

Izvorni znanstveni članak
Original scientific paper

Prispjelo - *Received*: 01.07.2003.
Prihvaćeno - *Accepted*: 29.12.2003.

UDK: 630*114.2.131

NENAD POTOČIĆ,¹ TOMISLAV ČOSIĆ,² IVAN PILAŠ,¹
IVAN SELETKOVIĆ¹

UTJECAJ MATIČNE PODLOGE I TIPA TLA NA ISHRANU OBIČNE JELE (*ABIES ALBA* MILL.)

*INFLUENCE OF PARENT MATERIAL AND SOIL TYPE ON SILVER FIR (*Abies alba* Mill.) NUTRITION*

SAŽETAK

Za potpunije razumijevanje utjecaja ishrane na zdravstveno stanje obične jele (*Abies alba* Mill.), treba poznavati utjecaj matičnog supstrata i tla na ishranu jele. Ovo istraživanje imalo je za cilj utvrditi razlike u koncentracijama N, P, K, Ca i Mg u tlu odabranih ploha glede vremena i dubine uzorkovanja, usporediti te vrijednosti s koncentracijama istih elemenata u iglicama obične jele različitog stupnja osutosti krošanja te utvrditi koje od korištenih metoda analize tla pružaju najbolji uvid u potencijal određenog tla za ishranu obične jele (*Abies alba* Mill.). Na pet ploha koje se odlikuju različitim pedološkim prilikama mjesečno su, od lipnja do listopada 2000. godine, uzimani kompozitni uzorci mineralnog dijela tla s dubine do 30 cm i 30-60 cm te uzorci ovogodišnjih i prošlogodišnjih iglica obične jele sa stabala različitog stupnja osutosti krošanja. Kemijske analize tla obuhvatile su određivanje pH u vodi i 1M KCl, ukupnog karbonata, ugljika, ukupnog dušika, nitratnog i amonijskog oblika dušika, fiziološki aktivnog P i K te izmjenjivog K, Ca i Mg. Utvrđena je korelacija K i Mg u iglicama jele, s količinama fiziološki aktivnog K, odnosno izmjenjivog Mg u tlu te korelacija Ca u biljnom materijalu s pH u vodi. Nije utvrđena izravna povezanost N i P u iglicama s njihovim koncentracijama u tlu. Iako matična podloga i tlo utječu na ishranu jelovih stabala, generalizacija uvjeta za ishranu jele prema matičnoj podlozi nije moguća. Na ishranu jele biogenim elementima utječu i antagonizmi iona, a taj je utjecaj osobito jak kod fiziološki oslabljenih stabala. Analiza tla nije dovoljna za određivanje potencijala staništa za ishranu obične jele, već se potpuna slika o potencijalu staništa za ishranu drveća može steći samo uzorkovanjem i analizom biljnog materijala.

Ključne riječi: tip tla, matična podloga, metode kemijske analize tla, ishrana obične jele

¹ mr. sc. Nenad Potočić, mr. sc. Ivan Pilaš, mr. sc. Ivan Seletković, Šumarski institut, Jastrebarsko
² doc. dr. sc. Tomislav Čosić, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

UVOD

INTRODUCTION

Više čimbenika smatra se odgovornima za pogoršanje zdravstvenog stanja šumskih sastojina. Obilježja staništa (svojstva tla, dostupnost hraniva), klimatski ekstremi (suša, mraz) te štetnici i bolesti ubrajaju se u tradicionalno prisutne čimbenike. Zračno onečišćenje i acidifikacija noviji su, antropogeni čimbenici. Interakcije prirodnih i antropogenih čimbenika također možemo svrstati u nepovoljne antropogene čimbenike (Hendriks i dr. 2000). Pretpostavke o uzrocima fiziološkog slabljenja drveća, čega su najčešći simptomi osutost i gubitak boje asimilacijskih organa, vrlo često obuhvaćaju izravan ili neizravan utjecaj nepovoljne ishrane drveća biogenim elementima.

Učinci zračnog onečišćenja najviše su izraženi kroz promjenu stanišnih uvjeta, ponajprije pogoršavanje karakteristika šumskih tala. Zakiseljavanje tala ubrzano djelovanjem kiselih depozicija izaziva ispiranje baza iz rizosfere te mobilizaciju i toksične učinke aluminijske i teških metala. Uzroke i posljedice zakiseljavanja šumskih tala razmatraju u svojim radovima Kreutzer (1989), Huettl (1993), Huettl i Schaaf (1995), Huettl i Jochheim (1995), a promjene u kemijskom sastavu otopine tla Kazda i Katzensteiner (1993). Smanjenje plodnosti tala usljed zakiseljavanja opisuju Huettl i Frielinghaus (1994) te Jandl i Gartner (1997). Istraživanja razlika u stanju ishrane oštećenih sastojina smreke u jugozapadnoj Njemačkoj (Huettl i dr. 1990) pokazala su kako mnoge lokacije ne omogućuju povoljnu ishranu drveća magnezijem i kalijem. Seidling (2000) navodi više istraživanja po kojima je defolijacija smreke vezana uz opskrbljenost tla izmjenjivim kationima, osobito kalcijem. Valja naglasiti kako se to podjednako odnosi na vrlo nizak i vrlo visok sadržaj Ca na adsorpcijskom kompleksu.

Istraživanja ishrane obične jele, zasnovana na folijarnim analizama i analizama tla, obavljena su između 1984. i 1991. godine u glavnim planinskim područjima Francuske (Landmann i dr. 1995). Na tlima bogatim kalcijem i magnezijem, utvrđen je čest nedostatak kalija. K-kloroza na vapnenačkom i dolomitnom substratu odavno je opisana, dok na drukčijim tlima može biti simptom "novog propadanja šuma". Deficijencija magnezija najčešći je nedostatak ishrane na kiselim tlima, gdje su simptomi te deficijencije često, mada ne i sustavno povezani s jakom defolijacijom. Ustanovljena je korelacija deficijencije magnezija s količinom izmjenjivog magnezija u gornjim horizontima tla. U istim područjima u kojima je nepovoljna ishrana magnezijem, često je slaba i ishrana kalcijem.

Glede potencijalno velikog utjecaja ishrane na zdravstveno stanje šumskog drveća, a u kontekstu pojačanog sušenja obične jele, potrebno je bolje poznavanje odnosa koncentracija biogenih elemenata u tlu i iglicama jele u uvjetima njenog pridolaska u Hrvatskoj, kao i provjera uvriježenih kemijskih metoda analize tla u smislu određivanja potencijala staništa za ishranu obične jele. Stoga smo u ovom istraživanju definirali sljedeće ciljeve:

- utvrditi razlike u koncentracijama dušika, fosfora, kalija, kalcija i magnezija u tlu odabranih ploha glede vremena i dubine uzorkovanja
- ustanoviti u kojoj mjeri matična podloga i tlo, odnosno dostupnost elemenata, utječu na njihovo usvajanje i koncentracije u iglicama
- utvrditi koje od korištenih metoda analize tla pružaju najbolji uvid u potencijal određenog tla za ishranu obične jele (*Abies alba* Mill.).

MATERIJAL I METODE RADA

MATERIAL AND WORK METHODS

Za pokus je, s ciljem izbora različitih uvjeta za ishranu obične jele, odabrano pet ploha kvadratnog oblika i površine 1 ha. Na njima je u razdoblju lipanj-listopad 2000. godine obavljeno mjesečno uzorkovanje biljnog materijala (ovogodišnje i prošlogodišnje iglice obične jele s izbojaka iz gornje trećine krošnje nadstojnih stabala). Iglice su kombinirane u kompozitne uzorke s obzirom na stupanj osutosti krošnja (D 0-25%, S 26-60%, L 61-99%). Uz jednokratno uzorkovanje po horizontima pedoloških profila, tlo je jednom mjesečno uzorkovano holandskim svrdlom s dubine 0-30 i 30-60 cm, ukupno dva kompozitna uzorka (za dvije dubine uzorkovanja) po plohi. Uzorci su u putnom hladioniku otpremani u laboratorij gdje su duboko zamrznuti do daljnje obrade.

Uzorci biljnog materijala osušeni su na 105 °C, usitnjeni i spaljeni mokrim postupkom. U uzorcima su određeni ukupni dušik po Kjeldahlu, fosfor kolorimetrijski na UV/VIS spektrofotometru, kalij i kalcij izravno iz filtrata na plamen-fotometru i magnezij izravno iz filtrata AAS-om (AOAC 1996).

U uzorcima tla određeni su reakcija tla u H₂O i 1M KCl, ukupni karbonat po Scheibleru, ukupni dušik po Kjeldahlu, humus po Tjurinu, nitratni dušik pomoću kompleksa žute boje fenol-disulfonskom kiselinom (USDA – SCS – NSCS, 1992), amonijski dušik po Jacksonu (1952), fiziološki aktivni fosfor i kalij AL-metodom (Egnér i dr. 1960), a izmjenjivi kationi (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺) prema Thomasu (1982).

