

Izvorni znanstveni članak
Original scientific paper

Prispjelo - Received: 21.05.2007.
Prihvaćeno - Accepted: 10.12.2007.

Potočić Nenad¹, Čosić Tomislav², Pilaš Ivan¹,
Seletković Ivan¹, Vrbek Boris¹

DINAMIKA DUŠIKA I FOSFORA U IGLICAMA OBIČNE JELE (*ABIES ALBA* MILL.) RAZLIČITOG STUPNJA OSUTOSTI KROŠANJA

*DYNAMICS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS IN NEEDLES
OF SILVER FIR (ABIES ALBA MILL.) TREES OF DIFFERENT
DEFOLIATION CLASSES*

SAŽETAK

Dinamika dušika i fosfora u jedno- i dvogodišnjim iglicama obične jele (*Abies alba* Mill.) praćena je tijekom dvije vegetacijske sezone. Istraživanje je provedeno na pet ploha koje pružaju različite edafske i klimatske uvjete za ishranu obične jele, a uzorkovanjem su obuhvaćena stabla različitog stupnja osutosti krošanja s ciljem utvrđivanja stanja ishrane obične jele, odnosa ishrane i oštećenosti obične jele te utjecaja karakteristika tla i klimatskih prilika na koncentracije dušika i fosfora u iglicama. Utvrđena je općenito slaba opskrbljenost stabala tim elementima. Koncentracija dušika i fosfora u iglicama obične jele razlikuje se prema vremenu uzorkovanja, godini i plohi. Fiziološki oslabljena stabla manje uspješno reguliraju svoj status ishrane. Poremećaji u ishrani rezultirali su i progresivnim smanjenjem mase suhe tvari iglica u odnosu na povećanu osutost krošanja. Klimatski uvjeti utječu na ishranu obične jele, a njihov negativan utjecaj izražen je kroz deficijencije u ishrani jele koje nastaju kao posljedica sušnih perioda.

Ključne riječi: dušik, fosfor, osutost, stanje ishrane, suša, tlo

UVOD

INTRODUCTION

U posljednjih tridesetak godina svjedoci smo pojačanog sušenja obične jele i ostalih vrsta drveća u našim šumama, koje koincidira sa sličnim pojavama širom

¹ Šumarski institut, Jastrebarsko, Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko, Hrvatska, e-mail: nenadp@sum-ins.hr

² Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska.

europskoga kontinenta, obuhvaćenih nazivom "novo propadanje šuma". Recentna izvješća o oštećenosti krošanja (Potočić i Seletković 2000, Seletković i Potočić 2004) govore o sličnom trendu propadanja obične jele u Hrvatskoj i Europi. Oštećenost jele u Hrvatskoj pritom je znatno viša od europskog prosjeka i uz približno 70 % stabala s osutošću krošnje iznad 25 % u posljednjih nekoliko godina može se govoriti o alarmantnom zdravstvenom stanju obične jele u Hrvatskoj. S obzirom na značaj jelovih šuma za hrvatsko šumarstvo, gospodarstvo i stanovništvo, a u isto vrijeme njihovo izuzetno loše zdravstveno stanje, postoji potreba boljeg razumijevanja unutrašnjih mehanizama koji njima upravljaju. U pogledu toga Prpić i Seletković (2001) smatraju kako je "obična jela u nas dosta istraživana, što se pretežno odnosi na njezina gospodarska svojstva, rast i prirast, način gospodarenja, uporabnu vrijednost, dok su ekofiziološka istraživanja jele u našim prilikama dosta skromna".

Od različitih čimbenika odgovornih za propadanje šuma, klimatski su čimbenici svakako među najznačajnijima, a smatra se da poseban značaj imaju kod razmatranja pojave propadanja obične jele (*Abies alba* Mill.). Obična jela, vrsta uske ekološke valencije, nalazi svoj optimum na svježim, hladnijim, humoznim tlima, te je za očekivati kako suša može uzrokovati pogoršanu ishranu drveća biogenim elementima te posljedično smanjenje njegova vitaliteta. Iako su relativno dobro poznati mehanizmi kojima suša utječe na drveće, pitanje slijeda fizioloških događanja uzrokovanih sušom koji vode propadanju šuma još uvijek je neriješeno (Landmann i Bouhout-Delduc 1995).

Dušik je biogeni element koji se često smatra najvažnijim elementom biljne ishrane. Više biljke za potrebe svoga rasta pretvaraju velike količine dušika iz mineralnog u organski oblik (Mengel i Kirkby 1987). Ako su prisutni i drugi činitelji rasta, dušik odlučuje o veličini biljne proizvodnje, pa time i o prirastu drveta (Baulé i Fricker 1971). U novije vrijeme dušik je u središtu pozornosti u kontekstu povećanih depozicija u šumske ekosustave i s time povezanim zakiseljenjem tala i pogoršanom ishranom drveća (DeVries i dr. 2000).

Izuzetan značaj fosfora je u osiguravanju energije za veliki broj metaboličkih kemijskih reakcija u biljkama među kojima su fotosinteza, glikoliza, metabolizam aminokiselina i masti itd. Nedostatak fosfora je relativno česta pojava, a biljke koje pate od nedostatka fosfora zaostaju u rastu. Povišene temperature negativno utječu na usvajanje fosfora kod običnog bora i obične smreke (DeVries i dr. 2000).

Najrašireniji simptom šteta u srednjoj i sjevernoj Europi na običnoj smreci i običnoj jeli je osutost krošanja, koje je rezultat prekomjernog opadanja iglica kao i nedovoljno intenzivnog stvaranja sekundarnih izbojaka u krošnji (Gruber 1994). S obzirom da su ti simptomi u vezi s poremećajima u ishrani, a slični simptomi prije nisu primijećeni, mora se pretpostaviti da se stanje ishrane u mnogim šumskim ekosustavima promijenilo u relativno kratkom roku (Huettl 1989). Istraživanja sastojina obične smreke u Austriji (Stefan 1993, Werther i Havranek 1999) pokazuju da je nekoliko stresora djelovalo istovremeno uzrokujući loše stanje šumskih sastojina: hranivima siromašna tla, česte suše i visoke koncentracije ozona. Utvrđena je nedovoljna opskrbljenost dušikom i fosforom na velikom broju plo-

ha. Harrison i dr. (1999) naglašavaju ulogu fosfora koji je prepoznat kao glavni ograničavajući čimbenik rasta sastojina u Velikoj Britaniji. Pristupačnost fosfora niža je u sastojinama s izraženijom defolijacijom, a ta razlika ogleda se i u ishrani drveća tim elementom.

Stanje ishrane obične jele istraživali su i Fromard i dr. (1991), Aldinger (1987, 1989), Baumler, Goerttler i Zech (1995) i drugi. Najintenzivnije se tom problematikom kod nas bavio Komlenović (Komlenović i Cestar 1981) proučavajući ishranu jele u odnosu na rast sastojina. Značajna zapažanja vezana su uz fiziološko slabljenje jele koja raste izvan svog klimatskog optimuma te ima smanjenu sposobnost da regulira svoj status ishrane. Tablice koncentracija biogenih elemenata u iglicama jele u smislu procjene opskrbljenosti dali su Isermann i Henjes (1985), Bonneau (Fromard i dr. 1991), Bergmann (1992) i drugi. Istraživanja odnosa ishrane i oštećenosti obične jele zasnovana na folijarnim analizama i analizama tla provedena su između 1984. i 1991. godine u glavnim planinskim područjima Francuske (Landmann i Bouhout-Delduc 1995). U nas su vezu osutosti i ishrane obične jele istraživali Komlenović i Rastovski (1990, 1992, 1994). Kod manje oštećenih stabala na većini ploha utvrđena je povoljnija ishrana dušikom i fosforom.

