2006 (Gartner in sod., 2007). Pri tem je poseben problem obravnava manjšinskih drevesnih vrst, ki so že na splošno pomanjkljivo obravnavane v gozdnogospodarskih načrtih (Kotar, 2003). Manjšinske drevesne vrste ponujajo možnosti za povečanje ekološke, ekonomske in družbene vrednosti gozdov in tako prispevajo k trajnostnemu razvoju gozdov (Spiecker, 2006). Zato bo treba v prihodnje na splošno in konkretno nameniti problematiki o drevesni sestavi več pozornosti.

5.5 INDEKS ZDRAVJA GOZDA

Za presojo zdravja gozdov v Sloveniji za obdobje 1995–2005 smo uporabili dva kazalnika (od štirih) iz 2. lizbonske resolucije, ki določa vseevropska merila za trajnostno gospodarjenje z gozdovi in v okviru le-teh merila za ohranjanje zdravja in vitalnosti gozdnih ekosistemov. Na podlagi sanitarne sečnje in osutosti krošnje prek *EHI* smo ugotovili, da je zdravstveno stanje gozdov v Sloveniji zelo dobro, saj je kar 94,5 % vseh površin gozdov ocenjeno z najboljšim zdravstvenim stanjem.

Če bi presojo zdravja gozdov v Sloveniji izvedli le na podlagi sanitarne sečnje, bi vsi gozdovi v Sloveniji bili ocenjeni s slabim zdravstvenim stanjem ($20 \leq EHI < 40$). Če bi presojo zdravja gozdov v Sloveniji izvedli le na podlagi osutosti krošenj dreves, pa bi večino gozdov (93,5 %) ocenili s srednjim zdravstvenim stanjem ($40 \leq EHI < 60$). Slednji rezultati nakazujejo na to, da je presoja zdravja gozda iz enega ali manjšega števila kazalnikov lahko zelo nezanesljiva oz. daje zelo različne rezultate; to je ugotavljal že Jørgensen (2005). Zato bi kazalo v prihodnje poskus presoje zdravja gozdov v Sloveniji v tej disertaciji izboljšati še z drugimi kazalniki za ohranjenost zdravja in vitalnosti gozda. Tako bi lahko presojo izboljšali še s preostalima dvema kazalnikoma iz 2. lizbonske resolucije, t. j. s kazalnikom spremenjenosti kislosti tal ter s kazalnikom onesnaženosti tal. Prav tako bi lahko prišli do kakovostnejših rezultatov presoje, če bi sanitarno sečnjo razdelili na posamezne vzroke poseka ter bi nekatere vzroke obravnavali v relativni prostornini poseka (npr. poškodbe zaradi žuželk, bolezni) druge pa po površini (npr. poškodovane površine zaradi požarov, ujm, divjadi). Podatkovna zbirka o poseku (Timber, 1995–2005) podaja podatke le v številu dreves in prostornini, ni pa iz nje možno poizvedeti, kolikšna površina je bila prizadeta.

Da bi lahko izdelali presojo zdravja gozdov v Sloveniji za prihodnje podnebne spremembe, bi morali imeti pripravljene modele za vse uporabljene kazalnike pri izračunu *EHI* ter v okviru le-teh projekcije za različne scenarije podnebnih sprememb. V okviru disertacije smo razvili model za ocenjevanje sanitarne sečnje in pripravili projekcije za tri scenarije podnebnih sprememb. Nismo pa razvili modela za osutosti krošnje, ki bi ga potrebovali za presojo zdravja gozdov za podnebne spremembe. To ostaja naloga za v prihodnje.

5.6 PRISPEVEK DISERTACIJE K RAZVOJU ZNANOSTI IN STROKOVNA VREDNOST NOVIH DOGNANJ

Izsledki disertacije lahko pomagajo pri razumevanju stabilnosti gozda z vidika varstva in zdravja gozdov. Disertacija lahko pomaga pri razumevanju sonaravnosti gospodarjenja z gozdovi v Sloveniji.

Model zdravja gozdov lahko potencialno postane uporabno orodje pri odločanju strokovnjakov v varstvu gozdov, gozdnogospodarskem in gozdnogojitvenem načrtovanju.

Ugotovitve raziskovalne naloge lahko pomembno vplivajo na določitev splošnih smernic pri razvoju gozdov Slovenije.

V Sloveniji je raziskovalni problem slaba razvitost prognostičnih metod v varstvu gozdov. Izboljšanje napovedi dogodkov – biotskega ali abiotskega izvora – v gozdnem ekosistemu, ki povzročajo škodo, omogočajo boljšo pripravljenost in s tem zmanjšujejo ranljivost gozdnega ekosistema. V ta namen je treba izboljšati razumevanje gozdnega ekosistema in možnost predvidevanja bodočih sprememb v komponentah gozdnega ekosistema in njihovih posledic. Ta cilj je mogoče doseči z razvojem modelov, pripravo scenarijev in spremljanjem zdravstvenega stanja (monitoringa) gozda. Modeli, razviti v tej disertaciji, in njihovi rezultati so majhen delček, ki vodijo k uresničevanju postavljenega cilja.

Rezultati modela za ocenjevanje zdravja gozdov so lahko koristne informacije za gozdnogospodarsko in gozdnogojitveno načrtovanje, saj za različne scenarije podnebnih sprememb dajejo podatke o prostorski in količinski razporeditvi potencialnih sanitarnih sečnjah. Rezultate je mogoče uporabiti tudi kot karto ogroženosti slovenskih gozdov zaradi potencialnih sanitarnih sečenj zaradi vpliva podnebnih sprememb na gozd. Uporabo projekcij priporočamo do sredine 21. stoletja, kajti poznejše projekcije so že preveč nezanesljive.

5.7 PREDLOGI ZA DELO NAPREJ

Predlagamo tri različne poti za delo naprej. Prva pot je, da se zadovoljimo z opravljenim delom in rezultati v tej disertaciji ter pridobljene rezultate uporabimo pri prilagajanju ciljev, usmeritev in ukrepov v gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih. Za tak namen bi lahko razvili poseben računalniški program, ki bi ga lahko uporabljali načrtovalci na območnih enotah ZGS. Program bi zasnovali tako, da bi na uporabniku prijazen in uporaben način podal informacije iz modela za ocenjevanje zdravja gozda.

Druga pot je takšna, da stopimo korak nazaj in poskušamo izboljšati kakovost izdelanih modelov tako, da, npr., povečamo njihovo prostorsko ločljivost na raven gozdnih odsekov ali sestojev, odpravimo katero od predpostavk tako, da vključimo novo spremenljivko, itn. Po izboljšanju obstoječih modelov nadaljujemo po prvi poti.

Na tretji poti za delo naprej predlagamo popolno opustitev razvitih modelov in se lotimo popolnoma novih načinov modeliranja oz. pristopov k problematiki. Pri modelu za ocenjevanje zdravja gozdov bi bilo najprimerneje se lotiti problematike iz malega v veliko, torej za pot indukcije. Predlagamo, da bi za vsako bolezen, škodljivca in drugo motnjo izdelali specifičen model, saj so si po lastnostih toliko drugačni, da jih je težko obravnavati v enem posplošenem modelu. Po postopku presoje zdravja ekosistema (slika 13, str. 43) bi lahko dali vsi specifični modeli skupaj zanesljivejše rezultate kot posplošen model zdravja gozdov, ki smo ga razvili v tej disertaciji. Tretja pot je podatkovno zelo zahtevna in je potrebno sodelovanje več strokovnjakov z različnih področij.

6 POVZETEK

6.1 POVZETEK

Zdrav gozd je tisti, ki je trajen, torej ima sposobnost vzdrževati zgradbo (organizacijo) in funkcijo (vitalnost) skozi čas kljub stresnim dejavnikom (odpornost) (Costanza in Mageau, 1999; Brown in Ulgiati, 2005). Motnja (stresni dejavnik) nikakor ni tujek v gozdnem ekosistemu: je gibalno njegovega sukcesijskega razvoja in dinamičnosti njegovega ravnotežja (Anko, 1993).

Dober kazalec zdravja gozda je lahko sanitarni posek, ki pomeni posek bolnega, poškodovanega ali drevja, ki se suši, ki je iz sestoja odstranjeno zaradi izboljšanja zdravstvenega stanja sestoja (Jurc D in sod., 2003). Tako je drevje, ki so ga škodljivi biotski dejavniki (škodljivci, bolezni, divjad, delo v gozdu) ali škodljivi abiotični dejavniki (veter, sneg, žled, suša, plaz, usad, onesnažen zrak) poškodovali v taki meri, da nima gozdnogojitvene prihodnosti. V sanitarni posek vključimo tudi oslabele drevje, ki ga je iz sanitarnovarstvenih razlogov najustrežneje ločiti iz sestoja, s čimer preprečimo namnožitev potencialno nevarnih organizmov.

V disertaciji preverjamo naslednje hipoteze:

- V Sloveniji se bo zdravstveno stanje gozdov poslabšalo zaradi podnebnih sprememb.
- Gozdovi s spremenjeno drevesno sestavo so labilnejši, tako v obdobju 1995–2005 kot v prihodnjih podnebnih spremembah.
- V Sloveniji se bo zdravje gozda zaradi podnebnih sprememb bolj poslabšalo v gozdovih s spremenjeno drevesno sestavo kot v gozdovih z ohranjeno drevesno sestavo.

Za preskušanje hipotez smo potrebovali scenarije podnebnih sprememb, ki jih je izdelal Bergant (2006) za 9 krajev v Sloveniji. S pomočjo karte podnebnih tipov (Ogrin, 1996) in povprečnih razlik podnebnih spremenljivk glede na referenčno obdobje 1971–2000 smo scenarije podnebnih sprememb za 9 krajev pretvorili v scenarije podnebnih sprememb za območje celotne Slovenije. V tem prispevku uporabljamo tri scenarije podnebnih sprememb z oznakami A, B in C. Scenarij A je optimistični scenarij in upošteva kombinacijo MIN temperature, MIN evapotranspiracije in MAX padavin. Scenarij B je srednji scenarij, pri katerem smo upoštevali kombinacijo AVG temperature, AVG padavin in AVG evapotranspiracije. Scenarij C je pesimistični scenarij, ki je sestavljen iz kombinacije MAX temperature, MAX evapotranspiracije in MIN padavin. Oznake MIN, AVG in MAX so oznake za scenarije po Bergantu (2006).

Z modelom za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje preskušamo hipotezo, ali se bo v Sloveniji zaradi podnebnih sprememb poslabšalo zdravstveno stanje gozdov. Pri tem domnevamo, da je sanitarna sečnja dober pokazatelj zdravstvenega stanja gozdov. Model za ocenjevanje zdravja gozdov ali model za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje v Sloveniji je regresijsko drevo, ki smo ga zgradili s pomočjo algoritma M5' (Quinlan, 1992;

Wang in Witten, 1997). Odvisna spremenljivka je delež sanitarnega poseka v lesni zalogi celice modela. Model je prostorski z ločljivostjo $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$. Zanesljivost modela je merjena s korelacijskim koeficientom, ki je 0,46. Model je bil izračunan za tri scenarije podnebnih sprememb, 12 desetletnih obdobj od 1981 do 2100.

V razvoj modela zdravja gozdov v Sloveniji je bilo vključenih 245 spremenljivk, od katerih jih je 96 povezanih s podnebjem, 51 spremenljivk opisuje razmere v gozdu, 43 spremenljivk opisuje tla, 17 spremenljivk podaja relief, 15 spremenljivk podaja pokrajinski vidik, 12 spremenljivk prikazuje sanitarno sečnjo, 6 spremenljivk prikazuje vire onesnaževanja, 5 spremenljivk opisuje geološke razmere (preglednica 8).

Potencialne spremembe sanitarne sečnje obravnavamo iz dveh vidikov: potencialne spremembe v deležu lesne zaloge in potencialne spremembe v pojavljanju na površini. Zaradi majhnega korelacijskega koeficienta ($r = 0,46$) napovedi modela niso podale neposrednih vrednostih projekcij, ampak samo v pomenu splošnih trendov, ki smo jih izrazili s pomočjo koeficienta linearne regresije, ki podaja podatek o povprečni spremembi potencialne sanitarne sečnje zaradi podnebnih sprememb na 10 let v deležu lesne zaloge oz. na površini (km^2).

Model za ocenjevanje skupne sanitarne sečnje napoveduje povečanje potencialnih sanitarnih sečenj tako v deležu lesne zaloge kot v površini zaradi podnebnih sprememb. S tem rezultatom potrjujemo hipotezo, da se bo v Sloveniji zdravstveno stanje gozdov poslabšalo zaradi podnebnih sprememb. Povečal se bo povprečni delež potencialne sanitarne sečnje v lesni zalogi (povprečno 0,02–0,05 % lesne zaloge na 10 let) in povečala se bo potencialna površina, kjer lahko nastane sanitarna sečnja (povprečno 72–111 km^2 na 10 let).

V okviru disertacije smo preskušali še dve hipotezi o vplivu spremenjenosti drevesne sestave na zdravje gozdov oz. stabilnost gozdov v obdobju 1995–2005 in v spremenjenih razmerah, ki bodo nastale zaradi podnebnih sprememb. Hipotezi preskušamo s pomočjo enostavne analize variance, kjer je odvisna spremenljivka povprečni delež sanitarne sečnje v lesni zalogi in faktor je stopnja ohranjenosti drevesne sestave. Opravljeni sta bili dve različici preskusa, ki se razlikujeta po tem, kako je bila ugotovljena stopnja ohranjenosti drevesne sestave. Prva različica preskusov temelji na Smolejevih izračunih (2001) po metodologiji Bončina in Robič (1998). Druga različica preskusov pa temelji na podatkih o ohranjenosti drevesne sestave iz podatkovne zbirke Gozdni fondi (2001). Za natančnejši preskus razlik med stopnjami ohranjenosti drevesne sestave smo uporabili Duncanov preskus mnogoterih primerjav.

Z analizo variance preskušamo ničelno hipotezo o enakosti povprečnih sanitarnih sečenj po letih, kjer so obravnavane štiri stopnje ohranjenosti drevesne sestave. Iz rezultatov analize variance sledijo naslednji sklepi. Ničelno domnevo o enakosti povprečnih sanitarnih sečenj po različnih stopnjah ohranjenosti drevesne sestave zavrnemo pri klasifikaciji po Smoleju in pri klasifikaciji po ZGS. S tveganjem, manjšim od 0,05, trdimo, da povprečna sanitarna sečnja, izražena v deležu lesne zaloge, po obravnavanjih ni enaka. Ničelna domneva je zavrnjena v prid alternativni domnevi, ki pravi, da obstaja statistično značilna razlika vsaj med dvema povprečnima sanitarnima sečnjama glede na stopnje ohranjenosti drevesne

sestave. Hipoteza, da so bili gozdovi s spremenjeno drevesno sestavo labilnejši v obdobju 1995–2005, je potrjena ob predpostavki, da je sanitarna sečnja dober kazalec stabilnosti gozda.

Natančnejša analiza z Duncanovim preskusom je pokazala, da so pri klasifikaciji po Smoleju statistično značilne razlike med tremi pari stopenj ohranjenosti, t. j. med ohranjena - zelo spremenjena, ohranjena - izmenjana in spremenjena - izmenjana. Pri klasifikaciji po ZGS je Duncanov preskus pokazal, da se statistično značilno različna povprečna vrednost sanitarne sečnje pojavlja samo v gozdovih z izmenjano drevesno sestavo. Med povprečnim sanitarnim posekom v gozdovih z ohranjeno, spremenjeno in zelo spremenjeno drevesno sestavo pa ni statistično značilnih razlik. Duncanov preskus dodatno potrjuje hipotezo, da so bili gozdovi s spremenjeno drevesno sestavo v obdobju 1995–2005 labilnejši.