Kako obrađivani podaci predstavljaju vremenske nizove koji ne prate normalnu distribuciju, za statističku obradu podataka obavljenu statističkim paketom Statistica 5.5 (StatSoft, Inc. 1995), primijenjeni su većinom neparametarski testovi. Za obračun razlika mjesečnih vrijednosti korišteni su Friedman ANOVA i Kendall Coefficient of Concordance. Za obradu razlika između ploha korišteni su Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks i Median test. Ovisnost pojedinih parametara dobivena je korelacijskom analizom.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

RESEARCH RESULTS

Rezultati analiza biljnog materijala

Results of plant material analysis

Koncentracije elemenata u iglicama mogu varirati u ovisnosti o pristupačnim hranivima u tlu, starosti iglica, fazi godišnjeg fiziološkog ciklusa i fiziološkoj kondiciji (vitalitetu) stabala pa su te varijable obuhvaćene načinom uzorkovanja biljnog materijala. Utvrđena je općenito slaba opskrbljenost stabala dušikom, fosfo-

Tablica 1. Koncentracije dušika, fosfora i kalija u iglicama stabala obične jele različitog stupnja osutosti krošnja:
D, S i L - stupnjevi osutosti, 1-ovogodišnje iglice, 2-prošlogodišnje iglice
*Table 1. Concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium in the Silver fir needles of different degree of crown defoliation:
D, S and L - degrees of defoliation, 1 - current-year needles, 2 - previous-year needles*

PLOHA PLOT	MJESEC MONTH	N, %						P, %						K, %					
		D1	S1	L1	D2	S2	L2	D1	S1	L1	D2	S2	L2	D1	S1	L1	D2	S2	L2
Slieme	VI.	1,68	1,62	1,58	1,57	1,47	1,65	0,220	0,227	0,213	0,136	0,136	0,143	0,94	0,96	0,89	0,44	0,48	0,46
	VII.	1,06	1,15	1,06	1,41	1,43	1,04	0,126	0,126	0,136	0,101	0,098	0,094	0,85	0,86	0,74	0,56	0,49	0,45
	VIII.	1,29	1,26	1,36	1,58	1,34	1,43	0,125	0,132	0,136	0,095	0,106	0,117	0,69	0,61	0,63	0,48	0,49	0,49
	IX.	1,23	1,26	1,37	1,32	1,43	1,41	0,146	0,146	0,146	0,125	0,132	0,132	0,63	0,53	0,52	0,44	0,47	0,41
	X.	1,32	1,36	1,43	1,44	1,23	1,54	0,147	0,150	0,164	0,115	0,128	0,154	0,59	0,61	0,57	0,50	0,50	0,50
Belevine	VI.	1,71	1,57	1,51	1,44	1,43	1,29	0,174	0,167	0,167	0,087	0,080	0,084	1,09	0,99	1,02	0,55	0,48	0,56
	VII.	1,48	1,19	1,18	1,58	1,37	1,23	0,129	0,126	0,133	0,087	0,084	0,080	0,90	0,83	0,81	0,55	0,51	0,45
	VIII.	1,22	1,12	1,18	1,47	1,34	1,20	0,073	0,073	0,070	0,055	0,044	0,048	0,79	0,69	0,64	0,56	0,51	0,43
	IX.	1,18	1,27	1,04	1,41	1,32	1,08	0,095	0,099	0,088	0,081	0,081	0,077	0,61	0,75	0,60	0,46	0,54	0,40
	X.	1,26	1,22	1,16	1,41	1,39	1,32	0,105	0,095	0,089	0,092	0,082	0,078	0,69	0,60	0,58	0,53	0,42	0,42
Kupjački vrh	VI.	1,65	1,60	1,44	1,34	1,40	1,32	0,206	0,171	0,185	0,094	0,084	0,087	1,18	1,17	1,05	0,51	0,61	0,54
	VII.	1,25	1,06	1,06	1,37	1,32	1,18	0,129	0,119	0,122	0,087	0,094	0,115	0,94	0,87	0,81	0,54	0,56	0,58
	VIII.	1,22	1,19	1,20	1,32	1,33	1,37	0,113	0,113	0,113	0,088	0,092	0,088	0,85	0,77	0,76	0,61	0,61	0,56
	IX.	1,18	1,29	1,18	1,29	1,37	1,26	0,113	0,113	0,102	0,095	0,099	0,081	0,72	0,72	0,71	0,59	0,69	0,58
	X.	1,25	1,26	1,37	1,34	1,44	1,39	0,102	0,095	0,111	0,089	0,095	0,089	0,77	0,61	0,58	0,61	0,59	0,61
Leska slikat	VI.	1,58	1,74	1,81	1,41	1,41	1,40	0,150	0,167	0,185	0,112	0,094	0,105	1,11	1,18	1,27	0,55	0,56	0,54
	VII.	1,09	1,18	1,15	1,37	1,48	1,36	0,143	0,140	0,140	0,112	0,140	0,094	0,86	1,02	1,00	0,56	0,57	0,61
	VIII.	1,06	1,23	1,20	1,41	1,48	1,40	0,081	0,084	0,066	0,058	0,055	0,058	0,96	0,81	0,76	0,60	0,50	0,57
	IX.	1,04	1,09	1,15	1,34	1,32	1,26	0,106	0,110	0,106	0,095	0,095	0,092	0,72	0,76	0,91	0,55	0,58	0,55
	X.	1,08	1,22	1,15	1,39	1,29	1,22	0,102	0,117	0,110	0,095	0,102	0,099	0,81	0,68	0,81	0,54	0,52	0,59
Leska dolomit	VI.	2,04	1,96	2,07	1,46	1,23	1,48	0,255	0,241	0,293	0,108	0,112	0,133	1,15	1,17	1,06	0,48	0,43	0,41
	VII.	1,23	1,15	1,19	1,34	1,27	1,04	0,171	0,157	0,171	0,122	0,115	0,119	0,90	0,78	0,52	0,54	0,44	0,23
	VIII.	1,09	1,06	1,26	1,26	1,34	1,32	0,092	0,092	0,092	0,073	0,081	0,092	0,73	0,62	0,55	0,49	0,45	0,40
	IX.	1,25	1,34	1,32	1,46	1,48	1,44	0,081	0,081	0,106	0,073	0,077	0,088	0,65	0,62	0,48	0,47	0,51	0,37
	X.	1,19	1,19	1,27	1,29	1,23	1,39	0,113	0,110	0,132	0,095	0,095	0,113	0,64	0,52	0,50	0,43	0,39	0,38

rom, kalijem, kalcijem i magnezijem. Osobito niske koncentracije svih istraživanih elemenata u iglicama jele dobivene su na plohi Belevine. Na plohi Leska-silikat niske su koncentracije svih elemenata osim kalija, a na plohi Leska-dolomit u manjku su dušik, fosfor i kalij. Stabla obične jele na plohi Kupjački vrh slabo su opskrbljena dušikom i fosforom, a na plohi Sljeme kalijem (Tablice 1. i 2.).

Tablica 2. Koncentracije kalcija i magnezija u iglicama stabala obične jele različitog stupnja osutosti krošnja: D, S i L - stupnjevi osutosti, 1-ovogodišnje iglice, 2-prošlogodišnje iglice
Table 2 Concentrations of calcium and magnesium in the Silver fir needles of different degree of crown defoliation: D, S and L – degrees of defoliation, 1 – current-year needles, 2 – previous-year needles

PLOHA PLOT	MJESEC MONTH	Ca, %						Mg, %					
		D1	S1	L1	D2	S2	L2	D1	S1	L1	D2	S2	L2
Sljeme	VI.	0,19	0,20	0,12	0,37	0,30	0,27	0,113	0,115	0,080	0,116	0,123	0,084
	VII.	0,25	0,21	0,26	0,40	0,41	0,38	0,088	0,074	0,104	0,124	0,108	0,121
	VIII.	0,30	0,29	0,33	0,62	0,62	0,47	0,119	0,118	0,114	0,104	0,104	0,104
	IX.	0,31	0,36	0,42	0,55	0,65	0,68	0,136	0,108	0,120	0,144	0,109	0,126
	X.	0,30	0,30	0,37	0,42	0,46	0,57	0,124	0,122	0,144	0,122	0,126	0,133
Belevine	VI.	0,17	0,19	0,14	0,31	0,29	0,21	0,088	0,114	0,113	0,094	0,130	0,108
	VII.	0,26	0,23	0,18	0,40	0,34	0,24	0,101	0,094	0,121	0,100	0,093	0,113
	VIII.	0,31	0,27	0,23	0,44	0,47	0,27	0,116	0,109	0,124	0,111	0,129	0,104
	IX.	0,41	0,34	0,30	0,64	0,49	0,35	0,100	0,120	0,143	0,104	0,118	0,128
	X.	0,38	0,33	0,26	0,48	0,54	0,44	0,126	0,120	0,126	0,114	0,134	0,138
Kupjački vrh	VI.	0,24	0,20	0,22	0,43	0,34	0,43	0,113	0,098	0,104	0,124	0,100	0,098
	VII.	0,30	0,25	0,28	0,45	0,43	0,48	0,112	0,071	0,087	0,119	0,084	0,088
	VIII.	0,40	0,39	0,38	0,53	0,58	0,69	0,142	0,135	0,122	0,128	0,132	0,124
	IX.	0,41	0,42	0,40	0,64	0,63	0,54	0,139	0,115	0,116	0,144	0,112	0,107
	X.	0,35	0,40	0,39	0,52	0,73	0,56	0,117	0,107	0,114	0,118	0,113	0,109
Leska silikat	VI.	0,17	0,20	0,23	0,35	0,33	0,39	0,082	0,108	0,113	0,112	0,106	0,140
	VII.	0,19	0,22	0,19	0,35	0,34	0,34	0,086	0,094	0,092	0,097	0,098	0,114
	VIII.	0,24	0,32	0,24	0,34	0,48	0,36	0,096	0,130	0,075	0,095	0,122	0,075
	IX.	0,24	0,29	0,25	0,44	0,40	0,42	0,100	0,092	0,103	0,118	0,091	0,111
	X.	0,20	0,33	0,25	0,37	0,50	0,37	0,082	0,112	0,100	0,105	0,124	0,095
Leska dolomit	VI.	0,20	0,19	0,19	0,39	0,31	0,34	0,125	0,137	0,128	0,196	0,204	0,200
	VII.	0,27	0,23	0,19	0,49	0,39	0,31	0,157	0,147	0,124	0,210	0,187	0,188
	VIII.	0,27	0,27	0,22	0,43	0,41	0,37	0,159	0,188	0,157	0,203	0,224	0,211
	IX.	0,32	0,26	0,27	0,51	0,43	0,46	0,168	0,163	0,174	0,224	0,212	0,238
	X.	0,36	0,32	0,33	0,57	0,51	0,46	0,190	0,197	0,193	0,236	0,258	0,231