Iako je propadanje šuma pojava kompleksne naravi, djelovanje svih stresora ima jednu zajedničku osobinu, a to je neekonomično korištenje hraniva, energije i vode koje uzrokuje promjene u njihovoj alokaciji i skladištenju u drveću, tlu kao i na razini cijelog ekosustava (Augustin i Andreae 1998). Iz dosadašnjih istraživanja jasno je da ishrana ima velik utjecaj na vitalitet stabala (Hallenbarter, Landolt i Bucher 1999). Gubitak hraniva iz sustava, prekid kruženja i usvajanja hraniva, ili neravnoteža u ishrani vezani su sa smanjenjem produktivnosti i stabilnosti šuma (Nilsson i dr. 1995). Usvajanje hraniva, dinamika biogenih elemenata i njihovo kruženje stoga su i dalje nezaobilazna pitanja u razmatranju uzroka i posljedica ubrzanog sušenja jelovih sastojina.

Ovim istraživanjem željeli smo utvrditi dinamiku dušika i fosfora u iglicama obične jele tijekom dvije vegetacijske sezone, utvrditi stanje ishrane tim elementima u usporedbi s literaturnim vrijednostima, utvrditi utjecaj klimatskih prilika na koncentracije dušika i fosfora u iglicama te ustanoviti postoje li razlike u njihovom sadržaju u iglicama jele u odnosu na stupanj osutosti krošanja.

MATERIJAL I METODE RADA

MATERIALS AND METHODS

Izbor objekata istraživanja

Izborom pet lokacija nastojalo se na srazmjerno malom broju ploha, uvjetovanom intenzivnim ritmom uzorkovanja, što bolje obuhvatiti široki spektar klimatskih i edafskih čimbenika koji utječu na uspijevanje obične jele u Hrvatskoj. Obuhvaćena su dva, za jelu najvažnija tipa klime: ploha Sljeme (tip klime Cfwbx")

nalazi se u neposrednoj blizini meteorološke postaje Puntijarka, dok su ostale plohe smještene na podjednakoj udaljenosti od meteorološke postaje Delnice COB (tip klime Cfsbx"). Izborom ploha obuhvaćene su najzastupljenije jelove zajednice. Na plohi Sljeme (SL), zajednica *Abieti-Fagetum «pannonicum»* Rauš 1969 prov., na plohi Belevine (BE) te na plohi Leska silikat (LS) zajednica *Blechno-Abietetum* Ht. 1950., na plohama Kupjački vrh (KV) i Leska dolomit (LD) razvijena je zajednica *Omphalodo-Fagetum* Marinček et al. 1993. Sve plohe kvadratnog su oblika, površine 1 hektar.

Analize uzoraka tla

U uzorcima tla određeni su: reakcija tla u H₂O i 1M KCl, ukupni dušik metodom po Kjeldahlu, humus metodom po Tjurinu, a sadržaj fiziološki aktivnog fosfora AL metodom - varijanta Egnér- Riehm-Domingo. Detaljan opis metoda dan je u Pedološkom praktikumu (Škorić 1973). Nitratni dušik određen je pomoću kompleksa žute boje fenol-disulfonskom kiselinom (USDA 1992), a amonijski dušik pomoću Nesslerovog reagensa metodom po Jacksonu (1956).

Uzorkovanje i kemijske analize biljnog materijala

Za potrebe uzorkovanja, stabla na plohama grupirana su u tri stupnja osutosti: stupanj 1, 0-25 %, stupanj 2, 26-60 %, i stupanj 3, > 60 % osutosti. Za procjenu oštećenosti krošnja u ovome istraživanju korištene su metode programa ICP-Forests (PCC 1988). U daljnjem tekstu prvi stupanj označavamo oznakom D, drugi oznakom S, a treći oznakom L. Na osnovi broja nadstojnih stabala jele na plohama određen je broj stabala za uzorkovanje po principu da svaki od tri stupnja osutosti mora imati > 10 % ukupnog broja stabala, tj. tako da više od 30 % stabala na svakoj plohi bude uzeto u uzorak. Uzorkovanje je obavljano od lipnja do listopada 1999. i 2000. godine. U 1999. godini uzorak je uzet krajem lipnja i početkom srpnja, tako da se u toj godini niz sastoji od četiri, a u 2000. godini od pet mjesečnih uzorkovanja. Izbojci s ovogodišnjim i jednu godinu starim nizovima iglica (u daljnjem tekstu 1- i dvogodišnjim iglicama) uzimani su lovačkom puškom iz osvjetljenog dijela krošnje te na terenu kombinirani u kompozitne uzorke po plohi i stupnju osutosti. Uzorci biljnog materijala osušeni su na 105°C, izvagani i usitnjeni, te spaljeni mokrim postupkom. Ukupni dušik određen je po Kjeldahlu, a fosfor kolorimetrijski na UV/VIS spektrofotometru (AOAC 1996).

Statističke analize

Rezultati kemijskih analiza biljnog materijala obrađeni su pomoću statističkog paketa Statistica 5.5 (StatSoft, Inc. 1995). S obzirom da obrađivani podaci predstavljaju vremenske nizove koji ne prate normalnu distribuciju, primijenjeni su neparametarski testovi za obračun razlika između mjesečnih vrijednosti, razlika

između ploha, kao i razlika prema stupnjevima osutosti. Za usporedbu rezultata analiza uzoraka iz dviju godina korištena je analiza varijance.

REZULTATI

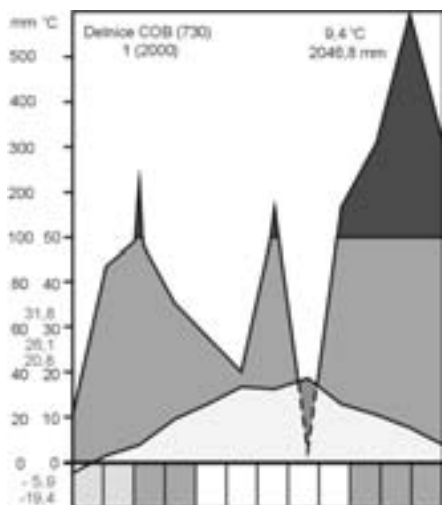
RESULTS

Značajke podneblja

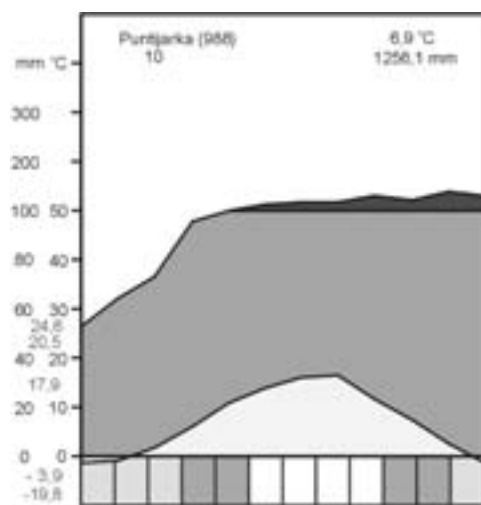
Klima područja obuhvaćenog istraživanjem predočena je klima-dijagramima (Walter i Lieth 1960) meteoroloških postaja Puntijarka (razdoblje 1991-2000. godine) i Delnice COB (razdoblje 1993-2000. godine), te klima-dijagramima istih postaja za pojedinačne godine 1999. i 2000. (Slike 1-6.). Na dijagramima su najočitije razlike u količini oborine u dvije istraživane godine u odnosu na prosjek, a osobito su velika odstupanja zabilježena u 2000. godini, uz pojavu netipičnog sušnog razdoblja u kolovozu.

