

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

Maruša ČOTAR

**VPLIV SOLJENJA NA OBCESTNO DREVJE
IGLAVCEV V LJUBLJANI**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010

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

Maruša ČOTAR

**VPLIV SOLJENJA NA OBCESTNO DREVJE IGLAVCEV V
LJUBLJANI**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**THE INFLUENCE OF WINTER SALTING ON THE CONIFER
TREES ALONG THE ROADSIDES IN LJUBLJANA**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija gozdarstva na Oddelku za gozdarstvo in obnovljivi gozdni viri Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Analiza talnih vzorcev je bila opravljena na Gozdarskem inštitutu Slovenije, na Oddelku za gozdno ekologijo pod vodstvom dr. Primoža Simončiča. Terensko je bilo opravljeno v Ljubljani, kjer so bili nabrani vzorci tal, snega ter iglic črnega bora.

Komisija za študijska in študentska vprašanja Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF je dne 22. 9. 2010 sprejela temo in za mentorico diplomskega dela imenovala prof. dr. Majo Jurc, za somentorja dr. Primoža Simončiča, za recenzenta pa prof. dr. Franca Batiča.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Maruša Čotar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	GDK 424.4(043.2)=163.6
KG	soljenje/sol/poškodbe/iglavci/črni bor/ tla
KK	
AV	ČOTAR, Maruša
SA	JURC, Maja (mentor) / SIMONČIČ, Primož (somentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2010
IN	VPLIV SOLJENJA NA OBCESTNO DREVJE IGLAVCEV V LJUBLJANI
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	VIII, 32 str., 11 pregl., 11 sl., 34 virov
IJ	sl
JI	sl/en

AI Pregledana je bila izbrana domača in dosegljiva tuja literatura s področja raziskav vplivov soljenja na okolje in obcestno drevje s pregledom izsledkov raziskav. Na štirih lokacijah v Ljubljani (soljeno in kontrolni sesto) smo izvedli terenska vzorčenja iglic črnega bora, tal in snega ter analizirali vsebnosti nekaterih elementov in spremembe v izbranih parametrih tal pred in po soljenju. V vzorec je bilo vključenih 10 dreves črnega bora. Spremembe talnih parametrov so bile posebej izrazite na lokacijah, kjer se izvaja močno soljenje. Soljenje je povečalo bazičnost vrhnje plasti tal. Količina klora v tleh se je po soljenju povečala na večini lokacij. Na lokacijah, ki so bile izpostavljene soljenju, se je količina vezanih težkih kovin v tleh močno zmanjšala po končanem zimskem obdobju. Na iglicah nismo ugotovili značilnih poškodb tkiva zaradi soli. Količina klora in natrija na iglicah je po končanem zimskem obdobju manjša kot pred soljenjem, kar kaže na možno absorpcijo preko iglic. Večje število meritev bi prispevalo k bolj zanesljivi oceni vpliva soljenja na urbano drevje. Ugotovili smo, da v 1,5-metrskem pasu okrog virov soljenja (npr. ceste, pločniki) vegetacija prejme povečane koncentracije soli, dlje stran pa ne prejme več omembe vrednih vnosov klora in natrija s cestišča. Na podlagi rezultatov meritev in pregleda literature predstavljamo nekatere možne ukrepe za zmanjševanje negativnih vplivov soljenja na okolje.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN GTh
 DC FDC 424.4(043.2)=163.6
 CX
 CC
 AV ČOTAR, Maruša
 AA JURC, Maja (supervisor) / SIMONČIČ, Primož (co-supervisor)
 PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and Renewable Forest Resources
 PY 2010
 TI THE INFLUENCE OF WINTER SALTING ON THE CONIFER TREES ALONG THE ROADSIDES IN LJUBLJANA
 DT Graduation Thesis (University studies)
 NO VIII, 32 p., 11 tab., 11 fig, 34 ref.
 LA sl
 AL sl/en

AB A review of Slovenian and foreign literature considering the impacts of winter salting on the urban environment and urban trees is presented. Field sampling at 4 locations in Ljubljana was made. We analysed the needles of 10 Austrian black pine trees, soil samples and snow samples for the concentrations and changes in the concentrations in selected chemical elements. The changes in the soil parameters are the most significant on the heavy salted locations. Salting increased the pH of the upper soil horizon. The concentration of chloride increased at the most of the locations. In locations, which were most heavily salted, the concentrations of heavy metals in the upper soil horizon decreased, which could indicate that winter salting increases the mobility of heavy metals. The concentrations of chloride and sodium on the needles decreased after the end of the winter, which could possible indicate that the absorption through the needles is also present. We would need repeated measurements from several years to get reliable data. Within 1.5 m from the road the vegetation is most heavily exposed to the salt, trees more distant from the road do not get elevated concentrations of NaCl. The list of possible measures for lessening the negative effects of winter salting on the urban environment is prepared.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VI
KAZALO SLIK	VII
1 UVOD IN OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
2 PREGLED DOSEDANJIH RAZISKAV	4
2.1 Vplivi soljenja na okolje	4
2.2 Uporaba zimskega soljenja v drugih državah in pri nas	6
2.3 Pregled raziskav vplivov soljenja na urbano drevje	8
3 NAMEN IN HIPOTEZE	10
4 METODE DELA	11
4.1 Analiza literature	11
4.2 Terensko vzorčenje.....	11
4.3 Laboratorijske analize.....	15
5 REZULTATI.....	16
5.1 Vpliv soljenja na obcestno drevje črnega bora	16
5.1.1 Analize tal	16
5.1.2 Foliarne analize.....	21
5.2 Vpliv oddaljenosti od roba cestišča na koncentracije natrijevih in kloridnih ionov v tleh	24
6 ZAKLJUČEK IN RAZPRAVA.....	26
7 POVZETEK.....	30
8 VIRI.....	31

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Pregled učinkov soljenja na okolje (Shi in sod., 2009).....	6
Preglednica 2: Poraba soli (kg/m^2) za zimsko službo v Sloveniji	7
Preglednica 3: Lokacije vzorčenja tal in popis vzorcev tal.....	12
Preglednica 4: Lokacije vzorčenja snega	13
Preglednica 5: Lokacije vzorčenj iglic črnega bora.....	13
Preglednica 6: Skupne koncentracije težkih kovin (Cd, Pb, Zn, Cr) v tleh (mg/kg) pred soljenjem in po soljenju.....	20
Preglednica 7: Koncentracije aluminija v tleh (cmol (+)/kg) pred soljenjem in po soljenju.....	21
Preglednica 8: Vsebnosti Na^+ in Cl^- v ekstraktu po spiranju iglic črnega bora za izbrane lokacije izražene na maso vzorčenih iglic v mg/kg	23
Preglednica 9: Povprečne koncentracije Na^+ in Cl^- v ekstraktu po spiranju iglic črnega bora pred ($n=10$ dreves) in po soljenju ($n=10$ dreves).....	24
Preglednica 10: Razmerje Na^+ in Cl^- v ekstraktu po spiranju iglic črnega bora	24
Preglednica 11: Odpornost drevesnih vrst na sol (Oven, 2000; Dirr 1976; Johnson in Sucoff 1999; Lumis in sod. 1973)	29

KAZALO SLIK

Slika 1: Delovanje soli (NaCl) na okolje.....	4
Slika 2: Lokacije terenskih vzorčenj iglic črnega bora, tal in snega.....	11
Slika 3: Spreminjanje pH tal v odvisnosti od globine tal in soljenja na 4 lokacijah v Ljubljani pred (levo) in po soljenju (desno).	16
Slika 4: Vsebnost klorida v tleh v odvisnosti od globine tal na 4 lokacijah v Ljubljani pred (levo) in po soljenju (desno).	17
Slika 5: Koncentracija natrijevih ionov v tleh v odvisnosti od globine tal na 4 lokacijah v Ljubljani pred (levo) in po soljenju (desno).	18
Slika 6: Vsota bazičnih kationov v tleh pred in po soljenju na 4 lokacijah v Ljubljani pred (levo) in po soljenju (desno).	19
Slika 7: Vsota kislih kationov v tleh pred in po soljenju na 4 lokacijah v Ljubljani pred (levo) in po soljenju (desno).	19
Slika 8: Povprečna količina težkih kovin v tleh (mg/kg) na soljenih površinah in v gozdu	20
Slika 9: Koncentracije klorida (a) in natrija (b) v ekstraktu po spiranju iglic črnega bora v obcestnih črnih borih (Bežigrad) in v sestoji črnega bora na grajskem hribu (Grad).....	22
Slika 10: Koncentracije Na ⁺ in Cl ⁻ v ekstraktu po spiranju iglic črnega bora v ppm (mg/l) za izbrane lokacije	23
Slika 11: Zmanjševanje koncentracija NaCl v vodni raztopini z oddaljenostjo od roba cestišča	25

1 UVOD IN OPREDELITEV PROBLEMA

Drevje v urbanem okolju je izpostavljeno številnim negativnim vplivom, biotskega ali abiotskega izvora. Med abiotskimi vplivi so najpogostejše prisotni onesnažen zrak z onesnažili (žveplovi, dušikovi oksidi, ozon, težke kovine, POP), neustrezne razmere za uspevanje (rastni prostor, tla) ali mehanske poškodbe zaradi najrazličnejših vzrokov (promet, vandalizem, izgradnja infrastrukture idr). Soljenje in posipanje cest v zimskem času lahko uvrstimo med abiotske vplive, ki so relativno kratkotrajnega značaja. V času ugodnih vremenskih razmer, ko ni potrebno obilno soljenje, je občasno delujoče, zato soljenje cest ne obravnavamo kot stalno prisoten negativen dejavnik. V nekaterih obalnih mestih igra pomembno vlogo pri slanosti tal tudi odlaganje morskega aerosola. Vpliv morskih aerosolov poveča težave, ki jih povzročajo sredstva proti zamrzovanju, ki jih dodajajo soli za posipavanje plačnikov in cest. Tako znaša na takšnih mestih vnos kloridnih ionov (Cl⁻) iz aerosola do 80 kg /ha/ leto. V zadnjih tridesetih letih se je, predvsem v obalnih območjih, povečal stres urbanih gozdov in mestnih dreves zaradi vpliva soli.

Manj pogost vzrok za slanostne razmere tal je tudi slana podtalnica ali pa naravno slana-halomorfna tla, vendar se je tam tekom časa oblikovalo rastje, ki je prilagojeno na slane razmere.

V zahodni Evropi naj bi se samo zaradi uporabe soli pri zimski oskrbi cest vsako leto posušilo 700.000 dreves (Flückiger in Braun, 1981). Ta številka ne zajema obolelih dreves ali dreves, ki jih zaradi oslabiljenega imunskega sistema napadejo škodljivci in okužijo bolezni. Glede na povečevanje letne porabe soli za zimsko službo (Hevka, 2010), je aktualno število odmrlih dreves verjetno mnogo večje.

Kljub temu, da gre pri soljenju za občasne in sezonsko omejene abiotske vplive, je soljenje tal resen in pogosto podcenjen pojav pri obravnavi zdravja urbanega drevja. Kot ilustracijo navajam sporočilo objavljeno v elektronskih medijih v letošnji zimi: »V noči iz 9. februarja na 10. februar 2010 (do 9. ure) je bilo v Sloveniji porabljenih 422 ton soli, 762 m³ drobljenca in 1.200 litrov magnezijeve raztopine«. Pri tem je potrebno poudariti, da gre za podatek o porabi soli v eni noči. Po podatkih Družbe za avtoceste Republike Slovenije (DARS) je glede na normative in izhajajoč iz preteklih dejanskih porab v Sloveniji predvidena letna poraba 16.000 ton posipnih materialov, na državnih cestah pa okrog 34.000 ton soli in 510.000 litrov magnezijeve raztopine (MgCl₂) (Sporočilo ministrstva za promet, 2008). Podatki o uporabi soli v urbanem okolju so težje dosegljivi, saj soljenje izvajajo javne komunalne službe s podizvajalci, pogosto pa tudi upravniki večstanovanjskih stavb oziroma prebivalci sami.

Pri preučevanju vpliva soljenja se ne smemo omejiti samo na neposreden vpliv soli na organe in tkiva dreves, ampak sol povzroča druge, bolj posredne vplive na okolje in rastline, kot so: onesnaženje podtalnice, zmanjšana estetska vrednost talne vegetacije in grmovnic zaradi ožigov, ter posredno tudi zmanjšana kvalitete poraslih tal. V povezavi s soljenjem cest se pogosto uporabljajo tudi peščeni posipi (posipanje), ki se s pluženjem

snega odlagajo na tleh ali onesnažujejo zrak (aerosol) in prav tako zmanjšujejo kvaliteto tal.

Vplivi sredstev za soljenje na vegetacijo se med seboj razlikujejo, njihovo delovanje značilno opredeljujejo naslednji parametri:

- eutektična točka ali točka zmrzovanja ter efektivni temperaturni razpon delovanja,
- biološke potrebe po kisiku, kemične potrebe po kisiku,
- pH,
- topnost v vodi in
- vsebnost nitratov, fosforja, cianidov in težkih kovin.

Sredstva proti zmrzovanju lahko delimo v štiri glavne skupine (Shi in sod., 2009):

- sredstva proti zmrzovanju na kloridni osnovi,
- sredstva proti zmrzovanju na acetatni osnovi,
- glikol,
- druge snovi (urea, različni organski derivati).

Raziskave o vplivu soljenja na okolje v Kanadi (Environment Canada, 2000), poudarjajo da je na sol občutljivih kar 50,8 % lesnatih rastlin.

V diplomu se bomo omejili na vpliv soli na obcestno drevje iglavcev in njihovega okolja v ožjem smislu; torej zanimal nas bo neposredni vpliv na obcestna drevesa iglavcev, stanje iglic drevja in stanje tal.

Črni bor (*Pinus nigra* Arn.) velja za drevesno vrsto, ki se ne uporablja pogosto v urbanem okolju (Saebo in sod., 2003), zato vplivov zimskega soljenja na to vrsto v mestnem okolju ne poznamo dovolj. Kljub temu so mnoge raziskave v tujini pokazale, da je odpornost bora na velike koncentracije natrija in klorida posebej slaba. Borove mladike naj bi bile izpostavljeno toksični koncentraciji NaCl že pri 67,5 ppm v tleh. Kljub temu pa je črni bor na seznamu manj občutljivih drevesnih vrst za uspevanje v urbanem okolju predvsem zaradi odpornosti na zračna onesnažila. Lumis in sod. (1973) je občutljivost črnega bora na sol označil s stopnjo 2 od najvišje stopnje 5. K njegovi manjši problematičnosti v urbanem okolju prispeva tudi njegova skromnost glede prostora in talnih razmer pri uspevanju, odpornost na onesnažila (npr. ozon) in precejšnja odpornost na sušo.