Rezultati analiza tla

Results of soil analysis

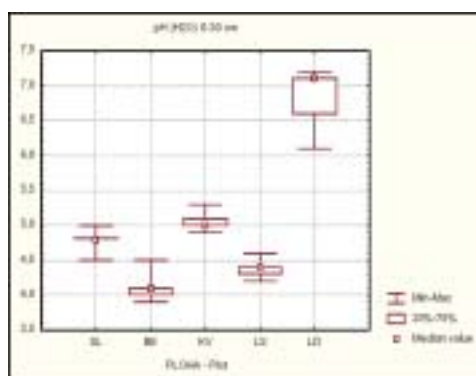
Vodeći pedogenetski čimbenici diferencirajućeg karaktera u području rasprostranjenosti jele u Hrvatskoj su matični supstrat i reljef (Pernar 2001). Na pokusnim plohama utvrđeni su sljedeći tipovi tala i matičnih podloga:

1. ploha 1, Sljeme (SL) distrični kambisol, humusni, duboki, na matičnoj podlozi zelenih škriljevaca
2. ploha 2, Belevine (BE), podzol humusno-željezni razvijen na matičnoj podlozi pješčenjaka
3. ploha 3, Kupjački vrh (KV), kalkokambisol lesivirani povrnh vapnenačke matične podloge
4. ploha 4, Leska-silikat (LS), luvisol opodzoljeni na matičnoj podlozi pješčenjaka
5. 5. ploha 5, Leska-dolomit (LD), luvisol na dolomitnoj matičnoj podlozi.

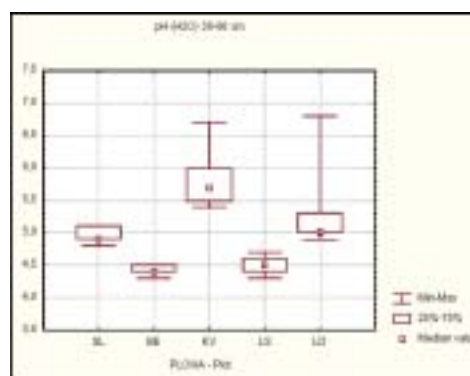
Reakcija tla (pH) u vodi

Soil reaction (pH) in water

Plohe na bazičnom matičnom supstratu (KV, LD) imaju očekivano višu reakciju tla od onih na kiselom matičnom supstratu (SL, BE, LS). Utvrđene su visoko značajne razlike u visini pH (H₂O) između ploha za obje dubine uzorkovanja (Grafikoni 1. i 2.) a raspon vrijednosti veći je na KV i LD nego na ostalim plohama. Reakcija u sloju 0-30 cm je na svim plohama viša u lipnju nego u srpnju, a nakon porasta u kolovozu opada prema jeseni. U tom sloju, uzevši u obračun vrijednosti svih ploha, utvrđene su značajne razlike ($p < 0,05$) između mjesečnih vrijednosti reakcije tla u vodi. Na dubini 30-60 cm te razlike nisu značajne.



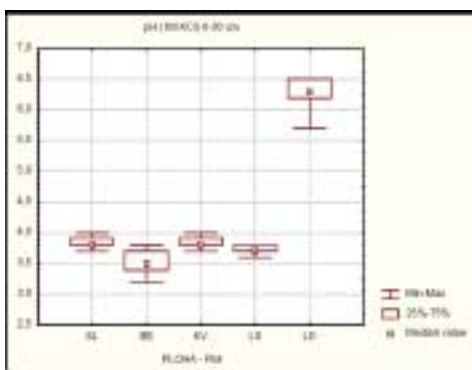
Grafikon 1. Reakcija tla u vodi na istraživanim plohama, dubina do 30 cm
Graph 1. Soil reaction in water on investigated plots, depth up to 30 cm



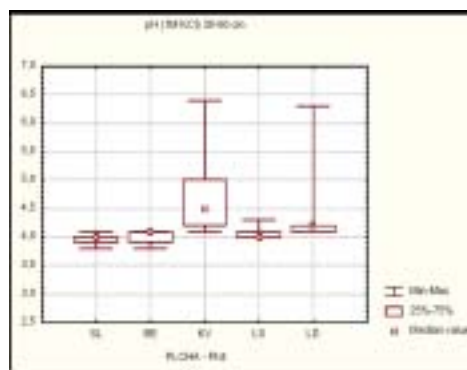
Grafikon 2. Reakcija tla u vodi na istraživanim plohama, dubina 30 do 60 cm.
Graph 2. Soil reaction in water on investigated plots, depth 30 - 60 cm

Reakcija tla (pH) u 1 M KCl *Soil reaction (pH) in 1 M KCl*

Kao i kod aktivne kiselosti, pH (H₂O), i supstitucijska kiselost, pH (1 M KCl) je za sve plohe, osim za plohu LD, viša u sloju 30-60 centimetara. Vrijednosti određene u 1 M KCl niže su od vrijednosti određenih u vodi. Utvrđena je visoko značajna razlika pH između ploha pri objema dubinama uzorkovanja (Grafikoni 3. i 4.).



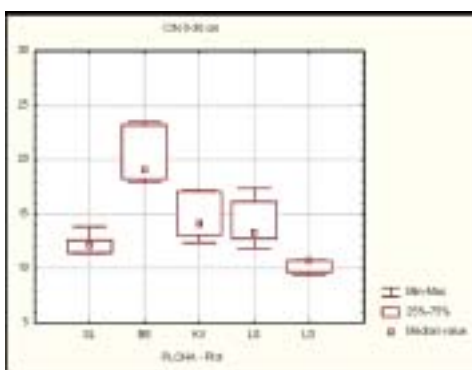
Grafikon 3. Reakcija tla u 1M KCl na istraživanim plohama, dubina do 30 cm
Graph 3. Soil reaction in 1M KCl on investigated plots, depth up to 30 cm



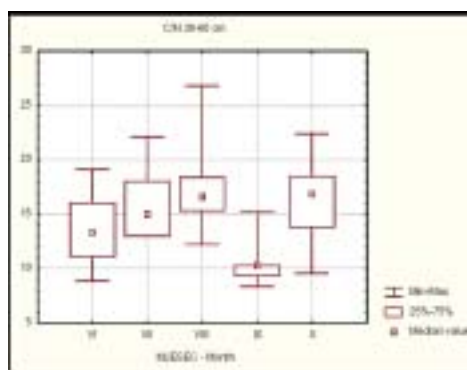
Grafikon 4. Reakcija tla u 1M KCl na istraživanim plohama, dubina 30 - 60 cm
Graph 4. Soil reaction in 1M KCl on investigated plots, depth 30 - 60 cm

Odnos ugljik/dušik *C/N ratio*

Najviše vrijednosti C/N zabilježene su na plohi BE i kreću se od 15,20 do 26,82, a najniže na plohi SL gdje se vrijednosti kreću u rasponu od 8,36 do 13,87.



Grafikon 5. Odnos ugljika i dušika na istraživanim plohama, dubina do 30 cm
Graph 5. Carbon and nitrogen ratio on investigated plots, depth up to 30 cm



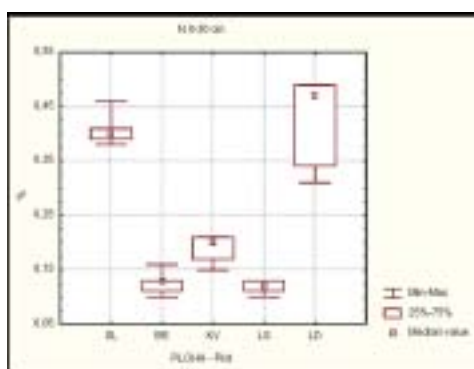
Grafikon 6. Mjesečne vrijednosti odnosa ugljika i dušika, dubina 30 - 60 cm
Graph 6. Monthly values of the carbon and nitrogen ratio on investigated plots, depth 30-60 cm

Utvrđene su visoko značajne razlike u vrijednosti C/N između ploha na dubini 0-30 centimetara (Grafikon 5.), i značajne ($p < 0,05$) na dubini 30-60 cm. Značajna razlika ($p < 0,05$) mjesečnih vrijednosti utvrđena je za dubinu uzorkovanja 30-60 cm (Grafikon 6.).

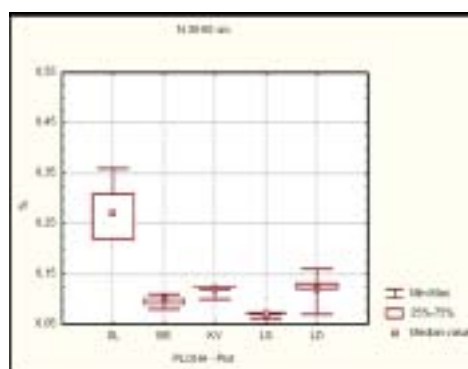
Ukupni dušik

Total nitrogen

Najviše vrijednosti ukupnog dušika zabilježene su na plohama LD i SL te ta tla prema Woltmannu (Škorić 1973), možemo ocijeniti vrlo bogatima dušikom. Tlo plohe KV dobro je do bogato opskrbljeno dušikom, a tlo ploha BE i LS dobro opskrbljeno, što se sve odnosi dubinu 0-30 cm. Na dubini 30-60 cm vrijednosti su niže za sve plohe. Usporedbom na vrijednosti sadržaja dušika na plohama dobivene su statistički visoko značajne razlike na objema dubinama uzorkovanja (Grafikon 7. i 8.). Nisu zabilježene značajne razlike u mjesečnim vrijednostima postotnog sadržaja ukupnog dušika u tlu.