Rezultati kemijskih analiza uzoraka tla iz pedoloških profila

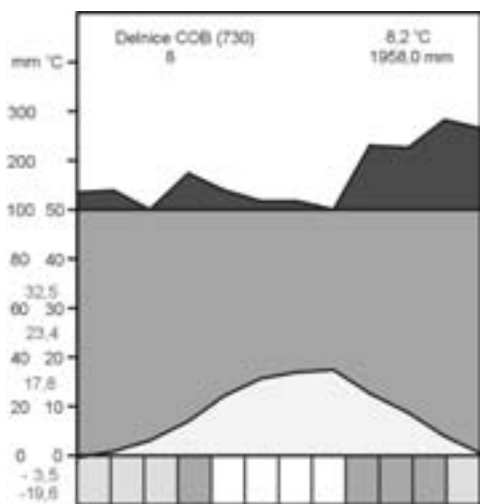
Na osnovi pedoloških profila utvrđeni su tipovi tala na pokusnim plohama. Na plohi SL tlo je distrični kambisol povrh zelenih škriljevaca, na plohi BE humusno-željezni podzol na pješčenjacima, na plohi LS opodzoljeni luvisol, na plohi KV kalcij-kambisol na vapnencu i na plohi LD luvisol na dolomitu. Osim u organ-



Slika 1. Klima-dijagram meteorološke postaje Puntijarka za razdoblje 1991-2000.
Figure 1 Climate diagram of meteorological station Puntijarka for the period 1991-2000

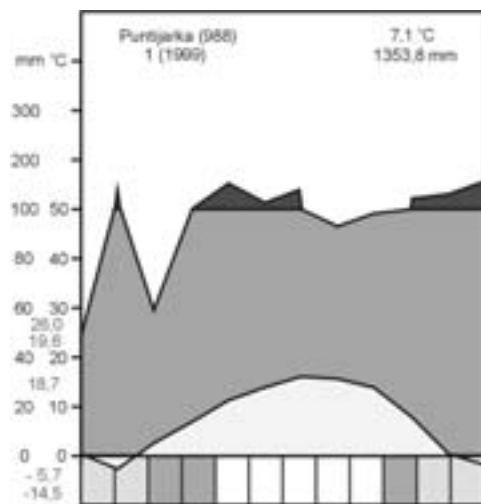


Slika 2. Klima-dijagram meteorološke postaje Delnice COB za razdoblje 1993-2000.
Figure 2 Climate diagram of meteorological station Delnice COB for the period 1991-2000



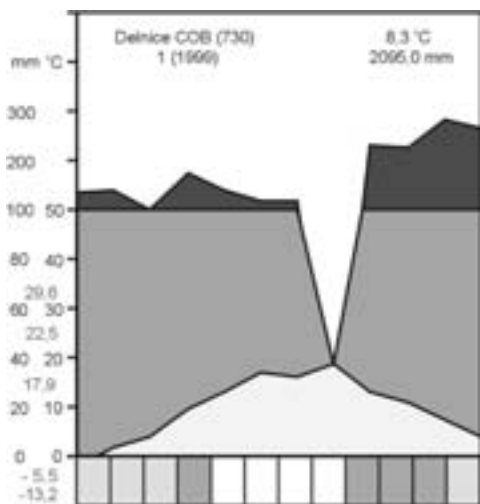
Slika 3. Klima-dijagram meteorološke postaje Puntijarka za godinu 1999.

Figure 3 Climate diagram of meteorological station Puntijarka for the year 1999



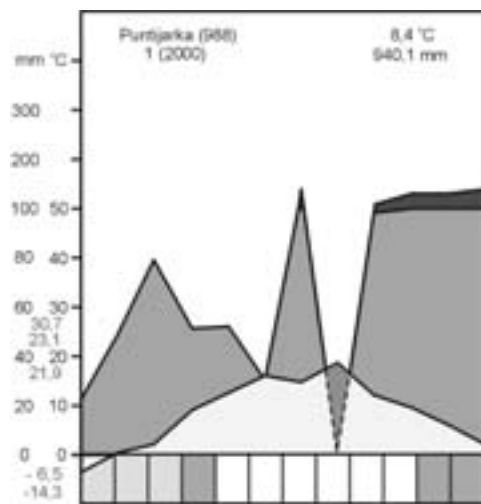
Slika 4. Klima-dijagram meteorološke postaje Delnice COB za godinu 1999.

Figure 4 Climate diagram of meteorological station Delnice COB for the year 1999



Slika 5. Klima-dijagram meteorološke postaje Puntijarka za godinu 2000.

Figure 5 Climate diagram of meteorological station Puntijarka for the year 2000



Slika 6. Klima-dijagram meteorološke postaje Delnice COB za god. 2000.

Figure 6 Climate diagram of meteorological station Delnice COB for the year 2000

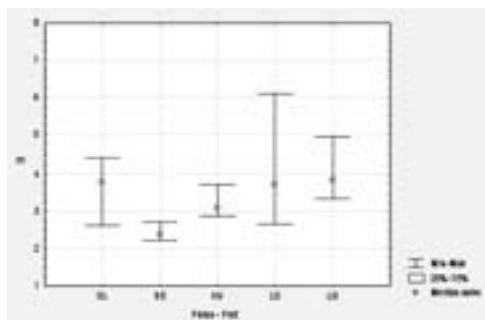
skom horizontu, u uzorcima svih tala utvrđene su vrlo niske koncentracije dušika i fiziološki aktivnog fosfora. Donekle od tog pravila odstupa ploha SL, na kojoj su utvrđene nešto više koncentracije i povoljniji raspored hraniva po dubini profila.