Uporaba soli za posipanje cest je najpogosteje omejena na natrijev klorid (90-95%) z dodatkom kalcijevega klorida (5-10%).

Natrijev klorid ali halit gradijo v enakem razmerju kationi natrija in anioni klora. Čisti halit na zraku ne vpija vode in zato ni higroskopnen. Sol je le redko čista, saj večinoma vsebuje primesi kalcijevih in magnezijevih soli zaradi katerih postane higroskopna. Gostota soli je 1-2,2 g/cm³, trdota po Moshovi lestvici je 2. Tališče je visoko, šele pri 801 °C. Čisti halit je brezbarven. Rdeče, rumeno ali rjavo obarvajo sol primesi železovih oksidov, sivkasto pa primesi organskih snovi ali gline. Modra in vijolična barva soli sta posebnost, le ti sta posledica izpostavljenosti soli radioaktivnemu sevanju; visokoenergijsko elektromagnetno valovanje povzroči dislokacije in napake v kristalni strukturi, kar povzroči spremembo v

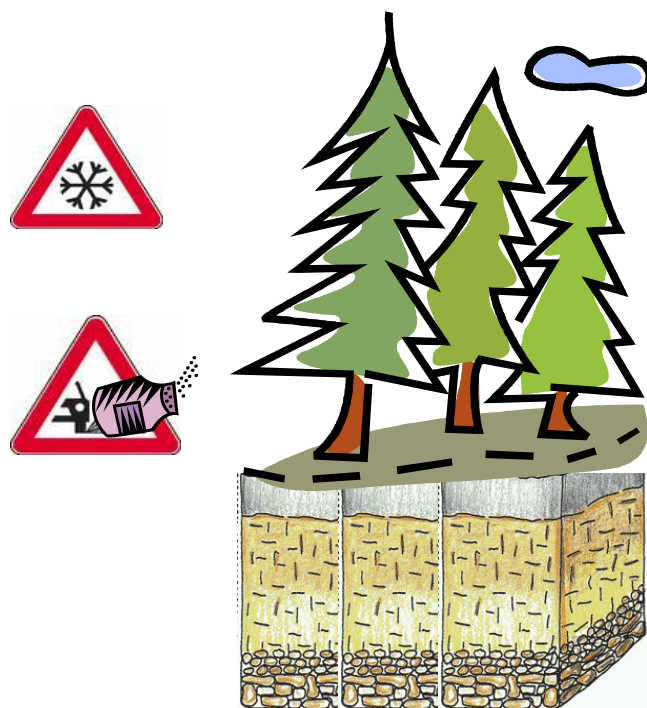
območju absorpcijskega valovanja in s tem spremembo barve (Hinterlechner-Ravnik, 1998).

Soljenje s klasično soljo, natrijevim kloridom, učinkuje samo do temperature približno -7 stopinj Celzija, nato pa sol ne učinkuje več. Zato pri nas vse bolj uporabljajo t.i. vlažno soljenje, ko sol mešajo z raztopino magnezijevega ali kalcijevega klorida. Na tak način dosežejo mnogo boljši učinek soljenja, saj porabijo manj soli, ta pa učinkuje dalj časa. S stališča skrbi za okolje je sočasna uporaba kalcijevega klorida dobrodošla, saj omili nekatere škodljive učinke klasične soli, vendar glede na utežno razmerje (do 10 % kalcijevega klorida) ne prispeva bistveno k zmanjšanju negativnih vplivov soli na okolje.

2 PREGLED DOSEDANJIH RAZISKAV

2.1 Vplivi soljenja na okolje

Klor, kot ena izmed glavnih sestavin večine posipnih materialov, na rastline deluje bolj škodljivo kot natrij. Prevelika izpostavljenost kloru povzroča slabšo rast, rjavenje in prezgodnje staranje listov ali iglic, odmrtnje vej in končno tudi drevesa kot posledice osmotskega stresa (Slika 1).



Slika 1: Delovanje soli (NaCl) na okolje

Koncentracije soli 0,5 % do 2 % povzročajo rumenenje listov ali listni ožig, izgube asimilacijskega aparata ipd. Simptomi se pokažejo že pri 0,3 % koncentraciji kloridov v rastlinskih tkivih (Ball, 2008). Površinski nanosi soli, npr. v ob morju stoječe sestoje, povzročajo lokalne dehidracije. Rastline z večjimi listi so v splošnem bolj občutljive, na splošno drevesa slabše prenašajo sol kot grmi in trave. Občutljivost rastlin na sol se razlikuje glede na vrsto in celo znotraj vrste. Koliko so rastline tolerantne na natrijev klorid, je odvisno od koncentracije natrija in klorida, ki je že v rastlini in pa od stopnje zadrževanja soli v koreninah, steblih in listih.

Akumulacija ionov se razlikuje od drevesne vrste do drevesne vrste. Rastline raje sprejemajo kloridne ione, ker so aktivni ioni. Javor, kostanj, češnja, lipa in jesen akumulirajo kloridne ione, medtem, ko je v listih platane, robinije in oreha vsebnost klorida manjša. Hrast in breza preprečujeta, da bi bila iona premeščena v liste (Konijnendijk in sod., 2005)

Drevesne vrste iz toplejših in bolj aridnih območij so manj občutljive na slanost in sušo, zato se pri iskanju manj občutljivih drevesnih vrst osredotočimo na vrste, ki izločajo klorid.

Klor in natrij sta mikrohranili, ki jih v različnih količinah potrebujejo posamezne skupine rastlin. Natrij je potreben v večjih količinah za C4 rastline, ker sodeluje kot koencim pri encimih povezanih s presnovo C4 kislin, s katerimi se ogljikov dioksid prenaša iz celic mezofila v celice žilnega ovoja. V še večjih količinah ga tolerirajo halofiti. Klor potrebujejo v večjih količinah nekatere enokaličnice, pri katerih sodeluje klorov ion pri regulaciji delovanja listnih rež. Kjer so koncentracije natrija in klorida v tleh presežene, se močno zmanjša vodni potencial tal, škodljivo pa je tudi delovanje natrijevih in klorovih ionov. Ker sol zmanjšuje osmotski potencial talne vode, postanejo tla fiziološko suha. Posledica tega je velika poraba energije rastlin za zagotovitev osmotske prilagoditve. Reakcija na zmanjševanje vodnega potenciala v tleh je povečevanje koncentracije organskih in anorganskih snovi v celicah korenin. Koreninske celice trohnijo, življenjska doba koreninskih laskov se skrajša, ker mlade korenine v raztopinah z veliko vsebnostjo soli sproščajo vodo. Izguba energije povzroči redukcijo rasti.

Posledica akumulacije soli v celicah listov je dehidracija, izguba turgorja in na koncu odmrtnje celic in tkiv.

Vpliv soli na tla se kaže v poslabšanju fizikalnih in kemijskih lastnosti tal. Klorid iz kuhinjske soli je v vodni raztopini gibljiv ion in hitro pronica skozi tla ter onesnažuje podtalnico.

Velike vsebnosti natrija v talni raztopini povzročajo povečano izmenjavo kationov kot so: kalij, kalcij, magnezij ali amoniak. Ta hranila se spirajo in so izgubljena kot hranila drevja. V primeru velikega vnosa soli v tla postanejo le-ta alkalna (bazična). Struktura tal se poslabša, saj skupki zemlje (agregati) zaradi pomanjkanja kalcija razpadejo, posledično se poslabša zračnost tal.

Kot posledica prekomernega soljenja se pojavijo simptomi, ki se nekoliko razlikujejo za listopadne drevesne vrste in za vednozelenne drevesne vrste. Posebej lahko obravnavamo tudi poškodbe, ki jih povzroča talna zasoljenost in poškodbe zaradi razpršene soli v zraku (aerosol).

Poškodbe zaradi aerosola so manj pomembne za listopadne drevesne, saj drevesa preko zime mirujejo, nanosena sol pa se kasneje, a vendarle izpere v tla. Težave se pojavijo pri vnašanju soli v pozni zimi ali zgodnji pomladi, ko pričnejo drevesa z rastjo. Pri iglavcih so tipični simptomi slanega aerosola ožig iglic in nekroza. Pri listopadnih drevesnih vrstah se klorid preko zime nakopiči v vejicah in brstih, zato se lahko zgodi, da se brsti ne uspejo razviti. Na drevesih z že razvitimi listi opazimo poškodbe kot ožige oziroma kot nekrozo, kot rjavenje ter gubanje in kodranje medžilnih tkiv. Drevesa začno izgubljati listje že sredi vegetacijske dobe, popolna defoliacija pa se pojavi že pred koncem septembra. Pri iglavcih se že poleti opazi rjavenje iglic. Iglice so bolj poškodovane v zgornjem delu krošnje kot v spodnjem delu (Preglednica 1).

Preglednica 1: Pregled učinkov soljenja na okolje (Shi in sod., 2009)

	Abrazivi	Kloridi	Acetati	Glikol	Urea in drugi proizvodi
Tla	Se kopičijo	Klorid, kalcij in natrij lahko povečajo mobilnost težkih kovin. NaCl zmanjša rodovitnost tal in vpliva na slabšo rast rastlin	Kalcij in magnezij povečajo mobilnost težkih kovin, povečajo stabilnost tal in njihovo propustnost. Lahko se poveča vrednost pH.	Uporaba propilen glikola lahko zmanjša hidravlično prevodnost v anaerobnih tleh.	Uporaba uree vodi k povečanim koncentracijam nitratov. Ni dovolj podatkov o vplivu tovrstnih proizvodov na okolje.
Rastlinstvo	Se kopičijo na rastlinskih tkivih in tleh in povzročajo stres.	Stik s kloridi povzroča rjavenje, staranje listov. Lahko sledi osmotski stres.	Ni opaženih učinkov; pri manjših koncentracijah delujejo kot gnojila, pri večjih koncentracijah zavirajo kalitev, zmanjšujejo maso rastlinskih tkiv in povzročajo rjavenje.	Glikol zavira rast rastlin.	Ni podatkov.
Podtalnica	Povečajo motnost in podtalnice in zmanjšujejo pore in aeracijske kanale v tleh, kar vodi k slabši oskrbi s kisikom	Klorovi, natrijevi, kalcijevi in kalijeve ioni so raztopljeni v vodi, povzročajo trdo vodo in stratifikacijo v plasti, kjer vladajo anaerobne razmere. Povečane koncentracije kalija delujejo kot gnojilo.	Lahko prispeva k spiranju težkih kovin v podtalnico, povečuje motnost vode in zmanjšuje preskrbljenost s kisikom.	Glikol močno poveča onesnaženost vode, razgradljivost glikola je boljše kot pri drugih sredstvih za soljenje.	Uporaba uree vodi k povečanih koncentracijam nitratov v podtalnici. Škodljivi so dodatki. Premalo podatkov o vplivih na okolje.
Živalstvo	Povečuje motnost v vodnih tokovih, zmanjšuje oskrbo s kisikom.	Ni vplivov ob zaužitju razen ob izjemno ekstremnih koncentracijah. Uporaba soli na cestah lahko prispeva k večjemu številu trkov zaradi zadrževanja divjadi na cestah.	Zmanjšuje preskrbljenost s kisikom, kalijev acetat in natrijev acetat sta med bolj toksičnimi, lahko povzroči rast alg in bakterij.	Zaužitje glikola lahko vodi do smrti. Poznane so endokrine motnje.	Ni podatkov.
Človek	Direktni vpliv na dihalo, vidljivost, zmanjšana estetska vrednost in poškodbe prometnih sredstev.	Dražilno za kožo in oči, dodatki proti strjevanju soli lahko vsebujejo cianide, ki so rakotvorni.	Dražilno za kožo in oči, kalcij in magnezij povečujeta trdoto vode.	Zaužitje koncentriranega glikola lahko povzroči smrt.	Uporaba uree povzroča povečane koncentracije nitratov v vodi, pri ostalih sredstvih ni dovolj podatkov o vplivih.

Drevesa, ki so pod stresom zaradi soli, so bolj občutljiva na sušo in zmrzal ter so bolj dovzetna za napad insektov (škodljivcev) in pojav bolezni.

2.2 Uporaba zimskega soljenja v drugih državah in pri nas

NaCl je najpogostejše uporabljena snov za preprečevanje poledice. V ZDA porabijo letno 8 do 12 milijonov ton soli na asfaltiranih površinah, kar predstavlja 240 do 360 milijonov dolarjev velik strošek (Fischel, 2001). Država New York porabi v povprečju 19,6 ton soli na km asfaltiranih cest za zimsko službo. V okolici bolj obremenjenih ali pomembnih objektov, kot so univerze, upravne službe je poraba tudi do 100 % večja. V ZDA, v državi Masachussets, je uporaba soli omejena na dobre 3,4 kg/tekoči km ceste, prevladuje uporaba peščenega posipa z okrog 70 kg/tekoči km ceste (Mills in Barker, 2005).

Kaushall in sod. (2005) so na podlagi meritev vplivov zimskega soljenja na podtalnico in vodna telesa v severozahodnem delu ZDA ugotovili, da je po soljenju koncentracija soli v kontaminiranih rekah in jezerih 25 % običajne morske koncentracije in da presega koncentracijo soli v nekontaminiranih vodnih telesih za več kot 100 %.

Vendar ker ameriška zvezna agencija za varovanje okolja (US EPA) ne uvršča soli na seznam virov kontaminacije, ne določa mejnih vrednosti in dovoljenih količin soli (Cunningham, 2008).

Viskari in Kärenlampi (2000) poročata o porabi soli na Finskem v letu pred izvedeno študijo v višini 15 t/km na močnejše soljenih prometnicah in 10,7 t/km na nekoliko manj soljenih cestah. V letu izvedbe študije je bila letna količina porabljene soli podobna; 14,3 t/km na bolj soljenih in 12,1 t/km na manj soljenih cestah.

Uporaba soli na Danskem je v povprečju 2,0 kg/m² površine prometnic (Pedersen in sod., 2000). V Latviji poročajo o dvakratni količini uporabljenih soli v primerjavi s podatki na Danskem in sicer o 4,1 kg/ m² cest in ulic (Cekstere in sod., 2008).