Grafikon 7. Sadržaj ukupnog dušika na istraživanim plohama, dubina do 30 cm
Graph 7. Total nitrogen content on investigated plots, depth up to 30 cm



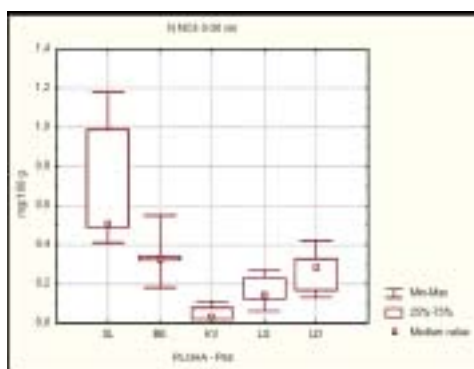
Grafikon 8. Sadržaj ukupnog dušika na istraživanim plohama, dubina 30 - 60 cm
Graph 8. Total nitrogen content on investigated plots, depth 30-60 cm

Amonijski i nitratni dušik

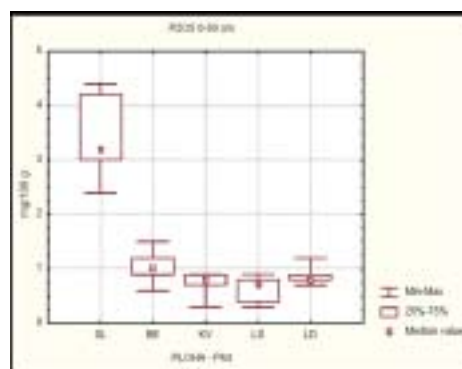
Ammonia and nitrate forms of nitrogen

Na svim plohama najveći dio mineralnog dušika čini amonijski oblik. Općenito, više vrijednosti amonijskog dušika zabilježene su u plicem (0-30 cm), nego u dubljem (30-60 cm) sloju tla. Najviše vrijednosti zabilježene su na plohi SL, a zatim na plohi BE, iako razlike u sadržaju N-NH₄ između ploha, kao i razlike po mjesecima, nisu statistički značajne. Bez obzira na nepostojanje statistički opravdanih razlika, na dubini tla do 30 cm jasan je trend povećanja sadržaja amonijskog

dušika kroz vegetacijsku sezonu te pad vrijednosti krajem sezone, u listopadu. Iako vrijednosti nitratnog oblika čine gotovo zanemariv dio mineralne komponente dušika u tlu, njegova dinamika prati dinamiku amonijskog oblika dušika. Iznimka je donekle ploha SL na kojoj su vrijednosti $N-NO_3$ prosječno nešto više nego na ostalim plohama i dosežu 1,18 mg/100 g tla. Razlike u sadržaju nitratnog oblika dušika među plohama statistički su visoko značajne (Grafikon 9.).



Grafikon 9. Sadržaj $N-NO_3$ na istraživanim plohama, dubina do 30 cm
Graph 9. $N-NO_3$ content on investigated plots, depth up to 30 cm



Grafikon 10. Sadržaj fiziološki aktivnog fosfora na istraživanim plohama, dubina do 30 cm
Graph 10. Content of physiologically active phosphorus on investigated plots, depth up to 30 cm

Fiziološki aktivan fosfor

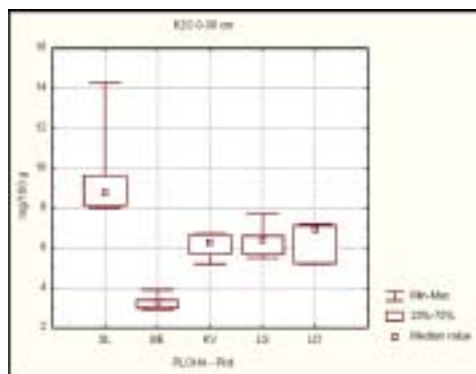
Physiologically active phosphorus

Osim u slučaju plohe SL, vrijednosti fiziološki aktivnog fosfora ne pokazuju veće razlike u odnosu na dubinu uzorkovanja. Vrijednosti su općenito vrlo niske, čak i u slučaju plohe SL na kojoj je u usporedbi s ostalim plohama, tlo bolje opskrbljeno fiziološki aktivnim fosforom. Prema Škoriću (1973), tla s manje od 10 mg $P_2O_5/100$ g tla smatraju se slabo opskrbljenima, dok za dobru opskrbljenost tlo treba sadržavati više od 20 mg fiziološki aktivnog fosfora. Unatoč niskim vrijednostima, obradom podataka utvrđene su statistički visoko značajne ($p < 0,01$) razlike između ploha na objema dubinama (Grafikon 10., dubina 0-30 cm).

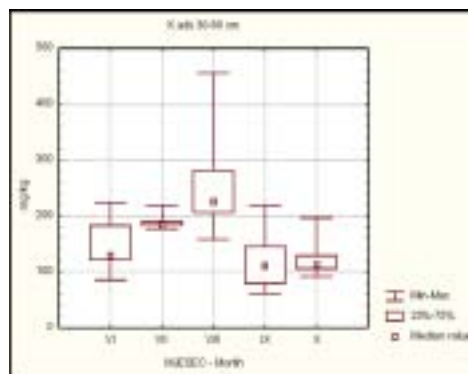
Fiziološki aktivan kalij

Physiologically active potassium

Sadržaj K_2O na dubini 0-30 cm najviši je na plohi SL, a najniži na plohi BE. Prema Škoriću (1973) tla svih ploha pripadaju klasi slabo opskrbljenih tala (sadržaj K_2O 0 - 10 mg/100 g tla). Visoko značajne razlike sadržaja K_2O utvrđene su između ploha na objema dubinama uzorkovanja (Grafikon 11., dubina 0-30 cm).



Grafikon 11. Sadržaj fiziološki aktivnog kalija na istraživanim plohama, dubina do 30 cm
Graph 11. Content of physiologically active potassium on investigated plots, depth up to 30 cm



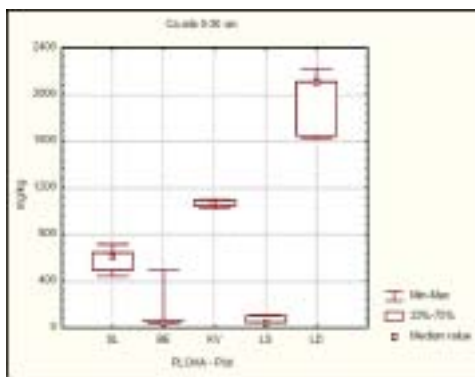
Grafikon 12. Mjesečne vrijednosti izmjenjivog kalija, dubina 30 - 60 cm
Graph 12. Monthly values of exchangeable potassium on investigated plots, depth 30-60 cm

Kalij na adsorpcijskom kompleksu *Exchangeable potassium*

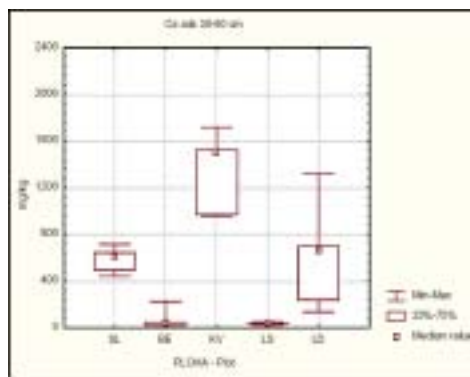
Razlike u sadržaju kalija na adsorpcijskom kompleksu (izmjenjivog kalija) u odnosu na dubinu uzorkovanja su male, a nešto su veće među plohama koje su se pokazale značajne za dubinu 0-30 cm, ali ne i za dubinu 30-60 cm. Usporedbom mjesečnih vrijednosti dobivena je statistički značajna razlika za dubinu uzorkovanja 30-60 cm (Grafikon 12.). Niže vrijednosti dobivene su u proljeće i jesen, a više u ljetnom periodu. Porast vrijednosti ponovno nastupa krajem vegetacije.

Kalcij na adsorpcijskom kompleksu *Exchangeable calcium*

Na plohi SL jasno se razlikuju dubine uzorkovanja, pri čemu je sadržaj kalcija veći u dubini 0-30 cm. Na plohi BE u rano ljeto sadržaj kalcija značajno pada: nakon još relativno povoljnih vrijednosti u lipnju, od srpnja pa do kraja vegetacijske sezone izrazito je nizak sadržaj kalcija na adsorpcijskom kompleksu. Na plohi LS tijekom cijele vegetacijske sezone podjednako su niske vrijednosti pa se ne može govoriti o izraženijoj dinamici kalcija. Uzevši u obračun vrijednosti svih ploha, nisu utvrđene značajne razlike između mjesečnih vrijednosti. Tlo na plohi KV sadrži, za razliku od ostalih ploha, veće količine kalcija u dubljem sloju, a situacija je obrnuta na plohi LD. Sadržaj izmjenjivog kalcija visoko značajno se razlikuje između ploha (Grafikoni 13. i 14.).



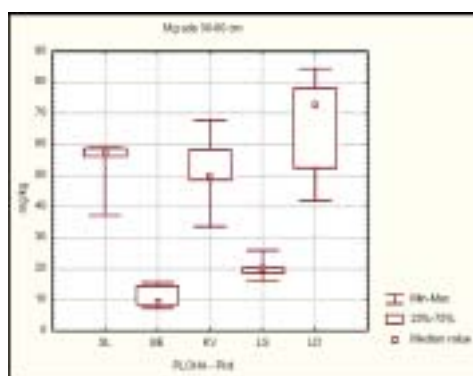
Grafikon 13. Sadržaj izmjenjivog kalcija na istraživanim plohama, dubina do 30 cm
Graph 13. Content of exchangeable calcium on investigated plots, depth up to 30 cm



Grafikon 14. Sadržaj izmjenjivog kalcija na istraživanim plohama, dubina 30 do 60 cm
Graph 14. Content of exchangeable calcium on investigated plots, depth 30-60 cm

Magnezij na adsorpcijskom kompleksu *Exchangeable magnesium*

Sadržaj magnezija na adsorpcijskom kompleksu izmjenjivog magnezija na svim plohama općenito je veći na dubini uzorkovanja 0-30 cm. Razlike između ploha na objema dubinama uzorkovanja visoko su značajne ($p < 0,01$) (Grafikon 15., 30-60 cm). Najviše vrijednosti zabilježene su na plohi LD, zahvaljujući dolo-mitnom matičnom supstratu, a najniže na plohama sa silikatnim matičnim supstratom, BE i LS. Statističkom obradom nije utvrđena značajna razlika mjesečnih vrijednosti.