Tablica 1. Rezultati kemijskih analiza uzoraka tla iz pedoloških profila
 Table 1 Chemical analysis of soil samples from soil profiles

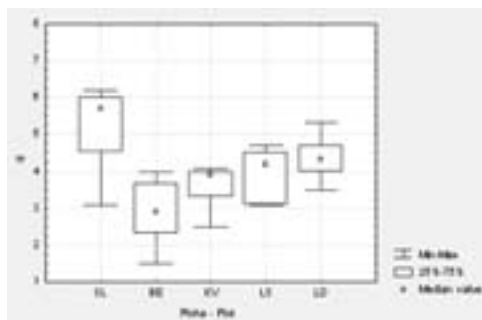
Profil	Dubina cm	p H		P205 mg/100 g	N %	N-min mg/100g	Humus %	C N
		H2O	n-KCl					
SL	1-10	4,7	3,8	10,3	0,49	15,97	13,31	15,80
	11-30	5,1	4,4	2,8	0,16	3,52	3,78	13,75
	31-70	5,6	4,3	3,1	0,24	1,71	5,35	12,96
BE	1-12	3,7	3,0	10,5	0,51	12,83	36,31	-
	13-27	4,3	3,2	0,1	0,03	0,64	1,04	20,00
	28-42	4,3	3,7	1,1	0,11	2,56	4,08	21,55
	48-65	4,6	4,1	0,6	0,04	0,72	1,76	25,50
	87-105	4,6	4,0	0,2	0,03	0,66	0,86	16,67
KV	1-4	4,8	4,1	4,6	0,56	16,02	10,26	10,66
	10-30	5,2	3,8	0,6	0,19	2,04	5,41	16,78
	35-65	7,3	6,4	0,4	0,11	0,85	4,15	21,90
LS	1-4	3,6	2,9	7,6	0,74	7,03	16,03	12,64
	10-40	4,2	3,5	0,4	0,13	1,38	3,57	16,00
	40-60	4,4	3,9	0,1	0,04	0,48	0,99	14,50
	70-100	4,6	3,9	0,1	0,01	0,33	0,91	5,30
LD	1-6	4,2	3,2	4,0	0,54	7,05	13,71	14,76
	8-25	4,4	3,7	0,4	0,13	1,76	5,35	23,92
	25-75	4,9	4,1	0,3	0,07	0,85	2,86	23,71

Rezultati analiza uzoraka biljnog materijala

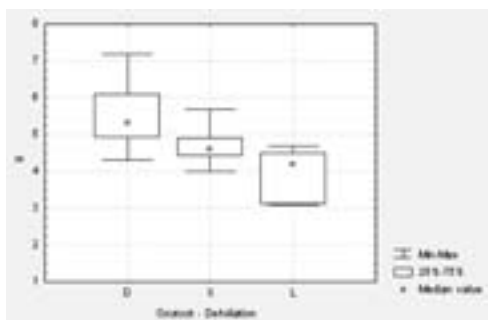
Usvojena praksa interpretacije rezultata analiza biljnog materijala zasniva se na usporedbi koncentracija s graničnim vrijednostima (Raitio 1993). Dinamika koncentracija dušika i fosfora prikazana je grafički kao funkcija starosti iglica, vremena uzorkovanja i stupnja osutosti asimilacijskog aparata uzorkovanih stabala, a vrijednosti uspoređene s "graničnom opskrbljenosti" (GO), za što smo preuzeli donje preporučene vrijednosti prema Bergmannu (1992), 13 mg/g suhe tvari za dušik i 1,3 mg/g za fosfor.



Slika 7. Masa suhe tvari jednogodišnjih iglica L stabala na istraživanim ploham 1999. godine
 Figure 7 Dry mass of current-year needles of L trees on research plots, year 1999

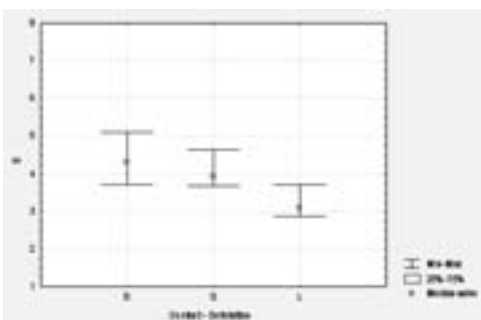


Slika 8. Masa suhe tvari dvogodišnjih iglica L stabala na istraživanim ploham 2000. godine.
 Figure 8 Dry mass of previous-year needles of L trees on research plots, year 1999



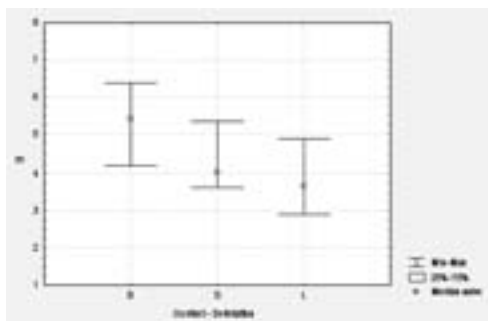
Slika 9. Masa suhe tvari jednogodišnjih iglica stabala različitog stupnja osutosti na plohi Kupjački vrh 1999. g.

Figure 9 Dry mass of current-year needles from different defoliation class trees on plot Kupjački vrh, year 1999



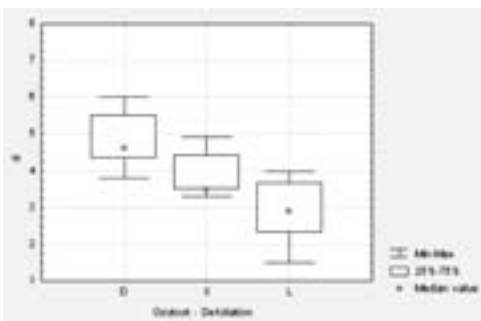
Slika 10. Masa suhe tvari dvogodišnjih iglica stabala različitog stupnja osutosti na plohi Kupjački vrh 1999. g.

Figure 10 Dry mass of previous-year needles from different defoliation class trees on plot Kupjački vrh 1999



Slika 11. Masa suhe tvari dvogodišnjih iglica stabala različitog stupnja osutosti na plohi Belevine 2000. g.

Figure 11 Dry mass of previous-year needles from different defoliation class trees on plot Belevine, year 1999



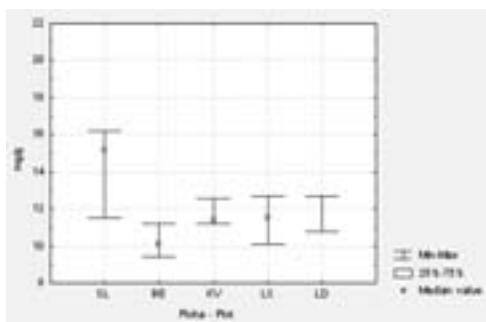
Slika 12. Masa suhe tvari dvogodišnjih iglica stabala različitog stupnja osutosti na plohi Leska-silikat 2000. g.

Figure 12 Dry mass of previous-year needles from different defoliation class trees on plot Leska-silikat, year 1999

Masa suhe tvari iglica

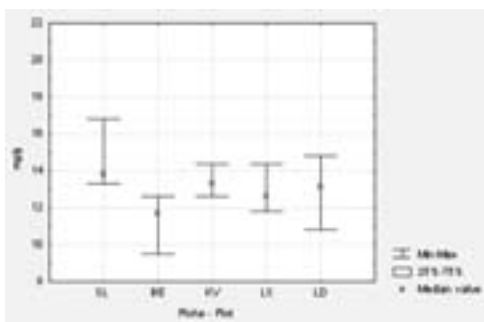
Vrijednosti mase suhe tvari iglica odnose se na masu 1000 iglica odvaganih nakon sušenja uzoraka biljnog materijala na 105 °C. Masa suhe tvari iglica ne pokazuje izražen trend povećanja ili smanjenja na istim plohama tijekom 1999. godine. Statističkom obradom razlika u masi iglica između ploha u 1999. godini dobivene su značajne ($p < 0,05$) razlike za L stabla obje starosti iglica (Slika 7. i 8.).

Statistički značajne razlike u masi iglica između D, S i L grupa stabala dobivene su za jednogodišnje iglice na plohama BE i KV, te za dvogodišnje iglice na svim plohama osim LD iako je i na toj plohi vidljivo smanjenje mase suhe tvari iglica s porastom stupnja osutosti. Za primjer dajemo odnose mase suhe tvari jednogodišnjih i dvogodišnjih iglica prema stupnju osutosti za plohu Kupjački vrh (Slike 9. i 10.).