Za preskus hipoteze o vplivu podnebnih sprememb in stopnje ohranjenosti drevesne sestave na zdravstveno stanje gozdov v Sloveniji smo izbrali rezultate zagona modela za ocenjevanje zdravja gozdov v Sloveniji za tri scenarije podnebnih sprememb. Rezultati enostavne analize variance so pokazali naslednje: ničelno domnevo o enakosti povprečnih sanitarnih sečenj po različnih stopnjah ohranjenosti drevesne sestave zavrnilo pri klasifikaciji po Smoleju in pri klasifikaciji po ZGS in za vse tri scenarije podnebnih sprememb. S tveganjem, manjšim od 0,05, trdimo, da povprečna sanitarna sečnja, izražena v deležu lesne zaloge na celico modela, ni enaka vsaj za en par obravnavanj pri vseh treh scenarijih podnebnih sprememb in obeh klasifikacijah. Ničelna domneva je zavrnjena v prid alternativni domnevi, ki pravi, da obstaja statistično značilna razlika vsaj med dvema povprečnima sanitarnima sečnjama po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave za vse tri scenarije podnebnih sprememb in za obe klasifikaciji ohranjenosti drevesne sestave. Hipoteza, ki trdi, da bodo gozdovi v Sloveniji s spremenjeno drevesno sestavo labilnejši v podnebnih spremembah, je potrjena ob predpostavki, da je sanitarna sečnja dober kazalec zdravja gozda. Pri Duncanovem preskusu mnogoterih primerjav za podnebne spremembe imamo šest različic preskusa, in sicer za tri scenarije podnebnih sprememb in dve različni klasifikaciji stopnje ohranjenosti drevesne sestave, t. j. klasifikacija po Smoleju in po ZGS. Rezultati Duncanovega preskusa so pokazali, da pri klasifikaciji po Smoleju in pri klasifikaciji po ZGS in vseh treh scenarijih podnebnih sprememb obstajajo skoraj med vsemi pari povprečnih sanitarnih sečenj po stopnjah ohranjenosti drevesne sestave statistično značilne razlike pri 95 % stopnji zaupanja. Edina izjema je par spremenjena - izmenjana drevesna sestava pri klasifikaciji ZGS pod scenarijem A. Duncanov preskus poleg analize variance dodatno potrjuje hipotezo, da bodo gozdovi s spremenjeno drevesno sestavo labilnejši tudi v spremenjenih podnebnih razmerah.

Pri vplivu ohranjenosti drevesne sestave na sanitarni posek v prihodnjih podnebnih spremembah smo preskušali še hipotezo, da se bo zdravje gozdov v spremenjenih gozdovih bolj poslabšalo kot v ohranjenih gozdovih, oz. da bo razlika sanitarnega poseka med obdobjem 1995–2005 in podnebnimi spremembami v spremenjenih gozdovih večja kot v ohranjenih gozdovih. Hipotezo smo preskušali s pomočjo intervala zaupanja za razliko povprečij in t-preskusom. Hipotezo smo potrdili tako po Smolejevi kot po ZGS klasifikaciji gozdov ohranjenosti drevesne sestave. Razliko smo izrazili v % LZ, ki znaša

2,05–3,38 % pri klasifikaciji po Smoleju in 0,44–1,00 % pri klasifikaciji po ZGS pri 95 % zaupanju.

V procesu razvoja modela za ocenjevanje zdravja gozdov v Sloveniji smo izvedli štiri poskuse (glej poglavje št. 3.2, str. 46). V disertaciji zdravje gozdov ocenjujemo s pomočjo sanitarne sečnje. Le-ta ima svojo strukturo, ki se izraža v 11 vzrokih (preglednica 1). Za potrebe modela zdravja gozdov v Sloveniji bi potrebovali modele, ki ocenjujejo potencialno sanitarno sečnjo za vseh 11 vzrokov. Vendar so se v procesu razvoja modelov pokazali za dovolj zanesljive le štiri modeli: za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in drugih vzrokov. S štirimi od enajstih vzrokov sanitarne sečnje ne moremo dobiti celostne podobe o potencialni sanitarni sečnji in posledično tudi ne o zdravju gozda. Rezultati so zanimivi z vidika posameznih vrst sanitarnih sečenj. Projekcije nakazujejo trende pojavljanja sanitarnih sečenj zaradi žuželk, žleda, dela v gozdu in drugih vzrokov do konca 21. stoletja za tri različne scenarije podnebnih sprememb.

Modeli za ocenjevanje sanitarne sečnje zaradi žuželk, žleda in dela v gozdu so regresijska drevesa, katerih odvisna spremenljivka je sanitarna sečnja, izražena v deležu lesne zaloge v celici modela. Model za ocenjevanje sanitarnih sečenj zaradi drugih vzrokov je klasifikacijsko drevo (zgrajeno z algoritmom J48), katerega napovedi so podane v binarni obliki (ena ali nič).

Rezultati modelov za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi posameznih vzrokov so navedeni v dveh ločenih poglavjih. Prvo (poglavje št. 4.1.1, str. 74) obravnava spremembe potencialne sanitarne sečnje zaradi podnebnih sprememb v deležu lesne zaloge, drugo (poglavje št. 4.1.2, str. 76) pa obravnava spremembe potencialne sanitarne sečnje zaradi podnebnih sprememb na površini. Rezultati modela za ocenjevanje potencialne sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov je obravnavano le v drugem poglavju. V obeh poglavjih so rezultati prikazani kot splošni trendi s pomočjo koeficienta linearne regresije.

Zaradi podnebnih sprememb naj bi se potencialna sanitarna sečnja zaradi žuželk povečala. Podnebne spremembe naj bi ugodno vplivale na pojavljanje potencialnih poškodb gozdnega drevja zaradi žleda in dela v gozdu, torej bo verjetno vedno manj potencialne sanitarne sečnje zaradi žleda in dela v gozdu. Potencialne sanitarne sečnje zaradi drugih vzrokov se bodo načeloma pod vplivom podnebnih sprememb pojavljale na večjih površinah kot doslej; po scenariju B in C naj bi se drastično povečal povprečni sanitarni posek zaradi drugih vzrokov, po scenariju A pa za malenkost zmanjšal oz. ostal skoraj na enaki ravni, kot je bil v referenčnem obdobju 1995–2005.

V razpravi pišemo o možnostih uporabe pridobljenih rezultatov iz disertacije v gozdnogospodarskem in gozdnogojitvenem načrtovanju kot prispevek k manjšanju ranljivosti slovenskega gozdarstva zaradi vpliva podnebnih sprememb.

6.2 SUMMARY

A healthy forest is sustainable, i.e. it is capable of sustaining structure (organization) and function (vitality) through time though disturbance impacts (resilience) (Costanza and Mageau, 1999; Brown and Ulgiati, 2005). Disturbance (stress) is not foreign to forest ecosystem, it is a motive power of its succession and dynamic balance (Anko, 1993).

Sanitary felling can be a good indicator for forest health. Sanitary felling is a felling of diseased, damaged or declining trees that are removed from a forest stand with the purpose of improving the forest health condition (Jurc D *et al.*, 2003a). Removed trees were damaged either by biotic factors (pests, diseases, game, work in the forest) or abiotic factors (wind, snow, freezing rain, drought, landslide, pollution) to such an extent that there are no longer any silvicultural prospects. Weakened trees are included in sanitary felling; they are removed to prevent outbreaks of potential harmful pests.

The following hypotheses are tested in the dissertation:

- Forest health conditions in Slovenia will deteriorate because of climate change impacts.
- Forests with altered tree species composition are more labile as in the period 1995–2005 and future climate change impacts.
- Forest health in Slovenia will deteriorate more in forests with altered tree species composition than in forests with preserved tree species composition because of climate change impacts on forests.

Climate change scenarios were needed to test the hypotheses. These were prepared by Bergant (2006) for nine places in Slovenia. Climate change scenarios for the places were transformed to whole region of Slovenia with help of climate types map (Ogrin, 1996) and the average differences of climate variables with regard to the period 1971–2000. Three climate change scenarios, entitled A, B and C are used in the dissertation. Scenario A is an optimistic scenario that considers a combination of minimum temperature, minimum evapotranspiration and maximum precipitation. Scenario B is an average scenario that considers a combination of average temperature, average evapotranspiration and average precipitation. Scenario C is a pessimistic scenario that considers combination of maximum temperature, maximum evapotranspiration and minimum precipitation. Minimum, maximum and average are designations for scenarios according to Bergant (2006).

A model for assessing total sanitary felling was built with the purpose of testing a hypothesis about climate change impacts on forest health conditions in Slovenia. The model assumes that sanitary felling is a good indicator for forest health condition. The model for assessing forest health, i.e. the model for assessing potential total sanitary felling, is a regression tree that was built with M5' algorithm (Quinlan, 1992; Wang and Witten, 1997). The dependant variable is a portion of sanitary felling expressed in wood stock of model cell. The model is spatial with a resolution of 1 km × 1 km. Reliability of the model is measured with a correlation coefficient of $r = 0.46$. The model was calculated for three climate change scenarios and 12 ten-year periods between 1981–2100.

Altogether, 245 variables were included in development of the model for assessing forest health in Slovenia. There are 96 climate variables, 51 forest condition variables, 43 soil variables, 17 topographical variables, 15 landscape variables, 12 sanitary felling variables, six variables showing sources of pollution and five variables describe geological conditions (Tab. 8).

Potential changes of sanitary felling are discussed from two different viewpoints, i.e. potential changes in the portion of wood stock and potential changes of area. Because of a relatively low correlation coefficient ($r = 0.46$), the model predictions are not shown in numbers directly but in a sense of general trends that were expressed with a linear regression coefficient. That coefficient indicates the average change in potential sanitary felling per 10 years expressed in the portion of wood stock or area (km²).

The model for assessing total sanitary felling predicts a increase of potential sanitary felling as in percent of wood stock as in potential area. With the results of the model, we prove the hypothesis that the forest health condition in Slovenia is likely to deteriorate because of climate change. There is likely to increase the portion of sanitary felling in wood stock (in average 0.02–0.05 % of wood stock per 10 years) and it is likely to increase the potential area susceptible for sanitary felling (in average 72–111 km² per 10 years).

In the frame of this dissertation, two more hypotheses were tested, i.e. about the alternation of species composition influence on forest health (stability) at present conditions (period 1995–2005) and climate change conditions. The hypotheses were tested with an analysis of variance in which the dependant variable is the average portion of sanitary felling in wood stock and the factor is the level of species composition alternation index. There were performed two versions of the test that are distinguished by the way of determining a level of species composition alternation. The first version of the test was based on the calculations of Smolej (2001), where the levels were calculated after Bončina and Robič (1998). The second version of the test is based on the data of species composition alternation from the Gozdni fondi database (2001). We used the Duncan multiple comparison procedure for a detail test between the different levels of species composition alternation index.

The analysis of variance tests the null hypothesis about equality among the means of sanitary felling where the treatments are four levels of the species composition alternation index: (1) preserved, (2) altered, (3) heavily altered, (4) totally altered. The following conclusions can be drawn from the analysis of variance. The null hypothesis about equality of average sanitary felling at different levels of species composition alternation index is rejected at both classifications as with Smolej and with classification after ZGS. We affirm that average sanitary felling expressed in a portion of wood stock per model cell at different treatments is not equal with a risk less than 0.05. Null hypothesis is rejected in favour of an alternative hypothesis that says there is a statistically significant difference at least between two average sanitary felling at different levels of species composition alternation index. The hypothesis that forests with altered species composition are more labile in the period 1995–2005 is confirmed assuming that sanitary felling is a good indicator for forest stability.

With the Duncan multiple comparison procedure, it was discovered that, with Smolej's classification, there are statistically significant differences between the three pairs of different levels of the species composition alternation index, i.e. between preserved-heavily altered, preserved-totally altered, altered-totally altered. The Duncan test with ZGS classification showed that there is a statistically significant difference only in forests with totally altered species composition. There are no statistically significant differences with ZGS classification between average sanitary felling in forests with preserved, altered and heavily altered species composition. With The Duncan multiple comparison test, the hypothesis that forests with altered species composition in the period 1995–2005 are more labile could also be confirmed.

Results from the model for assessing forest health in Slovenia for three climate change scenarios were chosen for the test of the hypothesis about climate change impacts and the levels of species composition alternation index on forest health conditions in Slovenia. The following can be affirmed from the analysis of variance. The null hypothesis about equality of average sanitary felling at different levels of the species composition alternation index is rejected with both classifications, i.e. Smolej's and ZGS, and all three climate change scenarios. With a risk of less than 0.05, we affirm that average sanitary felling expressed in the portion of wood stock with the model cell is not equal at least for one pair of treatments in all three climate change scenarios and both classifications. The null hypothesis is rejected in favour of an alternative hypothesis that states there is a statistically significant difference between at least two average sanitary felling at different levels of the species composition alternation index for all three climate change scenarios and both classifications of species composition alternation. The hypothesis that states that forests in Slovenia with altered species composition will be more labile under climate change impacts is confirmed with the assumption that sanitary felling is a good indicator of forest health. The Duncan test of multiple comparisons for climate change has 6 versions of the test, i.e. for three climate change scenarios and two classifications of species composition alternation index, i.e. the Smolej and ZGS ones. The Duncan test shows that at both classifications and all three scenarios there is a statistically significant difference between almost all pairs of sanitary felling at different levels of the species composition alternation index at 95 % confidence level. The only exception is the altered-totally altered species composition pair with the ZGS classification under Scenario A. The Duncan test additionally confirms the hypothesis that forests in Slovenia with altered species composition will be more labile under climate change impacts than forests with preserved species composition.

When testing influence of species composition alternation on sanitary felling because of climate change, we tested another hypothesis that forest health in Slovenia will deteriorate more in forest with altered species composition than with preserved species composition because of climate change, i.e. the difference of sanitary felling between present conditions (in the period 1995–2005) and climate change conditions at forests with altered species composition will be greater than at forests with preserved species composition. The hypothesis was tested with confidence interval for the difference between the means and t-test. The hypothesis was proved as at Smolej's as at ZGS's classification of species composition alternation. At 95 % confidence, the mean difference is 2.05–3.38 % of wood stock at Smolej's classification and 0.44–1.00 % of wood stock at ZGS's.

We performed four experiments in the process of the development of the model for assessing forest health in Slovenia (see chapter 3.2, page 46). Forest health in the dissertation is assessed with sanitary felling, which has 11 causes (Tab. 1). The model for assessing forest health in Slovenia needs submodels that explain all 11 causes. However, in the process of developing the models, there were only four that were reliable enough, i.e. a model for assessing potential sanitary felling because of insects, freezing rain, work in the forest and other causes. With only four out of eleven causes of sanitary felling, we cannot get a complete picture of sanitary felling and, consequently, not of forest health. The results from these models are interesting from the aspect of the individual type of sanitary felling. Projections from these models show trends of sanitary felling because of insects, freezing rain, work in the forest and other causes until the end of 21st century for the three climate change scenarios.

The models for assessing sanitary felling because of insects, freezing rain and work in the forest are M5' regression trees and their dependant variable is expressed in portion of wood stock at model cell. The model for assessing sanitary felling because of other causes is a classification tree built with the J48 algorithm, in which predictions are in binary format (one or zero).

The results of the models for assessing potential sanitary felling because of individual causes are written in two different sections. The first (chapter 4.1.1, page 74) treats changes in potential sanitary felling because of climate change in a portion of wood stock. The second (chapter 4.1.2, page 76) treats changes in potential sanitary felling because of climate change in a portion of area. The results of the model for assessing potential sanitary felling because of other causes are discussed only in the second chapter. In both chapters, the results are shown as general trends as linear regression coefficient.

Potential sanitary felling because of insects is likely to increase because of climate change. Climate change impacts are likely to have positive influence on potential sanitary felling because of freezing rain and work in forest, i.e. potential sanitary felling because of freezing rain and work in the forest is likely to decrease. Generally, potential sanitary felling because of other causes will appear in larger areas under climate change. With Scenarios B and C, it is likely that the sanitary felling because of other causes will increase drastically; with Scenario A, it will decrease slightly or will stay almost at the same level as it was in the period of 1995–2005.

In the discussions, the possibilities of using the results from this doctoral dissertation at forest management and silvicultural planning are explored. This could help in lowering the vulnerability of Slovenian forestry because of climate change impacts.

