

GDK 56:463

Prispelo / Received: 07.12.2002
Sprejeto / Accepted: 20.12.2002

Izvorni znanstveni članek
Original scientific paper

PRIRASTNE IN ANATOMSKE ZNAČILNOSTI RDEČEGA BORA (*PINUS SYLVESTRIS* L.), IZPOSTAVLJENEGA SOLEM ZA POSIPANJE CESTIŠČ

Tom LEVANIČ*, Primož OVEN**

Izveček

Na petnajstih s solmi prizadetih in na petih primerljivih referenčnih rdečih borih (*Pinus sylvestris* L.) so bile preučene razlike v debelinski ter višinski rasti, vsebnosti kloridov v iglicah, dolžini iglic in anatomskih značilnostih ranega, "prehodnega" ter kasnega lesa. Drevesa, prizadeta s solmi slabše rastejo tako v debelino kakor v višino; proizvodna sposobnost rastišča je pri prizadetih drevesih zelo slabo izkoriščena. Prizadeta drevesa imajo znatno krajše iglice in do 20-krat višjo vsebnost kloridov v njih. Na mikroskopski ravni so bile med prizadetimi in referenčnimi rdečimi bori ugotovljene razlike v povprečni površini lumna in v obliki osnih traheid. Najmanjše razlike med prizadetimi in referenčnimi drevesi so v kasnem lesu. Raziskava je pokazala, da sta morfologija iglic in vsebnost kloridov v njih primerni za ugotavljanje obremenjenosti iglavcev s posipnimi solmi, kot so histometrične analize lesa.

Ključne besede: prirastoslovje, sol za posipanje, vpliv na drevo, rast drevesa, kambijevega
cona, rdeči bor, *Pinus sylvestris* L., anatomija lesa, analiza slike

GROWTH AND ANATOMICAL CHARACTERISTICS OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) EXPOSED TO DE-ICING SALT SPRAY

Abstract

On fifteen Scots pines (*Pinus sylvestris* L.) affected by spraying salt and on five comparable Scots pines on a reference site, differences in diameter and height growth as well as the content of chlorine ions in the needles and their length have been studied. Additionally, basic anatomical features of radial cross-sections of the axial tracheids in early-, "transitional" and latewood have been studied (lumen area, lumen perimeter and lumen shape). Results show that trees which grow under the salt stress conditions, in comparison with reference trees on a reference site, grow more slowly in height and diameter, have shorter needles and a considerably higher content of chlorine ion in needles (up to 20x). On a microscopic level, statistically significant differences have been found between affected and healthy pine trees. The average lumen area and the shape of the axial tracheids were significantly different in early- and "transitional" wood. No differences have been found in latewood. The research showed that needle morphology and chemical analysis of chlorine ion content in needles gave good results and seems to be less time consuming than histometrical analysis in studying the effects of spraying salt on conifers.

Key words: yield studies, de-icing salt spray, effect on trees, tree growth, cambium
zone, *Pinus sylvestris* L., wood anatomy, image analysis

VSEBINA
CONTENS

1	UVOD	
	INTRODUCTION	239
2	MATERIAL IN METODE	
	MATERIAL AND METHODS	241
3	REZULTATI	
	RESULTS	245
4	RAZPRAVA	
	DISCUSSION	253
5	SUMMARY	255
6	VIRI	
	REFERENCES.....	256

1 UVOD INTRODUCTION

Soli za posipanje cestišč neugodno vplivajo na rast in preživetvene možnosti dreves v mestih in ob cestah. V primerjavi z drugimi evropskimi državami (BLUM 1974; ECKSTEIN / FRISSE / LIESE 1974; PETERSEN 1986; BERNATZKY 1994; KOZLOWSKI / PALLARDY 1997; ECKSTEIN 2000; SIEGHART 2000) sta bila obremenjenost okolja s solmi in njihov učinek na rast dreves v Sloveniji doslej relativno skromno raziskana (OVEN 2000, OVEN / LEVANIČ / ZUPANČIČ 2000, OVEN / LEVANIČ 2001). Zdi se, da je škodljivost tega tipa onesnaženja tal pri nas prav zato še vedno podcenjena.

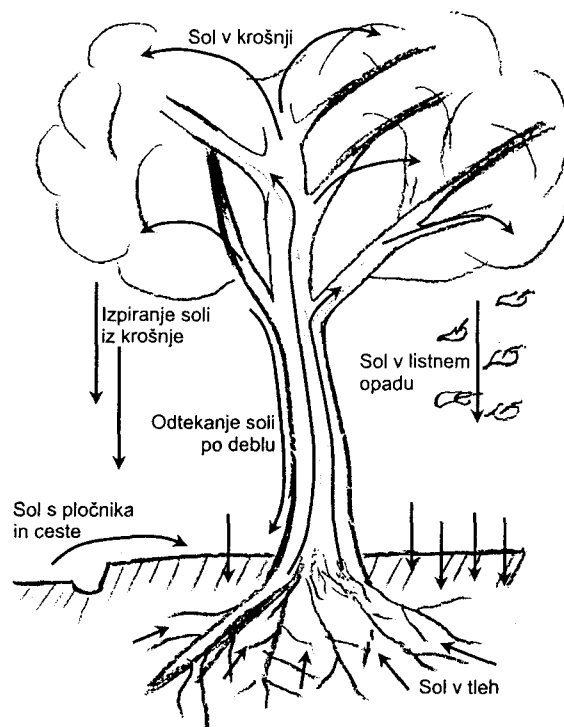
V večini primerov so posipne soli sestavljene iz 90 – 95 % NaCl (natrijev klorid) in 5 – 10 % CaCl₂ (kalcijev klorid). Obremenitev okolja z natrijevimi in kalcijevimi posipnimi solmi je zato najpogostejša v urbanem okolju ter ob prometnicah, medtem ko se poškodbe zaradi umetnih gnojil (mešanice kalijevih, dušikovih in fosforjevih soli) pojavljajo ob intenzivno gnojenih njivah ter ob smučiščih (umetna gnojila kot utrjevalci snega) (BERNATZKY 1994).