Slika 13. Koncentracije dušika u jednogodišnjim iglicama L stabala na istraživanim plohama 1999. godine

Figure 13 Nitrogen concentrations in current-year needles of L trees on research plots, year 1999



Slika 14. Koncentracije dušika u dvogodišnjim iglicama L stabala na istraživanim plohama 1999. godine

Figure 14 Nitrogen concentrations in previous-year needles of L trees on research plots, year 1999

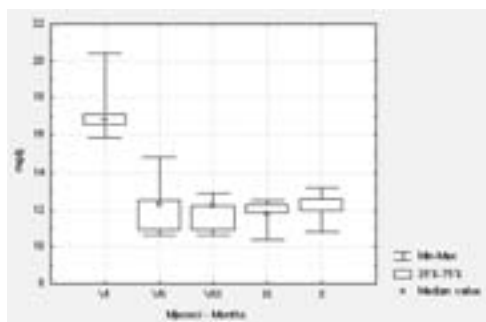
Tijekom promatranoga razdoblja u 2000. godini, slično kao u 1999., nije izražen trend povećanja ili smanjenja mase iglica, a razlike u masi jednogodišnjih i dvogodišnjih iglica

izraženije su jedino na plohi KV. Prilikom uspoređivanja vrijednosti između ploha, statistički značajne razlike dobivene su kod dvogodišnjih iglica S stabala i L stabala. Kod D stabala razlike nisu značajne, ali u sva tri slučaja najniže vrijednosti mase iglica utvrđene su na plohi BE. Nije utvrđena statistički značajna razlika u masama iglica uzorkovanih u 1999. i 2000. godini. Statistički signifikantne razlike D, S i L grupa stabala dobivene su za dvogodišnje iglice na svim plohama. Za primjer dajemo grafikone za plohe BE i LS (Slike 11. i 12.).

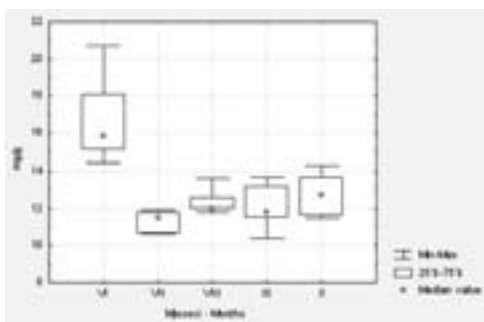
Dušik

Na svim plohama, osim na plohi SL, tijekom 1999. godine dušik je u iglicama jele bio deficitaran element. Dok se na plohi SL njegova razina samo povremeno spuštala ispod donje preporučene vrijednosti, na ostalim plohama njegova je koncentracija bila ispod donje preporučene vrijednosti do pred kraj vegetacijskog perioda, što se ponajprije odnosi na dvogodišnje iglice, dok su jednogodišnje iglice tek rijetko prelazile graničnu opskrbljenost od 1,30 %. Razlike mjesečnih vrijednosti većinom nisu signifikantne. Usporedbom vrijednosti između ploha, dobivene su statistički značajne razlike u koncentraciji dušika u iglicama stabala trećeg stupnja osutosti – L (Slike 13. i 14.). Razlika u koncentraciji dušika u iglicama stabala različitih stupnjeva osutosti statistički je značajna ($p < 0,05$) kod dvogodišnjih iglica na plohi BE (Slika 17.). U 2000. godini ishrana dušikom općenito je bila nešto povoljnija za dvogodišnje iglice. Razlika godina ipak nije statistički značajna.

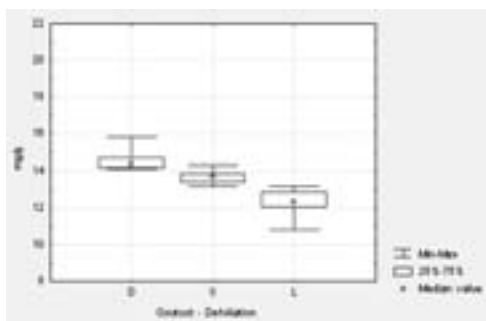
Dinamika u promatranom periodu 2000. godine bila je izrazitija u jednogodišnjih iglica: utvrđene su statistički značajne razlike mjesečnih vrijednosti kod



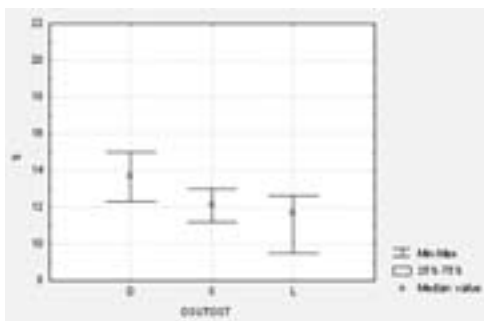
Slika 15. Koncentracije dušika u jednogodišnjim iglicama D stabala po mjesecima 2000. godine.
 Figure 15 Monthly values of nitrogen concentrations in current-year needles of D trees, year 2000



Slika 16. Koncentracije dušika u jednogodišnjim iglicama L stabala po mjesecima 2000. godine.
 Figure 16 Monthly values of nitrogen concentrations in current-year needles of L trees, year 2000



Slika 17. Koncentracije dušika u dvogodišnjim iglicama stabala različitog stupnja osutosti na plohi Belevine 1999. godine.
 Figure 17 Monthly values of nitrogen concentrations in previous-year needles of different defoliation class trees, plot Belevine, year 2000



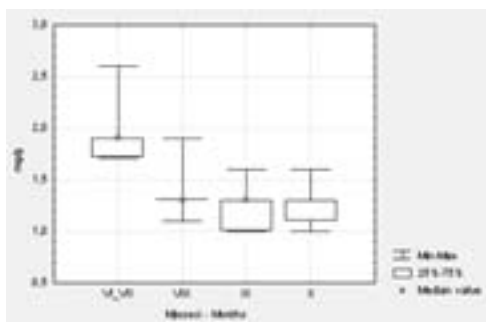
Slika 18. Koncentracije dušika u dvogodišnjim iglicama stabala različitog stupnja osutosti na plohi Belevine 2000. godine
 Figure 18 Nitrogen concentrations in previous-year needles of different defoliation class trees, plot Belevine, year 2000

stupnja osutosti D (Slika 15.), stupnja S i stupnja L (Slika 16.). Razlike ploha utvrđene su kod dvogodišnjih iglica stupnja osutosti D ($p < 0,05$). Signifikantne razlike između stupnjeva osutosti utvrđene su ponovo kod plohe BE, gdje se pri $p < 0,01$ značajno razlikuju koncentracije dušika u dvogodišnjim iglicama stabala D, S i L stupnjeva osutosti (Slika 18.).

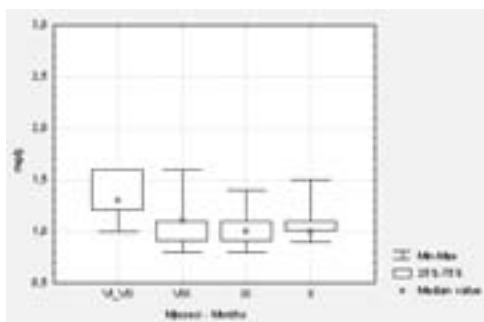
Fosfor

Manjak fosfora prisutan je u 1999. godini kod jednogodišnjih i dvogodišnjih iglica stabala jele svih stupnjeva osutosti i na svim ploham osim plohe Sljeme, a nedostatak se javlja sa završetkom perioda intenzivnog rasta izbojaka.