V Sloveniji se uporaba sredstev za preprečevanje poledice na prometnicah izvaja po naslednjem protokolu (Sporočilo ministrstva..., 2008):

- sol (natrijev klorid), ki se uporablja pri temperaturi do –8 °C;
- mokro soljenje (mešanica soli in raztopine kalcijevega klorida ali magnezijevega klorida), ki učinkuje do temperature –18 °C in je namenjeno za preventivno posipavanje, predvsem pa za preprečevanje in odstranjevanje poledice;
- mešanica soli in drobirja, ki se uporablja v izjemnih primerih, ko vremenske razmere in stanje cestišča to narekujejo (žled ali poledenelo vozišče);
- drobir, ki se uporablja le izjemoma v primeru poledenelega vozišča ali strnjenega snega na vozišču. Načeloma se drobir ne uporablja za posipanje avtoceste, hitrih in glavnih cest, temveč samo na regionalnih in makadamskih cestah.

Sredstva za preprečevanje poledenitve ali odtajalna sredstva, ki so organskega izvora, se v Sloveniji uporabljajo v manjši meri, na primer pri preprečevanju zaledenitve kril pri letalih ali na vzletno pristajalni stezi, zato so vplivi uporabe organskih sredstev količinsko zanemarljivi in premalo poznani.

V Sloveniji se povprečna poraba sredstev za zimsko soljenje na avtocestah po podatkih DARS-a giblje okoli 2 kg/m² prometne površine, ali 40 ton na kilometer avtoceste (Organiziranost in ..., 2006), na 5910 km državnih cest v pa se povprečna poraba soli giblje okoli 39.791 ton, kalcijevega klorida porabijo 167 ton, magnezijevega klorida 338 ton in 35.584 ton drobljenca, kar predstavlja 6,7 t soli na kilometer (Preglednica 2) (Sporočilo ministrstva za promet, 2008).

Preglednica 2: Poraba soli (kg/m²) za zimsko službo v Sloveniji

	Minimalno	Povprečno	Maksimalno	Delež CaCl ₂
Avtoceste	0,9	2,1	1,7	10 %
Ostale prometnice	0,6	1,9	1,4	0,5 %

2.3 Pregled raziskav vplivov soljenja na urbano drevje

Vpliv soljenja na drevje v mestnem okolju je v Sloveniji relativno slabo raziskan. Oven (2000) je proučeval vpliv soli na poškodovanost drevja v mestnem okolju. Ugotovil je, da so simptomi prizadetosti zaradi soli najbolj vidni na najbolj soljenih lokacijah. Med najbolj občutljivimi vrstami je divji kostanj, navadni beli gaber, javorji in lipe.

Levanič in Oven (2002) sta na s solmi prizadetih in na primerljivih referenčnih rdečih borih (*Pinus sylvestris* L.) preučevala razlike v debelinski ter višinski rasti, vsebnosti kloridov v iglicah, dolžini iglic in anatomskih značilnostih ranega, "prehodnega" ter kasnega lesa. Ugotovila sta, da drevesa, prizadeta s solmi, slabše rastejo tako v debelino, kakor v višino; drevesa imajo znatno krajše iglice in do 20-krat večjo vsebnost kloridov v njih. Potrdila sta, da sta preučevanje morfologije iglic in meritve vsebnosti kloridov v njih primernejši metodi za ugotavljanje obremenjenosti iglavcev s posipnimi solmi, kot so analize lesa prizadetih dreves.

Poškodovanost drevja v urbanem okolju so v diplomskih delih na primer preučevali Vrenjak (2005), Repe (2006), Jazbec (2007), Dornik (2007), Rednak (2008) in drugi, vendar ne omenjajo poškodb zaradi soljenja. Ker gre pri tipičnih znakih neugodnega delovanja soli na iglavce le za rjave in slabo razvite iglice samo enega letnika, skromni višinski ter debelinski prirastki, sušenje, spremembe v lesu in celičnih organelih pa niso takoj prepoznavni simptomi, so ugotovljene poškodbe zaradi soli mnogokrat podcenjene ali pa niso pripisane vplivu soljenja. Odmrtje posameznih vej ali delov krošnje je redko zabeležen pojav, sušenje dreves v urbanem okolju v Sloveniji zaradi soljenja pa še ni bila uradno potrjena. Bolj kot neposredni vpliv, je zaskrbljujoče dejstvo, da nenehno izpostavljena drevesa počasi hirajo, po dosegljivi literaturi (Petersen, 1986; Eckstein, 2000) lahko pride do izboljšanja le, če takoj prenehamo s soljenjem okolice drevesa, do znatnega izboljšanja pride šele po nekaj letih.

O učinkih zimskega soljenja na vegetacijo govori tudi raziskava Okolje v Sloveniji (1998). Po navedbah Centra za pedologijo in varstvo okolja na Biotehniški fakulteti so ob cestah vse bolj opazni nezaželeni stranski učinki klorida in natrija, zaradi česar se sušijo obcestna drevesa, vse to pa je posledica intenzivnega zimskega posipavanja cest. Raziskave so pokazale, da prevelika količina natrijevega klorida odvzema zemlji kalij in kalcij, zaradi česar ta postane manj sipka in zadržuje manj vlage ter hranljivih snovi. Sol zemljo hkrati zbija in ovira naravno osmozo rastlin. To pomeni, da rastline oddajajo vodo, čeprav jo potrebujejo.

Vpliv soljenja na drevesne vrste so drugje po svetu proučevali mnogi. Večina ugotavlja, da gre pri soljenju za značilne spremembe v koncentracijah elementov v rastlinskih tkivih in /ali tleh in bolj ali manj izrazite zunanje znake. Czerniawska-Kusza in sod. (2004) so ugotovili, da zimsko soljenje v mestih povečuje alkalnost tal in koncentracije Na^+ in Cl^- , ki so se pokazale kot vzrok kloroz na listih pri koncentraciji 13,2 mg Na^+ / 100 g suhe snovi tal in 3,9 mg Cl^- /100 g suhe snovi tal.

Pedersen in sod. (2000) na podlagi obsežne študije ugotavlja, da predstavlja zimsko soljenje največji negativni vpliv na urbano drevje na Danskem. Kot najprimernejši način za

zmanjševanje poškodb zaradi soljenja navaja primerno oddaljenost dreves od virov onesnažil. Že pri razdalji 2 m od virov soli se koncentracija natrijevga klorida v talni raztopini občutno zmanjša. Hautala in sod. (1992) je z meritvami koncentracij natrijevega in kloridnega iona v iglicah soli izpostavljenih rdečih borov ugotovil, da se pri oddaljenosti 15-20 m od vira soljenja koncentracija izenači z običajno, kot jo imajo neizpostavljena drevesa.

Viscari in Karelampi (2000) sta ugotavljala vpliv zimskega soljenja na kopičenje soli v iglicah rdečega bora ob avtocestah in poškodbe, ki se ob tem pojavljajo. Zaključujeta, da je vnos soli v drevo po običajni poti tla-korenine-ksilem-asimilacijski aparat manj obsežen kot pa neposreden prenos po zraku in odlaganju na iglicah. Opozarjata na velik vpliv specifičnih vremenskih razmer in oddaljenosti drevesa od virov solnega prša. Na poškodbe dreves ob prometnicah v največji meri vpliva velika pogostost soljenja in neposredna izpostavljenost viru na razdalji 20-30 m. Zmanjšanje konvencionalnega soljenja za 90 % je v obdobju dveh let prispevalo k značilno manjšim poškodbam in koncentracijam soli v iglicah pri borih, ki so bili najbližje viru soljenja.

V Londonu (Konijnendijk in sod., 2005) so prišli do ugotovitev, da je po ostrih zimah zaradi soli poškodovanih več kot 35 % obcestnih dreves, odvisno od drevesne vrste in vrste ceste. Med 20 % in 60 % soli doseže površine v obliki aerosola (aerosol je sol razpršena v zraku) na razdalji 2 do 40 metrov od cestišča odvisno od hitrosti avtomobilov in hitrosti vetra. Povprečno je 90 % aerosola nanešenega na razdalji 20 metrov od prometnice .

V strokovni oceni vplivov soljenja na okolje, ki so ga pripravili Shi in sod. (2009), so ugotovili mnoge resnejše vplive soljenja na okolje. Tako je v državi New Hampshire na obcestni razdalji vsega 1,1 km odmrlo 14.000 dreves, oziroma jih je bilo potrebni posekati. Environment Canada (2000) je poročala o izginotju določenih rastlinskih vrst z obcestnih površin zaradi soljenja.

V Maasachussetsu so opravili raziskavo vpliva zimskega soljenja na obcestno drevje. Ugotovili so, da je bor drevesna vrsta, kjer so poškodbe zaradi soljenja največje, medtem, ko so se hrasti in javorji pokazali za bolj tolerantne. Koncentracija natrija je bila v iglicah prizadetih borov 75-krat večja, kot pa v iglicah borov, ki niso bili izpostavljeni soljenju. Kaushall in sod. (2005) vidi zimsko soljenje skupaj z naraščujočo urbanizacijo kot največjo grožnjo sladkovodnih ekosistemom v severozahodnem delu ZDA.

3 NAMEN IN HIPOTEZE

Namen naloge je:

- podati pregled raziskav vpliva zimskega soljenja na okolje in drevje v urbanem okolju,
- na podlagi vzorčnih meritev ugotoviti vpliv soljenja na črni bor v urbanem okolju,
- na podlagi vzorčnih meritev ugotoviti vpliv soljenja na lastnosti tal v urbanem okolju,
- pripraviti nabor predlogov za zmanjšanje vplivov soljenja na urbano drevnino.

4 METODE DELA

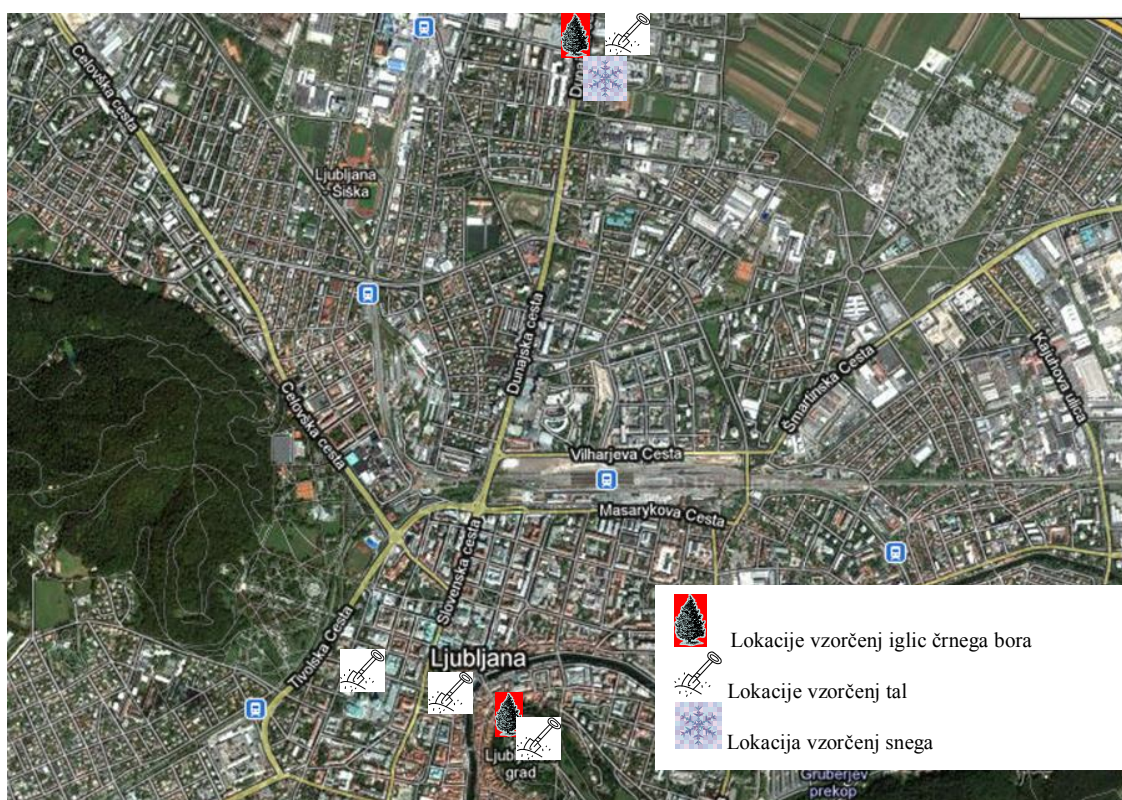
Delo je bilo razdeljeno v dva večja sklopa in sicer pregled in analiza literature in terensko vzorčenje ter laboratorijske analize.

4.1 Analiza literature

Pregledali smo izbrano domačo in dosegljivo tujo literaturo s področja raziskav vplivov soljenja na okolje in obcestno drevje in pripravili pregled izsledkov raziskav. Na podlagi dosegljivih podatkov o uporabi sredstev za soljenje in vplivu na okolje smo pripravili pregled sredstev in možnih negativnih vplivov na okolje. Na podlagi literature predstavljamo tudi nekatere možne ukrepe za zmanjševanje negativnih vplivov soljenja na okolje.

4.2 Terensko vzorčenje

Da bi ugotovili vpliv soljenja na obcestno drevje črnega bora (*Pinus nigra* Arn.) smo določili vzorec reprezentativnih dreves črnega bora, kjer smo vzorčili vse letnike iglic in odvzeli vzorce tal in vzorce staljenega snega neposredno ob izbranih vzorčnih drevesih (Preglednica 3, 4, 5). V letu 2006 in 2007 smo izvedli terenska vzorčenja iglic, prsti in snega na štirih lokacijah (Slika 2).



Slika 2: Lokacije terenskih vzorčenj iglic črnega bora, tal in snega

V vzorec je bilo vključenih 10 dreves črnega bora, visokih okrog 12-13 m, in sicer 5 dreves ob Dunajski cesti (soljena lokacija) in 5 dreves na grajskem hribu v kontrolnem sestoju črnega bora, oddaljenem vsaj 200 m od najbližje prometnice. Drevesa ob Dunajski cesti so bila posajena v povprečni oddaljenosti 8-10 m od prometnic oziroma potencialnih virov soljenja.