Grafikon 15. Sadržaj izmjenjivog magnezija na istraživanim plohama, dubina 30 - 60 cm
Graph 15 Content of exchangeable magnesium on investigated plots, depth 30-60 cm

Korelacije *Correlations*

Vrijednosti pH (H₂O) u jakoj su do vrlo jakoj (0,86-0,96) pozitivnoj korelaciji s pH 1M KCl, te kalcijem (0,68-0,95) i magnezijem (0,59-0,70) na adsorpcijskom kompleksu na objema dubinama uzorkovanja. Na dubini 0-30 cm jaka je korelacija pH (H₂O) s ukupnim dušikom (0,69) i odnosom C/N (-0,67). Slične korelacije utvrđene su kod pH 1M KCl, ali samo za dubine do 30 cm. Na dubini 0-30 cm srednje jaka do jaka je korelacija s količinom nitrarnog dušika (0,53), fiziološki aktivnog fosfora (0,58) i kalija (0,63) te kalcija (0,69) i magnezija (0,71) na adsorpcijskom kompleksu, a jaka negativna s odnosom C/N (-0,70). Na dubini 30-60 cm srednja do vrlo jaka je korelacija s amonijskim i nitrarnim dušikom i fiziološki aktivnim fosforom. Amonijski oblik dušika stoji u vrlo jakoj pozitivnoj korelaciji s nitrarnim oblikom na dubini 30-60 cm. Količine nitrarnog oblika dušika na objema dubinama u pozitivnoj su vezi s fiziološki aktivnim fosforom (0,74-0,75) i kalijem (0,63) na dubini do 30 cm. Ne postoji značajnija veza vrijednosti fiziološki aktivnog kalija i kalija na adsorpcijskom kompleksu. Utvrđene su srednje do jake pozitivne korelacije kalcija s magnezijem na objema dubinama uzorkovanja, a negativna s odnosom C/N, kao i jaka pozitivna korelacija vrijednosti magnezija i odnosa C/N na objema dubinama uzorkovanja.

U odnosima biljnog materijala i tla utvrđen je očekivano manji broj korelacija koje pretežno vrijede za odnos kalija, kalcija i magnezija u biljnome materijalu s različitim parametrima u tlu. Za kalij, snažnije korelacije utvrđene su samo za prošlogodišnje iglice. Postoji slaba do srednje jaka negativna korelacija pH 1M KCl na dubini 0-30 cm s koncentracijama kalija u iglicama jele svih triju stupnjeva osutosti, a s povećanjem osutosti korelacija se pojačava (-0,44, -0,48, -0,58). Pozitivna korelacija (0,47- 0,59) vrijedi za odnos s fiziološki aktivnim kalijem, na dubini uzorkovanja 30-60 cm. Nisu utvrđene značajnije korelacije kalija u iglicama i kalija na adsorpcijskom kompleksu, bez obzira na starost iglica ili dubinu uzorkovanja. Kod prošlogodišnjih iglica L grupe stabala utvrđena je pozitivna (0,62) korelacija koncentracije Ca s reakcijom tla u vodi, na dubini uzorkovanja 30-60 cm. Usvajanje magnezija u ovogodišnjim i prošlogodišnjim iglicama u jakoj je do vrlo jakoj pozitivnoj korelaciji s pH (H₂O), pH 1M KCl, ukupnim dušikom i kalcijem na adsorpcijskom kompleksu, sve na dubini do 30 cm. Srednja do jaka negativna je korelacija magnezija s fiziološki aktivnim kalijem na dubini 30-60 cm, a korelacije rastu sa stupnjem osutosti (-0,51, -0,62, -0,71). Srednje jaka do jaka pozitivna korelacija (0,59-0,89) postoji između magnezija u biljnom materijalu i adsorpcijskom kompleksu, a vrijedi za obje starosti iglica i obje dubine uzorkovanja.

RASPRAVA *DISCUSSION*

Analizama uzoraka tla iz pedoloških profila, kao i prosječnih mjesečnih uzoraka tla, potvrđen je izbor pokusnih ploha prema kriteriju različitosti uvjeta za ishranu jelovih sastojina.

Povećana kiselost utječe na biljke neposredno, aktiviranjem iona aluminija i željeza koji u većim količinama mogu djelovati toksično, kao i posredno, smanjenjem pristupačnosti nekih biogenih elemenata. Vodikov ion u kiselim je tlima značajan antagonist prema drugim kationima (Baule i Fricker 1971). Međutim, visoka aktivnost vodikovih iona nema isključivo negativan utjecaj na kruženje elemenata i rast biomase. Vegetacija i sama stvara kiselu mikrosredinu u rizosferi kako bi poboljšala pristupačnost hraniva. U literaturi se kao optimalan raspon za četinjače navodi pH (H₂O) od 5,0 (5,2) do 6,0 (6,2) pa čak i od 4,0 do 5,0. Smatra se kako je izmjenjiva kiselost, pH u 1 M KCl ili X M CaCl₂, bolja mjera kemijske amplitude tla pod protonskim stresom te daje bolju sliku kemijskog stanja tla (Adam 1999). Vrijednosti od 3,5 ne bi trebale uzrokovati simptome deficijencije na tlima sa zadovoljavajućim rezervama hraniva (Vanmechelen i dr. 1997). U našem pokusu i akutna i izmjenjiva kiselost tla razlikuju se prema pokusnoj plohi. Najniža izmjenjiva pH vrijednost (3,2) zabilježena je na plohi Belevine, a najviša (6,5) na plohi Leska-dolomit, a te se vrijednosti odnose na sloj tla dubine do 30 cm. Na dubini 30-60 cm pH vrijednost na svim plohama kreće se u užem rasponu (3,8-6,4), povoljnijem u smislu ishrane obične jele. Korelacijska analiza također je pokazala kako pH vrijednost dobro opisuje karakter tla; porastom sadržaja ukupnog dušika te kalcija i magnezija na adsorpcijskom kompleksu, raste i pH tla. Slični rezultati dobiveni su u istraživanju odnosa parametara šumskih tala na plohama intenzivnog motrenja u okviru programa ICP-Forests (De Vries i dr. 2000), gdje je izmjenjiva kiselost varijabla koja uz značajnost $p=99\%$ objašnjava koncentracije K, Ca i Mg u tlu.

Odnos C/N na istraživanim plohama značajno se razlikuje, a s padom pH reakcije odnos C/N se povećava, što možemo objasniti padom brzine dekompozicije organskih ostataka. Porast odnosa C/N u razdoblju od lipnja do kolovoza izravno je povezan s aktivnosti mikroba i korjena drveća koji koriste oslobođeni dušik. Prema Becqueru i dr. (1990), od proljeća do rane jeseni iz zone korijena nema ispiranja dušika, već ga gotovo u potpunosti iskoristi vegetacija. Uz neke izuzetke, većina uzoraka ima C/N odnos od 10 do 20, što označava postojanje povoljnih uvjeta za mineralizaciju organske tvari i oslobađanje dušika. U tom smislu, u gornjem graničnom području nalazi se ploha Belevine gdje C/N u određenim razdobljima znatno premašuje 20, što može biti indikator dušične depresije, mada Baule i Fricker (1971) navode rezultate istraživanja više autora prema kojima je zadovoljavajuća opskrba obične smreke dušikom postignuta kod C/N 25-28:1. S druge strane, donjem graničnom području najbliža je ploha Sljeme na kojoj su koncentracije mineralnog dušika najviše, a aktivnost mikroorganizama vrlo stabilna, što je vidljivo iz male dinamike kroz vegetacijsku sezonu. Baule i Fricker (1971) navode kako je odnos C/N 10-15:1 karakterističan za biološki aktivna tla sa zrelim humusom. Prema Vukadinoviću i Lončariću (1998), sužavanje omjera C/N na 10:1 do 12:1 ne osigurava dovoljno energije za potrebe metabolizma mikroorganizama pa je daljnja mineralizacija takve organske tvari praktično zaustavljena. U ovome istraživanju pokazalo se kako najpovoljniji uvjeti za razgradnju organske tvari postoje na plohi Sljeme, s C/N odnosom oko 12.

Sadržaj ukupnog dušika, kao izraz potencijala staništa za opskrbu biljaka dušikom, znatno se razlikuje među plohama, ali je očekivano stabilan u pogledu razlika mjesečnih vrijednosti. Najbogatije su plohe SL i LD, a najmanje dušika sadrže tla ploha BE i LS. Na dubini 0-30 cm tla sadrže znatno više dušika nego u većoj dubini. Sporiji ciklus razgradnje organske tvari u kiselim tlima vodi akumulaciji organske tvari na površini tla (Vanmechelen i dr. 1997). Ti su procesi ponajviše izraženi na podzolu plohe Belevine gdje akumulacija nerazgrađene tvari u O-horizontu rezultira malim sadržajem ukupnog dušika u mineralnom dijelu tla. Za podzole je karakteristična slaba biološka aktivnost i nagomilavanje jako kiselog, sirovog humusa s malo dušika (Baule i Fricker 1971). Utvrdili smo korelaciju sadržaja ukupnog dušika na dubini 30-60 cm, s količinama N_{min} , $N-NH_4$ i $N-NO_3$. Mineralizacija dušika općenito korelira s količinom ukupnog dušika, ali razlike u količini ukupnog dušika samo djelomično mogu objasniti razlike N_{min} (Klemmenson i dr. 1989).