7 VIRI

- Anko B. 1993. Vpliv motenj na gozdni ekosistem in na gospodarjenje z njim. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 42: 85–109
- Ayres M.P., Lombardero M.J. 2000. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. The science of the total environment, 262: 263–286
- Bell P.D., Quine C.P., Wright J.A. 1995. The use of digital terrain models to calculate windiness scores for the windthrow hazard classification. Scottish Forestry, 46, 4: 217–225
- Benestad R.E. 2003. What can present climate models tell us about climate change? Climatic Change, 59: 311–331
- Bergant K. 2006. "Projekcije mesečnih povprečij temperature zraka, padavin in evapotranspiracije za devet krajev v Sloveniji za obdobje 1961–2100". Nova Gorica, Univerza v Novi Gorici, Center za raziskave atmosfere (osebni vir, julij 2006)
- Bergant K. 2007. Projekcije podnebnih sprememb za Slovenijo. V: Podnebne spremembe - vpliv na gozd in gozdarstvo. Jurc M. (ur.). (Studia Forestalia Slovenica, 130). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 67–86
- Blaustein A.R., Dobson A. 2006. Extinctions: a message from frogs. Nature, 439: 143–144
- Bodin P., Wiman B.L.B. 2007. The usefulness of stability concepts in forest management when coping with increasing climate uncertainties. Forest Ecology and Management, 242: 541–552
- Bončina A., Poljanec A. 2006. Adaptivno gozdnogospodarsko načrtovanje. V: Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino. Hladnik D. (ur.). (Studia forestalia Slovenica, 127). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 11–26
- Bončina A., Robič D. 1998. Ocenjevanje spremenjenosti vrstne sestave rastlinskih skupnosti. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 57: 113–128
- Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone C.J. 1998. Classification and regression trees. Boca Raton, Chapman & Hall, CRC Press: 358 str.
- Brown M.T., Ulgiati S. 2005. Emergy, transformity, and ecosystem health. V: Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health. Jørgensen S.E., Costanza R., Xu F.-L. (ur.). CRC Press: 333–352
- Butin H. 1995. Tree diseases and disorders: causes, biology and control in forest and amenity trees. Oxford University Press: 252 str.
- Carletta J. 1996. Squibs and discussions: assessing agreement on classification tasks: the kappa statistic. Computational Linguistics, 22, 2: 249–254
- Cegnar T. 2003. Klimatske značilnosti leta 2003. Mesečni bilten, 10, 3: 23–32

- Cheng C.S., Auld H., Klaassen J., Li Q. 2007. Possible impacts of climate change on freezing rain in south-central Canada using downscaled future climate scenarios. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7: 71–87
- Climate change 2007: the physical science basis. Summary for policymakers: contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change. 2007. Geneva, Switzerland, IPCC: 18 str.
- Coakley S.M., Scherm H., Chakraborty S. 1999. Climate change and disease management. *Annual review of phytopathology*, 37: 399–426
- Costanza R., Mageau M. 1999. What is a healthy ecosystem? *Aquatic Ecology*, 33, 1: 105–115
- Dale V.H., Joyce L.A., McNulty S., Neilson R.P. 2000. The interplay between climate change, forest, and disturbances. *The science of the total environment*, 262: 201–204
- Dale V.H., Joyce L.A., McNulty S., Neilson R.P., Ayres M.P., Flannigan M.D., Hanson P.J., Irland L.C., Lugo A.E., Peterson C.J., Simberloff D., Swanson F.J., Stocks B.J., Wotton B.M. 2001. Climate change and forest disturbances. *BioScience*, 51, 9: 723–734
- Deanković T. 1969. Snegolomi v Julijskih Alpah in njihovi vzroki. *Gozdarski vestnik*, 27: 223–235
- Deanković T. 2006. Snegolomi in vetrolomi v gozdovih slovenskih Julijskih Alp. *Bohinjska Bistrica*: 55 str.
- Debeljak M., Džeroski S., Jerina K., Kobler A., Adamič M. 2001. Habitat suitability modelling for red deer (*Cervus elaphus* L.) in South-central Slovenia with classification trees. *Ecological Modelling*, 138: 321–330
- Demšar L. 2006. Vpliv nekaterih ekoloških in sestojnih dejavnikov na smrekove podlubnike (Coleoptera: Scolitidae) v revirju Javorje, Območna enota Kranj: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 50 str.
- Desprez-Loustau M.-L., Marçais B., Nageleisen L.-M., Piou D., Vannini A. 2006. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Annals of Forest Science*, 63: 597–612
- Diaci J. 2006. Nature-based silviculture in Slovenia: origins, development and future trends. V: *Nature-based forestry in Central Europe: alternatives to industrial forestry and strict preservation*. Diaci J. (ur.). (Studia Forestalia Slovenica, 126). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 119–131
- Diaci J. 2007. Prilagajanje gojenja gozdov podnebnih spremembam. V: *Podnebne spremembe - vpliv na gozd in gozdarstvo*. Jurc M. (ur.). (Studia Forestalia Slovenica, 130). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 117–132
- Diaci J., Grejs Z. 2003. Uspešnost gojenja gozdov v zadnjem desetletju in priložnosti za prihodnost. V: *Območni gozdnogospodarski načrti in razvojne perspektive*

- slovenskega gozdarstva. Bončina A. (ur.). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 81–102
- Dutilleul P., Nef L., Frigon D. 2000. Assessment of site characteristics as predictors of the vulnerability of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) stands to attack by *Ips typographus* L. (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology*, 124, 1: 1–5
- Džeroski S. 2001. Data mining in a nutshell. V: Relational data mining. Džeroski S., Lavrač N. (ur.). Berlin, Springer: 3–27
- Emissions scenarios: special report of the Intergovernmental panel on climate change. 2000. Cambridge University Press, UK: 570 str.
- European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO).
<http://www.eppo.org/> (14. 7. 2006)
- Faccoli M. 2002. Winter mortality in sub-corticolous populations of *Ips typographus* (Coleoptera, Scolytidae) and its parasitoids in the south-eastern Alps. *Anzeiger für Schädlingskunde*, 75: 62–68
- Faccoli M., Stergulc F. 2006. A practical method for predicting the short-time trend of bivoltine populations of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology*, 130, 1: 61–66
- FAO glossary of phytosanitary terms. 1990. *FAO Plant Protection Bulletin*, 38, 1: 5–23
- Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P. 1996. From data mining to knowledge discovery in databases. *AI Magazine*, 17, 3: 37–54
- Flannigan M.D., Stocks B.J., Wotton B.M. 2000. Climate change and forest fires. *The science of the total environment*, 262: 212–229
- Francis D., Hengeveld H. 1998. Extreme weather and climate change. Toronto, ON, Canada, Environment Canada: 31 str.
- Frankel S.J. 1998. User's guide to the western root disease model, version 3.0. Albany, CA, Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, General Technical Report, PSW-GTR-165: 166 str.
- Frawley W.J., Piatetsky-Shapiro G., Matheus C.J. 1991. Knowledge discovery in databases: an overview. V: Knowledge discovery in databases. Piatetsky-Shapiro G., Frawley W.J. (ur.). The MIT Press: 1–27
- Führer E. 1998. Oak decline in Central Europe: a synopsis of hypotheses. USDA Forest Service, General Technical Report, NE-247: 7–24
- Gardiner B., Quine C.P. 2000. Management of forests to reduce the risk of abiotic damage - a review with particular reference to the effects of strong winds. *Forest Ecology and Management*, 135: 261–277
- Gartner A., Papler-Lampe V., Poljanec A., Bončina A. 2007. Upoštevanje katastrof pri načrtovanju in gospodarjenju z gozdovi na primeru vetroloma na Jelovici. V: Podnebne spremembe - vpliv na gozd in gozdarstvo. Jurc M. (ur.). (Studia Forestalia Slovenica, 130). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 153–176

- Gašperšič F. 1985. Gozdnogospodarsko načrtovanje kot skrbnik in usmerjevalec stabilnosti pri gospodarjenju z gozdovi. V: Stabilnost gozda v Sloveniji. Horvat-Marolt S. (ur.). Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, VTOZD za gozdarstvo: 36–42
- Gašperšič F. 1995. Gozdnogospodarsko načrtovanje v sonaravnem ravnanju z gozdovi. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 403 str.
- Gilbert M., Nageleisen L.-M., Franklin A., Grégoire J.C. 2005. Post-storm surveys reveal large-scale spatial patterns and influences of site factors, forest structure and diversity in endemic bark-beetle populations. *Landscape Ecology*, 20: 35–49
- Gliha-Vavpotič M. 1983. Pogostost neviht s strelo na slovenskem. V: Naravne nesreče v Sloveniji kot naša ogroženost. Gams I. (ur.). Ljubljana, ZRC-SAZU, Geografski inštitut Antona Melika: 126–143
- Glossary of phytosanitary terms. 1995. ISPM Publication, 5: 1–33
- Gozdna inventura: podatkovna zbirka. 2006. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije
- Gozdne ceste: podatkovna zbirka. 2007. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije
- Gozdni fondi: podatkovna zbirka. 1995–2005. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije
- Han J., Kamber M. 2001. Data mining: concepts and techniques. San Francisco, Morgan Kaufmann: 550 str.
- Hannah P., Palutikof J.P., Quine C.P. 1995. Predicting windspeeds for forest areas in complex terrain. V: Wind and trees. Coutts M.P., Grace J. (ur.). Cambridge, Cambridge University Press: 113–129
- Hanski I., Simberloff D. 1997. The metapopulation approach, its history, conceptual domain, and application to conservation. V: Metapopulation biology: ecology, genetics, and evolution. Hanski I., Gilpin M.E. (ur.). Elsevier, Academic Press: 5–26
- Hidrogeološka karta. 2001. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje
- Hočevar M. 1990a. Kontrolna vzorčna metoda. V: Seminar: ugotavljanje stanja in razvoja gozdov s kontrolno vzorčno metodo. Hočevar M. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta Univerze Edvarda Kardelja, VTOZD za gozdarstvo: 9–16
- Hočevar M. 1990b. Zasnova gozdne inventure kot del gozdarskega prostorskega informacijskega sistema. V: Seminar: ugotavljanje stanja in razvoja gozdov s kontrolno vzorčno metodo. Hočevar M. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta Univerze Edvarda Kardelja, VTOZD za gozdarstvo: 1–8
- Hosmer D.W., Lemeshow S. 2001. Applied logistic regression. Wiley & Sons: 672 str.
- Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A. (ur.). 2001. Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental panel on climate change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press: 881 str.

- Hudson P.J., Dobson A.P., Lafferty K.D. 2006. Is a healthy ecosystem one that is rich in parasites? *Trends in Ecology & Evolution*, 21, 7: 381–385
- Impacts of Europe's changing climate: an indicator-based assessment. EEA Report, 2/2004: 107
- Interferometrični radarski digitalni model višin 100×100 m (InSAR DMV 100). 2000. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije
- International phytosanitary portal (IPP). 2006. IPPC.
<https://www.ippc.int> (14. 7. 2006)
- International plant protection convention. 1997. Rome, FAO: 16 str.
- Irland L.C. 2000. Ice storms and forest impacts. *The science of the total environment*, 262: 231–242
- Ivanek F. 1976. Vrednotenje poškodb pri spravilu lesa v gozdovih na Pohorju. (Strokovna in znanstvena dela, 51). Ljubljana, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo pri Biotehniški fakulteti v Ljubljani: 195 str.
- Jakša J. 1997. Obseg in posledice gozdnih požarov v Sloveniji v letih 1991 do 1996 ter vloga gozdarstva v varstvu pred požari v gozdu. *Gozdarski vestnik*, 55, 9: 386–395
- Jakša J. 2005. Podlubniki v Slovenskih gozdovih v obdobju 1995–2004. *Ujma*, 19: 154–162
- Jalkanen R., Konôpka B. 1998. Snow-packing as a potential harmful factor on *Picea abies*, *Pinus sylvestris* and *Betula pubescens* at high altitude in northern Finland. *European journal of forest pathology*, 28: 373–382
- Jalkanen A., Mattila U. 2000. Logistic regression models for wind and snow damage in northern Finland based on the national forest inventory data. *Forest Ecology and Management*, 135: 315–330
- Jene M. 2005. Smrekovi podlubniki (Coleoptera: Scolytidae) v gospodarski enoti Medvode v letu 2004: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 46 str.
- Jerina K. 2000. Nekatere ekološke značilnosti jelenjadi (*Cervus elaphus* L.): diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 98 str.
- Jerina K. 2003. Prostorska razporeditev in habitatne značilnosti jelenjadi (*Cervus elaphus* L.) v dinarskih gozdovih jugozahodne Slovenije: magistrsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 137 str.
- Jerina K. 2006. 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, samozal.: 172 str.
- Jerina K., Adamič M., Marinčič A., Vidojevič V. 2002. Analiza in prostorsko modeliranje habitata jelenjadi (*Cervus elaphus* L.) jugozahodne Slovenije v rasterskem GIS okolju. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 68: 7–31

- Jones K.F. 1996. Ice accretion in freezing rain. US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory, CRREL Report, 96, 2: 22 str.
- Jones K.F. 1998. A simple model for freezing rain ice loads. Atmospheric Research, 46: 87–97
- Jones K.F., Friddell J.E., Daly S.F., Vuyovich C.M. 2004. Severe winter weather in the continental U.S. and global climate cycles. Hanover, New Hampshire, U.S. Army engineer research and development center, Cold regions research and engineering laboratory, ERDC/CRREL Technical report, 2004, 19: 87 str.
- Jørgensen S.E. 2005. Introduction. V: Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health. Jørgensen S.E., Costanza R., Xu F.-L. (ur.). CRC Press: 1–4
- Jørgensen S.E., Bendoricchio G. 2001. Fundamentals of ecological modelling: 3rd edition. Elsevier: 530 str.
- Jørgensen S.E., Xu F.-L., Salas F., Marques J.C. 2005. Application of indicators for the assessment of ecosystem health. V: Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health. Jørgensen S.E., Costanza R., Xu F.-L. (ur.). CRC Press: 5–66
- Jurc D. 2006. Mesto poročevalske, diagnostične in prognostične službe za gozdove v sistemu varstva rastlin Slovenije. V: Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino. Hladnik D. (ur.). (Studia Forestalia Slovenica, 127). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 167–180
- Jurc D. 2007. Patogeni drevja in spremembe podnebja v Sloveniji. V: Podnebne spremembe - vpliv na gozd in gozdarstvo. Jurc M. (ur.). (Studia Forestalia Slovenica, 130). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 203–216
- Jurc D., Jakša J., Jurc M., Mavsar R., Matijašić D., Jonožovič M. 2003. Zdravje gozdov - Slovenija 2002. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Zavod za gozdove Slovenije: 70 str.
- Jurc D., Jurc M. 2006. Priročnik za ugotavljanje povzročiteljev poškodb: delovna različica. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 30 str.
- Jurc D., Ogris N. 2006. First reported outbreak of charcoal disease caused by *Biscogniauxia mediterranea* on Turkey oak in Slovenia. Plant Pathology, 55: 299
- Jurc D., Ogris N., Grebenc T., Kraigher H. 2006a. First report of *Botryosphaeria dothidea* causing bark dieback of European hop hornbeam in Slovenia. Plant Pathology, 55: 299
- Jurc D., Ogris N., Slippers B., Stenlid J. 2006b. First report of Eutypella canker of *Acer pseudoplatanus* in Europe. Plant Pathology, 55, 4: 577
- Jurc D., Piltaver A., Ogris N. 2005. Glive Slovenije: vrste in razširjenost. (Studia Forestalia Slovenica, 124). Ljubljana, Silva Slovenica, Gozdarski inštitut Slovenije: 497 str.
- Jurc M. 2005. Gozdna zoologija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 348 str.