Vzorci iglic črnega bora smo nabrali na dveh vzorčnih mestih v Ljubljani (Preglednica 5):

- Ekonomska fakulteta ob avtobusni postaji na Dunajski cesti (med Dimičevo ulico in Kardeljevo ploščadjo, predvidoma močno soljeno),
- Na Grajskem hribu (nesoljeno, kontrolni sestoj črnega bora).

Vzorci tal smo v Ljubljani nabrali na vzorčnih mestih (Preglednica 3):

- Ekonomska fakulteta ob avtobusni postaji (predvidoma močno soljeno, pod črnimi bori),
- Na Grajskem hribu (nesoljeno, kontrolni sestoj črnega bora),
- ob Prešernovi cesti (predvidoma močno soljeno pod dvema robinijama),
- Zvezda park (predvidoma močno soljeno, ob postajališču avtobusnega mestnega prometa).

Vzorci tal so bili odvzeti dvakrat in sicer pred in po soljenju. Po soljenju odvzeti vzorci so bili odvzeti po snežnih padavinah, a pred dežnimi padavinami, ki bi sprale soli v globlje horizonte.

Preglednica 3: Lokacije vzorčenja tal in popis vzorcev tal

Zap. št.	Krajevno ime	Datum odvzema vzorcev pred soljenjem	Datum odvzema vzorcev po soljenju	Globina [cm]	Št. izvrtkov
1	Bežigrad	1.12.2006	4.5. 2007	0 – 5	20
2	Bežigrad	1.12.2006	4.5. 2007	5 – 10	20
3	Bežigrad	1.12.2006	4.5. 2007	10 – 20	20
4	Prešernova cesta	1.12.2006	4.5. 2007	0 – 5	10
5	Prešernova cesta	1.12.2006	4.5. 2007	5 – 10	10
6	Prešernova cesta	1.12.2006	4.5. 2007	10 – 20	10
7	Grad	15.12.2006	4.5. 2007	0 – 5	10
8	Grad	15.12.2006	4.5. 2007	5 – 10	10
9	Grad	15.12.2006	4.5. 2007	10 – 20	10
10	Zvezda park	6.12. 2006	04.05.2007	0 – 5	5
11	Zvezda park	6.12. 2006	04.05.2007	5 – 10	5
12	Zvezda park	6.12. 2006	04.05.2007	10 – 20	5

Vzorci snega oziroma tekočine iz staljenega snega smo vzeli neposredno na cestišču in ob cestišču na vseh zgoraj omenjenih vzorčnih mestih (Preglednica 4).

Preglednica 4: Lokacije vzorčenja snega

Zap. št.	Krajevno ime	Lokacija	Oddaljenost od roba cestišča (m)	Datum odvzema vzorcev	Oznaka vzorca
1	Bežigrad	Ob Dunajski cesti	1,5	23.3. 2007	5 podvzorcev
2	Bežigrad	Ob Dunajski cesti	3,0	23.3. 2007	5 podvzorcev
3	Bežigrad	Ob Dunajski cesti	4,5	23.3. 2007	5 podvzorcev
4	Bežigrad	Ob Dunajski cesti	6,0	23.3. 2007	5 podvzorcev
5	Prešernova	Pod robinijo	1,5	23.3. 2007	7 podvzorcev
6	Zvezda park	Ob postajališču LPP	1,5	23.3. 2007	5 podvzorcev
7	Ekonomska fakulteta	Ekonomska fakulteta-LPP	Sredina cestišča	19.3. 2007	1 podvzorec
8	Ekonomska fakulteta	Ekonomska fakulteta-LPP	Rob cestišča	19.3. 2007	1 podvzorec

Preglednica 5: Lokacije vzorčenj iglic črnega bora

Zap. št.	Tretma	Krajevno ime	Lokacija	Št. drevesa	Datum odvzema vzorcev	Starost tkiva	Vrsta tkiva
1	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	2	1.12.2006	2006	IGL/ZG
2	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	2	1.12.2006	2005	IGL/ZG
3	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	2	1.12.2006	2006	IGL/SP
4	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	2	1.12.2006	2005	IGL/SP
5	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	6	1.12.2006	2006	IGL/ZG
6	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	6	1.12.2006	2005	IGL/ZG
7	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	6	1.12.2006	2006	IGL/SP
8	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	6	1.12.2006	2005	IGL/SP
9	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	9	1.12.2006	2006	IGL/ZG
10	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	9	1.12.2006	2005	IGL/ZG
11	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	9	1.12.2006	2006	IGL/SP
12	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	9	1.12.2006	2005	IGL/SP
13	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	14	1.12.2006	2006	IGL/ZG
14	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	14	1.12.2006	2005	IGL/ZG
15	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	14	1.12.2006	2006	IGL/SP
16	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	14	1.12.2006	2005	IGL/SP
17	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	17	1.12.2006	2006	IGL/ZG
18	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	17	1.12.2006	2005	IGL/ZG
19	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	17	1.12.2006	2006	IGL/SP
20	Pred	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	17	1.12.2006	2005	IGL/SP
21	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	2	23.3.2007	2006	IGL/ZG
22	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	2	23.3.2007	2005	IGL/ZG
23	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	2	23.3.2007	2006	IGL/SP
24	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	2	23.3.2007	2005	IGL/SP
25	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	6	23.3.2007	2006	IGL/ZG
26	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	6	23.3.2007	2005	IGL/ZG
27	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	6	23.3.2007	2006	IGL/SP
28	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	6	23.3.2007	2005	IGL/SP

Se nadaljuje...

...nadaljevanje							
29	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	9	23.3.2007	2006	IGL/ZG
30	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	9	23.3.2007	2005	IGL/ZG
31	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	9	23.3.2007	2006	IGL/SP
32	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	9	23.3.2007	2005	IGL/SP
33	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	14	23.3.2007	2006	IGL/ZG
34	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	14	23.3.2007	2005	IGL/ZG
35	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	14	23.3.2007	2006	IGL/SP
36	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	14	23.3.2007	2005	IGL/SP
37	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	17	23.3.2007	2006	IGL/ZG
38	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	17	23.3.2007	2005	IGL/ZG
39	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	17	23.3.2007	2006	IGL/SP
40	Po	Bežigrad	Ekonomska fakulteta	17	23.3.2007	2005	IGL/SP
41	Kontr.	Grad	Sestoj	1	23.3.2007	2006	IGL/ZG
42	Kontr.	Grad	Sestoj	1	23.3.2007	2005	IGL/ZG
43	Kontr.	Grad	Sestoj	2	23.3.2007	2006	IGL/ZG
44	Kontr.	Grad	Sestoj	2	23.3.2007	2005	IGL/ZG
45	Kontr.	Grad	Sestoj	3	23.3.2007	2006	IGL/ZG
46	Kontr.	Grad	Sestoj	3	23.3.2007	2005	IGL/ZG
47	Kontr.	Grad	Sestoj	4	23.3.2007	2006	IGL/ZG
48	Kontr.	Grad	Sestoj	4	23.3.2007	2005	IGL/ZG
49	Kontr.	Grad	Sestoj	5	23.3.2007	2006	IGL/ZG
50	Kontr.	Grad	Sestoj	5	23.3.2007	2005	IGL/ZG

Legenda:

Pred: Pred soljenjem

Po: Po soljenju

Kontr.: Kontrolni sestoj

IGL/ZG: iglice odvzete z vrha krošnje (10,0 – 15,0 m višine)

IGL/SP: iglice odvzete s spodnjega dela krošnje (3,0 – 4,0 m višine)

4.2.1 Odvzem vzorcev

Zaradi višin dreves nad 10 metrov smo uporabili teleskopski podaljšek z ročno žago in vrtnimi škarjami. Iz sedmega vretena naključno izbranih dreves smo odstranili po eno vejo, ki je bila obrnjena proti cesti. Ob Dunajski cesti (Ekonomska fakulteta) smo poleg vzorcev iz zgornje tretjine odvzeli še vzorce iz spodnje tretjine krošnje za morebitne razlike v rezultatih mikro in makro hranil. Nato smo veje spravili v plastične vreče, na katere smo napisali osnovne podatke.

Ob vsakem naključno izbranem drevesu smo odvzeli vzorec tal 4-krat. Odvzemali smo vzorce iz treh globin:

- 0 cm – 5 cm,
- 5 cm – 10 cm in
- 10 cm – 20 cm.

Tako smo dobili za vsako lokacijo po tri vzorce, iz vsake globine po en vzorec. Najplitvejše vzorce smo odvezemali s sondo za jemanje vzorcev tal s 7 cm premerom ter jih zbirali v skupno vrečko, označeno z osnovnimi podatki. Postopek smo ponovili za srednje globoke vzorce. Za najgloblje talne vzorce smo uporabili holandski sveder.

Za odvzem foliarnih in talnih vzorcev smo uporabljali rokavice, zato da jih ne bi kontaminirali. Za transport prvo omenjenih vzorcev smo uporabili velike plastične vreče

volumna 120 litrov, za transport drugo omenjenih vzorcev pa manjše plastične vrečke velikosti 5 litrov.

4.3 Laboratorijske analize

Nadaljevali smo z delom v mikroskopirnici, kjer smo zopet z rokavicami pregledali vzorce iglic črnega bora in odstranili vse opazne znake okužb povzročene s strani gliv, bakterij in poškodovane iglice zaradi žuželk. Sledil je razrez vzorcev vej na eno- in dvoletne poganjke ter razporeditev v papirnate vrečke za začetek sušenja na zraku. V Laboratoriju za gozdno ekologijo (LGE) na Gozdarskem inštitutu Slovenije (GIS) smo opravili analize vsebnosti hranil v iglicah in analizo tal.

Za določanje snovi topnih v vodi (spiranje iglic črnega bora) smo izvedli naslednji postopek: na laboratorijski tehtnici Mettler Toledo PB 602 smo zatehtali $10,0 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ tal v 150 mL polietilensko prahovko in prilili 100 mL ultra čiste vode. Vzorce smo premešali, da so se tla dobro omočila in pustili stati preko noči. Naslednji dan smo stresali 1 uro na stresalniku Vibromix EVT-403 pri hitrosti 140-180 obratov/minuto. Zatem smo filtrirali skozi filtrirni papir MN 280 $\frac{1}{4}$ (fi 185 mm) v polietilenske stekleničke. Prvih 10-20 mL filtrata smo zavrgli.

Postopek določanja natrija in klorida na iglicah je bil identičen, le da smo namesto tal uporabili iglice.

Izmenljive katione v talnih vzorcih smo določili po standardnem postopku: na laboratorijski tehtnici Mettler Toledo PB 602 smo zatehtali $5,00 \pm 0,01 \text{ g}$ tal v 150 mL polietilensko prahovko in prilili 100 mL 0,1 M BaCl_2 . Vzorce smo premešali, da so se tla dobro omočila in pustili stati preko noči. Naslednji dan smo stresali 1 uro na stresalniku Vibromix EVT-403 pri hitrosti 140-180 obratov/minuto. Zatem smo filtrirali skozi filtrirni papir MN 280 $\frac{1}{4}$ (fi 185 mm) v polietilenske stekleničke. Prvih 10-20 mL filtrata smo zavrgli.

Priprava vzorcev iglic in tal za analizo kovin je potekala v mikrovalovni peči, kjer smo opravili zaprt kislini razklop $0,5000 \text{ g} \pm 0,0100 \text{ g}$ tal / iglic v 6 mL kislinke mešanice $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ 5:1. Po končanem razklopu smo raztopino prefiltrirali skozi naguban filter papir MN 619 $\frac{1}{4}$ (fi 185 mm) v plastične mL centrifugirke in dopolnili raztopino do oznake z ultra čisto vodo.

Kontrolnega vzorcav primeru določanja snovi, topnih v vodi, nismo imeli, zato pa smo analizirali 1 slepi vzorec na 20 vzorcev. Prav tako smo na začetku in koncu serije imeli po en slepi vzorec. Vsak 6-10 vzorec smo ponovili v paralelki (celoten postopek). Pri analizi izmenljivih kationov in kovin smo uporabili ustrezne kontrolne vzorce in sicer na vsakih 8 do 10 vzorcev po en kontrolni in en slepi vzorec.

Uporabljene so bile naslednje metode:

- Kationi in anioni so bili določeni z ionsko kromatografijo (Metrohm);
- Vsebnost kovin in izmenljivih kationov je bila določena z atomsko absorpcijsko spektrometrijo (AAS Varian Duo: FS 240, Z 240);

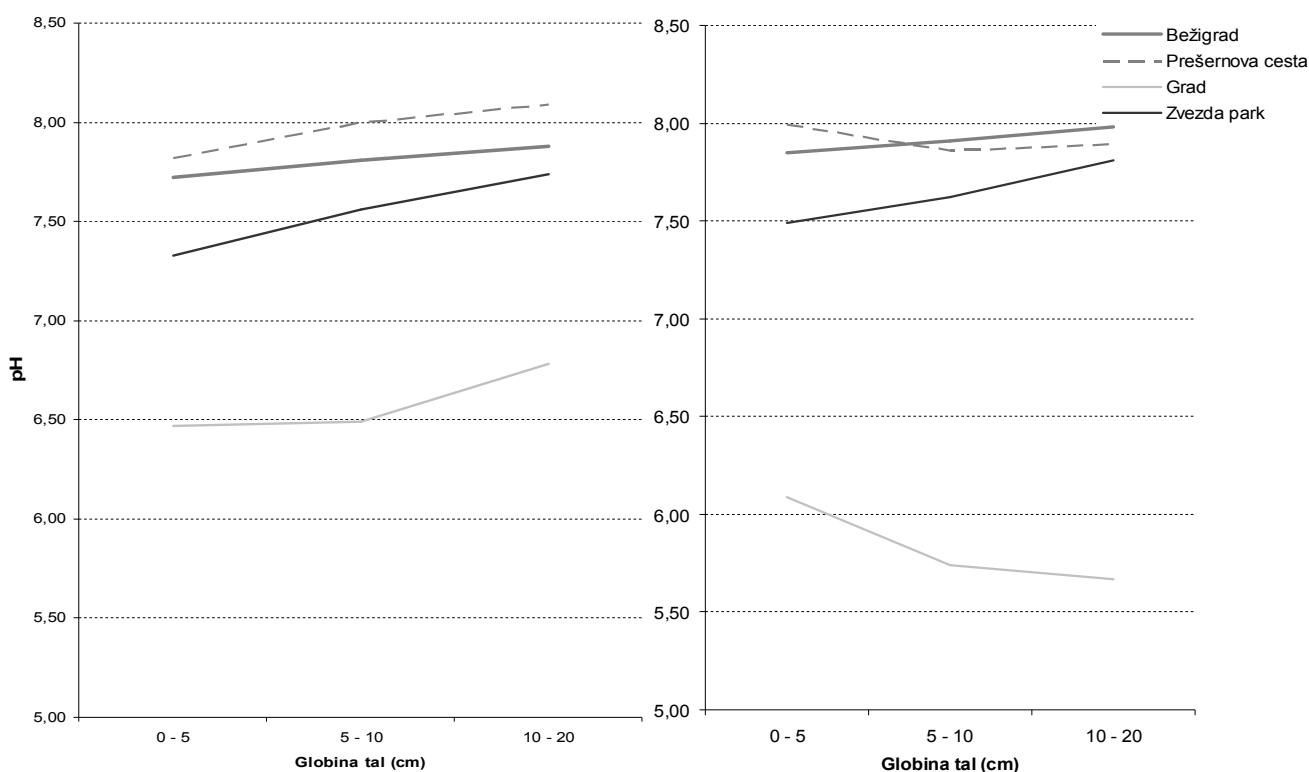
- pH vrednost tal je bila določena s stekleno pH elektrodo (Metrohm).