Razlike u sadržaju mineralnog dušika između ploha, unatoč razlikama u ukupnom dušiku i odnosu C/N, nisu statistički opravdane, a isto vrijedi i za razlike između vrijednosti po mjesecima. Najveći dio mineralnog dušika čini amonijski oblik, što je česta karakteristika šumskih tala (Karpačevski 1981; cit. Andreeva 1993). U šumskim tlima često niske pH-vrijednosti prouzročuju, u usporedbi s poljoprivrednim tlima, niži stupanj nitrifikacije (Arnold 1992). Razlike među plohama stoga treba tražiti u količinama nitratnog oblika dušika, gdje su se pokazale statistički značajne razlike. Količina nitratnog oblika mala je u odnosu na amonijski, osim u slučaju plohe Sljeme na kojoj nitratni čini, ovisno o datumu uzorkovanja, do četvrtinu mineralnog oblika dušika. Gonzales-Prieto i dr. (1992), istražujući mineralizaciju dušika u tlima humidne zone Španjolske, utvrdili su također dominaciju NH_4^+ nad NO_3^- . Prema Schnideru (cit. Majdi i Rosengren-Brinck, 1994) odnos ovih dvaju oblika dobar je indikator stupnja ispiranja baza koji započinje kada odnos NH_4-N/NO_3-N prijeđe 1, a višekratno toliki odnos dobiven na našim plohama u skladu je s prirodnim procesima ispiranja tala u humidnoj i perhumidnoj zoni. Prema Sumneru i dr. (1991) stupanj mineralizacije organske tvari reguliran je preko pH vrijednosti tla. On smatra kako amonifikacija nije osjetljiva na promjene pH, dok se nitrifikacija znatno smanjuje ispod $pH < 6$, a prestaje ispod $pH < 4,5$. Heinsdorf (cit. Huettl i Zoettl, 1993) kao graničnu navodi pH-vrijednost 4,2, dok De Boer i dr. (cit. Tietema i dr. 1992) kao minimalni pH za odvijanje nitrifikacije navodi 3,5. Takav sljed nije zamijećen na našim plohama, a nije pronađena značajnija korelacija pH i količine amonijskog ili nitratnog oblika dušika. Korelacije, iako niske, odreda su negativne, a druga po količini nitratnog dušika je ploha Belevine, s najnižim pH. Slično tome, Belkacem i dr. (1993), istražujući kisela smeđa tla u Francuskim Ardenima, dobili su visoke razine nitrifikacije pri niskoj reakciji tla, što pokazuje kako ti mehanizmi nisu dokraja rasvijetljeni. Nitratni dušik na našim plohama u pozitivnoj je korelaciji s količinom fosfora i kalija. Klemmenson i dr. (1989) navode kako prisutnost većih količina izmjenjivih kationa ima povoljan utjecaj na mineralizaciju, a Gonzales-Prieto i dr. (1992) dobili su pozitivnu korelaciju N mineralizacije i zasićenosti

tla bazama. Na našim plohama vrijednosti obaju oblika više su u sloju tla 0-30 cm nego u sloju 30-60 cm: sličan rezultat dobili su Becquer i dr. (1990) za slojeve 0-20 i 20-45 cm. Iako kod prisutnosti oba oblika mineralnog dušika u tlu ioni NH_4^+ kompetitivno inhibiraju usvajanje nitrata, većina četinjača, pa tako i jela, prilagođene su uspijevanju u kiselim tlima i mogu se opskrbljivati dušikom kroz usvajanje amonijevog iona. Prema Rorison i dr. (cit. Atwell 1992), vrste koje uspijevaju u kiselim tlima bogatim NH_4^+ pokazuju afinitet prema NH_4^+ kao izvoru dušika. Olsthoorn i dr. (1991) su ustanovili kako duglazija (*Pseudotsuga sp.*) usvaja oba oblika dušika, ali pokazuje preferenciju prema amonijskom obliku, a isto je za obični bor utvrdio Arnold (1992). Prema tome, za očekivati je kako će opskrba jele dušikom na istraživanim plohama biti više utjecana količinom, a manje oblikom pristupačnog dušika. Ovim istraživanjem nije utvrđena značajnija korelacija dušika u biljnom materijalu i različitih oblika dušika, kao niti bilo kojeg drugog parametra u tlu, što odgovara rezultatima drugih autora (De Vries i dr. 2000) obavljenim za razne vrste drveća.

Organska tvar glavni je izvor fosfora u mnogim šumskim tlima te su količine fosfora u tlu ovisne o dekompoziciji organske tvari (Vanmechelen i dr. 1997). Slaba ishrana N i P često je povezana s nedostatkom kalija, a reflektira osnovne karakteristike tla, osobito promet organskom tvari (Landmann i dr. 1995). U skladu s time, kod fiziološki aktivnog fosfora dobivena je pozitivna korelacija s količinom ukupnog i mineralnog dušika. U prilog tome, na našim plohama dobili smo negativnu korelaciju fosfora u biljnome materijalu, s odnosom C/N u tlu. U smislu ishrane obične jele, iako postoje visoko značajne razlike između ploha, vrijednosti fosfora na svim plohama vrlo su niske. Nisu utvrđene značajnije korelacije fosfora u iglicama s fiziološki aktivnim fosforom tla. Bergmann (1992) navodi kako nedostatak fosfora u biljkama ne znači uvijek kako su količine biljkama dostupnog fosfora u tlu nedostatne, jer na usvajanje fosfora jak utjecaj imaju vanjski čimbenici, osobito suša. Uz to, fosfor je u biljkama lako pokretljiv te se manjak brzo nadoknađuje iz rezervi nastalih u periodima povoljnim za njegovo usvajanje.

Kalij je u uzorcima tla određen kao fiziološki aktivan kalij (AL metoda), te kao kalij na adsorpcijskom kompleksu. Više studija pokazalo je kako su česte sezonske varijacije kemijskih karakteristika kao što je količina izmjenjivih kationa, a koje su se smatrale manje promjenjivima (Schoenholtz i dr. 2000). Signifikantne razlike mjesečnih vrijednosti u ovom su istraživanju dobivene za izmjenjivi kalij na dubini uzorkovanja 30-60 cm. Ne postoji značajnija veza vrijednosti fiziološki aktivnoga kalija i kalija na adsorpcijskom kompleksu, što govori o različitosti korištenih metoda. "Izmjenjivi" K često nije zadovoljavajuće mjerilo pristupačnosti K^+ , jer uz "izmjenjivi" jedan dio "neizmjenjivog" K^+ ima ulogu u opskrbi biljaka (Mengel i Kirkby 1987). Nisu utvrđene značajnije korelacije kalija u iglicama i kalija na adsorpcijskom kompleksu, bez obzira na starost iglica ili dubinu uzorkovanja, a nepostojanje te korelacije za izmjenjivi K navode i Katzensteiner i dr. (1992) te Landmann i dr. (1995). Dobar pokazatelj potencijala za opskrbu jele kalijem je količina fiziološki aktivnog kalija utvrđena AL metodom. Pozitivna korelacija vrijedi za odnos kalija u iglicama svih triju stupnjeva osutosti s fiziološki aktivnim ka-

lijem na dubini uzorkovanja 30-60 cm. Bez obzira na metodu, veze s ostalim parametrima određivanim u tlu su malobrojne, a najviše veza postoji s različitim oblicima dušika. Za razliku od nekih drugih elemenata, ne postoji veza količine kalija s reakcijom tla, što je u skladu s istraživanjem Brunnera i dr. (1999). Plohe se u pogledu opskrbe kalijem ipak značajno razlikuju, pri čemu ne možemo razlučiti plohe prema matičnoj podlozi. Na dubini 0-30 cm najveća količina fiziološki aktivnog kalija zabilježena je na plohi Sljeme, a najmanja na plohi Belevine, dok je na dubini 30-60 cm najmanja količina kalija na plohi Leska-dolomit. Ploha LD ima velike rezerve kalcija i magnezija na adsorpcijskom kompleksu, a sadržaj izmjenjivog, kao i fiziološki aktivnog kalija, vrlo je nizak. Visoke koncentracije Ca^{2+} u otopini tla mogu djelovati antagonistički na K^+ i spriječiti njegovo usvajanje, što rezultira nedostatkom kalija (Zoettl i dr. 1989). Komlenović (1980) je utvrdio nepovoljan omjer kalija glede kalcija i magnezija kod biljaka uzgajanih na dolomitnoj rendzini. Bergmann (1992) naglašava kako je K:Mg odnos u tlu od 2:1 do 5:1 neophodan za pravilnu ishranu kalijem. Taj je uvjet na plohi LD jedva zadovoljen. Činjenicu kako visok sadržaj Mg limitira pristupačnost kalija, naglašava i Bergmann (1994). Možemo stoga ustvrditi kako je manjak kalija u biljnom materijalu na plohi Leska-dolomit posljedica antagonističkog djelovanja magnezija i osobito kalcija prema kaliju. Pri usvajanju kalija vidljiv je i utjecaj fiziološke kondicije stabala. Niže koncentracije kalija u iglicama jače oštećenih stabala obične jele dobili su i Aldinger (1989) te Komlenović i dr. (1991). Također, postoji slaba do srednje jaka negativna korelacija između pH (1 M KCl) na dubini 0-30 cm i koncentracija kalija u iglicama jele svih triju stupnjeva osutosti, a s povećanjem osutosti korelacija se pojačava. Po tome zaključujemo kako je povišenje pH utjecalo na opskrbu kalijem, i to ponajviše kod fiziološki najslabijih stabala.