- Jurc M. 2007. Fitofagne žuželke v spreminjajočih se okoljskih razmerah. V: Podnebne spremembe - vpliv na gozd in gozdarstvo. Jurc M. (ur.). (Studia Forestalia Slovenica, 130). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 217–236
- Jurc M., Perko M., Džeroski S., Demšar D., Hrašovec B. 2006. Spruce bark beetles (*Ips typographus*, *Pityogenes chalcographus*, Col.: Scolytidae) in the Dinaric mountain forests of Slovenia: monitoring and modeling. Ecological modelling, 194: 219–226
- Jurc M., Urek G., Širca S., Mikulič V., Glavan B. 2003. Borova ogorčica, *Bursapelenchus xylophilus* (Steiner & Buhrer, 1934) Nickle, 1970 - nova nevarnost za slovenske gozdove? Zbornik gozdarstva in lesarstva, 72: 121–156
- Kajfež-Bogataj L., Bergant K. 2005. Podnebne spremembe v Sloveniji in suša. Ujma, 19: 37–41
- Kalič M. 2006. Osmerozobi smrekov lubadar (*Ips typographus*, Col.: Scolytidae) v območju Črnega vrha na kočevskem: spremljanje in kratkoročna napoved škod: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Kočevje, samozal.: 51 str.
- Karalič A. 1992. Employing linear regression in regression tree leaves. V: Proceedings of ECAI'92 (European Congress on Artificial Intelligence), Vienna, Austria, Wiley & Sons: 440–441
- Kastelec D. 1997. Pojav žleda v Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije: 10 str.
- Kastelec D., Rakovec J., Jeromel M., Glavač-Šah R., Zakšek K., Podobnikar T. 2005. Sončno obsevanje v Sloveniji: verzija april 2005. Ljubljana, Fakulteta za matematiko in fiziko, Katedra za meteorologijo: 176 str.
- Katalog znanj: poročevalsko, diagnostična, prognostična služba za varstvo gozdov. 2001. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije, Gozdarski inštitut Slovenije
- Kategorizacija vodotokov Slovenije. 2000. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje
- Kira K., Rendell L. 1992. A practical approach to feature selection. V: ML92: Proceedings of the ninth international workshop on Machine learning. San Francisco, CA, USA, Morgan Kaufmann: 249–256
- Knisel W.G., Davis F.M. 2000. GLEAMS: ground loading effects of agricultural management systems: version 3.0: user manual. Southeast Watershed Research Laboratory, SEWRL-WGK/FMD-050199: 194 str.
- Kobler A. 2001. Prostorski model požarne ogroženosti gozdov. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 66: 65–93
- Kobler A., Ogrinc P., Skok I., Fajfar D., Džeroski S. 2006. Končno poročilo o rezultatih raziskovalnega projekta: napovedovalni GIS model požarne ogroženosti naravnega okolja, ciljni raziskovalni program: znanje za varnost in mir 2004–2010. Ljubljana, Inštitut Jožef Stefan, Gozdarski inštitut Slovenije, IGEA: 53 str.

- Komac M. 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in prealpine Slovenia. *Geomorphology*, 74: 17–28
- Kononenko I. 1994. Estimating attributes: analysis and extensions of Relief. V: *Machine Learning: ECML-94*. Springer Verlag: 171–182
- Korhonen K., Stenlid J. 1998. Biology of *Heterobasidion annosum*. V: *Heterobasidion annosum: biology, ecology, impact and control*. Woodward S., Stenlid J., Karjalainen R., Hüttermann A. (ur.). CAB International: 43–70
- Košir B. 1997. Pridobivanje lesa: študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 330 str.
- Košir B., Cedilnik A. 1996. Model naraščanja števila poškodb drevja pri redčenjih. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 48: 135–151
- Košir Ž. 1976. Zasnova uporabe prostora: gozdarstvo: vrednotenje gozdnega prostora po varovalnem in lesnoproizvodnem pomenu na osnovi naravnih razmer. Ljubljana, Zavod SR Slovenije za družbeno planiranje, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo pri Biotehniški fakulteti: 137 str.
- Košir Ž. 1992. Vrednotenje proizvodne sposobnosti gozdnih rastišč in ekološkega značaja fitocenoz. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS: 58 str.
- Košmelj K. 2001. Uporabna statistika. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 249 str.
- Kotar M. 2003. Območni gozdnogospodarski načrti in kakovost prirastoslovnih osnov. V: *Območni gozdnogospodarski načrti in razvojne perspektive slovenskega gozdarstva*. Bončina A. (ur.). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 123–133
- Kovač M., Mavsar R., Simončič P., Batič F., Hočevar M. 2000. Popis poškodovanosti gozdov in gozdnih ekosistemov: priročnik. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 74 str.
- Kowalski T. 2006. *Chalara fraxinea* sp. nov. associated with dieback of ash (*Fraxinus excelsior*) in Poland. *Forest Pathology*, 36: 264–270
- Krč J. 1999a. Analiza spremenjenosti količinske in vrstne sestave gozdov po dveh različnih metodah ter njuna primerjava. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 60: 211–236
- Krč J. 1999b. Večkriterialno dinamično vrednotenje tehnoloških, ekonomskih, socialnih in ekoloških vplivov na gospodarjenje z gozdovi: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 173 str.
- Kruijt B., Klaassen W., Hutjes R.W.A. 1995. Edge effects on diffusivity in the roughness layer over a forest. V: *Wind and trees*. Coutts M.P., Grace J. (ur.). Cambridge, Cambridge University Press: 60–70
- Kubat M., Bratko I., Michalski R.S. 1997. A review of machine learning methods. V: *Machine learning and data mining: methods and applications*. Michalski R.S., Bratko I., Kubat M. (ur.). New York, John Wiley & Sons: 3–69
- Kutnar L., Kobler A. 2007. Potencialni vpliv podnebnih sprememb na gozdno vegetacijo v Sloveniji. V: *Podnebne spremembe - vpliv na gozd in gozdarstvo*. Jurc M. (ur.).

- (Studia Forestalia Slovenica, 130). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 289–304
- Lanquaye C.O. 2003. Empirical modelling of windthrow risk using geographic information systems: master of science thesis. (University of British Columbia, Faculty of forestry, Department of Forest Sciences). Kumasi, Ghana: 126 str.
- Larcher W. 1995. Drought. V: Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups. Larcher W. (ur.). Springer: 379–395
- Lobinger G. 1994. Die Lufttemperatur als limitierender Faktor für die Schwärmaktivität zweier rindenbrütender Fichtenborkenkäferarten, *ips typographus* L. und *Pityogenes chalcographus* L. (Col., Scolytidae). Journal of Pest Science, 67, 1: 14–17
- Loehle C., LeBlanc D. 1996. Model-based assessments of climate change effects on forest: a critical review. Ecological modelling, 90: 1–31
- Lorenz E.N. 1967. The nature and theory of the general circulation of the atmosphere. WMO Publication, 218: 160 str.
- Luterbacher J., Dietrich D., Xoplaki E., Grosjean M., Wanner H. 2004. European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. Science, 303: 1499–1503
- Maček J. 1983. Gozdna fitopatologija. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja, Biotehniška fakulteta, VTOZD za gozdarstvo: 267 str.
- McGarigal K., Marks B.J. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland, Oregon, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station: 122 str.
- Mergen F. 1954. Mechanical aspects of wind-breakage and windfirmness. Journal of Forestry, 52, 2: 119–125
- Miklavčič V. 2002. Populacijska dinamika srnjadi (*Capreolus capreolus* L.) in njeno modeliranje na primeru populacije lovišča LD Poljane: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 76 str.
- Mikulič V. 1990. Oblikovanje in koriščenje skupnih zbirk podatkov: računalniška obravnava podatkov za potrebe izdelovanja območnih gozdnogospodarskih načrtov. Ljubljana, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo pri Biotehniški fakulteti: 24 str.
- Ministerial conference on the protection of forests in Europe - MCPFE. 2007. <http://www.mcpfe.org> (22. maj 2007)
- Mlinšek D. 2006. Close to nature forestry as the only true culture of a man's activity. V: Nature-based forestry in Central Europe: alternatives to industrial forestry and strict preservation. Diaci J. (ur.). (Studia Forestalia Slovenica, 126). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 91–103
- Müller F. 2002. Modellierung von Sturm-, Schnee- und Rotfäulerisiko in Fichtenbeständen auf Einzelbaumebene: doctoral dissertation. (Technischen Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan). Freising, samozal.: 175 str.

- Natek K. 1990. Geomorfološke značilnosti usadov v Halozah. *Ujma*, 4: 11–15
- Netherer S., Pennerstorfer J., Baier P., Führer E., Schopf A. 2003. Monitoring and risk assessment of the spruce bark beetle, *Ips typographus*. V: Proceedings ecology, survey and management of forest insects. McManus M.L., Liebhold A.M. (ur.). Kraków, Poland, 1.–5. september 2002, USDA Forest Service, Northeastern Research Station, General Technical Report, NE-311: 75–79
- Nykänen M.L., Peltola H., Quine C.P., Kellomäki S., Broadgate M. 1997. Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. *Silva Fennica*, 31, 2: 193–213
- Odločba o nujnih ukrepih za preprečevanje vnosa in širjenja kostanjeve šiškariče *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu. Ur. l. RS št. 60-2658/2005
- Ogrin D. 1996. Podnebni tipi v Sloveniji. *Geografski vestnik*, 68: 39–56
- Ogris N. 2006. Pregled učinkov vremena in podnebja - odstopanj od običajnih razmer - na gozdove v zadnjih 20 letih: poročilo projekta. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 65 str.
- Ogris N., Džeroski S., Jurc M. 2004. Windthrow factors - a case study on Pokljuka. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 74: 59–76
- Ogris N., Jurc D., Jurc M. 2006a. Spread risk of *Eutypella* canker of maple in Europe. *EPPO Bulletin*, 36: 475–485
- Ogris N., Jurc D., Piltaver A., Jurc M. 2006b. Podatkovna zbirka gliv Slovenije *Boletus informaticus* in njen pomen za ocenjevanje biotske pestrosti gozdnih ekosistemov. V: Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino. (Studia Forestalia Slovenica, 127). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 303–316
- Ogris N., Jurc D., Jurc M. 2007. Ocena tveganja za širjenje javorovega raka (*Eutypella parasitica*) v Sloveniji zaradi podnebnih sprememb. V: Podnebne spremembe - vpliv na gozd in gozdarstvo. Jurc M. (ur.). (Studia Forestalia Slovenica, 130). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 335–358
- Økland B., Berryman A. 2004. Resource dynamic plays a key role in regional fluctuations of the spruce bark beetles *Ips typographus*. *Agricultural and forest entomology*, 6: 141–146
- Pääta M.-L., Peltola H., Kellomäki S. 1999. Modelling the risk of snow damage to forests under short-term snow loading. *Forest Ecology and Management*, 116: 51–70
- Pečenko A. 1994. Določanje stopenj ogroženosti naravnega okolja v Sloveniji. *Ujma*, 8: 193–196
- Pečenko A., Stevanović B. 1987. Napovedovanje požarne ogroženosti. *Ujma*, 1: 73–77
- Pedološko rekartiranje in digitalizacija pedoloških kart Republike Slovenije v merilu 1:25.000 kot osnove za določitev talnega potenciala: digitalna pedološka karta, pedološki profili. 1999. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Center za pedologijo in varstvo okolja: 20 str.

- Peltola H., Nykänen M.L., Kellomäki S. 1997. Model computations on the critical combination of snow loading and windspeed for snow damage of Scots pine, Norway spruce and birch sp. at stand edge. *Forest Ecology and Management*, 95: 229–241
- Peltola H., Kellomäki S., Väisänen H., Ikonen V.P. 1999. A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 647–661
- Perlich C., Provost F., Simonoff J.S. 2003. Tree induction vs. logistic regression: a learning-curve analysis. *Journal of Machine Learning Research*, 4: 211–255
- Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi za obdobje 1995–2001: 12 mesečnih kart in ena letna karta v digitalni rasterski obliki z ločljivostjo 1 km. 2006. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za meteorologijo
- Povprečna mesečna in letna vsota korigiranih padavin za obdobje 1971–2000: 12 mesečnih kart in ena letna karta v digitalni rasterski obliki z ločljivostjo 1 km. 2006. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za meteorologijo
- Povprečna referenčna evapotranspiracija za obdobje 1971–2000: 12 mesečnih kart in ena letna karta v digitalni rasterski obliki z ločljivostjo 1 km. 2006. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za meteorologijo
- Povprečna relativna vlaga zraka za obdobje 1971–2000: 12 mesečnih kart in ena letna karta v digitalni rasterski obliki z ločljivostjo 1 km. 2006. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za meteorologijo
- Povprečna skupna višina novozapadlega snega v sezoni za obdobje 1971–2000: letna karta v digitalni rasterski obliki z ločljivostjo 1 km. 2006. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za meteorologijo
- Povprečna temperatura zraka za obdobje 1971–2000: 12 mesečnih kart in ena letna karta v digitalni rasterski obliki z ločljivostjo 1 km. 2006. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za meteorologijo
- Povprečno število dni s snežno odejo v sezoni za obdobje 1971–2000: letna karta v digitalni rasterski obliki z ločljivostjo 1 km. 2006. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za meteorologijo
- Pravilnik o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih. Ur. l. RS 5-242/1998
- Pravilnik o pogojih glede strokovne, prostorske in tehnične usposobljenosti laboratorijev za izvajanje laboratorijskih preiskav zaradi diagnostike škodljivih organizmov. Ur. l. RS 82-4057/2002
- Pravilnik o spremembah in dopolnitvah pravilnika o varstvu gozdov. Ur. l. RS 56-2361/2006
- Pravilnik o spremembi pravilnika o pogojih glede strokovne, prostorske in tehnične usposobljenosti laboratorijev za izvajanje laboratorijskih preiskav zaradi diagnostike škodljivih organizmov. Ur. l. RS 131-5575/2003
- Pravilnik o varstvu gozdov. Ur. l. RS, št. 92-3942/2000

- Predhodna ocena onesnaženosti zraka s SO₂, NO₂, delci, svincem, CO in benzenom v Sloveniji: poročilo projekta. 2003. Ljubljana, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija Republike Slovenije za okolje: 59 str.
- Projekt posodobitve evidentiranja nepremičnin: podprojekt D: zajem in spremljanje rabe kmetijskih zemljišč: baza podatkov o rabi zemljišč 2002. 2003. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: 41 str.
- Pukkala T., Möykkynen T., Thor M., Rönnerberg J., Stenlid J. 2005. Modeling infection and spread of *Heterobasidion annosum* in even-aged Fennoscandian conifer stands. Canadian Journal of Forest Research, 35: 74–84
- Quine C.P. 1995. Assessing the risk of wind damage to forests: practice and pitfalls. V: Wind and trees. Coutts M.P., Grace J. (ur.). Cambridge, Cambridge University Press: 379–403
- Quine C.P., White I.M.S. 1993. Revised windiness scores for the windthrow hazard classification: the revised scoring method. Research Information Note, 230: 5 str.
- Quine C.P., White I.M.S. 1998. The potential of distance-limited topex in the prediction of site windiness. Forestry, 71, 7: 325–332
- Quine C.P., Coutts M.P., Gardiner B.A., Pyatt D.G. 1995. Forest and wind: management to minimise damage. London, HMSO: 27 str.
- Quinlan J.R. 1986. Induction of decision trees. Machine Learning, 1: 81–106
- Quinlan J.R. 1992. Learning with continuous classes. V: 5th Australian joint conference on artificial intelligence. Hobart, Tasmania, World Scientific: 343–348
- Quinlan J.R. 1993. C4.5: programs for machine learning. San Mateo, Morgan Kaufmann: 302 str.
- Robek R., Medved M. 1997. Poškodbe drevja zaradi gozdarski del po podatkih popisov propadanja gozdov v Sloveniji. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 52: 119–136
- Robnik-Šikonja M., Kononenko I. 1997. An adaptation of Relief for attribute estimation in regression. V: Proceedings of 14th International Conference on Machine Learning ICML'97, Nashville, TN
- Rouault G., Candau J.-N., Lieutier F., Nageleisen L.-M., Martin J.-C., Warzée N. 2006. Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. Annals of Forest Science, 63: 613–624
- Ruel J.-C., Pin D., Spacek L., Cooper K., Benoit R. 1997. The estimation of wind exposure for windthrow hazard rating: comparison between Strongblow, MC2, Topex and a wind tunnel study. Forestry, 70, 3: 253–266
- Schopf A. 2006. Modeling phenology and risk assessment of outbreaks of the European spruce bark beetle, *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae), in mountainous region. V: 8th European congress of entomology, 17.–22. september 2006, Izmir, Turkey, Entomological Society of Turkey: 76–77
- Schroeder L.M. 2001. Tree mortality by the bark beetle *Ips typographus* (L.) in storm-disturbed stands. Integrated Pest Management Reviews, 6: 169–175