5 REZULTATI

5.1 Vpliv soljenja na obcestno drevje črnega bora

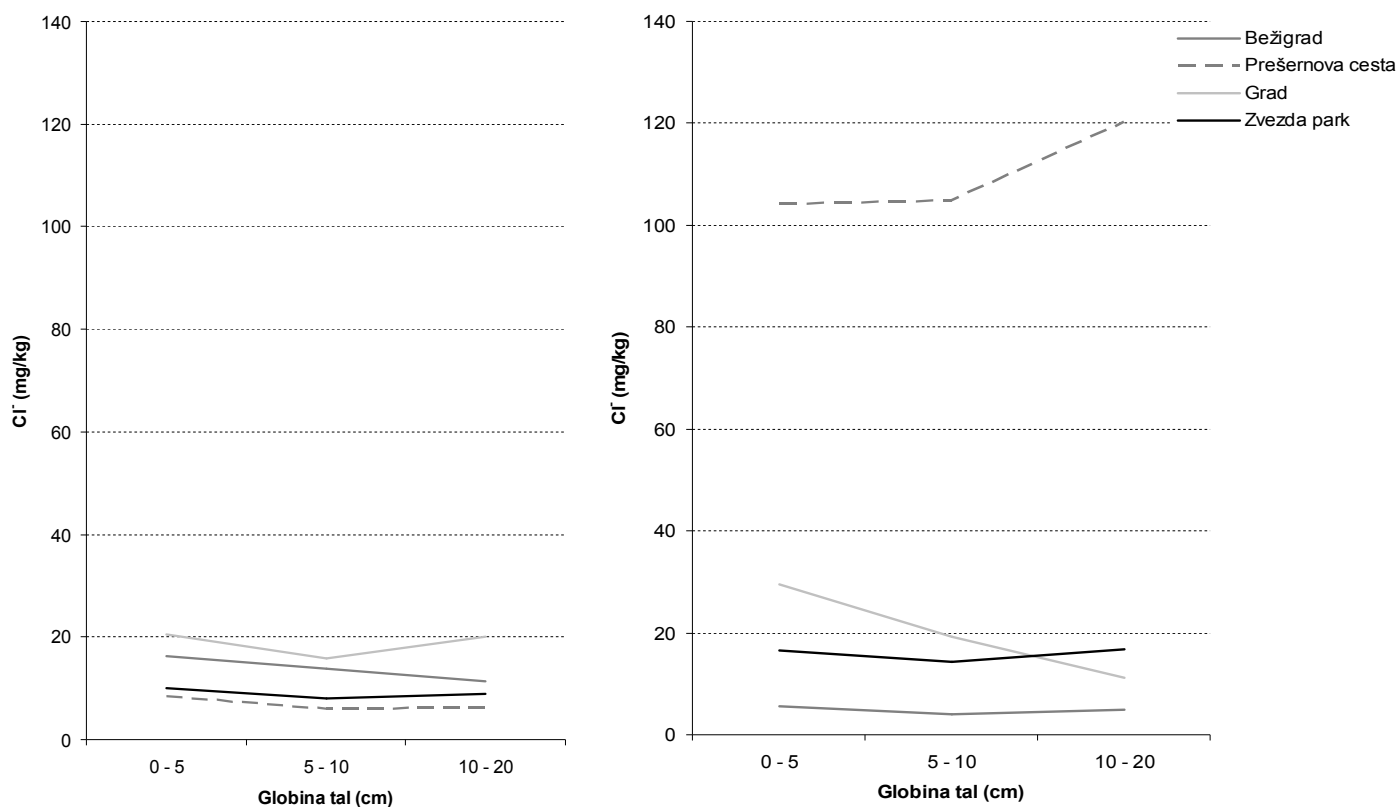
5.1.1 Analize tal

Analiza pH vrednosti tal kaže, da je reakcija na vseh vzorčnih lokacijah rahlo bazična. Samo na grajskem hribu je pH vrednost nižja (5,5 – 6,0), drugod se pH tal giblje med 7,7 in 7,8. Meritve kažejo, da soljenje povečuje pH vrednost tal v vrhnji plasti tal. pH vrednost zgornje plasti tal se je v povprečju povečala od 7,62 na 7,78 (Slika 3).



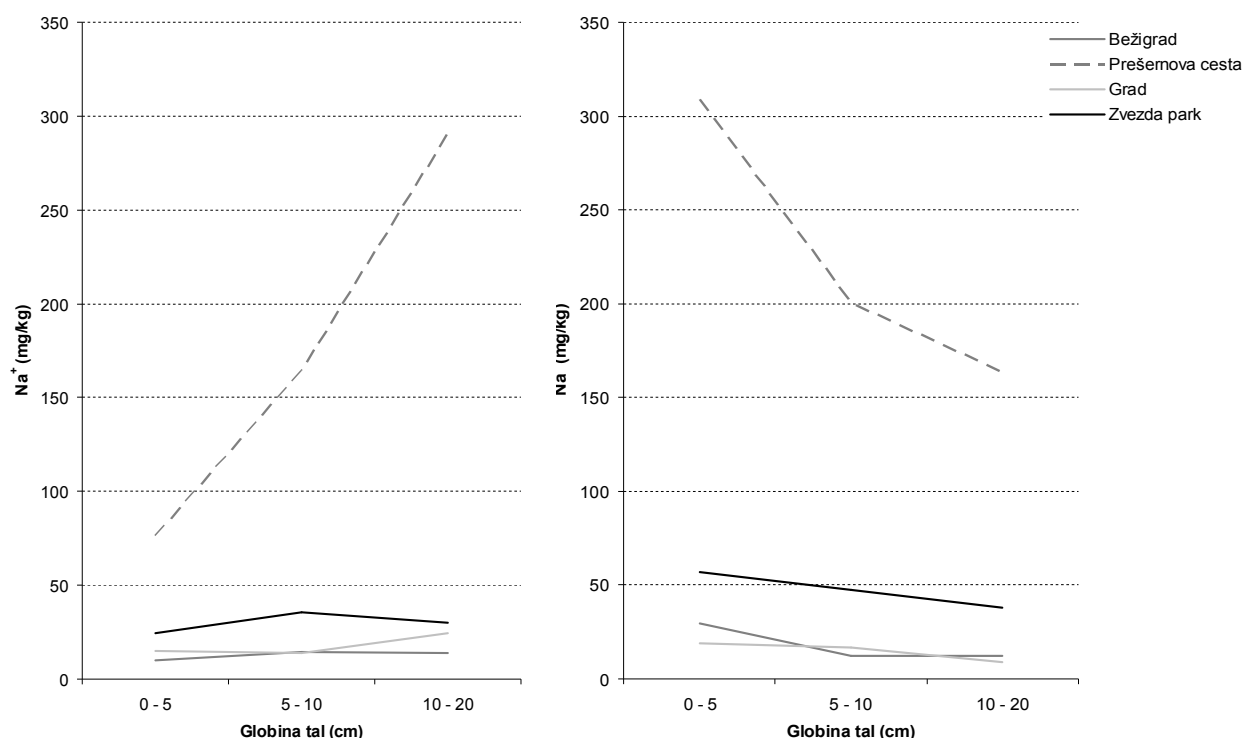
Slika 3: Spreminjanje pH tal v odvisnosti od globine tal in soljenja na 4 lokacijah v Ljubljani pred (levo) in po soljenju (desno).

Koncentracija kloridnih ionov v tleh se je po soljenju povečala na vseh lokacijah, izjema je le na lokaciji Bežigrad in tla v kontrolnem sestoj črnega bora pod gradom, ki ni bil izpostavljen soljenju. Največje povečanje kloridnih ionov smo izmerili ob Prešernovi cesti, kjer je koncentracija v površinski 5 cm plasti tal narasla za več kot dvanajstkrat, v globljih plasteh pa celo do devetnajstkrat (Slika 4).



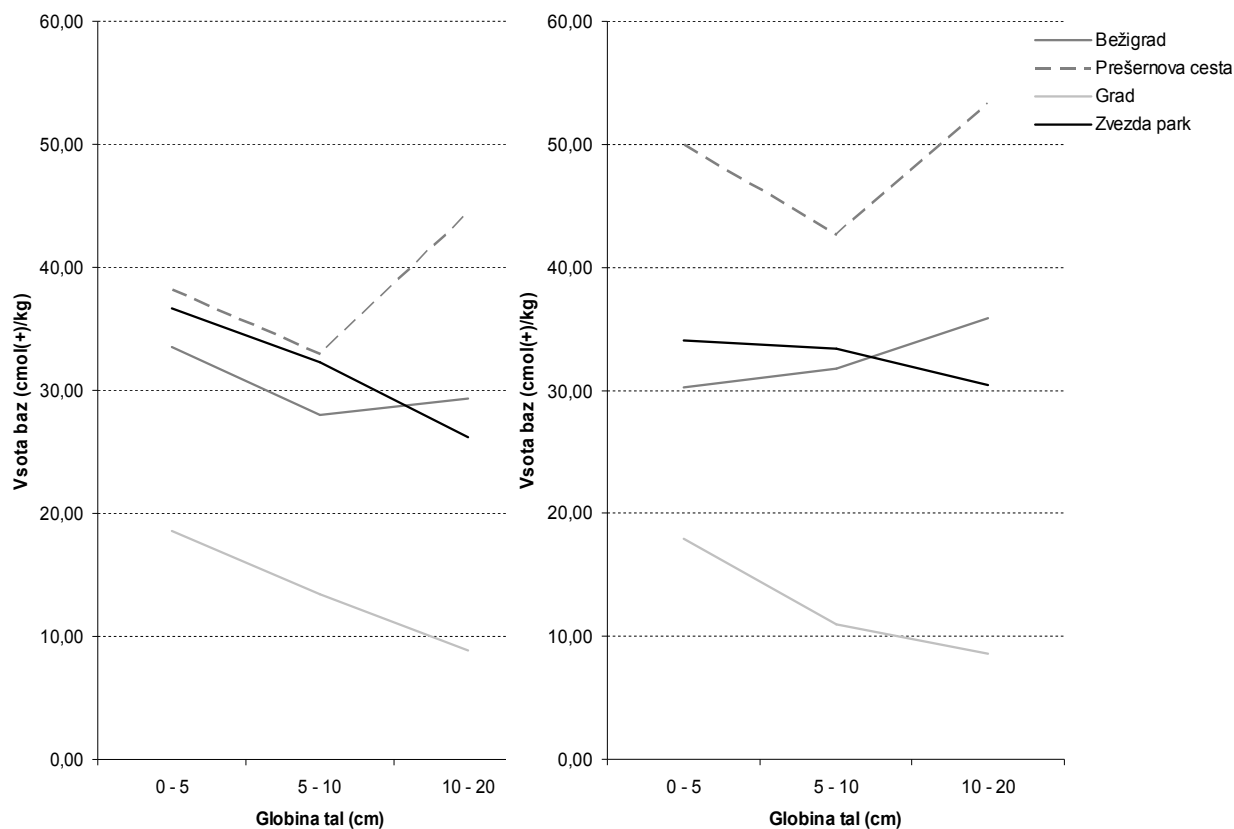
Slika 4: Vsebnost klorida v tleh v odvisnosti od globine tal na 4 lokacijah v Ljubljani pred (levo) in po soljenju (desno).

Količina natrija v tleh je v vrhnji plasti tal po soljenju povsod večja kot pred soljenjem. Očiten je velik porast natrija v zgornji plasti tal na najbolj soljeni vzorčni lokaciji- na Prešernovi cesti. Količina natrija je v vrhnji plasti narasla od 76,4 mg/kg do 308,9 mg/kg. V najgloblji plasti se je koncentracija natrija v tleh zmanjšala (Slika 5).

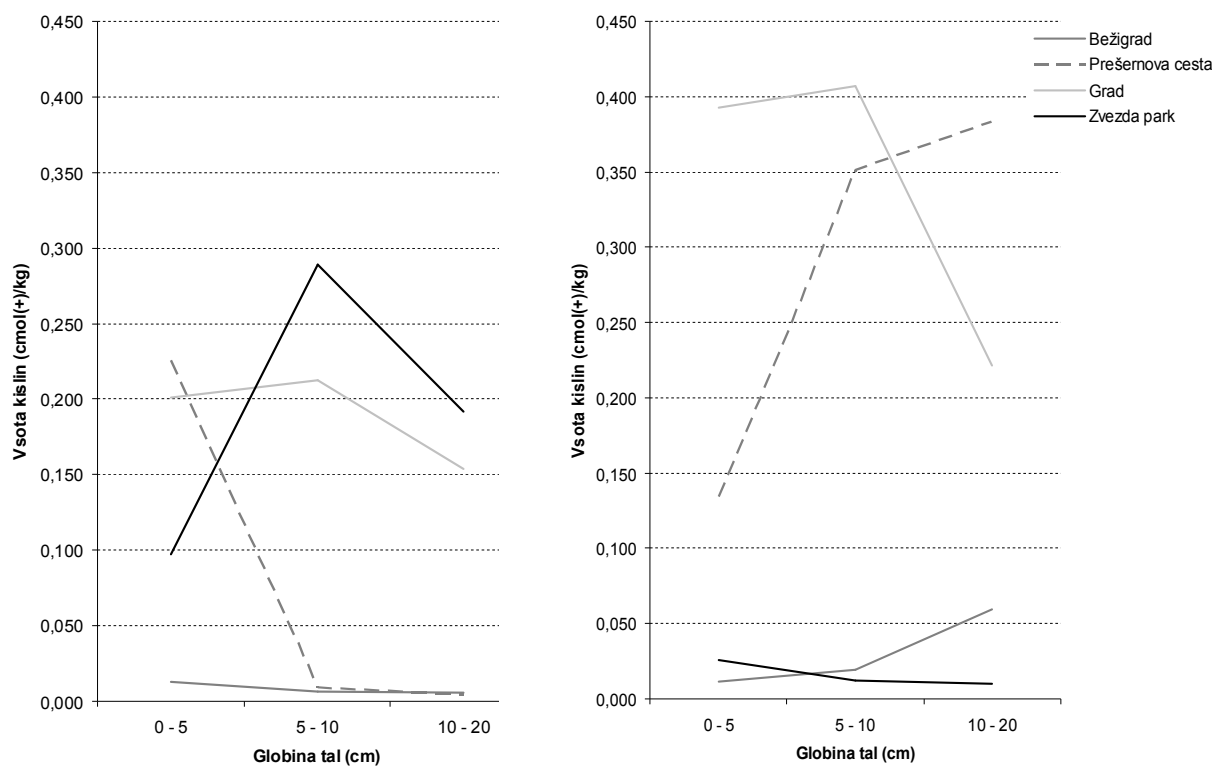


Slika 5: Koncentracija natrijevih ionov v tleh v odvisnosti od globine tal na 4 lokacijah v Ljubljani pred (levo) in po soljenju (desno).