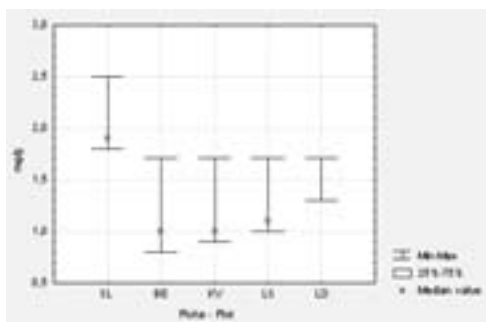
Koncentracije fosfora u jednogodišnjim iglicama više su nego u dvogodišnjima tijekom cijele vegetacijske sezone, a kod jednogodišnjih iglica naglašeniji je i



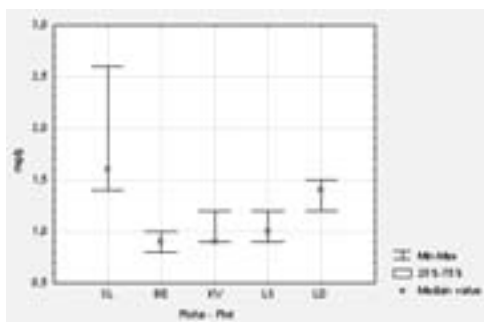
Slika 19. Koncentracije fosfora u jednogodišnjim iglicama D stabala po mjesecima 1999. godine.
 Figure 19 Monthly values of phosphorus concentrations in current-year needles of D trees, year 1999



Slika 20. Koncentracije fosfora u dvogodišnjim iglicama D stabala po mjesecima 1999. godine
 Figure 20 Monthly values of phosphorus concentrations in previous-year needles of D trees, year 1999



Slika 21. Koncentracije fosfora u jednogodišnjim iglicama L stabala na istraživanim ploham 1999. godine
 Figure 21 Phosphorus concentrations in current-year needles of L trees on research plots, year 1999



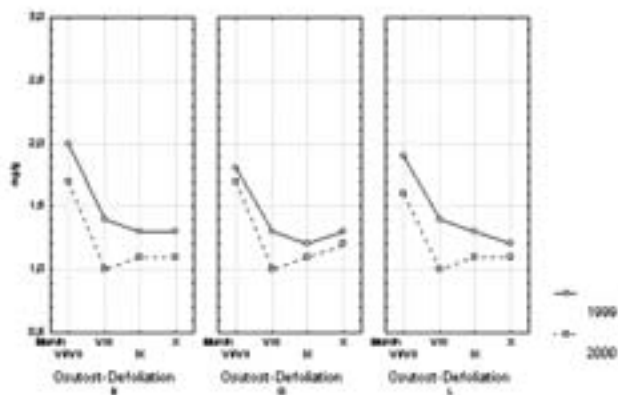
Slika 22. Koncentracije fosfora u dvogodišnjim iglicama L stabala na istraživanim ploham 1999. godine.
 Figure 22 Phosphorus concentrations in previous-year needles of L trees on research plots, year 1999

pad koncentracija od lipnja/srpnja do kolovoza. Od kolovoza pa do kraja promatranoga perioda koncentracije fosfora u jednogodišnjim i dvogodišnjim iglicama približavaju se i gotovo izjednačuju. Značajne razlike mjesečnih vrijednosti utvrđene su za sve starosti iglica/stupnjeve osutosti osim za dvogodišnje iglice L stabala. Za primjer dajemo Slike 19. i 20.

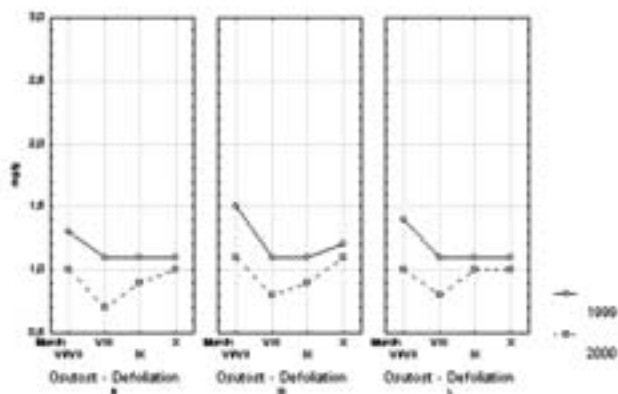
Signifikantne razlike postoje u koncentracijama fosfora karakterističnima za pojedine plohe. Utvrđene su razlike između ploha kod dvogodišnjih iglica D stabala, kao i kod jednogodišnjih i dvogodišnjih iglica L stabala (Slike 21. i 22.).

U 2000. godini opskrbljenost fosforom još je niža nego u 1999. godini (Slike 23. i 24.), a nepovoljna ishrana zabilježena je i na plohi SL, gdje su koncentracije fosfora u iglicama oba godišta pale ispod granice nedostatne opskrbljenosti. Ipak između te dvije godine ne postoji značajna razlika u ishrani fosforom.

Najizraženiji pad vrijednosti, kao i najniže vrijednosti fosfora u 2000. godini zabilježeni su u kolovozu, a statistički značajne razlike između mjesečnih vrijedno-



Slika 23. Koncentracije fosfora u jednogodišnjim iglicama 1999. i 2000. godine.
 Figure 23 Phosphorus concentrations in current-year needles, years 1999 and 2000



Slika 24. Koncentracije fosfora u dvogodišnjim iglicama 1999. i 2000. godine.
 Figure 24 Phosphorus concentrations in previous-year needles, years 1999 and 2000

sti utvrđene su za jednogodišnje iglice svih stupnjeva osutosti, te dvogodišnje iglice stupnja osutosti L. Između ploha signifikantne razlike utvrđene su za dvogodišnje iglice D, S i L stabala. Slaba opskrbljenost fosforom utjecala je na to da su u 2000. godini vrijednosti fosfora u iglicama stabala različitih stupnjeva osutosti gotovo izjednačene, te nismo utvrdili statistički značajne razlike u koncentracijama fosfora s obzirom na osutost krošanja.

RASPRAVA DISCUSSION

Koncentracije elemenata i njihovi odnosi u lišću omogućuju nam uvid u stanje ishrane stabala u smislu njihovog nedostatka ili previsoke koncentracije, u apso-

lutnom iznosu ili u odnosu na koncentracije drugih elemenata (De Vries i dr. 2000). Koncentracije elemenata u iglicama četinjača mogu varirati u ovisnosti o pristupačnim hranivima u tlu, starosti iglica, poziciji u krošnji i fazi godišnjeg fiziološkog ciklusa. Koncentracije u uzorcima uzetim u određeno vrijeme također variraju između godina (Helmisaari 1990).