Sol vstopi v drevo prek koreninskega sistema; del se je lahko odloži v ksilemu ali floemu, del pa doseže krošnjo in liste (BERNATZKY 1994). V sistemu tla-drevo sol nenehno kroži, saj se z odmrlim in odpadlim listjem ter s spiranjem slane raztopine z debla in listov ponovno vrača v tla, od tam pa zopet v drevo (slika 1). Kopičenje soli v tleh je škodljivo zaradi dveh razlogov: (a) spremeni strukturo tal; (b) škodljivo vpliva na fiziološke procese v drevesu (BERNATZKY 1994). Znano je, da kloridni ion povzroča dehidracijo protoplastov, zaradi česar celice odmrejo (TAIZ / ZEIGER 1998). Pri listavcih so simptomi v krošnji najprej vidni kot kloroza, nato sledi odmiranje robov listov (nekroza); listi so praviloma manjši kot pri neprizadetih drevesih. Sledi usihanje vršne rasti poganjkov, nato odmiranje poganjkov in posameznih vej ter slednjič tudi večjih delov krošnje (OVEN 2000). Zaradi zastrupitve s solmi lahko drevo odmre. Znano je tudi, da visoke koncentracije Na⁺ in Cl⁻ ionov v celici zmanjšajo fotosintetsko učinkovitost listov (BERNATZKY 1994). Pri prizadetem drevju je mogoče zabeležiti visoko koncentracijo soli (zlasti kloridnega iona) tudi v ksilemskem in floemskem soku; kakšen je neposredni učinek slanega okolja na kambijevo aktivnost, še ni raziskano

(OVEN 2000). Zgradba lesa listavcev se pri prizadetem drevju bistveno razlikuje od zgradbe normalnega lesa. Branike postajajo vse ožje; traheje so številnejše, vendar imajo manjše prečne dimenzije; v primerjavi z normalnim lesom se zmanjšuje tudi skupna površina trahejnih elementov (OVEN / LEVANIČ 2001).

Posledica dalj časa trajajočega vpliva soli na drevo je propad drevesa.

Po podatkih iz literature (PETERSEN 1986; ECKSTEIN 2000) lahko pride do izboljšanja le, če takoj prenehamo s soljenjem okolice drevesa in z ustreznimi sanacijskimi ukrepi nevtraliziramo učinek soli. V primeru, da drevo ni prehudo prizadeto, pride do izboljšanja šele po osmih do dvanajstih letih. V tem času uspe drevesu odstraniti vso sol iz debla, hkrati pa se večina soli izpere v globlje plasti zemlje in v podtalnico, s čimer postane nedosegljiva za korenine (PETERSEN 1986; ECKSTEIN 2000).



Slika 1: Mesta vstopa soli v drevo (slika prirejena po BERNATZKY 1994)

Figure 1: Possible entry points for salt solution (figure modified after BERNATZKY 1994)

Zunanji znaki škodljivega delovanja soli na iglavce so podobni kot pri listavcih. Pomembna razlika je v tem, da iglavci iglic pozimi ne odvržejo, zato so neposredno podvržene vplivu slanega pršca. Slan pršec v obliki tanke plasti soli prekrije iglice, zaradi česar pride že v zimskem času do porušitve osmotskega tlaka v celicah iglic in do njihove izsušitve. Tako ima drevo na samem začetku rastne sezone močno prizadet fotosintezni aparat.

Najbolj tipični vizualni znaki neugodnega delovanja soli na iglavce so rjave in slabo razvite iglice samo enega letnika, skromni višinski ter debelinski prirastki, sušenje posameznih vej ali delov krošnje in v skrajni fazi smrt drevesa (BLUM 1974).

1.1 CILJI RAZISKAVE RESEARCH OBJECTIVES

V raziskavi smo želeli preučiti vpliv slanega pršca na rast rdečih borov (*Pinus sylvestris* L.) ob avtocesti Ljubljana-Kranj, zato smo si zadali naslednje cilje:

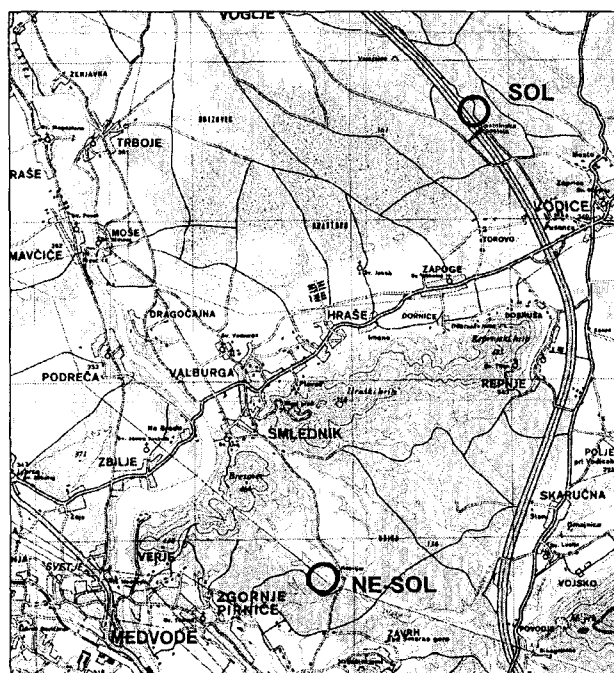
- ugotoviti vpliv soli na višinski in debelinski prirastek dreves;
- ugotoviti vpliv soli na razvitost iglic in vsebnost kloridov v njih;
- raziskati morebiten učinek soli na zgradbo lesa.

2 MATERIAL IN METODE MATERIAL AND METHODS

2.1 MATERIAL MATERIAL

Študijo o vplivu soli na rast dreves in na anatomijo branike je mogoče izvesti na dva načina. Prvi način je poskus v kontroliranih pogojih na gredicah, kjer z znanimi količinami mešanice natrijeve in kalcijeve soli zalivamo mlade rastline ter spremljamo učinek soli. Za ugotavljanje obremenjenosti naravnega okolja z onesnažili (tudi solmi) je potrebno skrbno izbrati primerljiva rastišča prizadetega in neprizadetega referenčnega drevja s podobnim socialnim položajem. V takšnih primerih količina delujočih onesnažil

praviloma ni poznana. Raziskavo smo izvedli na dveh raziskovalnih ploskvah ob avtocesti Ljubljana-Kranj. Prvo ploskev smo izbrali v bližini cestninske postaje Torovo, približno 10 m od roba cestišča. Na tej ploskvi smo izbrali 15 rdečih borov z neobičajno kratkimi in delno nekroznimi iglicami, kar je verjetno posledica izpostavljenosti solem. Druga ploskev je bila postavljena na nekoliko starejši poseki s premerom 200 m v bližini Valburge, približno 1 km stran od prve ploskve. Tam smo izbrali 5 referenčnih rdečih borov brez vidnih simptomov poškodovanosti zaradi delovanja onesnažil (slika 2).



Slika 2: Lokacije raziskovalnih objektov (kartna podlaga: Atlas Slovenije, Geodetski zavod Slovenije)

Figure 2: Locations of the research plots (map source: Atlas Slovenije, Geodetski zavod Slovenije)

Obe ploskvi sta si bili s pedološkega in fitocenološkega vidika podobni – enak tip tal in enaka združba (*Vaccinio myrtilli - Pinetum sylvestris*). Izbrana drevesa niso bila zastrta in omejena v ravnem prostoru. Vzorčenje smo opravili spomladi 2000, tik pred začetkom vegetacijske sezone.