Količina bazičnih kationov se pred in po soljenju ne razlikuje močno. Opazen je le porast koncentracije bazičnih kationov v tleh v vseh globinah tal na Prešernovi cesti. Pri koncentracijah kislih kationov v tleh nismo ugotovili značilnega trenda sprememb koncentracij v odvisnosti od soljenja. Ugotovili smo lahko le, da se je na vseh lokacijah količina kislih kationov v tleh v zgornji plasti tal zmanjšala, v spodnjih plasteh pa povečala. Izjema je kontrolni sestoje bora na grajskem hribu, kjer je v vseh globinah tal večja koncentracija kislih kationov v mesecu maju (torej po soljenju), kot pa decembra (Slika 6, Slika 7).

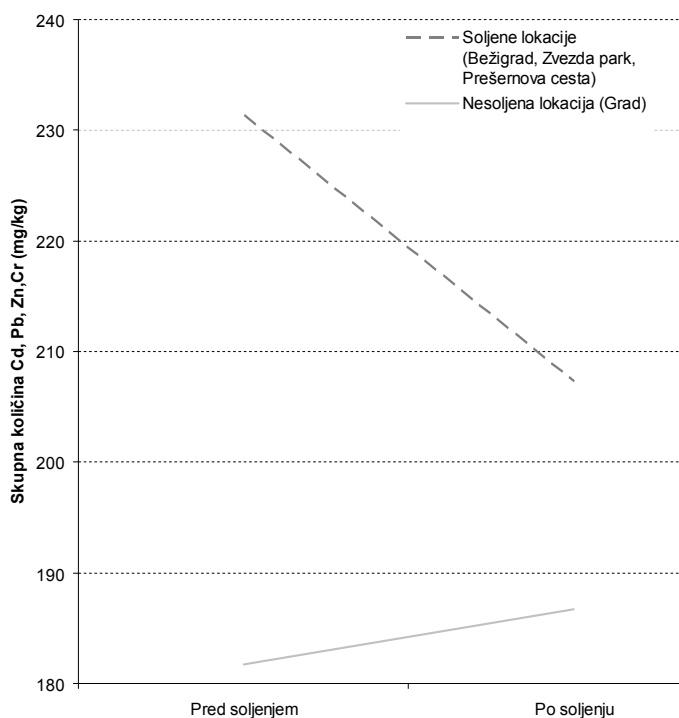


Slika 6: Vsota bazičnih kationov v tleh pred in po soljenju na 4 lokacijah v Ljubljani pred (levo) in po soljenju (desno).



Slika 7: Vsota kislih kationov v tleh pred in po soljenju na 4 lokacijah v Ljubljani pred (levo) in po soljenju (desno).

Ugotovili smo, da je količina težkih kovin v tleh v urbaniziranem okolju (Bežigrad, Prešernova cesta, Zvezda park) za skoraj 30 % večja kot v urbanem gozdu na grajskem hribu. Tudi majske koncentracije težkih kovin so še vedno za okrog 11 % večje v urbaniziranem okolju kot v gozdu. Povprečna koncentracija težkih kovin v tleh se je na soljenih površinah od decembra do maja zmanjšala za okrog 10 % (od 231,3 mg/kg na 207,27 mg/kg), v sestoji črnega bora na gradu pa je ostala na približno isti ravni (181,68 mg/kg do 186,7 mg/kg) (Slika 8).



Slika 8: Povprečna količina težkih kovin v tleh (mg/kg) na soljenih površinah in v gozdu

Ugotavljamo, da se koncentracija težkih kovin, vezanih v tleh do globine 20 cm, po soljenju zmanjša. Najbolj očitno zmanjševanje vezanih težkih kovin je v globinah manjše od 5 cm pod površino (Preglednica 6).

Preglednica 6: Skupne koncentracije težkih kovin (Cd, Pb, Zn, Cr) v tleh (mg/kg) pred soljenjem in po soljenju

	Pred soljenjem			Po soljenju		
	Globina tal (cm)			Globina tal (cm)		
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	0 - 5	5 - 10	10 - 20
Bežigrad	170,9	195,4	161,4	157,8	170,7	161,0
Prešernova cesta	236,0	241,3	275,0	226,9	219,2	234,1
Grad*	211,5	172,8	160,8	207,1	185,1	167,9
Zvezda	257,0	272,4	272,6	241,1	216,7	238,1

(* na Gradu »po soljenju« pomeni le meritve v maju, saj sestoj ni bil neposredno izpostavljen soljenju)

Meritve aluminija v tleh nakazujejo, da naj bi soljenje pospeševalo izmenjavo aluminijevih ionov v mineralih z vodikovimi (H^+ ioni) in posledično večjo mobilnost aluminija, saj smo na soljenih lokacijah ugotovili zmanjševanje koncentracij aluminija v vrhnji plasti in povečanje v nižjih plasteh (Preglednica 7).

Preglednica 7: Koncentracije aluminija v tleh (cmol (+)/kg) pred soljenjem in po soljenju

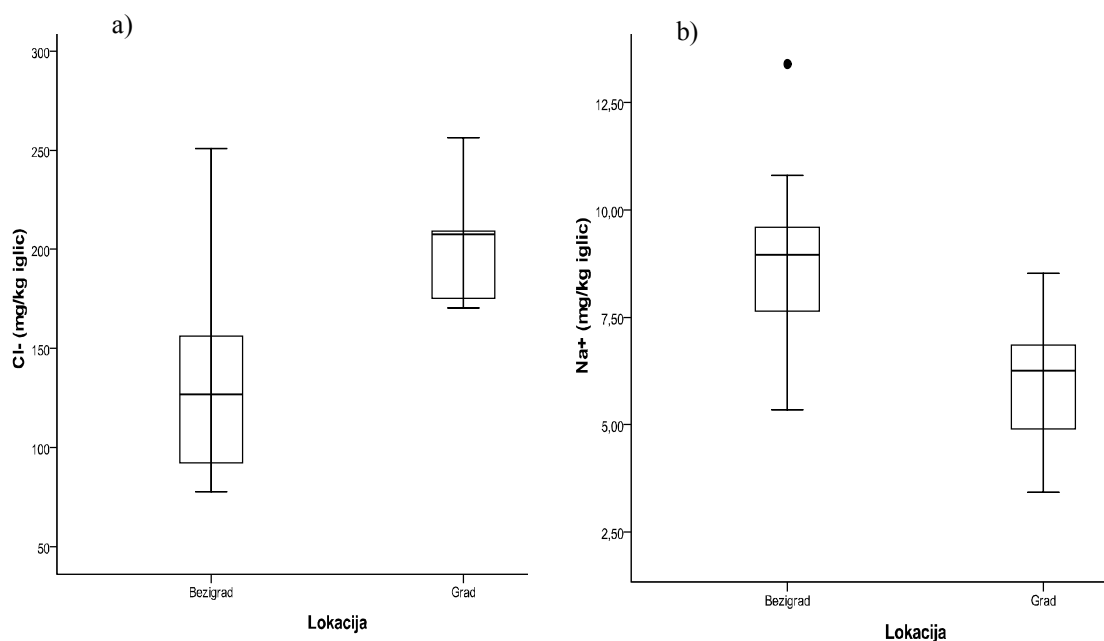
	Pred soljenjem			Po soljenju		
	Globina tal (cm)			Globina tal (cm)		
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	0 - 5	5 - 10	10 - 20
Bežigrad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05
Prešernova cesta	0,21	0,00	0,00	0,12	0,35	0,38
Grad*	0,00	0,08	0,10	0,00	0,07	0,02
Zvezda	0,08	0,24	0,19	0,00	0,00	0,00

(* na Gradu »po soljenju« pomeni le meritve v maju, saj sestoj ni bil neposredno izpostavljen soljenju)

Kljub skromnemu obsegu meritev se gibanje koncentracij aluminija na soljenih površinah razlikuje od gibanja koncentracij aluminija na kontrolni ploskvi. Kontrolni sestoj na gradu kaže, da se je koncentracija aluminija povsod zmanjšala, tako v vrhnji plasti kot tudi v globljih plasteh.

5.1.2 Foliarne analize

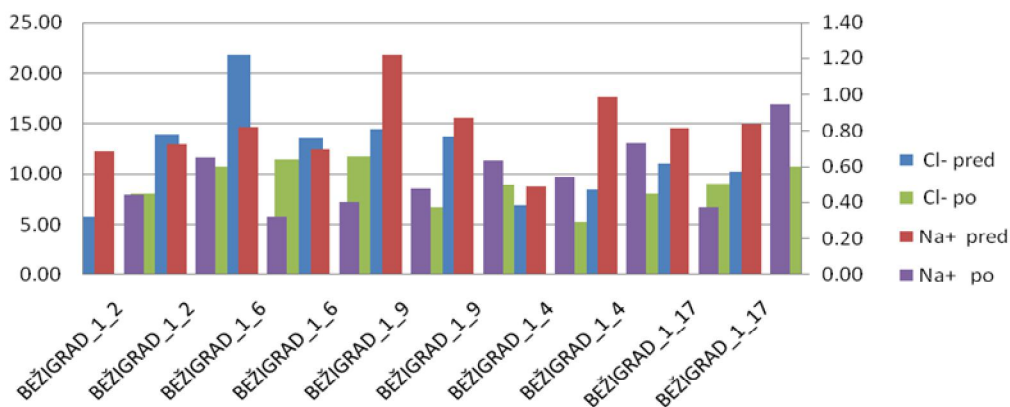
Analize klorida v ekstraktu po spiranju iglic črnega bora iz Bežigrada so pokazale, da je spomladi po soljenju (5 dni po zadnjih snežnih padavinah) količina tega elementa manjša, kot pred soljenjem. Razlika sicer ni statistično značilna (Mann-Whitney U-test=28, $p=0,096$), zato ne moremo z gotovostjo trditi, da se količina klorida na iglicah bistveno razlikuje pozimi pred soljenjem od koncentracije spomladi po soljenju. Količina natrija na iglicah se je tudi zmanjšala po soljenju, razlika v koncentracijah decembra in maja naslednje leto je statistično značilna (Mann-Whitney U-test=15, $p=0,008$).



Slika 9: Koncentracije klorida (a) in natrija (b) v ekstraktu po spiranju iglic črnega bora v obcestnih črnih borih (Bežigrad) in v sestoji črnega bora na grajskem hribu (Grad)

Če primerjamo koncentracije natrija v ekstrakcijskem sredstvu po spiranju iglic na soljeni lokaciji za Bežigradom in na nesoljeni lokaciji na grajskem hribu (Slika 9), ugotovimo, da so koncentracije natrija na iglicah na soli izpostavljeni lokaciji večje, kot v naravnem sestoji.

Razlike v koncentracijah natrija so statistično značilne (Mann-Whitney U-test=6, $p=0,020$). Nasprotno pa smo ugotovili, da je koncentracija kloridov na iglicah večja v našem izbranem kontrolnem sestoji kot pa v mestu. To velja tako, če primerjamo koncentracije na iglicah v obeh vzorcih v istem časovnem obdobju (december), kot če primerjamo koncentracije na iglicah za Bežigradom po soljenju s koncentracijami kloridov na iglicah kontrolnega sestoja (Preglednica 8, Preglednica 9, Preglednica 10).

Slika 10: Koncentracije Na⁺ in Cl⁻ v ekstraktu po spiranju iglic črnega bora v ppm (mg/l) za izbrane lokacije

Legenda:

Cl⁻ - pred : pred soljenjem,Cl⁻ - po : po soljenju,Na⁺ - pred: pred soljenjem,Na⁺ - po: po soljenjuPreglednica 8: Vsebnosti Na⁺ in Cl⁻ v ekstraktu po spiranju iglic črnega bora za izbrane lokacije izražene na maso vzorčenih iglic v mg/kg

Zaporedna številka vzorca	Na ⁺ (mg/kg iglic)	Cl ⁻ (mg/kg iglic)	Čas in lokacija
1	7,58	79,44	Bežigrad/pred soljenjem
2	7,93	132,89	Bežigrad/pred soljenjem
3	8,99	234,31	Bežigrad/pred soljenjem
4	7,64	250,69	Bežigrad/pred soljenjem
5	13,40	147,03	Bežigrad/pred soljenjem
6	9,60	156,31	Bežigrad/pred soljenjem
7	5,35	77,76	Bežigrad/pred soljenjem
8	10,81	92,21	Bežigrad/pred soljenjem
9	8,91	120,45	Bežigrad/pred soljenjem
10	9,17	111,57	Bežigrad/pred soljenjem
11	4,87	88,10	Bežigrad/po soljenju
12	7,13	117,40	Bežigrad/po soljenju
13	3,54	125,55	Bežigrad/po soljenju
14	4,42	128,51	Bežigrad/po soljenju
15	5,23	72,94	Bežigrad/po soljenju
16	7,00	97,67	Bežigrad/po soljenju
17	5,96	57,44	Bežigrad/po soljenju
18	8,00	87,62	Bežigrad/po soljenju
19	4,05	97,93	Bežigrad/po soljenju
20	10,36	116,90	Bežigrad/po soljenju
21	8,52	170,54	Grad/nesoljeno
22	6,25	175,17	Grad/nesoljeno
			Se nadaljuje...
			nadaljevanje...