Velik dio suhe tvari iglica sastoji se od ugljikohidrata, osobito škroba, i promjene u sadržaju ugljikohidrata u iglicama mogu uzrokovati značajne fluktuacije u masi suhe tvari iglica. Te promjene mogu dalje utjecati na interpretaciju koncentracija hraniva (Helmisaari 1990). U našem istraživanju dinamika mase suhe tvari iglica u periodu uzorkovanja nije izražena, a razlike između dvije godine uzorkovanja nisu signifikantne. Masa iglica međutim dobro pokazuje razlike u vitalitetu: u 1999. godini statistički značajne razlike utvrđene su između masa dvogodišnjih iglica stabala D, S i L stupnjeva osutosti na svim plohama osim LD, a u 2000. godini, jasne su se razlike pokazale u masi dvogodišnjih iglica između D, S i L grupa stabala na svim plohama. Na svakoj plohi masa iglica je najveća kod D stabala, a najmanja kod L stabala. Aldinger (1989) je utvrdio slične razlike u masi iglica stabala obične jele slabo i jako osutih krošanja. Promotrimo li razlike između ploha, one se pretežno odnose na iglice L stabala, a rjeđe i na S stabla. Iz ovoga možemo zaključiti da se oštećenija stabla teže prilagođavaju danim stanišnim uvjetima i teže postižu odgovarajuće mase iglica.

Koncentracije dušika u iglicama pokazuju za dušik tipičnu dinamiku. Intenzitet usvajanja je najveći u vegetacijskom razdoblju (fenofaze glavnog porasta) kada je najveća sinteza proteina (Vukadinović i Lončarić 1998). Kod dvogodišnjih iglica vidljiv je porast prema sredini i pad prema kraju vegetacijskog perioda, a kod jednogodišnjih iglica trend je sličan s izuzetkom naglog pada u lipnju/srpnju. Tu pojavu, također primijećenu u pokusu s *Larix laricina* (Du Roi) Koch. i *Picea mariana* (Mill.), Mugasha, Pluth i Macdonald (1999) objašnjavaju "efektom razrjeđenja", to jest akumulacije ugljikohidrata u vrijeme naglog rasta iglica. Na svim plohama, osim na plohi SL, tijekom 1999. godine dušik je u iglicama jele bio deficitaran element. Komlenović i Cestar (1981) su na usporedivim staništima utvrdili nešto više vrijednosti dušika u iglicama obične jele. Landmann i Bouhout-Delduc (1995) su utvrdili kako u planinskim područjima Francuske depozicija dušika većinom nije dovoljna da kompenzira prirodno slabu ishranu jele tim elementom. Iako nije utvrđena statistički značajna razlika u vrijednostima dušika u dvije godine uzorkovanja, ipak je primjetno daljnje pogoršanje u ishrani jednogodišnjih iglica u 2000. godini. Za razliku od rezultata nekih drugih autora (Popović 1962, Helmisaari 1992) koncentracije dušika pretežno su veće u dvogodišnjim nego u jednogodišnjim iglicama. S obzirom da se u dvogodišnjim iglicama koncentracija dušika nalazi na samoj granici opskrbljenosti, možemo pretpostaviti kako su niže koncentracije u jednogodišnjim iglicama rezultat izostanka translokacije dušika iz starijih u mlade iglice.

Fosfor slijedi sezonsku dinamiku dušika, uz vidljiv efekt razrjeđenja, a koncentracije u jednogodišnjim iglicama su više nego u dvogodišnjim, potpuno u skladu s rezultatima drugih autora (Helmisaari 1990, Fernandez, Lawrence i Richards

1990). U usporedbi s donjom preporučenom vrijednosti, koncentracije fosfora su nedostatne bez obzira radi li se o jedno- ili dvogodišnjim iglicama, a opskrbljenost je (unatoč nepostojanju signifikantnih razlika) u 2000. godini ipak pogoršana u odnosu na 1999. Jedino na plohi Sljeme, i to samo u 1999. godini, opskrbljenost fosforom zadovoljava, te su utvrđene koncentracije koje Komlenović (1981) smatra optimalnima (iznad 0,17 %). Razlike u opskrbljenosti fosforom stabala različitih stupnjeva osutosti uglavnom nisu signifikantne.

ZAKLJUČCI

CONCLUSIONS

Razina dušika i fosfora u iglicama obične jele razlikuje se prema vremenu uzorkovanja, godini i plohi. Utvrđena je općenito slaba opskrbljenost stabala tim elementima, osim na plohi Sljeme, što je u skladu s rezultatima analiza tla. Osobito niske koncentracije dušika i fosfora u iglicama jele dobivene su na plohi Belevine.

Fiziološki oslabljena stabla manje uspješno reguliraju svoj status ishrane. Razlike u koncentracijama biogenih elemenata u iglicama stabala različitog stupnja osutosti krošanja utvrđene su za dušik, a poremećaji u ishrani rezultirali su i progresivnim smanjenjem mase suhe tvari iglica u odnosu na povećanu osutost krošanja. Klimatski uvjeti utječu na ishranu obične jele, a njihov negativan utjecaj izražen je kroz deficijencije u ishrani jele koje nastaju kao posljedica sušnih perioda.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGMENTS

Mr. sc. Janji Milković iz Državnog hidrometeorološkog zavoda zahvaljujem na podacima s meteoroloških postaja. Dragim kolegama, dr. sc. Juraju Medvedoviću i mr. sc. Jasnici Medak zahvaljujem na fitocenološkoj karakterizaciji ploha. Ivanu Pavloviću, dipl. inž., veliko hvala na pomoći pri analizama uzoraka tla.

LITERATURA

REFERENCES

- Aldinger, E. 1987. Elementgehalte im Boden und in Nadeln verschieden stark geschädigter Fichten-Tannen-Bestände auf Praxiskalkugs-flächen im Buntsandstein-Schwarzwald. Freiburg im Breisgau: Albert-Ludwigs-Universität.
- Aldinger, E. 1989. Nährelementversorgung von Fichten (*Picea abies* Karst.) und Tannen (*Abies alba* Mill.) im gleichen Bestand. Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung, 34: 59-66.
- AOAC 1996. Official methods of analysis of AOAC International. Arlington: Association of Official Analytic Chemists International.