2.2 METODE DELA

METHODS

Prirastoslovna analiza

Pri vsakem rdečem boru smo izmerili premer (s PI-metrom), višino drevesa (z metrom), višine letnih višinskih prirastkov (višinski letni prirastek je bil definiran kot razdalja med dvema vejnimi vreteni) in dolžino po ene naključno izbrane veje na vreteno. Prešteli smo še število vejnih vreten, število letnih prirastkov veje in ugotovili starost iglic. Na panju, polovici višine debla in tik pod vrhom drevesa smo odvzeli po en kolut, ki je služil analizi dinamike debelinske rasti ter ugotovitvi starosti analiziranih dreves. Kolut na polovici višine debla smo uporabili tudi za anatomske analize. Podatke o prirastoslovnih kazalcih rdečih borov smo vnesli v preglednico *EXCEL* in obdelali s statističnim paketom *STATISTICA*.

Analiza iglic

Iz vsakega vretena smo odvzeli po eno vejo in z nje naključno izbrali po deset iglic za analizo njihove dolžine. Pri delu smo uporabljali kirurške rokavice, da ne bi vzorcev iglic kontaminirali s solmi, ki so v človeškem znoju. Za analizo slike smo iglice razporedili po skenerju in prenesli v računalnik (LEVANIČ 1999). Dolžino iglic smo ugotavljali v programu za analizo slike *ImageTOOL*¹. S programom smo sliko zajeli, izvedli avtomatsko prepoznavanje iglic in dobili podatke o dolžini posameznih iglic, njihovi aritmetični sredini ter standardnem odklonu. Podatke smo za nadaljnje obdelave prenesli v statistični paket *STATISTICA*. Skupaj smo izmerili preko 1.320 iglic.

Za analizo kloridov v iglicah smo s spodnje in iz zgornje polovice vsakega drevesa odvzeli po najmanj 20 iglic; le-te smo združili, tako da smo dobili štiri skupne vzorce – za zgornji (mlajši) in spodnji (starejši) del krošnje za prizadeta ter za referenčna drevesa. Za analizo kloridov smo iglice 24 ur sušili pri 105 °C in jih zmleli v krogelnem mlinu. Za analizo smo potrebovali 10 g suhih, zmletih iglic. Vsebnost fitotoksičnega klorida smo določili s pomočjo rentgenske fluorescentne spektroskopije (KUMP 1994).

¹ Program je prosto dostopen na Internetu. V prispevkih je potrebno program samo pravilno citirati. Avtorji programa so raziskovalci Health Science Centre of Texas University. Program je prosto dostopen na naslovu <ftp://maxrad6.uthscsa.edu>

Rentgenska fluorescentna spektroskopija je namenjena detekciji anorganskih ionov v različnih snoveh. Metoda je hitra, odlikuje jo preprosta priprava vzorca za analizo; njena omejitev je, da ne zazna atomov, ki imajo nižjo atomsko maso kot aluminij.

Analize so opravili na Inštitutu Jožef Stefan, Laboratorij za radiološke merilne sisteme in meritve radioaktivnosti, Skupina za spektrometrijo gama.

Mikroskopska analiza branik

Analizirali smo branike petih prizadetih in petih neprizadetih rdečih borov. Kolut za analizo zgradbe branik smo odvzeli na polovici višine drevesa. Preiskovan les je bil juvenilen les iz krošnje, v katerem se pogosto pojavlja tudi kompresijski les. Temu smo se pri odvzemu anatomskih vzorcev želeli izogniti, hkrati pa zagotoviti primerljivost med drevesi. Zato smo vedno preiskovali zgradbo branike, ki je nastala v letu 1998. Zgradbo lesa smo analizirali na treh lokacijah v braniki: v območju ranega in kasnega lesa ter na sredini prirastne plasti. Za opis lesa na sredini branike v nadaljevanju uporabljamo izraz "prehodni les". S pomočjo analize slike smo v prečnem prerezu merili površino, obseg in ovalnost lumna osnih traheid (glej tudi preglednica 2). V programu *OLYMPUS AnalySIS* je ovalnost računana kot kvocient med površino in obsegom. Vrednosti za ovalnost se gibljejo med 0 in 1 (0: popolnoma sploščen objekt; 1: idealen krog).

Anatomske preparate smo pripravili v Katedri za tehnologijo lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete. Slike preiskovanih branik rdečega bora smo zajeli preko mikroskopa *NIKON Eclipse E-800*, povezanega z osebним računalnikom.

Analiza branike rdečega bora je potekala v programu za analizo slike *AnalySIS*. Sliko branike je bilo potrebno predhodno sestaviti iz več delnih slik. To smo storili v programu *MS PhotoDraw 2.0*, ki s pomočjo funkcije »prozorna slika« omogoča natančno ročno lepljenje slik. Postopek obdelave slik v programu *AnalySIS* je bil sestavljen iz naslednjih korakov: klasifikacije digitalne slike, izbire območja analize, prepoznavanja objektov in izračuna osnovnih parametrov objektov (površina, obseg, oblika). Rezultate analize slike smo shranili v *EXCEL* preglednico; v tem programu smo izvedli osnovno obdelavo podatkov, ki smo jih kasneje statistično obdelali v programskem paketu *STATISTICA*.

3 REZULTATI RESULTS

3.1 PRIRASTOSLOVNA ANALIZA GROWTH AND INCREMENT

Preglednica 1: Osnovni statistični parametri analiziranih rdečih borov (S = solem izpostavljena drevesa; R = referenčna drevesa)

Table 1: Basic statistical parameters of analysed Scots pines (S=salt affected trees; R=reference trees)