23	6,85	207,65	Grad/nesoljeno
24	4,90	209,12	Grad/nesoljeno
25	3,42	256,37	Grad/nesoljeno

Preglednica 9: Povprečne koncentracije Na^+ in Cl^- v ekstraktu po spiranju iglic črnega bora pred ($n=10$ dreves) in po soljenju ($n=10$ dreves)

Lokacija	Koncentracija (mg/kg iglic)	Čas	
		Po soljenju	Pred soljenjem
Bežigrad	Na	6,06	8,94
	Cl	99,01	140,27
Grad	Na	.	5,99
	Cl	.	203,77

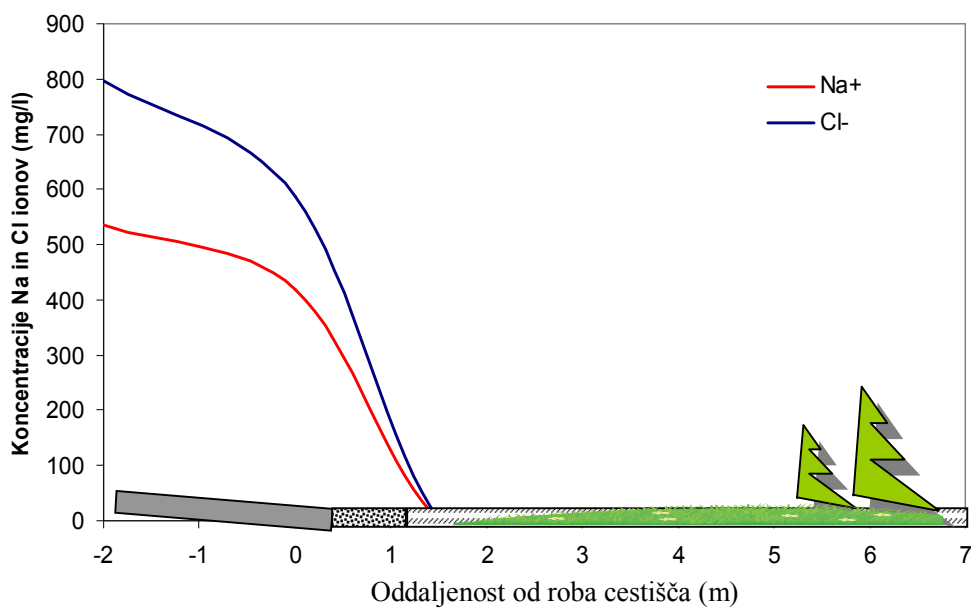
Preglednica 10: Razmerje Na^+ in Cl^- v ekstraktu po spiranju iglic črnega bora

Lokacija	Masno razmerje Na:Cl	Mnogokratnik normalnega masnega razmerja Na : Cl
Bežigrad/pred soljenjem	1 : 15,7	11,4
Bežigrad/po soljenju	1 : 16,3	11,9
Grad/nesoljeno	1 : 34,0	24,8
NaCl	1 : 1,4	1,0
NaCl + pesek	1 : 1,4	1,0

Iz preglednice 10 vidimo, da je v rastlinskih tkivih porušeno razmerje med Na^+ in Cl^- . Drevesa črnega bora za Bežigradom imajo na iglicah za okrog 11-krat večjo količino Cl^- , kot je normalno razmerje v kuhinski soli. Sestoj črnega bora na gradu pa ima daleč najbolj porušeno razmerje med Na^+ in Cl^- na iglicah, saj tam koncentracija Cl^- za skoraj 25-krat presega normalno utežno razmerje med Na^+ in Cl^- v kuhinski soli.

5.2 Vpliv oddaljenosti od roba cestišča na koncentracije natrijevih in kloridnih ionov v tleh

Analiza odvzetega snega po soljenju je pokazala, da se koncentracija Na^+ in Cl^- zelo močno zmanjšuje z oddaljenostjo od vira soljenja (Slika 11).



Slika 11: Zmanjševanje koncentracija NaCl v vodni raztopini z oddaljenostjo od roba cestišča

Največje koncentracije so bile izmerjene v vzorcu stopljenega snega, odvzetega neposredno s sredine cestišča. Ob robu cestišča koncentracije še vedno dosegajo zelo velike vrednosti, na razdalji 1,5 metra od roba cestišča se koncentracije obeh ionov zmanjšajo za skoraj 400-krat. Po naših meritvah vegetacija oddaljena več kot 3 m ne prejme več tako velikih vnosov klorida in natrija s cestišča.

6 ZAKLJUČEK IN RAZPRAVA

Na podlagi pregledane literature in rezultatov meritev lahko podamo naslednje zaključke:

1. Ugotavljamo, da zelo močno soljenje spreminja kemijske lastnosti tal.

Analize tal so pokazale, da soljenje vpliva na spremembe nekaterih lastnosti tal. Rezultati naše analize kažejo, da so spremembe talnih parametrov posebej izrazite na lokacijah, kjer se izvaja močno soljenje. Meritve ob Prešernovi cesti so pokazale, da smo upravičeno pričakovali, da gre tu za območje z močnim soljenjem in da so posledice le-tega razvidne tudi na tleh. Potrdili smo ugotovitev Czerniawska-Kusza in sod. (2004), da soljenje povečuje bazičnost tal, naše meritve kažejo, da predvsem v vrhnji plasti tal. pH vrednost zgornje plasti tal se je v povprečju povečala od 7,62 do 7,78. Učinek soljenja na pH vrednost tal je manj izrazit v globljih plasteh. Rezultat sovпада z meritvami koncentracij kislinskih in bazičnih kationov, kjer smo povsod v vrhnji plasti tal ugotovili rahlo povečano koncentracijo bazičnih kationov. Izjema je kontrolni sestoč črnega bora na grajskem hribu, kjer se je količina kislinskih kationov v tleh maja meseca povečala, kar pa ne moremo pripisovati učinku soljenja, tudi posrednega ne (morebitno odtekanje z bližnjih prometnic), ampak je lahko razlog povečana mikrobiološka aktivnost tal v spomladanskem času (razgradnja opada).

Tudi pri koncentracijah nekaterih ionov v tleh smo ugotovili spremembe. Količina natrija v tleh je v vrhnji plasti tal po soljenju povsod večja, kot pred soljenjem. Očiten je velik porast natrija v zgornji plasti tal na najbolj soljeni vzorčni lokaciji- na Prešernovi cesti. V nižjih plasteh ne ugotavljamo povečanih koncentracij natrija, nasprotno, količina natrija v najgloblji plasti se je zmanjšala. Vzrok temu je lahko absorbcija preko korenin trave ali pa vezave v tleh. Za zanesljivo ugotovitev bi potrebovali izvajati periodične meritve tal in odvzeti tudi vzorce trave na zelenici.

Količina klorida v tleh se je po soljenju povečala na večini lokacij. Tudi tu smo največje povečanje kloridnih ionov izmerili ob Prešernovi cesti, kjer je koncentracija v površinski 5 cm plasti tal narasla za več kot dvanajstkrat, v globljih plasteh pa celo do devetnajstkrat. Rezultati nekoliko presenečajo, saj se klorid ponavadi hitro izpira v podtalnico in se ne zadržuje dolgo v tleh, meritve pet mesecev po začetku soljenja pa še vedno kažejo na močno povečane koncentracije klorida v tleh. Morda je k tako visokim koncentracijam klorida v tleh ob Prešernovi cesti prispevalo dejstvo, da poleg soljenja pločnikov, od koder se voda ob taljenju snega steka na zelenice in zatem pronica v globlje horizonte, dotok soli pospešuje promet, ki s pršem prispeva k velikim koncentracijam soli v tleh. Visoke koncentracije klorida v najglobljih plasteh kažejo, da se klorid dejansko intenzivno spira v podtalnico in da ob stalnemu močnemu soljenju pomembno vpliva na spremembe koncentracij ionov v tleh.

Meritve težkih kovin v tleh so pokazale, da se je njihova količina v tleh v sestoji, ki ni bil neposredno izpostavljen soljenju v obdobju našega proučevanja le malo spremenila. Nasprotno pa smo ugotovili, da se je na lokacijah, ki so bile izpostavljene soljenju, količina vezanih težkih kovin v tleh močno zmanjšala po končanem zimskem obdobju. Rezultati

kljub skromnemu številu vzorcev potrjujejo raziskave drugih (Hevka, 2010), da soljenje povečuje mobilnost težkih kovin v tleh. Predvidevamo, da so se zaradi soljenja težke kovine začele sproščati in se spirati oziroma premeščati v globlje horizonte oziroma podtalnico.

Iz rezultatov naših meritev lahko sklepamo, da soljenje pospešuje mobilnost aluminija, saj smo na vseh soljenih lokacijah ugotovili zmanjševanje koncentracij v višjih plasteh tal in povečevanje koncentracij v nižjih plasteh, medtem ko na kontrolni ploskvi ugotavljamo enakomerno zmanjševanje koncentracij aluminija v vseh globinah tal.

2. Vpliv soljenja na iglice črnega bora.

Analize površinskih naloganj NaCl na iglicah črnega bora pred soljenjem in po soljenju ter primerjava z nesoljenim sestojem kažejo, da se natrij in deloma tudi klorid odlagata na rastlinskih tkivih. Na podlagi naših meritev ne moremo s statistično zanesljivostjo trditi, da soljenje povečuje koncentracije kloridov na iglicah, saj smo ugotovili, da je ravno v sestoji, ki ni bil izpostavljen soljenju, koncentracija kloridov na iglicah največja. Razlog temu je lahko atmosferski vnos klorida z depoziti. Za zanesljivo potrditev, da se klorid odlaga na iglicah, bi potrebovali več zaporednih meritev, zagotovo pa v obdobju marec-april, ko je po ugotovitvah Viskari in Kärenlampi (2000) koncentracija kloridov v iglicah bora največja. Za zanesljivo sklepanje o vplivu klorida na tkiva bi morali izvesti tudi meritve kloridov v iglicah. Večje število meritev bi tudi prispevalo k bolj zanesljivi oceni. Kljub temu smo ugotovili, da je na vseh rastlinskih tkivih razmerje med klorom in natrijem porušeno, oziroma, da se na rastlinah odlaga bistveno več klora, kot pa natrija. Razlog za to je mogoče velika mobilnost kloridnih ionov v talni raztopini, medtem, ko se natrij prej veže v tleh in postane nedostopen, oziroma se ne nanaša na iglice v takšni meri, kot klor. Možna je tudi razlaga, da se natrij močneje absorbira v iglice in ga zato nismo izmerili v povečanih koncentracijah v ekstraktu po spiranju iglic. Na iglicah nismo ugotovili značilnih poškodb tkiva zaradi soli, kar pomeni, da do neposrednih vidnih poškodb pride pri večjih koncentracijah soli in nenehni izpostavljenosti soli (npr. aerosol na avtocestah ali prometnicah z večjimi hitrostmi).

Vpliv soljenja se z oddaljenostjo od prometnice močno zmanjšuje. Vpliv prometa na razsip soli je v našem primeru verjetno majhen, saj so hitrosti v mestu manjše, zato rezultati ne kažejo v vseh primerih močnega vpliva soljenja na spremembe kemijskih parametrov tal.

Oddaljenost dreves od virov soljenja igra odločilno vlogo pri njihovi obremenjenosti s soljo. Naše ugotovitve ob Dunajski cesti kažejo, da so najbolj prizadeta drevesa tik ob cesti. V 1,5-metrskem pasu okrog virov soljenja (npr. ceste, pločniki) vegetacija prejme povečane koncentracije soli, dlje stran pa ne prejme več omembe vrednih vnosov klora in natrija s cestišča. Glede na omejitve hitrosti na vzorčenem odseku na 60 km/h in dejanske hitrosti, ki jih sicer nismo izmerili, znašajo pa verjetno nekoliko več, lahko zaključimo, da je v mestnih središčih, kjer hitrosti prometa dosega okrog 50 km/h, vpliv prometa na povečanje vnosa soli v tla z aerosolom omembe vreden le v pasu do največ 1-2 m od roba cestišča. Bistveno večji problem predstavlja uporaba soli na pločnikih in ostalih tlakovanih površinah v mestu. Rezultati so skladni z meritvami koncentracij kloridov ob nemških avtocestah (cit. po Hevka, 2010), kjer prav tako niso več uspeli določiti prisotnosti

klorovih ionov na razdalji 5 m od roba cestišča, koncentracija NaCl pa tako kot v našem primeru tudi pri tujih meritvah eksponentno pada z oddaljenostjo od roba.

3. Potreben je dolgoročen monitoring z dovolj gosto vzorčno mrežo za zanesljivo spremljanje učinkov soljenja na tla in vegetacijo.

Ocenjujemo, da je na področju varovanja in gospodarjenja z mestno drevnino v zadnjih letih narejen določen napredek. Kljub temu pa je sedanji koncept rabe soli za zimsko službo je pomanjkljiv in premalo upošteva okoljske posledice pretirane uporabe, premalo določen pa je tudi način ravnanja z drevjem, izpostavljenim negativnim vplivom soljenja in izbor primernih vrst. Pravilnik o načrtovanju, sajenju in negi lesnih rastlin na javnih površinah v mestni občini Maribor (Pravilnik o načrtovanju, sajenju in negi lesnih rastlin ..., 2009) na primer določa, da naj vsebnost soli v tleh, kjer naj bi drevo uspevalo, ne bi presegala 150 mg/100 g mešanice vegetacijskega sloja. Takšno navajanje sicer ni dovolj razumljivo, saj pravilnik ne opredeljuje, kaj pomeni mešanica vegetacijskega sloja. Z našimi meritvami tal sicer nismo nikjer in na nobeni globini tal ugotovili večje koncentracije, na vseh vzorčnih mestih so koncentracije soli v tleh vsaj desetkrat manjše. Za zanesljivejše spremljanje vplivov soljenja na mestno drevnino bi potrebovali večletni monitoring, ki bi pokazal najbolj obremenjena območja in na podlagi katerega bi lahko določili območja, kjer je onesnaženost s soljo največja in je zato potrebno prilagojeno gospodariti z drevnino.