Sadržaj kalcija na adsorpcijskom kompleksu visoko značajno se razlikuje između ploha. Kalcijem najbogatije su plohe Leska-dolomit i Kupjački vrh, zatim Sljeme, a vrlo siromašne kalcijem su plohe Belevine i Leska –silikat, što potvrđuje ovisnost količine kalcija na adsorpcijskom kompleksu o matičnoj podlozi. Utvrđene su srednje do jake pozitivne korelacije kalcija s reakcijom tla na objema dubinama uzorkovanja, što odgovara rezultatima Brunnera i dr. (1999). Jača je korelacija s reakcijom tla određenom u vodi. Pozitivna korelacija kalcija utvrđena je s izmjenjivim magnezijem na objema dubinama uzorkovanja, a negativna korelacija s odnosom C/N. Katzensteiner i dr. (1992) su utvrdili pozitivnu vezu sadržaja Ca u iglicama obične smreke s pH tla. U našem pokusu jaka veza je utvrđena između koncentracije Ca u prošlogodišnjim iglicama jako osutih stabala i pH na dubini 30-60 cm, što upućuje na povećanu osjetljivost stabala loše fiziološke kondicije na sniženu reakciju.

Kao i kod kalcija, zastupljenost magnezija na adsorpcijskom kompleksu vezana je za matični supstrat i pH. Hoće li nedostatak magnezija biti dominantan čimbenik stresa ovisi ponajprije o matičnoj podlozi (Zoettl i Huettl 1986; cit. Marschner 1991). Najveće koncentracije izmjenjivog magnezija zabilježene su na plohi Leska-dolomit, zatim na Sljemenu te Kupjačkom vrhu, a najsiromašnije magnezijem pokazale su se plohe na silikatnom matičnom supstratu. Pristupačnost

magnezija biljkama, kao funkciju matičnog supstrata, naglašavaju i Smith i dr. (2000). Koncentracije magnezija nešto su više na dubini uzorkovanja 0-30 cm; Helmisaari (1995) smatra kako se velik dio magnezija nadoknađuje preko listinca, koji je najvažniji put za transfer magnezija natrag u lanac ishrane. Prema Rehfuessu (1991), simptomi nedostatka magnezija kod smreke pojavljuju se kada koncentracija magnezija na adsorpcijskom kompleksu padne ispod 50 mg/kg, što je u našem istraživanju slučaj na plohama Belevine i Leska-silikat, međutim koncentracije Mg u iglicama jele zadržale su se pretežno iznad granične opskrbljenosti. Izgleda kako je, za razliku od smreke, zahvaljujući dubljem zakorjenjivanju, jela sposobnija koristiti zalihe magnezija u dubljim horizontima tla (Bäumler i dr. 1995). Utvrđena je pozitivna korelacija magnezija u biljnom materijalu s pH, ukupnim dušikom, magnezijem i kalcijem na adsorpcijskom kompleksu, a vrijedi za obje starosti iglica i obje dubine uzorkovanja. Povezanost Mg u iglicama s količinom izmjenjivog Mg u tlu dobili su u svojem istraživanju i Katzensteiner i dr. (1992). Laboratorijskim pokusima utvrđeno je slabije usvajanje Mg pri nižem pH (Tan i dr. 1991). Na kalkokambisolu Kupjačkog vrha došao je do izražaja antagonizam kalcija i magnezija: sa stupnjem oštećenosti padale su koncentracije Mg u iglicama, to jest najmanje su magnezija usvajala najoštećenija stabla.

Deficijencije hraniva po prirodi mogu biti primarne, prouzročene nedostatkom određenog hraniva u supstratu ili sekundarne, prouzročene poremetnjom u usvajanju i translokaciji (Raitio 1993). U idealnim uvjetima za ishranu drveća koncentracija izmjenjivog kalcija trebala bi biti dvostruko veća od koncentracije magnezija, a koja bi opet trebala biti dvostruko veća od koncentracije kalija. Rast biljaka može biti reduciran kada Mg znatno nadmašuje Ca, a opasnost od deficijencije magnezija raste s porastom koncentracije biljkama pristupačnog kalija (Vanmechelen i dr. 1997). Na našim plohama ti se odnosi znatno razlikuju pa na plohama povrh silikatnog matičnog supstrata prevladava kalij, a vrlo su niske koncentracije Ca i Mg, dok na vapnenačkoj podlozi prevladava Ca, kalija je otprilike dvostruko manje, a magnezij je i tu slabo zastupljen. U takvim uvjetima za očekivati je pojačane antagonizme pri usvajanju ovih kationa.

ZAKLJUČCI

CONCLUSIONS

1. Matična podloga i tlo utječu na ishranu jelovih stabala. Postoji srednja do jaka korelacija kalija i magnezija u iglicama jele s količinama fiziološki aktivnog kalija, odnosno izmjenjivog magnezija u tlu. Također je utvrđena korelacija kalcija u biljnom materijalu s reakcijom tla u vodi. Najviše vrijednosti magnezija u iglicama i u tlu utvrđene su na plohi Leska-dolomit zahvaljujući dolomitnoj matičnoj podlozi, nešto niže na plohama Kupjački vrh i Sljeme, a najniže na plohama sa silikatnim matičnim supstratom, Belevine i Leska-silikat.

2. S druge strane, koncentracije kalija u iglicama i tlu ploha Kupjački vrh i Leska-silikat podjednake su, a isto tako podjednake koncentracije kalija nalazimo na plohama Belevine i Leska-dolomit. Nije moguća generalizacija uvjeta za ishranu jele prema matičnoj podlozi.
3. Ekstrakcija kalija na adsorpcijskom kompleksu nije se pokazala odgovarajućom metodom određivanja za biljke pristupačnih količina kalija.
4. Korelacija izmjenjivog kalcija s koncentracijama kalcija u iglicama nije utvrđena, kao niti izravna povezanost dušika i fosfora u iglicama s njihovim koncentracijama u tlu.
5. Antagonizmi iona negativno utječu na ishranu stabala obične jele biogenim elementima. Osobito je jak taj utjecaj kod fiziološki oslabljenih stabala.
6. Analiza tla nije dovoljna za određivanje potencijala staništa za ishranu obične jele. Primjer je ploha Sljeme na kojoj više koncentracije fiziološki aktivnog kalija u odnosu na ostale plohe nisu rezultirale povoljnijom ishranom tim elementom. Stoga se potpuna slika o potencijalu staništa za ishranu drveća može steći samo uzorkovanjem i analizom biljnog materijala.

LITERATURA

REFERENCES

- ADAM, M., 1999: Nutrient fluctuations in Sitka spruce (*Picea sitchensis*) plantations: the implications for future forest management practice. *Forestry*, Vol. 72, No. 3, 249-271.
- 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.
- ANDREEVA, A.E., 1993: The seasonal dynamics of nutrient-ion activity in soils of the relict evergreen rain forest ecosystems on the black sea shore. U: Nilsson, L.O., R.F. Huettl i U.T. Johansson (ur.), *Nutrient Uptake and Cycling in Forest Ecosystems.*: 53-58, Kluwer, Dordrecht.
- AOAC, 1996: *Official Methods of Analysis of AOAC International*, Association of Official Analytic Chemists International, Arlington, VA.
- ARNOLD, G., 1992: Soil acidification as caused by the nitrogen uptake pattern of Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Plant and Soil*, 142: 41-51.
- ATWELL, B.J., 1992: Nitrate and ammonium as nitrogen sources for lupins prior to nodulation. *Plant and Soil*, 139: 247-251.
- BAULE, H., C. FRICKER, 1971: *Đubrenje šumskog drveća*. Jugoslovenski poljoprivredno šumarski centar, Dokumentacija za tehniku i tehnologiju u šumarstvu 78
- BÄUMLER, R., T. GOERTLER, W. ZECH, 1995: Nährelement- und Schwermetallgehalte in den Nadeln von Fichten und Tannen eines Bergmischwaldes auf Fylsch (Tegernseer Alpen). *Forstw. Cbl.* 114: 30-39.
- BECQUER, T., D. MERLET, J-P. BOUDOT, J. ROUILLER, F. GRAS, 1990: Nitrification and nitrate uptake: Leaching balance in a declined forest ecosystem in eastern France. *Plant and Soil*, 125: 95-107.
- BELKACEM, S., C. NYS, S. DIDIER, 1993: The effects of CaCO₃, CaCO₃+MgO and CaSO₄ on acid forest soils: consequences on the soil and the soil solution. U: Nilsson, L.O., R.F.