	Aritmetična sredina / Arithmetic average		Minimum / Minimum		Maksimum / Maximum		Standardni odklon / Standard deviation	
	S	R	S	R	S	R	S	R
Višina drevesa (m) / Tree height (m)	3,34	3,54	1,49	2,45	5,60	4,25	±1,21	±0,72
Premer na panju (mm) / Stump diameter (mm)	52,00	52,00	28,00	35,00	91,00	67,00	±17,21	±11,46
Povprečna širina branike (mm) / Avg. tree-ring width (mm)	2,53	2,97	1,14	1,35	4,53	4,64	±0,63	±0,43
Starost na panju (let) / Age on the stump (year)	9,93	9,40	8	9	13	10	±1,38	±0,55
Premer na 1/2 višine (mm) / Diameter at height/2 (mm)	39,21	45,00	19,00	45,00	69,00	45,00	±12,86	±0
Starost na 1/2 polovici višine (let) / Age at height/2 (year)	6,9	4	3	3	9	5	±1,66	±0,71
Premer tik pod vrhom (mm) / Diameter just below the top (mm)	18,23	20,80	10,00	15,00	23,00	24,00	±3,79	±3,56
Starost tik pod vrhom (let) / Age just below the top (year)	3,5	2	2	2	6	2	±1,76	±0
Število internodijev / Number of internodes	9	8	7	6	11	10	±1,18	±1,67
Dolžina iglic (mm) / Length of the needles (mm)	42,01	50,57	20,26	37,25	66,56	72,14	±10,87	±9,03
Dolžina veje (cm) / Length of the branch (cm)	87,81	92,16	20,00	45,00	247,00	140,00	±46,36	±28,72
Število letnikov iglic na veji / Number of whorls	1,03	1,94	1	1	2	3	±0,17	±0,44

Analizirani prizadeti in neprizadeti rdeči bori so bili bolj ali manj enako debeli ter približno enako visoki; vendar se standardni odkloni višine in debeline (kljub skoraj enakim aritmetičnim sredinam) bistveno razlikujejo (preglednica 3). Razlike med bori so tudi v ugotovljeni starosti na panju: referenčna drevesa so v povprečju ($9,4 \pm 0,55$ let) za slabo leto mlajša od prizadetih ($9,9 \pm 1,38$ let). Standardni odklon starosti drugih je

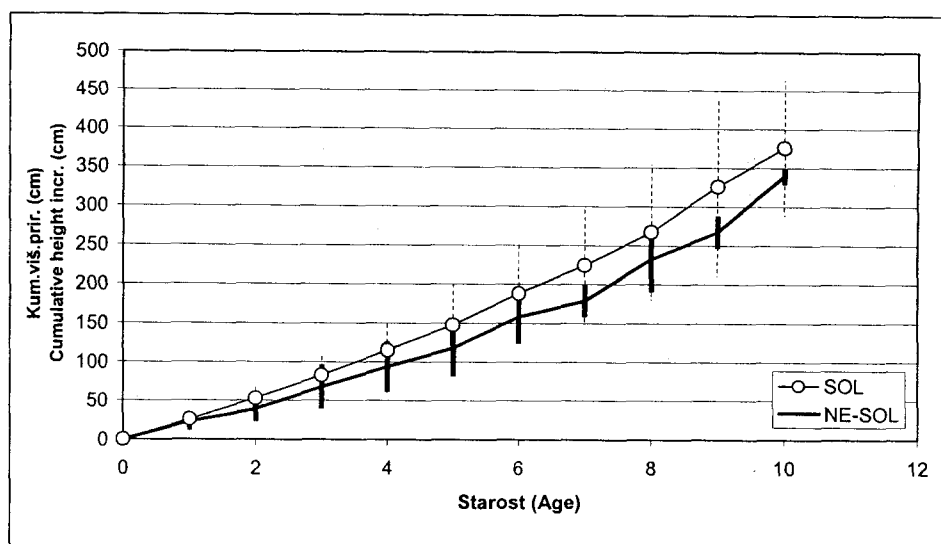
bistveno večji kot prvih, kar pomeni, da je v skupini prizadetih borov variabilnost v starosti veliko večja kot pri neprizadetih. Povprečna širina branike neprizadetih borov ($2,97 \pm 0,43$ mm) je za nekoliko manj kot pol milimetra večja od širine branike prizadetih borov ($2,53 \pm 0,63$ mm); nekoliko manjši standardni odklon imajo referenčna drevesa.

Dolžina veje neprizadetih borov ($92,16 \pm 28,72$ cm) je v povprečju sicer nekoliko večja kot pri prizadetih ($87,81 \pm 46,36$ cm), vendar je standardni odklon dolžine veje pri slednjih dvakrat večji kot pri neprizadetih drevesih.

3.2 VIŠINSKA RAST HEIGHT GROWTH

Višinsko rast smo analizirali tako, da smo izmerili dolžine letnega višinskega prirastka vsakega drevesa posebej in izračunali povprečje ter standardni odklon. Rezultati so pokazali, da rdeči bori na s soljo prizadetem rastišču v prvih letih življenja bolje rastejo kot referenčna drevesa; vendar se v višinski rasti solem izpostavljenih borov kaže izjemno velika variabilnost, ki je bistveno večja kot pri rdečih borih na referenčnem rastišču (slika 3).

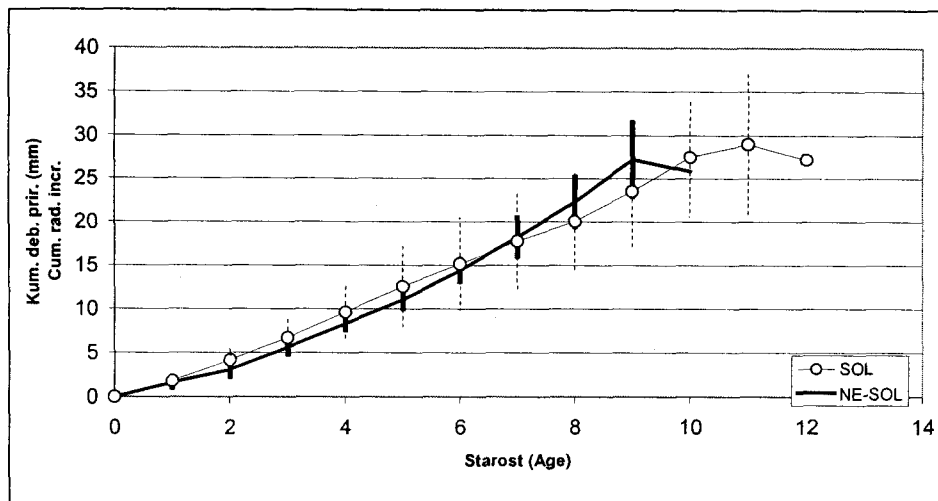
Analiza kumulativne debelinske rasti (slika4) je pokazala, da so rdeči bori na s soljo prizadetem rastišču v začetku nekoliko hitreje priraščali kot referenčni bori. Od približno šestega leta dalje so drevesa na referenčnem rastišču močno pospešila debelinsko priraščanje, medtem ko je začelo le-to borom na prizadetem rastišču počasi upadati. Kljub približno enakemu premeru debla na 30 cm višine so bili rdeči bori v času poseka na prizadetem rastišču v povprečju za dve leti starejši od referenčnih dreves. Pri tako nizki starosti (8 – 13 let) je razlika v kumulativnem debelinskem prirastku znašala že skoraj 14 %.