- Augustin, S., Andreae H. 1998. Cause-effect-interrelations in forest condition. Geneva, Brussels: UN/ECE i EC.
- Baule, H., Fricker C. 1971. Đubrenje šumskog drveća. Dokumentacija za tehniku i tehnologiju u šumarstvu br. 78. Beograd: Jugoslovenski poljoprivredno šumarski centar.
- Bäumler, R., Goertler T., Zech, W. 1995. Nahrenlement- und Schwermetallgehalte in den Nadeln von Fichten und Tannen eines Bergmischwaldes auf Flysch (Tegernseer Alpen). Forstw. Cbl. 114: 30-39.
- Bergmann, W. (ed) 1992. Nutritional Disorders of Plants – Development, Visual and Analytical Diagnosis. Jena: Gustav Fischer Verlag.
- De Vries, W., Reinds, G.J., van Keerkrvoorde, M.S., Hendriks, C.M.A., Leeters, E.E.J.M., Gross, C.P., Voogd, J.C.H., Vel, E.M. 2000. Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe, Brussels, Geneva: FIMCI, EC-UN/ECE.
- Fernandez, I.J., Lawrence, G.B., Richards, K.J. 1990. Characteristics of foliar chemistry in commercial spruce-fir stand of northern New England, USA. Plant and Soil, 125: 288-292.
- Fromard, F., Dagnac, J., Gauquelin, T., Cheret, V. 1991. Results of research into decay of the fir (*Abies alba* Mill.) in the Pyrenees. New data about nutritional and physiological disturbances. Acid deposition: origins, impacts and abatement strategies, 109-122, Berlin: Springer-Verlag.
- Gruber, F. 1994. Morphology of coniferous trees: possible effects of soil acidification on the morphology of Norway spruce and silver fir. Effects of Acid Rain on Forest Processes, 265-324.
- Hallenbarter, D., Landolt W., Bucher, J. 1999. Nutrition and Vitality: Phenological investigation in forest under different fertiliser treatments. Gozd Martuljek: COST E6, Eurosilva forest treephysiology research workshop Root-Soil Interactions in Trees.
- Harrison, A. F., Carreira, J., Poskitt, J. M., Robertson, S. M. C., Smith, R., Hall, J., Hornung, M., Lindley, D. K. 1999. Impacts of pollutant inputs on forest canopy condition in the UK: possible role of P limitations. Forestry, 72, 4: 367-375.
- Helmisaari, H-S. 1990. Temporal variation in nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* needles. Scand J Forest Res 5: 177-193.
- Helmisaari, H-S. 1992. Nutrient retranslocation within foliage of *Pinus sylvestris*. Tree Physiol 10: 45-58.
- Huettl, R.F. 1989. Liming and fertilization as mitigation tools in declining forest ecosystems. Water Air Soil Poll 44: 93-118.
- Isermann, K., Henjes, G. 1985. Pflanzten- und Bodenanalyse als Grundlage zur Diagnose und Therapie des Komplexes "neuartige Waldschaden" aus der Sicht der Waldernährung. Darmstadt: Sonderdruck aus Kongressband. 413-429.
- Jackson, M.L. 1956. Soil chemical analysis - advanced course. Published by the author, Madison: Dep. of Soil Science, Univ. of Wisconsin.
- Komlenović, N., Cestar, D. 1981. Istraživanje stanja ishrane obične jele (*Abies alba* Mill.) u utvrđenim ekološko-gospodarskim tipovima šuma u SR Hrvatskoj. Rad. - Šumar. inst. Jastrebar. 45: 5-37.
- Komlenović, N., Rastovski, P. 1990. Godišnje promjene koncentracija hraniva u iglicama jele (*Abies alba* Mill.) različitog stupnja oštećenja. Gozd Martuljek: IX Simpozij Jugoslavanskeg društva za fiziologiju rastlin, Knjiga povzetkov, IV, 131 – 132.
- Komlenović, N., Rastovski, P. 1992. Research of Nutritional Status of Silver Fir (*Abies alba* Mill.) of Different Damage Degree. Zagreb: 6. IUFRO Tannensymposium, Šum. list – special issue, 183-189.
- Komlenović, N., Rastovski, P. 1994. Stanje ishrane hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) i obične jele (*Abies alba* Mill.) u odnosu na oštećenost krošanja. Zagreb: Peti kongres biologa Hrvatske, Pula. Zbornik sažetaka priopćenja. 203-204.

- Landmann, G., Bouhot – Delduc, F. 1995. Ground Monitoring of Crown Condition of Forest Trees in the French Mountains. U: G. Landmann, M. Bonneau (eds): Forest Decline and Atmospheric Deposition Effects in the French Mountains.: 3-40, Berlin: Springer Verlag.
- Mengel, K., Kirkby, E.A. 1987. Principles of Plant Nutrition. Bern: International Potash Institute.
- Mugasha, A.G., Pluth D.J., Macdonald, S.E. 1999. Effects of fertilization on seasonal patterns of foliar mass and nutrients of tamarack and black spruce on undrained and drained mine-rotrophic peatland sites. *Forest. Ecol. Manag.* 116, 13-31.
- Nilsson, L. O., Huettl, R. F., Johansson U. T., Jochheim, H. 1995. Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems – present status and future research directions. *Plant Soil* 168-169, 5-13.
- PCC (ed) 1988: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assesment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Geneva and Brussels: UN/ECE and EC, PCC Hamburg.
- Popović, B. 1962. Godišnje promjene sadržaja hranjivih materija u iglicama smrče i bijelog bora na đubrenim i neđubrenim površinama. *Radovi Šumarskog fakulteta i Instituta za šumarstvo i drvenu industriju u Sarajevu*, VII: 7, 3-76.
- Potočić, N., Seletković, I. 2000. Stanje oštećenosti šuma u Republici Hrvatskoj 1998. godine. *Šum. list* 1-2: 51-56.
- Prpić, B., Seletković, Z. 2001: Ekološka konstitucija obične jele. U: B. Prpić (ur.): Obična jela u Hrvatskoj. Zagreb: Akademija šumarskih znanosti i "Hrvatske šume". 255-276.
- Raitio, H. 1993. Chemical needle analysis as a diagnostic and monitoring method. In: L.O. Nilsson, R.F. Huettl, U.T. Johansson, (eds): Nutrient Uptake and Cycling in Forest Ecosystems. Dordrecht: Kluwer. 197-202.
- Seletković, I., Potočić, N. 2004. Oštećenost šuma u Hrvatskoj u razdoblju od 1999. do 2003. godine. *Šum. list* 3-4: 137-148.
- StatSoft, Inc. 1995. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa: StatSoft, Inc.
- Stefan, K. 1993. Changes in the nutritional status of Austrian spruce forests between 1983 and 1990. In: L.O. Nilsson, R.F. Huettl, U.T. Johansson, (eds): Nutrient Uptake and Cycling in Forest Ecosystems. Dordrecht: Kluwer. 215-223.
- Škorić, A. 1973. Pedološki praktikum. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu.
- USDA – SCS – NSCS 1992. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Washington D.C: U.S. Government Printing Office.
- Vukadinović, V., Lončarić, Z. 1998. Ishrana bilja. Osijek: Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
- Walter, H., Lieth, H. 1960. World atlas of climatic diagrams. Jena:VEB Gustav Fischer Verlag.
- Werther, F., Havranek, W. M. 1999. The influence of a nutrient – deficient calcareous soil on gas-exchange, chlorophyll fluorescence and C-allocation in young *Picea abies* ((L.)Karst.). COST E6, Eurosilva forest treephysiology research workshop Root.Soil Interactions in Trees, Gozd Martuljek.

DYNAMICS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS IN NEEDLES OF SILVER FIR (*ABIES ALBA* MILL.) TREES OF DIFFERENT DEFOLIATION CLASSES

Summary

*The dynamics of nitrogen and phosphorus in current and one-year old needles of Silver fir (*Abies alba* Mill.) has been monitored during two vegetational seasons. The research was conducted on five plots marked by different edaphic and climatic conditions, and sampled trees had different defoliation degrees. The aim was to determine the nutritional status of Silver fir, the relations of crown condition and nutrition, and the influence of soil and climate properties on the concentration of nitrogen and phosphorus in needles. Overall, the level of these elements in fir needles is low. The concentration of nitrogen and phosphorus in Silver fir needles depends on the sampling period, sampling year and research plot. Physiologically weakened trees are less able to control their nutritional status. The disturbances in nutrition result in the progressive lowering of needle mass in regards to increased crown defoliation. Climate properties have a pronounced effect on the nutrition of Silver fir trees. Their negative influence is expressed through nutritional deficiencies as a result of periods of drought.*

Key words: *nitrogen, phosphorus, defoliation, nutritional status, drought, soil properties*