- Schröter D., Cramer W., Leemans R., Prentice I.C., Araújo M.B., Arnell N.W., Bondeau A., Bugmann H., Carter T.R., Gracia C.A., de la Vega-Leinert A.C., Erhard M., Ewert F., Glendining M., House J.I., Kankaanpää S., Klein R.J.T., Lavorel S., Lindner M., Metzger M.J., Meyer J., Mitchell T.D., Reginster I., Rounsevell M., Sabaté S., Sitch S., Smith B., Smith J., Smith P., Sykes M.T., Thonicke K., Thuiller W., Tuck G., Zaehle S., Zierl B. 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, 310: 133–1337
- Simončič P., Kobler A., Krajnc N., Medved M., Torelli N., Robek R. 2001. Podnebne spremembe in slovenski gozdovi. *Gozdarski vestnik*, 59: 184–202
- Skoberne P. 2004. Pregled mednarodnih organizacij in predpisov s področja varstva narave 2004: priročnik, inačica 9.0. Ljubljana, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo: 184 str.
- Smolej I. 2001. Ocena spremenjenosti gozdov v Sloveniji po podatkih Zavoda za gozdove Slovenije: elaborat. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 13 str.
- Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (ur.). 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press
- Spiecker H. 2006. Minority tree species - a challenge for multi-purpose forestry. V: Nature-based forestry in Central Europe: alternatives to industrial forestry and strict preservation. Diaci J. (ur.). (*Studia Forestalia Slovenica*, 126). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 47–59
- Stankovski V., Debeljak M., Bratko I., Adamič M. 1998. Modelling the population dynamics of red deer (*Cervus elaphus* L.) with regard to forest development. *Ecological Modelling*, 108, 1/3: 145–153
- Stathers R.J., Rollerson T.P., Mitchell S.J. 1994. Windthrow handbook for British Columbia forests. Victoria, British Columbia, Ministry of Forests, Working Paper, 9401: 31 str.
- Statistični GIS pokrovnosti tal Slovenije: podatkovna zbirka. 2001. Statistični urad Republike Slovenije
- Stenlid J., Redfern D.B. 1998. Spread within the tree and stand. V: *Heterobasidion annosum*: biology, ecology, impact and control. Woodward S., Stenlid J., Karjalainen R., Hüttermann A. (ur.). CAB International: 105–141
- Sušnik A. 2006. Vodni primanjkljaj v Sloveniji in možni vplivi podnebnih sprememb: magistrsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo). Ljubljana, samozal.: 147 str.
- Šolar M. 1988. Črna knjiga o propadanju gozdov v Sloveniji leta 1987. Ljubljana, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo Ljubljana
- The Montréal Process. 2007.
<http://www.mpci.org> (22. maj 2007)

- Thomas F.M., Blank R., Hartmann G. 2002. Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. *Forest Pathology*, 32, 4/5: 277–307
- Thor M. 2005. Heterobasidion root rot in Norway spruce: modelling incidence, control efficacy and economic consequences in Swedish forestry: doctoral thesis. (Faculty of natural resources and agricultural sciences, Department of natural resources and agricultural sciences). Uppsala, samozal.: 50 str.
- Timber: podatkovna zbirka o poseku gozdnega drevja. 1995–2005. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije
- Titovšek J. 1988. Podlubniki (Scolytidae) Slovenije: obvladovanje podlubnikov. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva Slovenije, Gozdarska založba: 128 str.
- Ulanova N.G. 2000. The effects of windthrow on forests at different spatial scales: a review. *Forest Ecology and Management*, 135: 155–167
- Uredba Evropske skupnosti, št. 2152/2003, Evropskega parlamenta in Sveta z dne 17. novembra 2003 o spremljanju gozdov in medsebojnih okoljskih vplivih v Skupnosti (Forest Focus). Ur. l. RS 324/2003
- Valinger E., Fridman J. 1999. Models to assess the risk of snow and wind damage in pine, spruce, and birch forests in Sweden. *Environmental Management*, 24, 2: 209–217
- Van Wagner C.E. 1987. Development and structure of the canadian forest Fire Weather Index system. *Forestry Technical Report*, 35: 1–37
- Van Wagner C.E., Stocks B.J., Lawson B.D., Alexander M.E., Lynham T.J., McAlpine R.S. 1992. Development and structure of the canadian forest fire behavior prediction system. Information report, ST-X-3: 1–63
- Vasić K. (ur.). 1981. Priručnik izveštajne i dijagnostičko prognozne službe zaštite šuma. Beograd, Savez inženjera i tehničara šumarstva i industrije za preradu drveta Jugoslavije: 336 str.
- Vollbrecht G., Jorgensen B.B. 1995. Modelling the incidence of butt rot in plantations of *Picea abies* in Denmark. *Canadian Journal of Forest Research*, 25: 1887–1896
- Walther G.-R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C., Fromentin J.-M., Hoegh-Guldberg O., Bairlein F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416: 389–395
- Wang Y., Witten I.H. 1997. Inducing model trees for continuous classes. V: 9th European Conference on Machine Learning (ECML 97). Prague, Czech Republic: 128–137
- Wermelinger B. 2004. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus*: a review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 202, 1/3: 67–82
- Wermelinger B., Duelli P., Obrist M.K. 2003. Windthrow stimulates arthropod biodiversity in forests. V: Proceedings of the international symposium: dead wood: a key to biodiversity. Mason F., Nardi G., Tisato M. (ur.). Mantova, 29.–31. 5. 2003. Sherwood, 95: 79–82

- Winkler I. 1997. Organizacija gozdarskih del. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 265 str.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Agriculture Handbook, 537: 58
- Witten I.H., Frank E. 2005. Data mining: practical machine learning tools and techniques, 2nd edition. San Francisco, Morgan Kaufmann: 524 str.
- Wood C.J. 1995. Understanding wind forces on trees. V: Wind and trees. Coutts M.P., Grace J. (ur.). Cambridge, Cambridge University Press: 133–164
- Zakon o gozdovih. Ur. l. RS št. 30-1299/1993
- Zakon o odpravi posledic naravnih nesreč (uradno prečiščeno besedilo) (ZOPNN-UPB1). Ur. l. RS 114-5041/2005
- Zakon o ratifikaciji konvencije o varstvu rastlin (spremenjene) (MKVRS). Ur. l. RS 23-113/2000
- Zakon o zdravstvenem varstvu rastlin. Ur. l. RS št. 45/01, 52/02, 45/04, 86/04, 23/05
- Zakšek K., Podobnikar T., Oštir K. 2005. Solar radiation modelling. Computers and Geosciences, 31: 233–240
- Zhu J., Li X., Liu Z., Cao W., Gonda Y., Matsuzaki T. 2006. Factors affecting the snow and wind induced damage of a montane secondary forest in northeastern China. Silva Fennica, 40, 1: 37–51
- Zupančič M. 1973. O odpornosti gozda proti snegolomu. Gozdarski vestnik, 31, 9/10: 327–335

ZAHVALA

Najprej se zahvaljujem doc. dr. Dušanu Jurcu, saj je bil on tisti, ki je stopil do mene in me vprašal, če želim biti mladi raziskovalec in delati doktorat s področja varstva gozdov. Dušanu Jurcu sem tudi neskončno hvaležen za ves njegov fenomenalni entuziazem za gozdno fitopatologijo in varstvo gozdov, ker me je stalno spodbujal in navdihoval pri delu. Zato je bilo delo veliko prijetnejše in lažje. Na Oddelku za varstvo gozdov na Gozdarskem inštitutu Slovenije smo zato lahko razvili ustvarjalno delovno vzdušje, timsko delo in na splošno pozitivno delovno ozračje, ki ga poznajo malo kje.

Brez pomoči mentorice izr. prof. dr. Maje Jurc sploh ne bi bilo doktorske disertacije. Pri razvoju modelov v disertaciji sem mnogokrat zašel na slepe stranske poti, s katerih me je mentorica spretno preusmerila na pravo pot. Kadar sem potreboval pomoč pri disertaciji, sem jo lahko vedno poiskal pri mentorici prof. dr. Maji Jurc. Njej se najbolj zahvaljujem za zelo prijazen in ne vsiljiv način upravljanja z menoj kot njenim mladim raziskovalcem. Zelo spoštujem in cenim odkrit, iskren ter spoštljiv odnos, ki smo ga razvili in imeli v tem času.

Disertacija sloni na mnogih podatkih iz različnih institucij. Največ podatkov je iz ZGS. Za posredovanje podatkov in pomoč pri njihovi pripravi se zahvaljujem zaposlenim na centralni enoti: mag. Živanu Veseliču, Draganu Matijašiču, Roku Pisku, Robertu Ogrizku, Tomažu Šturmu, Joštu Jakši, Zoranu Grecsu in Juriju Begušu.

Med nastajanjem disertacije smo ustvarili produktivno sodelovanje (na ravni PDP službe) z različnimi območnimi enotami in tamkajšnjimi gozdarkami in gozdarji. Naj jih naštejem samo nekaj: Boštjan Košiček (OE Sežana), Marija Kolšek (OE Ljubljana), Nataša Strle (KE Ljubljana), Nina Iveta (KE Ljubljana), Mojca Brejc (KE Kamnik), Mojca Bogovič (OE Brežice), Vida Papler - Lampe (OE Bled), Andrej Gartner (OE Bled), Janja Lukanc (KE Pokljuka), Lojze Budkovič (KE Pokljuka), Slavko Ličef (KE Pokljuka), Jože Gobec (KE Rogaška Slatina), mag. Mirko Perušek (OE Kočevje), Gorazd Mlinšek (OE Slovenj Gradec), Zoran Zavrtanik (OE Tolmin) idr.

Precejšen del disertacije je odvisen od podnebnih spremenljivk. Za posredovanje le-teh se najlepše zahvaljujem ga. Mojci Dolinar, za scenarije podnebnih sprememb pa dr. Klemenu Bergantu.

Med nastajanjem disertacije smo zelo uspešno sodelovali z Mikološko zvezo Slovenije in Inštitutom za sistematiko višjih gliv pri projektu Seznam vrst in razširjenost makromicet v Sloveniji z analizo stopnje ogroženosti. Rezultat sodelovanja je bil vzpostavljen sistem beleženja in kartiranja gliv v Sloveniji, t. j. *Boletus informaticus*. Pri tem so bili glavni akterji. Andrej Piltaver, Ana Ivanovič, Amadeo Dolenc in Baldomir Svetličič. Vsem se iskreno in pristrčno zahvaljujem za vse kar smo zgradili skupaj.

Zahvaljujem se vsem sodelavkam in sodelavcem na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Najprej dr. Mirku Medvedu, ki me je leta 2002 zaposlil na njegovem Oddelku za gozdno tehniko in ekonomiko. Potem se zahvaljujem Vesni Rajh in Barbari Piškur za vso pomoč

pri delu v Laboratoriju za varstvo gozdov. Za tehnično pomoč na terenu in GIS se najlepše zahvaljujem vzdrževalcu Zvonetu Kastelcu, Robertu Krajncu, Iztoku Sinjurju in Tadeji Vitez. Dr. Smoleju Igorju se zahvaljujem za posredovanje podatkovne zbirke o stopnji ohranjenosti drevesne sestave v slovenskih gozdovih. Mateju Ruplu in Zvonetu Stermšku se zahvaljujem za pomoč pri izvedbi terena na Pokljuki, ko smo preučevali vetrolom leta 2002. Ladu Kutnarju se zahvaljujem za posredovanje podatkovne zbirke o gozdni vegetaciji v Sloveniji in fitoekoloških regijah. Galu Kušarju se zahvaljujem za pomoč pri programu ArcGIS. Andreju Koblerju se zahvaljujem za posredovanje podatkov o gozdnih požarih v Sloveniji. Elizabeti Ambrožič se zahvaljujem za prijetno druženje ob jutranjih kavicah. Direktorju prof. dr. dr. h. c. Niku Torelliju velja vsa zahvala, da mi je dal delovno mesto in pisarno, v kateri sem imel mir, da sem lahko napisal disertacijo. Za spodbudno delovanje ob sprehodih na malico v študentsko menzo se zahvaljujem Marjani Pučko, Urši Vilhar, Mateji Meško, Igorju Renerju, Špeli Fajon, Maši Tenčič, Danielu Žlindri in Magdi Špenko. Brez knjižničark disertacije ne bi bilo. Zato se še posebno lepo zahvaljujem Mariji Dolores Kerec - Kovač in Maji Božič.

Za lektoriranje slovenščine se najlepše zahvaljujem Marjetki Šivic. Angleščino izvlečka in povzetka je lektoriral Terry Troy Jackson, kateremu se prav tako zahvaljujem za dobro opravljeno delo.

Posebej se zahvaljujem recenzentoma prof. dr. Andreju Bončini in prof. dr. Sašu Džeroskem, ki sta s svojimi pripombami zelo prispevala k izboljšanju kakovosti disertacije.

In nazadnje se zahvaljujem Agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, da je financirala moje podiplomsko raziskovalno usposabljanje mladega raziskovalca.



Detajl: micelij glive *Eutypella parasitica* R. W. Davidson & R.C. Lorenz v skorji maklena (*Acer campestre* L.); gliva povzroča javorov rak in je zaznamovala precejšen del mojega podiplomskega študija (fotografija Nikica Ogris)

PRILOGE

Opomba

V nadaljevanju prilagamo porezana odločitvena drevesa razvitih modelov v disertaciji. Odločitvena drevesa v izvorni velikosti so na voljo pri avtorju disertacije.