Slika 3: Kumulativna višinska rast analiziranih rdečih borov na prizadetem in referenčnem rastišču; z debelo vertikalno črto so prikazani standardni odkloni kumulativne višinske rasti za referenčno rastišče, s črtkano pa za solem izpostavljeno rastišče

Figure 3: Cumulative height growth of analysed trees on affected and reference site. Thick vertical line (NE-SOL) represents standard deviations for reference site, while thin hashed line (SOL) represents sites affected with spraying salt.

Pri tem kaže poudariti, da je tudi standardni odklon od povprečne vrednosti za posamezno starost pri prizadetih rdečih borih bistveno višji kot pri referenčnih drevesih; medtem ko standardni odklon v prvi skupini s starostjo celo narašča, se pri referenčnih borih le malo spreminja.

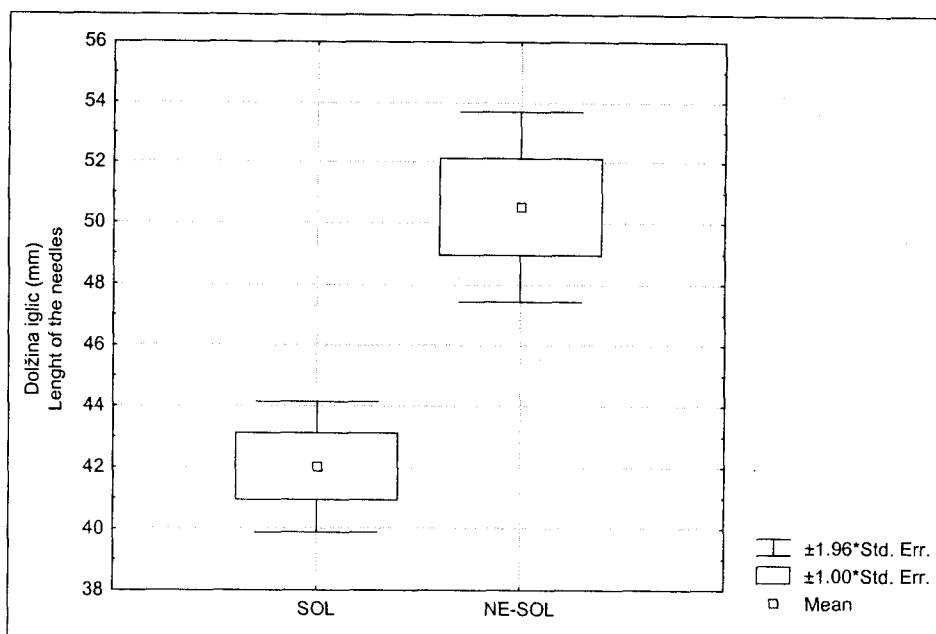


Slika 4: Kumulativna debelinska rast rdečih borov na prizadetem in referenčnem rastišču; debela črta predstavlja priraščanje referenčnih rdečih borov, tanka pa prizadetih; vertikalne črte prikazujejo standardni odklon za posamezno analizirano leto

Figure 4: Cumulative diameter growth of pine on affected and reference site. Thick vertical line (NE-SOL) represents standard deviations for reference site, while thin hashed line (SOL) represents sites affected with spraying salt.

3.3 ANALIZA IGLIC NEEDLE ANALYSIS

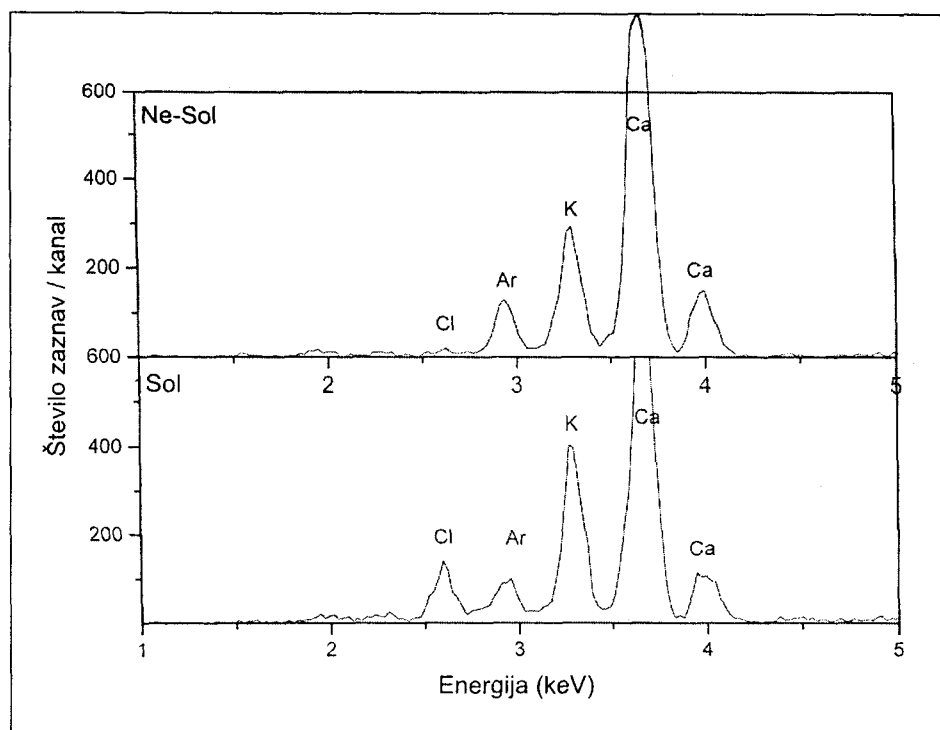
Soli za posipanje cestišč imajo neposreden vpliv na fotosintezni aparat drevesa. S solmi prizadeti rdeči bori imajo v primerjavi z referenčnimi drevesi statistično značilno krajše iglice (42 mm : 51 mm; t-test za neodvisne vzorce: $t = -4,02411^{***}$, $df = 130$, $p = 0,000097$) (slika 5). Variabilnost dolžine iglic prizadetih borov je nekoliko manjša kot pri referenčnih drevesih. Tako majhna variabilnost je dober kazalec neugodnih razmer za razvoj iglic in hkrati dokazuje, da gre za učinek skladnega ter močnega negativnega dejavnika okolja.