- HUETTTL i U.T. JOHANSSON (ur.), Nutrient Uptake and Cycling in Forest Ecosystems.: 59-67, Kluwer, Dordrecht.
- BERGMANN, C., M. STUHRMANN, W. Zech, 1994: Site factors, foliar nutrient levels and growth of *Cordia alliodora* plantations in the humid lowlands of Northern Costa Rica. *Plant and Soil*, 166: 193-202.
- BERGMANN, W. (ur.), 1992: Nutritional Disorders of Plants – Development, Visual and Analytical Diagnosis. Gustav Fischer Verlag Jena etc.
- BRUNNER, I., D. RIGLING, S. EGLI, P. BLASER, 1999: Response of Norway spruce seedlings in relation to chemical properties of forest soils. *Forest Ecology and Management*, 116: 71-81.
- DE VRIES, W., G.J. REINDS, M.S. VAN KEERKVOORDE, C.M.A. HENDRIKS, E.E.J.M. LEETERS, C.P. GROSS, J.C.H. VOOGD, E.M. Vel, 2000: Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe, FIMCI, EC-UN/ECE, Brussels, Geneva
- EGNËR H., H. RIEHM, W.R. DOMINGO, 1960: Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor und Kaliumbestimmung. *Kungl. Lantbrukshögsk. Ann.* 26. 199-215.
- GONZALES-PRIETO, S.J., M.C. VILLAR, M. CARBALLAS, T. CARBALLAS, 1992: Nitrogen mineralization and its controlling factors in various kinds of temperate humid-zone soils. *Plant and Soil*, 144: 31-44.
- HELMISAARI, H.S., 1995: Nutrient cycling in *Pinus sylvestris* stands in eastern Finland. *Plant and Soil*, 168-169: 327-336.
- HENDRIKS, C.M.A., A.F.M. OLSTHOORN, J.M. KLAP, P.W. GOEDHART, J.H. OUDE VOSHAAR, A. BLEEKER, F. DE VRIES, C. VAN DER SALM, J.C.H. VOOGD, W. DE VRIES, S.M.J. WIJDEVEN, 2000: Relationships between crown condition and its determining factors in The Netherlands for the period 1984 to 1994. Alterra, Green World Research, Wageningen
- HUETTTL, R. F., S. FINK, H.-J. LUTZ, M. POTH, J. WISNIEWSKI, 1990: Forest Decline, Nutrient Supply and Diagnostic Fertilization in Southwestern Germany and in Southern California. *Forest Ecology and Management*, 30: 341-350.
- HUETTTL, R. F., 1993: Forest Soil Acidification. *Angew. Bot.* 67: 66-75, Göttingen.
- HUETTTL, R.F., H.W. ZOETTTL, 1993: Liming as a mitigation tool in Germany's declining forests – reviewing results from former and recent trials. *Forest Ecology and Management*, 61: 325-338.
- HUETTTL, R. F., M. FRIELINGHAUS, 1994: Soil fertility problems - an agriculture and forestry perspective. *The Science of the Total Environment*, 143: 63-74.
- HUETTTL, R. F., H. JOCHHEIM, 1995: Soil and Site Changes in Forests under Stress. In: Korpilakti, E., H. MIKKELA, & T. SALONEN (ur.): *Caring for the Forest: Research in a Changing World*, Congress Report, Vol. 2: 313-328.
- HUETTTL, R. F., W. SCHAAF, 1995: Nutrient supply of forest soil in relation to management and site history. *Plant and Soil*, 168-169: 31-34.
- JACKSON, M.L., 1952: Soil chemical analysis. Madison, Wisconsin
- JANDL, R., K. GARTNER, 1997: Changes in forest soil fertility – soil deterioration or artefact. *Mitt. D. ÖSTERR. Bodenkundl. Ges.*, H. 55: 29-32, Comm. of the Austrian Soil Science Society.
- KATZENSTEINER, K., G. GLATZEL, M. KAZDA, 1992: Nitrogen-induced nutritional imbalances – a contributing factor to Norway spruce decline in the Bohemian forest (Austria). *Forest Ecology and Management*, 51: 29-42.
- KAZDA, M., K. KATZENSTEINER, 1993: Factors influencing the soil solution chemistry in Norway spruce stands in Bohemian forest, Austria. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 47: 135-145.

- KIEMMENSON, J.O., K.E. REHFUESS, F. MAKESCHIN, H. RODENKIRCHEN, 1989: Nitrogen mineralization in lime- and gypsum-amended substrates from ameliorated acid forest soils. *Soil Science*, Vol. 147, No. 1: 55-63.
- KOMLENOVIĆ, N., 1980: Prilog poznavanju kloroze američkog borovca (*Pinus strobus* L.) na karbonatnim tlima. *Agrohemija*, No.1-2: 49-57.
- KOMLENOVIĆ, N., P. RASTOVSKI & N. PEZDIRC, 1991: Odnos ishrane i oštećenosti obične jele (*Abies alba* Mill.) u šumi jele s rebračom na području fužina. *Radovi*, Vol. 26. br.2: 187-198.
- KREUTZER, K., 1989: Hipoteze i rezultati ispitivanja uloge tla u "novim" šumskim štetama. *Šumarski list*, CXIII: 261-278.
- LANDMANN, G., M. BONNEAU, L. BOUHOT – DELDUC, F., FROMARD, V. CHERET, J. DAGNAC, B. SOUCHIER, 1995: Crown Damage in Norway Spruce and Silver Fir: Relation to Nutritional Status and Soil Chemical Characteristics in the French Mountains. U: Landmann, G. i M. Bonneau (ur.): *Forest Decline and Atmospheric Deposition Effects in the French Mountains*: 41-81, Springer Verlag, Berlin.
- MAJDI, H., U. ROSENGREN – BRINCK, 1994: Effects of ammonium sulphate application on the rhizosphere, fine-root and needle chemistry in a *Picea abies* (L.) KARST. stand. *Plant and Soil*, 162: 71-80.
- MARSCHNER, H., 1991: Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. *Plant and Soil*, 134: 1-20.
- MENDEL, K., E.A. KIRKBY, 1987: *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Bern
- OLSTHOORN, A.F.M., W.G. KELTJENS, B. VAN BAREN, M.C.G. HOPMAN, 1991: Influence of ammonium on fine root development and rhizosphere pH of Douglas-fir seedlings in sand. *Plant and Soil*, 133: 75-81.
- PERNAR, N., 2001: Tla jelovih šuma u Hrvatskoj. U: PRPIĆ, B. (ur.), *Obična jela u Hrvatskoj*, Akademija šumarskih znanosti i "Hrvatske šume", p.o. Zagreb, 107-132.
- RAITIO, H., 1993: Chemical needle analysis as a diagnostic and monitoring method. U: NILSSON, L.O., R.F. HUETTL & U.T. JOHANSSON (ur.), *Nutrient Uptake and Cycling in Forest Ecosystems*: 197-202, Kluwer, Dordrecht.
- REHFUESS, K.-E., 1991: Review of forest decline research activities and results in the Federal Republic of Germany. *J. ENVIRON. Sci. Health*, A26 (3): 415-445.
- SCHOENHOLZ, S.H., H. VAN MIEGROET, J.A. BURGER, 2000: A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 138: 335-356.
- SEIDLING, W., 2000: *Multivariate Statistics within Integrated Studies on Tree Crown Condition in Europe – an Overview*. PCC, Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH), Hamburg
- SMITH, C.T., A.T. LOWE, M.F. SKINNER, P.N. BEETS, S.H. SCHOENHOLZ, S. FANG, 2000: Response of radiata pine forests to residue management and fertilisation across a fertility gradient in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 138: 203-223.
- STATSOFT, Inc. (1995). *STATISTICA for Windows Computer program manual*. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, 74104-4442, (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, e-mail: info@statsoft.com, WEB: <http://www.statsoft.com>.
- SUMNER, M.E., M.V. FEY, A.D. NOBLE, 1991: Nutrient status and Toxicity Problems in Acid soils. U: ULRICH, B. & M.E. SUMNER (ur.) *Soil Acidity*. pp. 224. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- ŠKORIĆ, A., 1973: *Pedološki praktikum*. Sveučilište u Zagrebu

N. Potočić, T. Ćosić, I. Pilaš, I. Seletković, 2003: Utjecaj podloge i tipa tla na ishranu obične jele...
Rad. Šumar. inst. 38 (2): 125–146, Jastrebarsko

- TAN, K., W.G. KELTJENS, G.R. FINDENEGG, 1991: Role of magnesium in combination with liming in alleviating acid-soil stress with aluminium-sensitive sorghum genotype CV323. *Plant and Soil* 136: 65-71.
- THOMAS, G.W., 1982: *Methods of soil analysis, Part 2, Agronomy Chemical and Microbiological Properties*, Second Edition, ASA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- TIETEMA, A., B. WARMERDAM, E. LENTING, L. RIEMER, 1992: Abiotic factors regulating nitrogen transformations in the organic layer of acid forest soils: Moisture and pH. *Plant and Soil*, 147: 69-78.
- USDA – SCS – NSCS, 1992. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- VANMECHELEN, L., R. GROENEMANS, E. VAN RANST, 1997: *Forest Soil Condition in Europe*. FSCC, EC-UN/ECE, Brussels, Geneva
- VUKADINOVIĆ, V., Z. LONČARIĆ, 1998: *Ishrana bilja*. Poljoprivredni fakultet Osijek
- ZOETTL, H.W., R.F. HUETTL, S. FINK, G.H. TOMLINSON, J. WISNIEWSKI, 1989: Nutritional disturbances and histological changes in declined forests. *Water, Air and Soil Pollution*, 48: 87-109.

INFLUENCE OF PARENT MATERIAL AND SOIL TYPE ON SILVER FIR NUTRITION (*Abies alba* Mill.)

Summary

*In order to gain better understanding of the influence of nutrition on the condition of Silver fir (*Abies alba* Mill.), it is necessary to know the effect of parent material and soil on fir nutrition. The aim of this investigation was to determine the differences in concentrations of N, P, K, Ca, and Mg in the soil of selected plots with regard to time and depth of sampling, and to compare these values with the concentrations of the same elements in Silver fir needles at different degrees of crown defoliation, in order to determine which of the methods of analysis used enables better insight of the potential of a particular soil for the nutrition of Silver fir (*Abies alba* Mill.). Each month, from May to October 2000, samples of the mineral part of the soil were taken at 0-30 cm and 30-60 cm depths from five plots, which differed according to pedological conditions. Samples of current-year and previous-year Silver fir needles were then taken from trees in different degrees of crown defoliation. Chemical analyses of soil included determination of pH in water and 1M KCl, total carbonate, carbon, total nitrogen, nitrate and ammonia forms of nitrogen, physiologically active P and K, and exchangeable K, Ca and Mg. Correlation was determined of K and Mg in fir needles with amounts of physiologically active K, or exchangeable Mg in the soil, and also correlation of Ca in plant material with pH in water. No direct correlation of N and P in needles was determined with their concentrations in the soil. Although parent material and soil influence the nutrition of Silver fir trees, it is not possible to generalise the conditions for fir nutrition according to the parent material. Mineral nutrition of fir is also influenced by the ion antagonism, which has a particularly strong influence in physiologically weakened trees. Soil analysis is not sufficient for determination of the site potential for nutrition of Silver fir, and a complete picture of the site potential for mineral nutrition of trees can only be obtained by sampling and analysis of plant material.*

Key words: soil type, parent material, methods of chemical analyses of soil, nutrition of Silver fir