Priloga A

Regresijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi žuželk

```

s2_11 ≤ 0,881
| DV11 ≤ 5,715: LM1 (4693/10,055 %)
| DV11 > 5,715
| | SUS78 ≤ 1,572
| | | DV11 ≤ 25,525
| | | | OS ≤ 5,876
| | | | | DV55 ≤ 1,265: LM2 (861/50,739 %)
| | | | | DV55 > 1,265: LM3 (840/30,164 %)
| | | | OS > 5,876: LM4 (487/22,541 %)
| | | DV11 > 25,525
| | | | KVG5 ≤ 581,05: LM5 (504/47,054 %)
| | | | KVG5 > 581,05: LM6 (814/107,365 %)
| | SUS78 > 1,572: LM7 (2784/13,923 %)
s2_11 > 0,881
| ETP0 ≤ 605,98
| | s306 ≤ 0,03
| | | KVG6 ≤ 566,1
| | | | ETP6 ≤ 89,75: LM8 (649/15,804 %)
| | | | ETP6 > 89,75: LM9 (436/30,783 %)
| | | KVG6 > 566,1
| | | | DV81 ≤ 0,035: LM10 (824/33,183 %)
| | | | DV81 > 0,035: LM11 (344/60,242 %)
| | s306 > 0,03
| | | s305 ≤ 0,001: LM12 (354/27,194 %)
| | | s305 > 0,001
| | | | GOZD ≤ 79,9: LM13 (541/41,87 %)
| | | | GOZD > 79,9: LM14 (713/81,718 %)
| ETP0 > 605,98
| | DV11 ≤ 28,085: LM15 (3451/76,032 %)
| | DV11 > 28,085
| | | PAD7 ≤ 142,35: LM16 (1375/248,522 %)
| | | PAD7 > 142,35: LM17 (706/78,317 %)

```

Korelacijski koeficient = 0,5702

Koren relativne kvadratne napake = 82,1454 %

Število primerov = 20376

Definicije linearnih modelov:

$$LM1 = -0,0044 \cdot TMP49 + 0,001 \cdot SUS78 + 0,0003 \cdot GOZD + 0,0019 \cdot MELJ - 0,0004 \cdot PAD9 + 0,0001 \cdot DV11 - 0,0016 \cdot DV55 + 0,0002 \cdot s304 + 0,0012 \cdot s305 - 0,0001 \cdot s306 + 0,1867 \cdot s4_5_6 + 0,0005 \cdot s2_11 + 0,0906$$

Priloga A

Regresijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi žuželk

$$LM2 = -0,0004 \cdot TMP49 + 0,0015 \cdot SUS78 - 0,0003 \cdot OS + 0,0001 \cdot KVG5 + 0,0003 \cdot DV11 - 0,0006 \cdot DV55 + 0,0002 \cdot s304 + 0,0029 \cdot s305 - 0,0001 \cdot s306 + 0,0014 \cdot s4_5_6 + 0,0022 \cdot s2_11 + 0,5845$$

$$LM3 = -0,0004 \cdot TMP49 + 0,0015 \cdot SUS78 - 0,0003 \cdot OS + 0,0001 \cdot KVG5 + 0,0003 \cdot DV11 - 0,0006 \cdot DV55 + 0,0002 \cdot s304 + 0,0029 \cdot s305 - 0,0001 \cdot s306 + 0,0014 \cdot s4_5_6 + 0,0022 \cdot s2_11 + 0,3251$$

$$LM4 = -0,0004 \cdot TMP49 + 0,0015 \cdot SUS78 - 0,0009 \cdot OS + 0,0001 \cdot KVG5 + 0,0003 \cdot DV11 - 0,0007 \cdot DV55 + 0,0002 \cdot s304 + 0,0029 \cdot s305 - 0,0001 \cdot s306 + 0,0014 \cdot s4_5_6 + 0,0022 \cdot s2_11 + 0,2185$$

$$LM5 = -0,0004 \cdot TMP49 + 0,0015 \cdot SUS78 - 0,0001 \cdot OS + 0,0007 \cdot KVG5 + 0,0004 \cdot DV11 - 0,0003 \cdot DV55 + 0,0002 \cdot s304 + 0,0029 \cdot s305 - 0,0001 \cdot s306 + 0,0014 \cdot s4_5_6 + 0,0022 \cdot s2_11 + 0,1754$$

$$LM6 = -0,0004 \cdot TMP49 + 0,0015 \cdot SUS78 - 0,0001 \cdot OS + 0,0005 \cdot KVG5 + 0,0004 \cdot DV11 - 0,0003 \cdot DV55 + 0,0002 \cdot s304 + 0,0029 \cdot s305 - 0,0001 \cdot s306 + 0,0014 \cdot s4_5_6 + 0,0022 \cdot s2_11 + 1,2363$$

$$LM7 = -0,0001 \cdot avg_z - 0,0004 \cdot TMP49 + 0,0016 \cdot SUS78 + 0,0001 \cdot KVG5 + 0,0001 \cdot DV11 - 0,0001 \cdot DV55 + 0,0002 \cdot s304 + 0,2247 \cdot s305 - 0,0001 \cdot s306 + 0,0014 \cdot s4_5_6 + 0,3397 \cdot s2_11 + 0,1889$$

$$LM8 = -0,0001 \cdot NAKL - 0,0003 \cdot TMP49 + 0,001 \cdot SUS78 + 0,0001 \cdot GOZD - 0,0001 \cdot PAD7 + 0,0001 \cdot ETP0 + 0,0004 \cdot ETP6 + 0,0002 \cdot DV11 + 0,0004 \cdot DV81 + 0,0009 \cdot s304 + 0,002 \cdot s305 + 0,0003 \cdot s306 + 0,0001 \cdot s4_5_6 + 0,0006 \cdot s2_11 + 0,1631$$

$$LM9 = -0,0001 \cdot NAKL - 0,0003 \cdot TMP49 + 0,001 \cdot SUS78 + 0,0001 \cdot GOZD - 0,0001 \cdot PAD7 + 0,0001 \cdot ETP0 + 0,0005 \cdot ETP6 + 0,0002 \cdot DV11 + 0,0004 \cdot DV81 + 0,0009 \cdot s304 + 0,002 \cdot s305 + 0,0003 \cdot s306 + 0,0001 \cdot s4_5_6 + 0,0006 \cdot s2_11 + 0,4037$$

$$LM10 = -0,0001 \cdot NAKL - 0,0003 \cdot TMP49 + 0,001 \cdot SUS78 + 0,0001 \cdot GOZD - 0,0001 \cdot PAD7 + 0,0001 \cdot ETP0 + 0,0001 \cdot ETP6 + 0,0002 \cdot DV11 + 0,002 \cdot DV81 + 0,0009 \cdot s304 + 0,002 \cdot s305 + 0,0003 \cdot s306 + 0,0001 \cdot s4_5_6 + 0,0006 \cdot s2_11 + 0,4505$$

$$LM11 = -0,0001 \cdot NAKL - 0,0003 \cdot TMP49 + 0,001 \cdot SUS78 + 0,0001 \cdot GOZD - 0,0001 \cdot PAD7 + 0,0001 \cdot ETP0 + 0,0001 \cdot ETP6 + 0,0002 \cdot DV11 + 0,0043 \cdot DV81 + 0,0009 \cdot s304 + 0,002 \cdot s305 + 0,0003 \cdot s306 + 0,0001 \cdot s4_5_6 + 0,0006 \cdot s2_11 + 0,8239$$

$$LM12 = -0,0001 \cdot NAKL - 0,0003 \cdot TMP49 + 0,001 \cdot SUS78 + 0,0004 \cdot GOZD - 0,0001 \cdot PAD7 + 0,0001 \cdot ETP0 + 0,0002 \cdot DV11 - 0,0004 \cdot DV81 + 0,0009 \cdot s304 + 0,0188 \cdot s305 + 0,0005 \cdot s306 + 0,0001 \cdot s4_5_6 + 0,0006 \cdot s2_11 + 0,3957$$

Priloga A

Regresijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi žuželk

$$\text{LM13} = -0,0001 \cdot \text{NAKL} - 0,0003 \cdot \text{TMP49} + 0,001 \cdot \text{SUS78} + 0,0004 \cdot \text{GOZD} - 0,0001 \cdot \text{PAD7} + 0,0001 \cdot \text{ETP0} + 0,0002 \cdot \text{DV11} - 0,0004 \cdot \text{DV81} + 0,0009 \cdot \text{s304} + 0,0071 \cdot \text{s305} + 0,0005 \cdot \text{s306} + 0,0001 \cdot \text{s4_5_6} + 0,0006 \cdot \text{s2_11} + 0,786$$

$$\text{LM14} = -0,0001 \cdot \text{NAKL} - 0,0003 \cdot \text{TMP49} + 0,001 \cdot \text{SUS78} + 0,0003 \cdot \text{GOZD} - 0,0001 \cdot \text{PAD7} + 0,0001 \cdot \text{ETP0} + 0,0002 \cdot \text{DV11} - 0,0004 \cdot \text{DV81} + 0,0009 \cdot \text{s304} + 0,0071 \cdot \text{s305} + 0,0005 \cdot \text{s306} + 0,0001 \cdot \text{s4_5_6} + 0,0006 \cdot \text{s2_11} + 1,1934$$

$$\text{LM15} = -0,0002 \cdot \text{NAKL} - 0,0003 \cdot \text{TMP49} + 0,001 \cdot \text{SUS78} + 0,0099 \cdot \text{T} - 0,0002 \cdot \text{PAD7} + 0,0001 \cdot \text{ETP0} - 0,0001 \cdot \text{ETP6} + 0,0591 \cdot \text{DV11} + 0,1583 \cdot \text{s304} + 0,001 \cdot \text{s305} - 0,0001 \cdot \text{s306} + 0,0001 \cdot \text{s4_5_6} + 0,1339 \cdot \text{s2_11} - 0,3823$$

$$\text{LM16} = -0,0533 \cdot \text{NAKL} - 0,0003 \cdot \text{TMP49} + 0,001 \cdot \text{SUS78} - 0,0011 \cdot \text{PAD7} + 0,0001 \cdot \text{ETP0} - 0,0001 \cdot \text{ETP6} + 0,1509 \cdot \text{DV11} + 0,0017 \cdot \text{s304} + 0,001 \cdot \text{s305} - 0,0001 \cdot \text{s306} + 0,0001 \cdot \text{s4_5_6} + 0,0014 \cdot \text{s2_11} - 1,3162$$

$$\text{LM17} = -0,0013 \cdot \text{NAKL} - 0,0003 \cdot \text{TMP49} + 0,001 \cdot \text{SUS78} - 0,0018 \cdot \text{PAD7} + 0,0001 \cdot \text{ETP0} - 0,0001 \cdot \text{ETP6} + 0,0027 \cdot \text{DV11} + 0,0017 \cdot \text{s304} + 0,001 \cdot \text{s305} - 0,0001 \cdot \text{s306} + 0,0001 \cdot \text{s4_5_6} + 0,0014 \cdot \text{s2_11} + 1,4538$$

Priloga B

Regresijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi žledu

ETP5 $\leq$ 94,975

| min_z $\leq$ 735,4

| | PAD12 $\leq$ 107,15

| | | SNEG_VISINA0 $\leq$ 117,67: LM1 (1896/70,461 %)

| | | SNEG_VISINA0 $>$ 117,67

| | | | TMP11_12_1 $\leq$ 0,15: LM2 (768/12,279 %)

| | | | TMP11_12_1 $>$ 0,15

| | | | | KVG7 $\leq$ 636,85: LM3 (1296/45,47 %)

| | | | | KVG7 $>$ 636,85: LM4 (628/16,805 %)

| | PAD12 $>$ 107,15

| | | DV55 $\leq$ 0,345

| | | | KVG1 $\leq$ 140,45

| | | | | DV76 $\leq$ 1,695

| | | | | PAD12 $\leq$ 131,85

| | | | | | TMP11_12_1 $\leq$ 0,961: LM5 (789/31,755 %)

| | | | | | TMP11_12_1 $>$ 0,961: LM6 (378/107,554 %)

| | | | | | PAD12 $>$ 131,85: LM7 (1490/151,644 %)

| | | | | DV76 $>$ 1,695

| | | | | | KALIJ $\leq$ 7,909: LM8 (251/108,859 %)

| | | | | | KALIJ $>$ 7,909: LM9 (799/34,826 %)

| | | | KVG1 $>$ 140,45

| | | | | DV11 $\leq$ 1,02: LM10 (389/2,501 %)

| | | | | DV11 $>$ 1,02: LM11 (839/39,576 %)

| | | DV55 $>$ 0,345

| | | | MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 $\leq$ 0,5:

LM12 (478/47,68 %)

| | | | MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 $>$ 0,5

| | | | | SNEG_VISINA0 $\leq$ 121,045: LM13 (446/123,811 %)

| | | | | SNEG_VISINA0 $>$ 121,045: LM14 (832/312,587 %)

| min_z $>$ 735,4

| | SNEG_TRAJ0 $\leq$ 132,925

| | | PAD4 $\leq$ 155,45

| | | | DV51 $\leq$ 0,035: LM15 (835/3,608 %)

| | | | DV51 $>$ 0,035: LM16 (238/9,9 %)

| | | PAD4 $>$ 155,45

| | | | DV11 $\leq$ 24,905: LM17 (561/8,617 %)

| | | | DV11 $>$ 24,905: LM18 (649/45,673 %)

| | SNEG_TRAJ0 $>$ 132,925: LM19 (835/0,739 %)

ETP5 $>$ 94,975

| PAD8 $\leq$ 108,15: LM20 (1527/0,054 %)

| PAD8 $>$ 108,15: LM21 (4452/21,858 %)

Priloga B

Regresijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi žledu

Korelacijski koeficient = 0,4794

Koren relativne kvadratne napake = 87,7879 %

Število primerov = 20376

Definicije linearnih modelov:

LM1 = 0,0015 · ZLED_OGR=3 – 0,0084 · SNEG_VISINA0 + 0,0008 · TMP11_12_1 + 0,002 · MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 – 0,0001 · KALIJ + 0,0206 · PAD7 – 0,0001 · ETP1 + 0,0001 · DV11 + 0,0002 · DV55 – 0,0001 · DV76 – 1,4982

LM2 = 0,0015 · ZLED_OGR=3 + 0,0026 · TMP11_12_1 + 0,002 · MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 – 0,0001 · KALIJ – 0,0001 · ETP1 + 0,0001 · DV11 + 0,0002 · DV55 – 0,0001 · DV76 + 0,0514

LM3 = 0,0015 · ZLED_OGR=3 – 0,0007 · ED + 0,0013 · TMP11_12_1 + 0,002 · MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 – 0,0001 · KALIJ – 0,0001 · ETP1 + 0,0001 · DV11 + 0,0002 · DV55 – 0,0001 · DV76 + 0,3704

LM4 = 0,0015 · ZLED_OGR=3 + 0,0013 · TMP11_12_1 + 0,002 · MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 – 0,0001 · KALIJ – 0,0001 · ETP1 – 0,0001 · KVG7 + 0,0001 · DV11 + 0,0002 · DV55 – 0,0001 · DV76 + 0,1279

LM5 = 0,013 · ZLED_OGR=3 + 0,0095 · TMP11_12_1 + 0,004 · MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 – 0,0003 · KALIJ + 0,0002 · PAD12 – 0,0001 · ETP1 – 0,0001 · KVG1 + 0,0001 · DV11 + 0,0009 · DV55 – 0,0004 · DV76 + 0,136

LM6 = 0,013 · ZLED_OGR=3 + 0,0148 · TMP11_12_1 + 0,004 · MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 – 0,0003 · KALIJ + 0,0002 · PAD12 – 0,0001 · ETP1 – 0,0001 · KVG1 + 0,0001 · DV11 + 0,0009 · DV55 – 0,0004 · DV76 + 0,6342

LM7 = 0,7524 · ZLED_OGR=3 + 0,0039 · TMP11_12_1 + 0,004 · MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 – 0,0003 · KALIJ + 0,0001 · PAD12 – 0,0001 · ETP1 – 0,0001 · KVG1 + 0,0001 · DV11 + 0,0009 · DV55 – 0,0004 · DV76 + 0,6916

LM8 = 0,0091 · ZLED_OGR=3 + 0,0029 · TMP11_12_1 + 0,004 · MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 + 0,0001 · PAD12 – 0,0001 · ETP1 – 0,0001 · KVG1 + 0,0001 · DV11 + 0,0009 · DV55 – 0,0006 · DV76 + 0,4157