Slika 5: Razlike v dolžini iglic solem izpostavljenih in referenčnih rdečih borov

Figure 5: Differences in needle length among salt affected (SOL) and reference sites (NE-SOL)

Analiza vsebnosti kloridov v iglicah je pokazala, da imajo rdeči bori na s solmi obremenjenem rastišču v povprečju 20-krat višjo vsebnost kloridov kot primerjalna drevesa. V iglicah izpostavljenih dreves je višji tudi delež kalijevega iona, ki spada (poleg nekaterih sladkorjev in organskih kislin) med snovi, s katerimi rastlina uravnava osmotski tlak v celicah ter tako blaži negativne učinke vodnega stresa (TAIZ / ZEIGER 1998). Kalijev ion ima pomembno vlogo tudi pri uravnavanju odpiranja in zapiranja listnih rež. Kloridni ion (Cl⁻) pa ima v manjših količinah (poleg nekaterih organskih kislin) pomembno vlogo pri nevtralizaciji K⁺ iona v listnih režah (STRASBURGER *et al.* 1991) (slika 6).



Slika 6: Vsebnost kloridnega iona v iglicah – višja kot je krivulja, višja je vsebnost določenega iona v iglicah

Figure 6: Content of different ions in needles – the higher the curve, the higher the content of ion.

3.4 VPLIV SOLI NA ANATOMSKO ZGRADBO BRANIKE

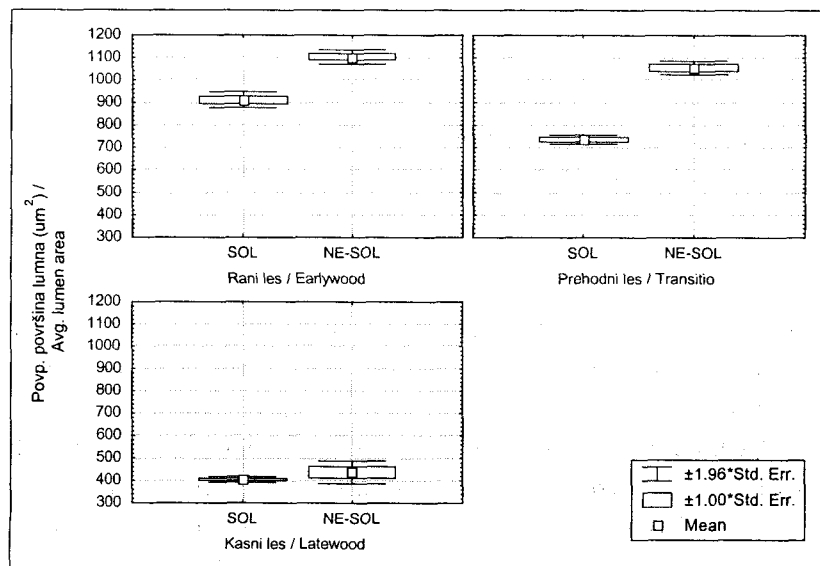
EFFECT OF THE SPRAYING SALT ON THE STRUCTURE OF THE TREE-RING

Analiza lumnov osnih traheid prizadetih in neprizadetih rdečih borov je pokazala, da so med tema dvema skupinama dreves najbolj izrazite razlike v "prehodnem" ter ranem lesu (preglednica 2, sliki 7 in 8).

Preglednica 2: Osnovni statistični kazalci analiziranih lumnov osnih traheid ranega, "prehodnega" in kasnega lesa (S = solem izpostavljena drevesa; R = referenčna drevesa)

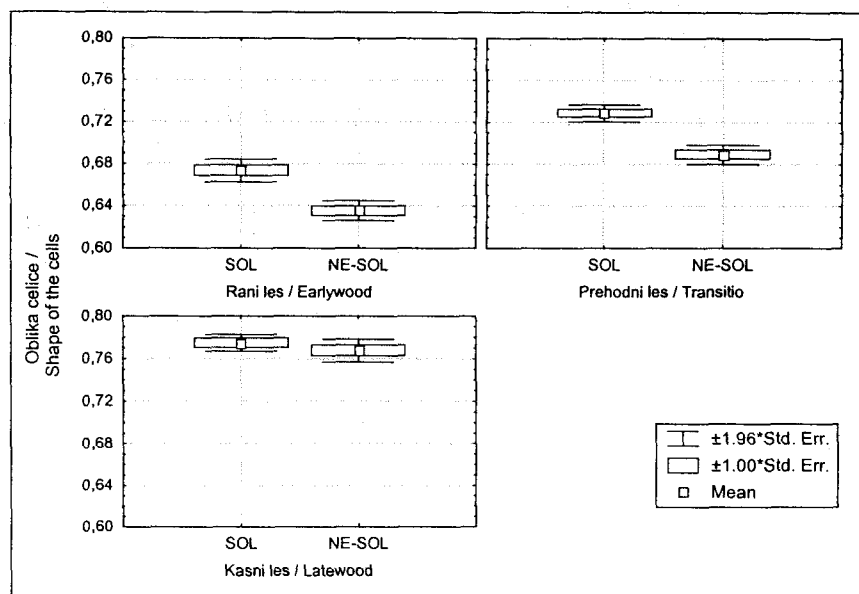
Table 2: Basic statistical parameters of analysed cell lumina of axial tracheids in early, »transitional« and latewood

	Rani les Earlywood		"Prehodni les" "Transitional wood"		Kasni les Latewood	
	S	R	S	R	S	R
Povprečna površina (μm^2) / Average area (μm^2)	912,0	1103,0	736,0	1055,0	405,0	401,0
Povprečen obseg (μm) / Average perimeter (μm)	130,0	145,0	110,0	137,0	79,0	81,0
Povprečna oblika celice / Average shape of the cell	0,67	0,64	0,73	0,69	0,77	0,76
Število analiziranih celic / Number of analysed cells	904	1.188	1.254	1.124	984	982
Število celic na enoto površine ($\#/\mu\text{m}^2$) / Number of cells per square unit	6,15	5,41	6,75	5,67	7,70	7,70



Slika 7: Razlike med povprečno površino lumna traheid v ranem, "prehodnem" in kasnem lesu prizadetih (SOL) ter neprizadetih (NE-SOL) rdečih borov

Figure 7: Differences among average cell lumina of axial tracheids in early-, »transitional« and latewood of affected (SOL) and reference (NE-SOL) trees



Slika 8: Spreminjanje oblike celic ranega, "prehodnega" in kasnega lesa pri prizadetih (SOL) ter neprizadetih (NE-SOL) rdečih borih

Figure 8: Differences among average shape of the cell lumina of axial tracheids in early-, »transitional« and latewood of affected (SOL) and reference(NE-SOL) trees

Primerjava površin lumnov osnih traheid solem izpostavljenih in referenčnih rdečih borov je pokazala, da so razlike v večini primerov statistično značilne. Razlika v povprečni površini lumna osnih traheid ranega lesa prizadetih in neprizadetih dreves je $200 \mu\text{m}^2$, v "prehodnem" lesu pa $400 \mu\text{m}^2$; v kasnem lesu imajo drevesa obeh skupin približno enake povprečne površine lumnov. Bistvena razlika, ki smo jo opazili v kasnem lesu, je izjemno majhna variabilnost lumna celic solem izpostavljenih dreves (KV = 53 %); pri referenčnih drevesih je ta variabilnost bistveno večja (KV = 187 %) (slika 7). Zakonitost je podobna tudi pri obsegu prečnega prereza lumna traheid. Ti dve histometrični lastnosti celic smo uporabili pri izračunu faktorja oblike prečnega prereza traheid (slika 8). Pokazalo se je, da v ranem lesu obeh skupin prevladujejo traheide z bolj pravokotno obliko lumna. Pri prizadetih drevesih se oblika lumna približa ovalni že v

"prehodnem lesu" in ostane približno enaka tudi v kasnem lesu. Pri neprizadetih rdečih borih tudi v prehodnem lesu prevladuje pravokotna oblika lumna; le-ta postane ovalna šele v kasnem lesu.