4. Za blaženje negativnih učinkov soljenja na okolje je potrebno poleg zmanjševanja soljenja izvajati še druge dodatne ukrepe.

Kljub temu, da je drevo izpostavljeno visokim koncentracijam soli, pa je neposreden učinek odvisen še od drugih dejavnikov, kot so:

- temperatura,
- svetloba,
- vlažnost,
- razpoložljiva količina vode v tleh,
- tekstura tal in drenaža,
- padavine.

Ko se odločamo o načinu in obsegu zimskega soljenja, bi poleg analize direktnih stroškov in koristi morali izdelati tudi analizo vplivov na vegetacijo. Ta bi lahko vključevala presojo variantnih rešitev različnih sredstev za soljenje, določitev območij, kjer se klasično soljenje s soljo nadomesti z drugimi sredstvi ali omeji soljenje. Uporaba kalcijevega klorida je okolju prijaznejša, saj ni ugotovljenih vplivov povečanih koncentracij kalcija v tleh ali na listih (iglicah) na vsebnost v rastlinskih tkivih dreves (Hautala in sod., 1992).

Zaradi splošno razširjene uporabe sorazmeroma cenene kuhinjske soli, kjer ni pričakovati znatnih sprememb v konceptu zimske službe, pa je potrebno več pozornosti nameniti drugim ukrepom, med katere lahko štejemo (Clatterbuck, 2000; Pedersen in sod., 2000):

- Zasaditev na soljenje odpornih drevesnih vrst (Preglednica 11). Izbor drevesne vrste je prepuščen načrtovalcu, ki mora pretehtati, ali je izbrana lesna trajnica prilagojena in primerna za predvideno rastišče;

Preglednica 11: Odpornost drevesnih vrst na sol (Oven, 2000; Dirr 1976; Johnson in Sucoff 1999; Lumis in sod. 1973)

Odporne vrste	Občutljive vrste
<i>Acer platanooides</i>	<i>Tsuga canadensis</i>
<i>Quercus</i> sp.	<i>Tilia</i> spp.
<i>Fraxinus</i> sp.	<i>Picea</i> spp.
<i>Ginko biloba</i>	<i>Magnolia grandiflora</i>
<i>Juglans nigra</i>	<i>Fagus grandifolia</i>
<i>Populus</i> sp.	<i>Crataegus</i> spp.
<i>Prunus</i> sp.	<i>Liriodendron tulipifera</i>
<i>Robinia pseudoacaccia</i>	<i>Aesculus hippocasteneum</i>
<i>Taxus baccata</i>	<i>Carpinus betulus</i>
<i>Ulmus</i> sp.	<i>Pinus sylvestris</i>

- Strojno spiranje močno kontaminiranih površin in krošenj najbolj obremenjenih dreves s vodnim pršem pred začetkom vegetacije;
- Začasne omejitve hitrosti zaradi zmanjševanja daljinskega prša soli na najbolj izpostavljenih odsekih cest;
- Spiranje kontaminiranih tal; izkušnje iz tujine (Clatterbuck, 2000) kažejo, da je relativno enostavno sprati soli iz dosega korenin pri nedrevesni vegetaciji, postopek je glede na učinek izboljšanja manj primeren pri drevju. Zelo poškodovane površine potrebujejo dobo pet do deset let, da se vrnejo v prvotno stanje. S soljo poškodovane površin izboljšamo z dodatnim namakanjem, ki spira tla in odstranjuje sol iz območja korenin.
- Na površinah s povečano koncentracijo natrija uporaba sadre (kalcijevega sulfata) ali amonijevega nitrata ali kalija ali magnezijevega sulfata, oziroma z gnojenjem, ki izboljšuje ravnovesje hranil. Možno je dodajati tudi kalcijev diklord (CaCl_2), ki je tudi škodljiv, vendar je koristen s stališča, da zadržuje kalcij v tleh in s tem pomaga zmanjševati poslabšanje kemičnih in fizikalnih lastnosti tal. Dodatek kalcija izboljša strukturo tal, prezračenost in odtok. V najslabšem primeru moramo posamezna dragocena drevesa presaditi, če le ta niso prevelika.
- Določitev območij in stopenj primernosti za saditev dreves. Zaradi neizogibnega soljenja in neugodnih položajev (piš) je saditev dreves na določenih območjih neprimerna.
- Intenzivnejša nega prizadetih in poškodovanih dreves (preprečevanje vodnega stresa z obilnejšim zalivanjem, uporabo zastirke in primerna nega že prizadetih dreves)
- Uporaba slamnatih preprečevalnih tulcev (manj učinkovita metoda) in drugih fizičnih pregrad, ki zagotavljajo, da sol ne pride v stik z zemljo. Metode so primerne predvsem na cestiščih z relativno majhnimi hitrostmi.

7 POVZETEK

Analizirali smo prizadetost črnega bora (*Pinus nigra* Arn.) zaradi soli, spremembe kemijskih parametrov tal in vsebnost NaCl v vodni raztopini, nastali iz odvzetega snega na štirih vzorčnih lokacijah v Ljubljani.

Analize tal so pokazale, da soljenje vpliva na spremembe nekaterih lastnosti tal. Rezultati naše analize kažejo, da so spremembe talnih parametrov posebej izrazite na lokacijah, kjer se izvaja močno soljenje. Ugotovili smo, da soljenje povečuje bazičnost tal, predvsem v zgornji plasti tal. Učinek soljenja na pH tal je manj izrazit v nižjih plasteh. Tudi pri koncentracijah nekaterih ionov v tleh smo ugotovili spremembe. Količina natrija v tleh je v vrhnji plasti tal po soljenju povsod večja, kot pred soljenjem. Količina klorida v tleh se je po soljenju povečala na večini lokacij. Tudi tu smo največje povečanje kloridnih ionov izmerili ob Prešernovi cesti, kjer je koncentracija v površinski 5 cm plasti tal narasla za več kot dvanajstkrat, v globljih plasteh pa celo do devetnajstkrat. Meritve težkih kovin v tleh so pokazale, da se je njihova količina v tleh v sestoju, ki ni bil neposredno izpostavljen soljenju v obdobju našega proučevanja le malo spremenila. Nasprotno pa smo ugotovili, da se je na lokacijah, ki so bile izpostavljene soljenju, količina vezanih težkih kovin v tleh močno zmanjšala po končanem zimskem obdobju. Rezultati kljub skromnemu številu vzorcev potrjujejo raziskave drugih, da soljenje povečuje mobilnost težkih kovin v tleh.

Analize površinskih nalaganj NaCl na iglicah črnega bora pred soljenjem in po soljenju ter primerjava z nesoljenim sestojem kažejo, da se natrij in deloma tudi klorid odlagata na rastlinskih tkivih. Na podlagi naših meritev ne moremo s statistično zanesljivostjo trditi, da soljenje povečuje koncentracije kloridov na iglicah.

Vpliv soljenja se z oddaljenostjo od prometnice močno zmanjšuje. Oddaljenost dreves od virov soljenja igra odločilno vlogo pri njihovi obremenjenosti s soljo. Naše ugotovitve ob Dunajski cesti kažejo, da so najbolj prizadeta drevesa tik ob cesti. V 1,5-metrskem pasu okrog virov soljenja (npr. ceste, pločniki) vegetacija prejme povečane koncentracije soli, dlje stran pa ne prejme več omembe vrednih vnosov klora in natrija s cestišča.

Več pozornosti je treba nameniti drugim ukrepom, kamor spada izbor odpornejših drevesnih vrst, strojno spiranje močno kontaminiranih površin in krošenj najbolj obremenjenih dreves s vodnim pršem pred začetkom vegetacije, začasne omejitve hitrosti zaradi zmanjševanja daljinskega prša soli na najbolj izpostavljenih odsekih cest, spiranje kontaminiranih tal, določitev območij in stopenj primernosti za saditev dreves, intenzivnejša nega prizadetih in poškodovanih dreves (preprečevanje vodnega stresa z obilnejšim zalivanjem, uporabo zastirke in ustrezna nega že prizadetih dreves) ter drugi ukrepi.

8 VIRI

Ball J. 2008. Effects of Chlorides on Vegetation. South Dakota Department of Transportation. Project SD2006-01 Synopsis.
http://www.state.sd.us/Applications/HR19ResearchProjects/oneproject_search.asp?projectnbr=SD2006-01

Cekstere G., Nikodemus N., Osvalde A. 2008. Toxic impact of the de-icing material to street greenery in Riga, Latvia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 7: 207–217.

Clatterbuck W. K. 2000. Tree Susceptibility to Salt Damage. Agricultural Extension Service, The University of Tennessee, USA: 4 str.

Cunningham M. A., Snyder E., Yonkin D., Ross M., Elsen T. 2008. Accumulation of deicing salts in soils in an urban environment. *Urban Ecosyst*, 11:17–31.

Czerniawska-Kusza I., Kusza G., Duzynski M. 2004. Effect of deicing salts on urban soils and health status of roadside trees in the Opole region. *Environmental Toxicology*, 19, 4: 296-301.

Organiziranost in pripravljenost zimske službe na avtocestah: sporočilo za javnost. 2006. Ljubljana, Družba za avtoceste Slovenije: 14 str.

Dirr M. A. 1976. Selection of trees for tolerance to salt injury. *Journal of Arboriculture* 2: 209-216.

Dornik V. 2007. Analiza poškodb in sanacije poškodovanih dreves v zdraviliškem parku Rimske Toplice : diplomsko delo – univerzitetni študij. Ljubljana, samozaložba: 134 str.

Eckstein D. 2000. Dendroekologischer Wirkungsnachweis von Auftausalz und Bodensanierung an Strassenbaeumen. *Jahrbuch der Baumpflege*: 134-141.

Environment Canada. 2000. Priority Substances Assessment Report: Road Salts.
<http://www.ec.gc.ca/substances/ese/eng/psap/final/roadsalts.cfm>. (1.12. 2010)

Fischel M. 2001. Evaluation of Selected Deicers Based on a Review of the literature. Colorado department of transportation research branch. Report No. CDOT-DTD-R-2001-15, Final Report, Denver: 273 str.

Flückiger W., Braun S. 1981. Perspectives of reducing the deleterious effect of de-icing salt upon vegetation. *Plant and Soil* 63, 527-529.

Hautala E. L., Wulff A., Oksanen J. 1992. Effects of deicing salt on visible symptoms, element concentrations and membrane damage in 1st-year needles of roadside scots pine (*Pinus-sylvestris*). *Annales Botanici Fennici*, 29, 3: 179-185.

Hevka P. 2010. Posipanje cest v zimski službi: priročnik zimska služba, osnutek: 211 str. (neobjavljeno)

Hinterlechner-Ravnik A. 1998. Sol : naša vsakodnevna začimba. Proteus 60, 9/10: 416-437.

Jazbec J. 2007. Urbano drevje na javnih površinah mesta Sežana : diplomsko delo - univerzitetni študij. Ljubljana, samozaložba, 55 str.

Johnson G. R., Sucoff E. 1999. Minimizing deicing salt injury to trees. University of Minnesota Extension Pub. FO-01413-GO, St. Paul: 6 str.

Kaushall S., Groffman P., Likens G., Belt K., Stack W., Kelly V., Band L., Fisher G. 2005. Increased salinization of freshwater in the northeastern United States. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102, 38: 13517–13520.

Konijnendijk C. C., Kjell N., Randrup T., Schipperijn J. 2005. Urban forests and trees. Springer: 520 str.

Levanič T., Oven P. 2002. Prirastne in anatomske značilnosti rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.), izpostavljenega solem za posipanje cestišč. Zbornik gozdarstva in lesarstva 69, 237- 258.

Lumis G. P., Hofstra G., Hall R. 1973. Sensitivity of roadside trees and shrubs to aerial drift of deicing salt. HortScience 8, 475-477.

Mills G. E., Barker A. V. 2005. Sodium Accumulation in Soils and Plants along Massachusetts Roadsides. Report of Project No. 756, paper no. 3294, U.S. Department of Agriculture, Massachusetts Experiment Station.

Okolje v Sloveniji: poročilo o stanju okolja 1996, pripravljeno na podlagi 75. in 76. člena Zakona o varstvu okolja. 1998. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za varstvo okolja.

Oven P. 2000. Poškodbe mestnega drevja zaradi soli. Proteus, 63, 4, 177-179.

Pedersen L. B., Randrup T. B., Ingerslev B. 2000. Effects of road distance and protective measures on deicing salt. Journal of Arboriculture, 26, 5: 238–245.

Petersen A. 1986. Anatomische und physiologische Untersuchungen an Stadtbäumen Hamburg (Holzbildung-Wasserhaushalt-Biomasse): Dissertation. Hamburg, University of Hamburg, Institut für Holzbiologie: 229 str.

Pravilnik o načrtovanju, sajenju in negi lesnih rastlin na javnih površinah v mestni občini Maribor. 2009. Številka: 35601-1/2009, izdan 8. 1. 2009. Maribor, Mestna občina Maribor: 28 str.

Rednak J. 2007. Urbano drevje in grmovje na javnih površinah Nove Gorice : diplomsko delo - univerzitetni študij. Ljubljana, samozaložba: 55 str.

Repe A. 2006. Urbana drevnina in skrb zanjo v Lescah : diplomsko delo - univerzitetni študij. Ljubljana, samozaložba: 63 str.

Sæbø A., Benedikz T., Randrup T. B. 2003. Selection of trees for urban forestry in the Nordic countries. Urban For. Urban Green, 2: 101–114.

Shi X., Fay L., Gallaway C., Volkening K., Peterson M. M., Pan T., Creighton A., Lawlor C., Mumma S., Liu Y., Nguyen T. A. 2009. Evaluation of alternative anti-icing and deicing compounds using sodium chloride and magnesium chloride as baseline deicers - phase i. Report No. CDOT-2009-1, Final Report. Colorado department of transportation Dtd applied research and innovation branch.

Sporočilo ministrstva za promet o organiziranosti in pripravljenosti zimske službe. 2008. Ljubljana, Ministrstvo za promet, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 15 str.

Viskari E. L., Karenlampi L. 2000. Scots pine as an indicator of deicing salt use—a comparative study form two consecutive winters. Water, air and soil pollution, 122: 405–409.

Vrenjak D. 2005. Urbano drevje in grmovnice na javnih površinah občine Vrhnika: diplomsko delo - univerzitetni študij. Ljubljana, samozaložba: 158 str.