Priloga B

Regresijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi žledu

$$LM9 = 0,0091 \cdot ZLED_OGR=3 + 0,0029 \cdot TMP11_12_1 + 0,004 \cdot MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 - 0,001 \cdot KALIJ + 0,0001 \cdot PAD12 - 0,0001 \cdot ETP1 - 0,0001 \cdot KVG1 + 0,0001 \cdot DV11 + 0,0009 \cdot DV55 - 0,0006 \cdot DV76 + 0,131$$

$$LM10 = 0,0063 \cdot ZLED_OGR=3 + 0,0025 \cdot TMP11_12_1 + 0,004 \cdot MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 - 0,0004 \cdot KALIJ + 0,0001 \cdot PAD12 - 0,0001 \cdot ETP1 - 0,0001 \cdot KVG1 + 0,0003 \cdot DV11 + 0,0009 \cdot DV55 - 0,0003 \cdot DV76 + 0,0085$$

$$LM11 = 0,0063 \cdot ZLED_OGR=3 + 0,0025 \cdot TMP11_12_1 + 0,004 \cdot MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 - 0,0004 \cdot KALIJ + 0,0001 \cdot PAD12 - 0,0001 \cdot ETP1 - 0,0001 \cdot KVG1 + 0,0003 \cdot DV11 + 0,0009 \cdot DV55 - 0,0003 \cdot DV76 + 0,1514$$

$$LM12 = 0,0032 \cdot ZLED_OGR=3 + 0,0004 \cdot SNEG_VISINA0 + 0,0008 \cdot TMP11_12_1 + 0,0547 \cdot MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 - 0,0003 \cdot KALIJ - 0,0001 \cdot ETP1 - 0,0001 \cdot KVG1 + 0,0002 \cdot DV11 + 0,0022 \cdot DV55 - 0,0002 \cdot DV76 + 0,2092$$

$$LM13 = 0,0032 \cdot ZLED_OGR=3 + 0,0007 \cdot SNEG_VISINA0 + 0,0008 \cdot TMP11_12_1 + 0,026 \cdot MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 - 0,0003 \cdot KALIJ - 0,0001 \cdot ETP1 - 0,0001 \cdot KVG1 + 0,0002 \cdot DV11 + 0,0022 \cdot DV55 - 0,0002 \cdot DV76 + 0,76$$

$$LM14 = 0,0032 \cdot ZLED_OGR=3 + 0,0004 \cdot SNEG_VISINA0 + 0,0008 \cdot TMP11_12_1 + 0,026 \cdot MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 - 0,0003 \cdot KALIJ - 0,0001 \cdot ETP1 - 0,0001 \cdot KVG1 + 0,0002 \cdot DV11 + 0,0022 \cdot DV55 - 0,0002 \cdot DV76 + 2,9885$$

$$LM15 = 0,0014 \cdot ZLED_OGR=3 - 0,0001 \cdot SNEG_TRAJ0 - 0,0007 \cdot TMP11_12_1 + 0,0018 \cdot MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 + 0,0001 \cdot PAD4 - 0,0001 \cdot ETP1 + 0,0001 \cdot DV11 + 0,0004 \cdot DV51 + 0,0002 \cdot DV55 - 0,0001 \cdot DV76 + 0,0111$$

$$LM16 = 0,0014 \cdot ZLED_OGR=3 - 0,0001 \cdot SNEG_TRAJ0 - 0,0007 \cdot TMP11_12_1 + 0,0018 \cdot MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 + 0,0001 \cdot PAD4 - 0,0001 \cdot ETP1 + 0,0001 \cdot DV11 + 0,0004 \cdot DV51 + 0,0002 \cdot DV55 - 0,0001 \cdot DV76 + 0,0367$$

$$LM17 = 0,0014 \cdot ZLED_OGR=3 - 0,0001 \cdot SNEG_TRAJ0 - 0,0007 \cdot TMP11_12_1 + 0,0018 \cdot MAT_PODLAGA=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 + 0,0001 \cdot PAD4 - 0,0001 \cdot ETP1 + 0,0001 \cdot DV11 + 0,0004 \cdot DV51 + 0,0002 \cdot DV55 - 0,0001 \cdot DV76 + 0,0218$$

Priloga B

Regresijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi žledu

$$\text{LM18} = 0,0014 \cdot \text{ZLED_OGR}=3 - 0,0001 \cdot \text{SNEG_TRAJ0} - 0,0007 \cdot \text{TMP11_12_1} + 0,0018 \cdot \text{MAT_PODLAGA}=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 + 0,0001 \cdot \text{PAD4} - 0,0001 \cdot \text{ETP1} + 0,0001 \cdot \text{DV11} + 0,0004 \cdot \text{DV51} + 0,0002 \cdot \text{DV55} - 0,0001 \cdot \text{DV76} + 0,1309$$

$$\text{LM19} = 0,0014 \cdot \text{ZLED_OGR}=3 - 0,0001 \cdot \text{SNEG_TRAJ0} - 0,0007 \cdot \text{TMP11_12_1} + 0,0018 \cdot \text{MAT_PODLAGA}=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 + 0,0001 \cdot \text{PAD4} - 0,0001 \cdot \text{ETP1} + 0,0001 \cdot \text{DV11} + 0,0003 \cdot \text{DV51} + 0,0002 \cdot \text{DV55} - 0,0001 \cdot \text{DV76} + 0,0026$$

$$\text{LM20} = 0,0008 \cdot \text{ZLED_OGR}=3 - 0,0003 \cdot \text{TMP11_12_1} + 0,0006 \cdot \text{MAT_PODLAGA}=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 + 0,0001 \cdot \text{H} - 0,0003 \cdot \text{ETP1} + 0,0001 \cdot \text{DV55} + 0,0013$$

$$\text{LM21} = 0,0008 \cdot \text{ZLED_OGR}=3 - 0,0003 \cdot \text{TMP11_12_1} + 0,0006 \cdot \text{MAT_PODLAGA}=18,21,16,29,13,17,27,1,26,22,23,19,11,38,25,35,24 + 0,0028 \cdot \text{GLINA} + 0,0026 \cdot \text{H} + 0,0009 \cdot \text{PAD7} + 0,0012 \cdot \text{PAD11} - 0,0164 \cdot \text{ETP1} - 0,0011 \cdot \text{KVG8} + 0,0001 \cdot \text{DV55} + 0,7637$$

Priloga C

Regresijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi dela v gozdu

$RV0 \leq 77,735$

| ZAPLATA $\leq 35,12$

| | $RV8 \leq 74,175$: LM1 (1852/4,341 %)

| | $RV8 > 74,175$

| | | LAST_POV $\leq 4,435$

| | | | DV79 $\leq 0,075$

| | | | | OS20 $\leq 3,635$: LM2 (1005/4,147 %)

| | | | | OS20 $> 3,635$

| | | | | $RV10 \leq 81,785$

| | | | | $RV1 \leq 82,035$: LM3 (656/12,084 %)

| | | | | $RV1 > 82,035$: LM4 (180/28,406 %)

| | | | | $RV10 > 81,785$

| | | | | OS5 $\leq 6,325$: LM5 (683/3,175 %)

| | | | | OS5 $> 6,325$

| | | | | ZAPLATA $\leq 1,665$: LM6 (406/4,977 %)

| | | | | ZAPLATA $> 1,665$: LM7 (699/14,141 %)

| | | | DV79 $> 0,075$: LM8 (926/27,583 %)

| | | LAST_POV $> 4,435$

| | | | OS20 $\leq 9,45$

| | | | | ETP6 $\leq 113,605$

| | | | | $RV10 \leq 81,885$

| | | | | LAST_AVG $\leq 10,25$

| | | | | | PAD9 $\leq 179,1$: LM9 (305/19,782 %)

| | | | | | PAD9 $> 179,1$: LM10 (264/42,854 %)

| | | | | LAST_AVG $> 10,25$: LM11 (210/9,923 %)

| | | | | $RV10 > 81,885$: LM12 (344/65,132 %)

| | | | | ETP6 $> 113,605$: LM13 (288/10,145 %)

| | | | OS20 $> 9,45$: LM14 (381/7,431 %)

| | ZAPLATA $> 35,12$: LM15 (2145/66,012 %)

$RV0 > 77,735$

| DV55 $\leq 0,005$

| | KVG7 $\leq 626,95$

| | | $RV2 \leq 75,705$

| | | | $RV1 \leq 75,785$: LM16 (210/3,622 %)

| | | | $RV1 > 75,785$: LM17 (620/68,479 %)

| | | $RV2 > 75,705$: LM18 (3284/177,038 %)

| | KVG7 $> 626,95$

| | | LAST_AVG $\leq 6,05$: LM19 (358/102,603 %)

| | | LAST_AVG $> 6,05$

| | | | T $\leq 18,636$

| | | | | PAD9 $\leq 137,65$: LM20 (283/3,929 %)

| | | | | PAD9 $> 137,65$: LM21 (298/15,873 %)

| | | | T $> 18,636$: LM22 (407/36,407 %)

| | DV55 $> 0,005$: LM23 (4572/55,156 %)

Priloga C

Regresijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi dela v gozdu

Korelacijski koeficient = 0,5585

Koren relativne kvadratne napake = 82,9632 %

Število primerov = 20376

Definicije linearnih modelov:

$$LM1 = 0,0002 \cdot LAST=5 + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 \\ + 0,0001 \cdot OS5 - 0,0001 \cdot OS20 + 0,0001 \cdot ETP1 + 0,0001 \cdot RV2 - 0,0001 \cdot RV8 - 0,0004$$

$$LM2 = 0,0002 \cdot LAST=5 + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 \\ + 0,0001 \cdot OS5 - 0,0002 \cdot OS20 + 0,0001 \cdot RV1 + 0,0001 \cdot RV2 - 0,0001 \cdot RV8 - 0,0002 \cdot \\ RV10 + 0,0089$$

$$LM3 = 0,0002 \cdot LAST=5 + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 \\ + 0,0001 \cdot OS5 - 0,0001 \cdot OS20 - 0,0043 \cdot ETP1 + 0,0002 \cdot RV1 + 0,0001 \cdot RV2 - 0,0001 \\ \cdot RV8 - 0,0003 \cdot RV10 + 0,1317$$

$$LM4 = 0,0002 \cdot LAST=5 + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 \\ + 0,0001 \cdot OS5 - 0,0001 \cdot OS20 - 0,0004 \cdot ETP1 + 0,0003 \cdot RV1 + 0,0001 \cdot RV2 - 0,0001 \\ \cdot RV8 - 0,0003 \cdot RV10 + 0,0405$$

$$LM5 = 0,0002 \cdot LAST=5 + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 \\ + 0,0001 \cdot OS5 - 0,0001 \cdot OS20 + 0,0001 \cdot RV1 + 0,0001 \cdot RV2 - 0,0001 \cdot RV8 - 0,0002 \cdot \\ RV10 + 0,0111$$

$$LM6 = 0,0002 \cdot LAST=5 + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 \\ + 0,0001 \cdot OS5 - 0,0001 \cdot OS20 + 0,0001 \cdot RV1 + 0,0001 \cdot RV2 - 0,0001 \cdot RV8 - 0,0002 \cdot \\ RV10 + 0,0135$$

$$LM7 = 0,0002 \cdot LAST=5 + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 \\ + 0,0001 \cdot OS5 - 0,0001 \cdot OS20 + 0,0001 \cdot RV1 + 0,0001 \cdot RV2 - 0,0001 \cdot RV8 - 0,0002 \cdot \\ RV10 + 0,0239$$

$$LM8 = 0,0002 \cdot LAST=5 + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 \\ + 0,0002 \cdot OS5 - 0,0002 \cdot OS20 - 0,0003 \cdot PAD10 + 0,0001 \cdot RV1 + 0,0001 \cdot RV2 - \\ 0,0001 \cdot RV8 - 0,0002 \cdot RV10 + 0,0069 \cdot DV68 + 0,067$$

$$LM9 = 0,0002 \cdot LAST=5 + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 \\ + 0,0001 \cdot OS5 - 0,0002 \cdot OS20 + 0,0001 \cdot PAD9 + 0,0001 \cdot ETP1 + 0,0001 \cdot RV2 - \\ 0,0001 \cdot RV8 + 0,0011 \cdot RV10 - 0,0629$$

$$LM10 = 0,0002 \cdot LAST=5 + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34, \\ 33 + 0,0001 \cdot OS5 - 0,0002 \cdot OS20 + 0,0001 \cdot PAD9 + 0,0001 \cdot ETP1 + 0,0001 \cdot RV2 - \\ 0,0001 \cdot RV8 + 0,0011 \cdot RV10 - 0,0242$$

Priloga C

Regresijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi dela v gozdu

$$LM11 = 0,0002 \cdot LAST=5 - 0,0001 \cdot LAST_AVG + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 + 0,0001 \cdot OS5 - 0,0002 \cdot OS20 + 0,0001 \cdot ETP1 + 0,0001 \cdot RV2 - 0,0001 \cdot RV8 + 0,0011 \cdot RV10 - 0,081$$

$$LM12 = 0,0002 \cdot LAST=5 + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 + 0,0001 \cdot OS5 - 0,0002 \cdot OS20 + 0,0001 \cdot ETP1 + 0,0001 \cdot RV2 - 0,0001 \cdot RV8 + 0,0018 \cdot RV10 - 0,0566$$

$$LM13 = 0,0002 \cdot LAST=5 + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 + 0,0001 \cdot OS5 - 0,0002 \cdot OS20 + 0,0001 \cdot ETP1 - 0,0001 \cdot ETP6 + 0,0001 \cdot RV2 - 0,0001 \cdot RV8 + 0,0015 \cdot RV10 - 0,115$$

$$LM14 = 0,0002 \cdot LAST=5 + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 + 0,0001 \cdot OS5 - 0,0005 \cdot OS20 + 0,0001 \cdot ETP1 + 0,0001 \cdot RV2 - 0,0001 \cdot RV8 + 0,0007 \cdot RV10 - 0,053$$

$$LM15 = 0,0002 \cdot LAST=5 + 0,0001 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 + 0,0042 \cdot GLINA + 0,0001 \cdot OS5 - 0,0001 \cdot OS20 + 0,0001 \cdot PAD0 + 0,0001 \cdot ETP1 + 0,0016 \cdot KVG5 + 0,0001 \cdot RV2 - 0,0142 \cdot DV77 - 1,0747$$

$$LM16 = 0,0043 \cdot LAST=5 - 0,0003 \cdot LAST_AVG - 0,0006 \cdot NAKL_STDEV + 0,0131 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 + 0,0004 \cdot OS5 - 0,0001 \cdot PAD6 + 0,0001 \cdot PAD10 + 0,0001 \cdot ETP1 - 0,0001 \cdot ETP2 + 0,0001 \cdot ETP10 + 0,0017 \cdot RV1 + 0,0026 \cdot RV2 + 0,0001 \cdot DV34 - 0,3078$$

$$LM17 = 0,0043 \cdot LAST=5 - 0,0003 \cdot LAST_AVG - 0,0006 \cdot NAKL_STDEV + 0,2127 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 + 0,0004 \cdot OS5 - 0,0001 \cdot PAD6 + 0,0001 \cdot PAD10 + 0,0001 \cdot ETP1 - 0,0001 \cdot ETP2 + 0,0001 \cdot ETP10 + 0,0007 \cdot RV1 + 0,0026 \cdot RV2 + 0,0001 \cdot DV34 - 0,1808$$

$$LM18 = 0,2271 \cdot LAST=5 - 0,0174 \cdot LAST_AVG + 0,0002 \cdot ODD_GOZD_ROB - 0,0352 \cdot NAKL_STDEV + 0,0006 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 + 0,0165 \cdot OS5 - 0,0045 \cdot PAD6 + 0,003 \cdot PAD10 + 0,0001 \cdot ETP1 - 0,0001 \cdot ETP2 + 0,0001 \cdot ETP10 + 0,0015 \cdot RV2 + 0,5114$$

$$LM19 = 0,0024 \cdot LAST=5 - 0,0002 \cdot LAST_AVG - 0,0003 \cdot NAKL_STDEV + 0,0006 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 + 0,0003 \cdot OS5 - 0,0001 \cdot PAD6 + 0,0001 \cdot PAD9 + 0,0001 \cdot ETP1 - 0,0001 \cdot ETP2 + 0,0001 \cdot ETP10 - 0,0001 \cdot ETP12 + 0,0021 \cdot RV2 + 0,1056$$

$$LM20 = 0,0024 \cdot LAST=5 - 0,0001 \cdot LAST_AVG - 0,0003 \cdot NAKL_STDEV + 0,0006 \cdot MAT_PODLAGA_MED=16,30,25,27,36,39,31,34,33 + 0,0003 \cdot OS5 - 0,0001 \cdot PAD6 + 0,0001 \cdot PAD9 + 0,0001 \cdot ETP1 - 0,0001 \cdot ETP2 + 0,0001 \cdot ETP10 - 0,0001 \cdot ETP12 + 0,0021 \cdot RV2 - 0,1348$$