Prizadeta drevesa imajo v ranem in "prehodnem" lesu večje število traheid na enoto površine kot referenčna drevesa (preglednica 2).

Razlika v številu celic na enoto površine je najbolj izrazita v "prehodnem" lesu; prizadeta drevesa imajo v njem $6,75 \pm 1,48$ celic na enoto površine, neprizadeta pa $5,67 \pm 1,29$. V ranem lesu prizadetih dreves je značilno več celic na enoto površine ($6,15 \pm 1,18$) kot v ranem lesu neprizadetih dreves ($5,41 \pm 1,27$). V kasnem lesu razlik praktično ni; tako prizadeta kot neprizadeta drevesa imajo skoraj enako število celic na enoto površine (v povprečju $7,7$ celice μm^{-2}).

4 RAZPRAVA DISCUSSION

Preiskovani biometrični parametri, kemijske analize iglic in anatomske preiskave lesa kažejo, da je rastišče rdečih borov ob avtocesti močno obremenjeno s solmi, verjetno pa tudi z drugimi neugodnimi dejavniki, kot so npr. sušnost rastišča, izpušni plini in povečana prevetrenost zaradi stalnega prometa.

Rezultati so pokazali, da rdeči bori na solem izpostavljenem rastišču v prvih desetih letih življenja nekoliko bolje rastejo kot referenčna drevesa, kar bi lahko razložili predvsem z več ravnega prostora in manjšo konkurenco med drevesi. Na s solmi prizadetem rastišču se v debelinski in višinski rasti kaže izjemno velika variabilnost, ki je bistveno večja kot pri rdečih borih na referenčnem rastišču. Variabilnost kaže na veliko raznolikost v pogojih rasti, na razlike v mikrorastišču in na (v ekstremnih razmerah jasneje izražene) razlike v genotipu preučevanih borov. Ugotovljene razlike potrjujejo ugotovitve nekaterih avtorjev (npr. DAVIDSON 1995), da se rdeči bor precej občutljivo odziva na onesnaženost tal s posipnimi solmi. Vendar mnenja o tolerantnosti drevesnih vrst na sol niso enotna, saj nekateri drugi avtorji navajajo ravno obratno – rdeči bor naj bi spadal med na sol manj občutljive vrste (EVERS 1973).

Raziskave solem izpostavljenih listavcev so pokazale, da zmanjšanje debelinske rasti nastopi šele nekaj let po začetnem onesnaženju s solmi; progresivno usihanje debelinske rasti lahko traja več desetletij (ECKSTEIN / LIESE / PARAMESWARAN 1976; OVEN / LEVANIČ 2001). Domnevamo, da bi podoben trend utegnili zabeležiti tudi na preiskovanem rastišču ob avtocesti, zato bi veljalo podobno raziskavo ponoviti čez 10 ali 20 let.

Našo domnevo o neugodnem učinku soli podpira tudi morfologija in kemizem iglic. Dolžina iglic prizadetih borov je bila krajša, koncentracija Cl⁻ ionov pa znatno višja kot pri iglicah referenčnih dreves. Podobno kot se pri prizadetih listavcih razvijejo manjši listi (ECKSTEIN 2000), so bile krajše iglice preiskovanih rdečih borov. Nekroza iglic in njihovo prezgodnje odpadanje se lahko pojavita približno 5 tednov po prvi aplikaciji soli (BEDUNAH / TRLICA 1979); nekroza napreduje od vrha iglice proti bazi in nato iglica odpade. Zaradi tega je v večini primerov na izpostavljenem drevju en sam, zadnji letnik iglic. Zaradi poškodb fotosinteznega aparata se bistveno zmanjša neto fotosinteza, kar pa ne vpliva bistveno na temotno fazo fotosinteze (BEDUNAH / TRLICA 1979).

Na rast rdečih borov v splošnem vplivajo biološke, mehanske, kemijske in fizikalne lastnosti tal. Od medsebojnega razmerja med temi lastnostmi je odvisno, kako bo neko drevo raslo. Raziskovalci so ugotovili, da uporaba soli spremeni vse naštetje dejavnike – mehansko postanejo tla bolj zbita in težje prepustna za vodo; z vnosom soli v tla se povečuje delež Na⁺ in Cl⁻ ionov v tleh; povečuje se električna prevodnost tal; spreminja se njihov pH (kemijski in fizikalni dejavniki). Posledično se povečuje tudi delež omenjenih ionov v rastlinskem telesu (BEDUNAH / TRLICA 1979). Manjša učinkovitost fotosinteznega aparata se odraža v zmanjšani debelinski rasti; zmanjšanje širine branik spremlja tudi sprememba njene anatomske zgradbe. Na osnovi prečne površine lumnov traheid bi lahko sklepali, da je pri prizadetih drevesih prehod iz ranega v kasni les postopen, medtem ko pri neprizadetih drevesih "prehodnega lesa" praktično ni; prehod v kasni les je oster. Domnevo bi veljalo potrditi z meritvami radialnih premerov lumnov in dvojnih debelin radialnih sten traheid.

Tudi pri listavcih se zgradba prevodnega sistema spremeni, če so drevesa dolgo časa obremenjena s solmi; število trahej se poveča, njihove prečne dimenzije pa zmanjšajo

(OVEN / LEVANIČ 2001). Ne smemo pa pozabiti, da celica dobi končne dimenzije in oblike v procesu diferenciacije. Kakšen je vpliv soli na ta proces, bi veljalo v prihodnje natančneje raziskati. Poudariti velja, da je bil les preiskovanih borov juvenilen. Ravno tako bo potrebno raziskati, kakšen je učinek soli na diferenciacijo traheid adultnega lesa.

Gradnja avtocest zagotovo predstavlja dodatno obremenitev okolja – ne samo zaradi fizičnega posega v ekosistem, temveč tudi zaradi kasnejšega onesnaževanja. Kumulativno onesnaževanje tal s solmi je potrebno upoštevati kot resno ekološko grožnjo, s katero so se v industrializiranih državah že soočili. Zamenjava prsti ali nevtralizacija strupenih snovi sta izjemno draga postopka. Nekatera drevesa (halofiti) so se prilagodila na življenje v slanem okolju (*Tamarix* spp., *Avicenni marina*); druge vrste izkazujejo manjšo ali večjo tolerantnost in na dolgi rok ne morejo preživeti v zaostrenih rastnih razmerah. Sol vpliva tudi na biotsko pestrost in neugodno učinkuje na kakovost podtalnice, saj se kloridi izpirajo v globlje sloje zemlje in jo onesnažujejo. Morebitna alternativna sredstva za preprečevanje zmrzali so v zadnjem času predmet poglobljenih raziskav (SIEGHART 2000); vendar bomo šele po kritični presoji ugotovitve lahko smiselno izkoristili tudi v praksi.

Raziskava je tudi pokazala, da je kombinacija kemijske analize vsebnosti kloridov v iglicah in proučevanja njihove morfologije primernejša metoda za ugotavljanje prizadetosti iglavcev s posipnimi solmi, kot so biometrične in anatomske analize lesa.

5 SUMMARY

*Along the Ljubljana - Kranj highway one research plot (Plot A) was established in order to study the influence of spraying salt on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). A second plot (Plot B), 1 km away near the village of Valburga was chosen as a reference plot. Both plots have comparable site characteristics. On plot A fifteen variously affected Scots pines and on plot B five healthy ones were cut down and sectioned according to the sampling plan. Three stem discs from the stump, middle and top of the tree were collected. Additionally one branch per whirl and needles from each of these branches were collected.*

On a macroscopic level, dynamics of annual radial and height growth were studied as well as branch length and needle length. Beside morphometrical studies of needles, we also attempted to establish the contents of chlorine ion in needle tissue. This was done by means of X-ray fluorescence spectroscopy.

On a microscopic level, stem discs taken from the middle of the tree were analysed. Twenty micrometers thick slides were prepared and transferred into computer via digital camera. An image analysis system was used to study transverse sections of axial tracheid lumens in three typical positions - in early-, "transitional" and latewood. The area, perimeter and shape of axial tracheid lumens were studied.

Results showed that Scots pines are heavily affected by spraying salt. The chlorine content in needles is 20 times higher compared to that in reference trees, needles are shorter, axial tracheid lumens in early- and "transitional" wood are smaller and more oval-shaped compared to those in reference trees. All differences are statistically significant. No differences on a microscopical level have been found in latewood.

The research showed that needle morphology and chemical analysis of chlorine ion content in needles gave good results and seem to be more useful and less time consuming than histometrical analysis in studying the effect of spraying salt on conifers.

6 VIRI REFERENCES

- ADDINBEDUNAH, D. / TRLICA, M. J., 1979. Sodium chloride effects on carbon dioxide exchange rates and other plant and soil variables of ponderosa pine.- Canadian Journal of Forest Research 9: 349-353.
- BERNATZKY, A., 1994. Baumkunde und Baumpflege.- Braunschweig, Bernhard Thalacker Verlag, 232 s.
- BLUM, W. E., 1974. Salzaufnahme durch die Wurzeln und ihre Auswirkung.- European Journal of Forest Pathology, 4: 41-44.
- DAVIDSON, H., 1995. Tree and Shrub Tolerance to De-icing Salt Spray.-Vir: Dostopno na: <http://www.msue.msu.edu/msue/imp/mod03/03900109.html>

- ECKSTEIN, D., 2000. Dendroekologischer Wirkungsnachweis von Auftausalz und Bodensanierung an Stassenbaeumen.- *Jahrbuch der Baumpflege* 2000: 134-141.
- ECKSTEIN, D./ FRISSE, E. / LIESE, W., 1974. Holzanatomische Untersuchungen an umweltgeschaedigten Strassenbaeumen der Hamburger Innestadt.- *European Journal of Forest Pathology*, 4: 232-244.
- ECKSTEIN, D./ LIESE, W. / PARAMESWARAN, N., 1976. On the structural changes in wood and bark of a salt-damaged Horse Chestnut tree.- *Holzforschung* 30, 6: 173-178.
- EVERS, F. H., 1973. Fernwirkung abgeschwemmter Auftausalze im Innern von Waldbesaenden.- *European Journal of Forest Pathology*, 4: 445-448.
- KOZLOWSKI, T. T. / PALLARDY, S. G., 1997. *Growth Control in Woody Plants*.- New York, London, Academic Press, 641 s.
- KUMP, P., 1994. Rentgenska fluorescenčna spektroskopija s stalnim odbojem (TXRF).- *Vakuumist* 14, 4: 15-19.
- LEVANIČ, T., 1999. Računalniško podprta analiza slike mikro- in makroobjektov (Computer assisted image analysis of micro- and macroobjects).- *ZbGL* 59, 141-167.
- OVEN, P., 2000. Poškodbe mestnega drevja zaradi soli.- *Proteus* 63, 4: 177-179.
- OVEN, P., / LEVANIČ, T. / ZUPANČIČ, M., 2000. Arboristična analiza drevja v MOL in navodila za njihovo nego.- Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 207 str.
- OVEN, P. / LEVANIČ, T., (Eds.), 2001. Jahringanalytische und holzanatomische Untersuchungen unterschiedlich befallener Rosskastanien (*Aesculus hippocastanum* L.) in der Stadt Ljubljana (Slowenien).- In: *Augsburger Baumpflegetage*. Augsburg, Bernhard Thalacker Verlag: 254-259.
- PETERSEN, A., 1986. Anatomische und physiologische Untersuchungen an Stadtbaumen in Hamburg (Holzbildung-Wasserhaushalt-Biomasse).- *Dissertation*, Hamburg, University of Hamburg, Institut fuer Holzbiologie, 229 str.
- SIEGHART, M., 2000. Aktuelle Untersuchungen ueber die Auswirkung von Auftausalzen auf Boeden.- *Jahrbuch der Baumpflege* 2000, 142-155.
- STRASBURGER, E./ NOLL, F./ SCHENCK, H. / SCHIMPER, A. F. W., 1991. *Lehrbuch der Botanik fuer Hochschulen*.- Stuttgart, Jena, New York, Gustav Fischer Verlag, 1030 s.

TAIZ, L. / ZEIGER, E., 1998. Plant Physiology (2nd edition).- Sunderland, Massachusetts (USA), Sinauer Associates, Inc., Publishers.