Priloga C

Regresijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi dela v gozdu

$$\text{LM21} = 0,0024 \cdot \text{LAST}=5 - 0,0001 \cdot \text{LAST_AVG} - 0,0003 \cdot \text{NAKL_STDEV} + 0,0006 \cdot \text{MAT_PODLAGA_MED}=16,30,25,27,36,39,31,34,33 + 0,0003 \cdot \text{OS5} - 0,0001 \cdot \text{PAD6} + 0,0001 \cdot \text{PAD9} + 0,0001 \cdot \text{ETP1} - 0,0001 \cdot \text{ETP2} + 0,0001 \cdot \text{ETP10} - 0,0001 \cdot \text{ETP12} + 0,0021 \cdot \text{RV2} - 0,1143$$

$$\text{LM22} = 0,0024 \cdot \text{LAST}=5 - 0,0001 \cdot \text{LAST_AVG} - 0,0003 \cdot \text{NAKL_STDEV} + 0,0006 \cdot \text{MAT_PODLAGA_MED}=16,30,25,27,36,39,31,34,33 + 0,0003 \cdot \text{OS5} - 0,0001 \cdot \text{PAD6} + 0,0001 \cdot \text{PAD9} + 0,0001 \cdot \text{ETP1} - 0,0001 \cdot \text{ETP2} + 0,0001 \cdot \text{ETP10} - 0,0001 \cdot \text{ETP12} + 0,0021 \cdot \text{RV2} - 0,0901$$

$$\text{LM23} = 0,0007 \cdot \text{LAST}=5 - 0,0013 \cdot \text{LAST_AVG} + 0,0018 \cdot \text{LAST_POV} - 0,1969 \cdot \text{UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV} - 0,0001 \cdot \text{ED} + 0,0001 \cdot \text{avg_z} + 0,0001 \cdot \text{MAT_PODLAGA_MED}=16,30,25,27,36,39,31,34,33 + 0,0063 \cdot \text{RK} - 0,0038 \cdot \text{OS5} + 0,0008 \cdot \text{PAD10} + 0,0007 \cdot \text{ETP0} + 0,0001 \cdot \text{ETP1} - 0,0199 \cdot \text{ETP2} + 0,0032 \cdot \text{ETP10} - 0,0001 \cdot \text{RV1} + 0,0364 \cdot \text{RV2} - 0,0024 \cdot \text{DV71} - 2,8535$$

Priloga D

Klasifikacijsko drevo za sanitarno sečnjo zaradi drugih vzrokov

DV21 $\leq$ 18,31

| PAD9 $\leq$ 100,4

| | RV7 $\leq$ 71,87: 1 (90,19/36,19)

| | RV7 $>$ 71,87

| | | PAD3 $\leq$ 55,8: 0 (924,91/59,0)

| | | PAD3 $>$ 55,8

| | | | SNEG_TRAJ0 $\leq$ 42,05

| | | | DV31 $\leq$ 25,91

| | | | | ODD_GOZD $\leq$ 345: 1 (124,62/36,62)

| | | | | ODD_GOZD $>$ 345: 0 (82,96/33,0)

| | | | DV31 $>$ 25,91: 0 (81,02/15,0)

| | | | SNEG_TRAJ0 $>$ 42,05: 0 (313,65/35,0)

| PAD9 $>$ 100,4: 0 (16807,66/745,0)

DV21 $>$ 18,31

| LON $\leq$ 45,8679

| | tla_humusno_akumulativna $\leq$ 17,1: 0 (93,0/27,0)

| | tla_humusno_akumulativna $>$ 17,1

| | | ZAPLATA $\leq$ 48,02: 0 (130,0/54,0)

| | | ZAPLATA $>$ 48,02

| | | | SUS $\leq$ 0,24: 0 (82,48/38,38)

| | | | SUS $>$ 0,24

| | | | FOSF $\leq$ 0,869: 0 (82,1/39,1)

| | | | FOSF $>$ 0,869: 1 (700,42/137,9)

| LON $>$ 45,8679

| | LON $\leq$ 46,5255: 0 (619,0/77,0)

| | LON $>$ 46,5255

| | | EMIS_PRAH_ODD $\leq$ 15802: 0 (159,0/48,0)

| | | EMIS_PRAH_ODD $>$ 15802: 1 (85,0/31,0)

Število pravilno razporejenih primerov = 18847 = 92,4961 %

Število ne pravilno razporejenih primerov = 1529 = 7,5039 %

Kapa = 0,4601

Koren relativne kvadratne napake = 85,3382 %

Število primerov skupaj = 20376

Priloga E

Regresijsko drevo za skupno sanitarno sečnjo

IGL $\leq$ 28,735: LM1 (8566/69,208 %)

IGL $>$ 28,735

| PAD7 $\leq$ 149,15

| | DV11 $\leq$ 42,635

| | | PAD9 $\leq$ 153,35

| | | | DV11 $\leq$ 25,345

| | | | | PAD6 $\leq$ 123,15: LM2 (643/36,366 %)

| | | | | PAD6 $>$ 123,15: LM3 (1685/78,1 %)

| | | | | DV11 $>$ 25,345

| | | | | UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV $\leq$ 0,127: LM4 (805/130,201 %)

| | | | | UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV $>$ 0,127: LM5 (959/73,136 %)

| | | | PAD9 $>$ 153,35

| | | | | PAD10 $\leq$ 199,4: LM6 (903/184,179 %)

| | | | | PAD10 $>$ 199,4: LM7 (904/73,839 %)

| | | DV11 $>$ 42,635

| | | | SUS78 $\leq$ 1,415: LM8 (783/202,952 %)

| | | | SUS78 $>$ 1,415: LM9 (853/91,265 %)

| | PAD7 $>$ 149,15

| | | DV34 $\leq$ 3,065

| | | | PAD10 $\leq$ 190,85

| | | | | TSUM-10 $\leq$ 3057,21: LM10 (1155/39,433 %)

| | | | | TSUM-10 $>$ 3057,21: LM11 (473/52,309 %)

| | | | | PAD10 $>$ 190,85: LM12 (1241/82,26 %)

| | | DV34 $>$ 3,065: LM13 (1406/36,121 %)

Korelacijski koeficient = 0,4592

Koren relativne kvadratne napake = 88,8361 %

Število primerov = 20376

Definicije linearnih modelov:

LM1 = 0,1827 · SPR_SREDSTVO=1,3 – 0,0019 · UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV – 0,0059 · NAKL + 0,0009 · MAT_PODLAGA_MED=34,24,2,10,38,20,1,33,11,32,35 + 0,0001 · RK – 0,8089 · K + 0,0034 · PAD7 – 0,0076 · PAD12 + 0,0376 · DV11 – 0,0638 · DV31 + 0,0021 · DV41 + 0,0538 · DV55 + 0,0001 · DV65 – 0,0001 · DV72 + 0,0426 · IGL + 0,6639

LM2 = 0,0005 · SPR_SREDSTVO=1,3 – 0,0415 · UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV – 0,0078 · SUS78 + 0,0018 · MAT_PODLAGA_MED=34,24,2,10,38,20,1,33,11,32,35 + 0,0055 · RK – 0,0005 · K + 0,0002 · PAD6 – 0,0001 · PAD7 + 0,0005 · PAD9 – 0,0001 · PAD10 + 0,0008 · DV11 + 0,0001 · DV55 – 0,0001 · DV72 + 0,0011 · IGL + 1,1143

Priloga E

Regresijsko drevo za skupno sanitarno sečnjo

$$\text{LM3} = 0,0005 \cdot \text{SPR_SREDSTVO}=1,3 - 0,0415 \cdot \text{UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV} - 0,0078 \cdot \text{SUS78} + 0,0018 \cdot \text{MAT_PODLAGA_MED}=34,24,2,10,38,20,1,33,11,32,35 + 0,1905 \cdot \text{RK} - 0,0005 \cdot \text{K} - 0,0001 \cdot \text{PAD6} - 0,0001 \cdot \text{PAD7} + 0,0005 \cdot \text{PAD9} - 0,0001 \cdot \text{PAD10} + 0,0008 \cdot \text{DV11} + 0,0001 \cdot \text{DV55} - 0,0001 \cdot \text{DV72} + 0,0345 \cdot \text{IGL} - 0,6274$$

$$\text{LM4} = 0,0005 \cdot \text{SPR_SREDSTVO}=1,3 - 0,2147 \cdot \text{UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV} - 0,0078 \cdot \text{SUS78} + 0,0018 \cdot \text{MAT_PODLAGA_MED}=34,24,2,10,38,20,1,33,11,32,35 + 0,0019 \cdot \text{RK} - 0,0005 \cdot \text{K} - 0,0002 \cdot \text{PAD6} - 0,0001 \cdot \text{PAD7} + 0,0005 \cdot \text{PAD9} - 0,0001 \cdot \text{PAD10} + 0,001 \cdot \text{DV11} + 0,0001 \cdot \text{DV55} - 0,0001 \cdot \text{DV72} + 0,0004 \cdot \text{IGL} + 4,4226$$

$$\text{LM5} = 0,0005 \cdot \text{SPR_SREDSTVO}=1,3 - 0,1886 \cdot \text{UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV} - 0,0078 \cdot \text{SUS78} + 0,0018 \cdot \text{MAT_PODLAGA_MED}=34,24,2,10,38,20,1,33,11,32,35 + 0,0019 \cdot \text{RK} - 0,0005 \cdot \text{K} - 0,0002 \cdot \text{PAD6} - 0,0001 \cdot \text{PAD7} + 0,0005 \cdot \text{PAD9} - 0,0001 \cdot \text{PAD10} + 0,001 \cdot \text{DV11} + 0,0001 \cdot \text{DV55} - 0,0001 \cdot \text{DV72} + 0,0004 \cdot \text{IGL} + 2,8943$$

$$\text{LM6} = 0,0005 \cdot \text{SPR_SREDSTVO}=1,3 - 0,0171 \cdot \text{UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV} - 0,0078 \cdot \text{SUS78} + 0,0018 \cdot \text{MAT_PODLAGA_MED}=34,24,2,10,38,20,1,33,11,32,35 + 0,0022 \cdot \text{RK} - 0,0005 \cdot \text{K} - 0,0004 \cdot \text{PAD6} - 0,0001 \cdot \text{PAD7} + 0,0009 \cdot \text{PAD9} - 0,0008 \cdot \text{PAD10} + 0,0007 \cdot \text{DV11} + 0,0001 \cdot \text{DV55} - 0,0001 \cdot \text{DV72} + 0,0003 \cdot \text{IGL} + 5,5832$$

$$\text{LM7} = 0,0005 \cdot \text{SPR_SREDSTVO}=1,3 - 0,0171 \cdot \text{UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV} - 0,0078 \cdot \text{SUS78} + 0,0018 \cdot \text{MAT_PODLAGA_MED}=34,24,2,10,38,20,1,33,11,32,35 + 0,0022 \cdot \text{RK} - 0,0005 \cdot \text{K} - 0,0004 \cdot \text{PAD6} - 0,0001 \cdot \text{PAD7} + 0,0009 \cdot \text{PAD9} - 0,0008 \cdot \text{PAD10} + 0,0007 \cdot \text{DV11} + 0,0001 \cdot \text{DV55} - 0,0001 \cdot \text{DV72} + 0,0003 \cdot \text{IGL} + 3,0984$$

$$\text{LM8} = 0,0005 \cdot \text{SPR_SREDSTVO}=1,3 - 0,0369 \cdot \text{UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV} - 0,2299 \cdot \text{SUS78} + 0,0018 \cdot \text{MAT_PODLAGA_MED}=34,24,2,10,38,20,1,33,11,32,35 + 0,0021 \cdot \text{RK} - 0,0005 \cdot \text{K} - 0,0003 \cdot \text{PAD6} - 0,0001 \cdot \text{PAD7} + 0,0008 \cdot \text{PAD9} - 0,0001 \cdot \text{PAD10} + 0,0007 \cdot \text{DV11} + 0,0001 \cdot \text{DV55} - 0,0001 \cdot \text{DV72} + 0,0002 \cdot \text{IGL} + 8,4254$$

$$\text{LM9} = 0,0005 \cdot \text{SPR_SREDSTVO}=1,3 - 0,0369 \cdot \text{UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV} - 0,2137 \cdot \text{SUS78} + 0,0018 \cdot \text{MAT_PODLAGA_MED}=34,24,2,10,38,20,1,33,11,32,35 + 0,0021 \cdot \text{RK} - 0,0005 \cdot \text{K} - 0,0003 \cdot \text{PAD6} - 0,0001 \cdot \text{PAD7} + 0,0008 \cdot \text{PAD9} - 0,0001 \cdot \text{PAD10} + 0,0007 \cdot \text{DV11} + 0,0001 \cdot \text{DV55} - 0,0001 \cdot \text{DV72} + 0,0002 \cdot \text{IGL} + 3,9994$$

$$\text{LM10} = 0,0005 \cdot \text{SPR_SREDSTVO}=1,3 + 0,0001 \cdot \text{EMIS_PRAH_ODD} - 0,0156 \cdot \text{UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV} + 0,0007 \cdot \text{SUS78} + 0,0213 \cdot \text{MAT_PODLAGA_MED}=34,24,2,10,38,20,1,33,11,32,35 + 0,0006 \cdot \text{RK} - 0,0005 \cdot \text{K} - 0,0001 \cdot \text{PAD6} - 0,0002 \cdot \text{PAD7} + 0,0001 \cdot \text{PAD9} + 0,0001 \cdot \text{PAD10} + 0,0001 \cdot \text{DV11} - 0,0001 \cdot \text{DV34} + 0,0001 \cdot \text{DV55} - 0,0001 \cdot \text{DV72} + 0,0001 \cdot \text{IGL} + 0,9424$$

Priloga E

Regresijsko drevo za skupno sanitarno sečnjo

$$\begin{aligned} \text{LM11} = & 0,0005 \cdot \text{SPR_SREDSTVO}=1,3 - 0,0156 \cdot \text{UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV} \\ & + 0,0007 \cdot \text{SUS78} + 0,0213 \cdot \text{MAT_PODLAGA_MED}=34,24,2,10,38,20,1,33,11,32,35 + \\ & 0,0006 \cdot \text{RK} - 0,0005 \cdot \text{K} - 0,0001 \cdot \text{PAD6} - 0,0002 \cdot \text{PAD7} + 0,0001 \cdot \text{PAD9} + 0,0001 \cdot \\ & \text{PAD10} + 0,0001 \cdot \text{DV11} - 0,0001 \cdot \text{DV34} + 0,0001 \cdot \text{DV55} - 0,0001 \cdot \text{DV72} + 0,0001 \cdot \\ & \text{IGL} + 2,8219 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LM12} = & 0,0005 \cdot \text{SPR_SREDSTVO}=1,3 - 0,0156 \cdot \text{UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV} \\ & + 0,0007 \cdot \text{SUS78} + 2,0669 \cdot \text{MAT_PODLAGA_MED}=34,24,2,10,38,20,1,33,11,32,35 + \\ & 0,0006 \cdot \text{RK} - 0,0005 \cdot \text{K} - 0,0001 \cdot \text{PAD6} - 0,0002 \cdot \text{PAD7} + 0,0001 \cdot \text{PAD9} + 0,0001 \cdot \\ & \text{PAD10} + 0,0001 \cdot \text{DV11} - 0,0001 \cdot \text{DV34} + 0,0001 \cdot \text{DV55} - 0,0001 \cdot \text{DV72} + 0,0001 \cdot \\ & \text{IGL} + 2,409 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LM13} = & 0,0005 \cdot \text{SPR_SREDSTVO}=1,3 - 0,0156 \cdot \text{UKRIVLJENOST_PROFIL_STDEV} \\ & + 0,0006 \cdot \text{GC_DOLZ} + 0,0007 \cdot \text{SUS78} + 0,0165 \cdot \text{MAT_PODLAGA_MED}= 34,24,2,10, \\ & 38,20,1,33,11,32,35 + 0,0006 \cdot \text{RK} - 0,0005 \cdot \text{K} - 0,0001 \cdot \text{PAD6} - 0,0002 \cdot \text{PAD7} + \\ & 0,0001 \cdot \text{PAD9} + 0,0001 \cdot \text{PAD10} + 0,0001 \cdot \text{DV11} - 0,0003 \cdot \text{DV34} + 0,0001 \cdot \text{DV55} - \\ & 0,0001 \cdot \text{DV72} + 0,0001 \cdot \text{IGL} + 0,6459 \end{aligned}$$