

UTVRĐIVANJE JAČINE DEPOZICIJE SUMPORA NA PODRUČJU ISTRE BIOINDIKACIJOM

DETERMINATION OF THE LEVEL OF SULPHUR DEPOSITION IN
ISTRIA BY MEANS OF BIOINDICATION

Nenad POTOČIĆ*, Ivan SELETKOVIĆ**

SAŽETAK: Sumpor je kao i ostali biogeni elementi, neophodan za odvijanje životnih procesa u biljci. U uvjetima povišene koncentracije SO_2 u atmosferi biljke sadrže više sumpora u asimilacijskim organima. Sadržaj SO_2 u zraku je povećan u okolici termocentrala i rafinerija nafte, te u drugim industrijskim i urbanim područjima. TE Plomin 2 započeo je s radom krajem 1999. godine, a u odnosu na TE Plomin 1 koristi kameni ugljen sa znatno nižim sadržajem sumpora, što bi, uz korištenje uređaja za odsumporavanje, trebalo osigurati znatno manje emisije dimnih plinova. Jedan od načina utvrđivanja unosa kemijskih spojeva u šumske ekosustave je korištenje određene biljne vrste kao bioindikatora. Crni bor (*Pinus nigra* Arn.) je za potrebe ovog rada odabran kao bioindikacijska vrsta iz više razloga: kulture crnog bora nalazimo na području cijele Istre, crni je bor vrsta koji iglice ne odbacuje u jesen, i vrsta koja iglice zadržava više godina. Ovo je istraživanje imalo za cilj utvrditi stupanj opterećenja šumske vegetacije sumporom na različitim udaljenostima od TE Plomin u novom režimu rada.

Gljučne riječi: Emisije SO_2 , TE Plomin 2, odsumporavanje, opterećenje šumskih ekosustava, bioindikator, *Pinus nigra*

UVOD – Introduction

Sumpor je kao i ostali biogeni elementi, neophodan za odvijanje životnih procesa u biljci. U biljci se može nalaziti u organskom i anorganskom obliku, te sačinjava 0,1 - 0,5 % suhe tvari. Biljke uzimaju sumpor iz tla preko korijena kao SO_4^{2-} ion, a iz atmosfere preko puči kao SO_2 , te ga koriste za sintezu organskih spojeva. Prema Bergmannu (1992.), biljke mogu zadovoljiti do 70 % svojih potreba za sumporom preko lista. U uvjetima povišene koncentracije SO_2 u atmosferi biljke sadrže više sumpora u asimilacijskim organima (Komlenović i Pezdirc, 1987., Kalan i dr. 1995.). Višak se nakuplja u tkivu u obliku sulfata uzrokujući toksičnost (Simončić i Kalan, 1996.). Kropff (1991.) navodi rezultate više istraživanja po kojima su oštećenja od SO_2 izazvana poremetnjom pH u međustaničnim prostorima.

Sadržaj SO_2 u zraku povećan je u okolici termocentrala i rafinerija nafte, te u drugim industrijskim i urbanim područjima. Problematikom štetnog utjecaja sumpornih spojeva na šumsku vegetaciju u svojim istraživanjima bavili su se mnogi istraživači (Zech i dr., 1985, Kaupenjohann i dr. 1988 i 1989., Schatzle i dr., 1990., Sheppard 1996., Glavač i dr. 1985., Prpić i dr. 1988., Seletković Z. 1991. itd.).

Problematikom utjecaja TE Plomin na kulture crnog bora ponajviše se bavio Komlenović (1987., 1990., 1993., 1996., 1998.).

Ti radovi vezani su za štetni utjecaj TE Plomin 1, koja je za proizvodnju električne energije koristila domaći raški ugljen s visokim sadržajem sumpora (maseni udio 9-10 %). Zatvaranjem jame Tupljak, dovršetkom izgradnje bloka 2 te rekonstrukcijom bloka 1 krenulo se u novu ekološki prihvatljiviju fazu proizvodnje električne energije. TE Plomin 2 (slika 1.) koristi uvozni kameni ugljen sa znatno nižim sadržajem sumpora

* Nenad Potočić, dipl. ing. šum., Šumarski institut Jastrebarsko

** Ivan Seletković, dipl. ing. šum., Šumarski institut Jastrebarsko

(maseni udio 0,3-1,4 %), a emisija dimnih plinova (SO_2 , SO_3 , HCl i HF) dodatno je smanjena korištenjem



Slika 1. TE Plomin 2
Photo 1 TE Plomin 2

Jedan od načina utvrđivanja unosa kemijskih spojeva u šumske ekosustave je korištenje određene biljne vrste kao bioindikatora. Prisutnost povećane atmosferske depozicije može se utvrditi kemijskom analizom biljnog materijala. Mjerenje ukupnog sadržaja sumpora u biljnom materijalu koristi se već dugo vremena kao indikator prisutnosti SO_2 u zraku. Već 1883. takva su mjerenja korištena za identificiranje biljaka oštećenih od SO_2 (Simončić i Kalan prema Huttl, 1996.). Za tu svrhu pogodne su različite biljne vrste, od lišajeva (Batič i Mayrhofer, 1996.) do obične

uređaja za odsumporavanje mokrim postupkom (slika 2.). Zajamčeni stupanj izlučivanja SO_2 je 95 %.



Slika 2. TE Plomin, postrojenje za odsumporavanje
Photo 2 TE Plomin, desulphurization compound

smreke i crnog bora (Kalan 1990.)

Crni bor (*Pinus nigra* Arn.) je za potrebe ovog rada odabran kao bioindikacijska vrsta iz više razloga: kulture crnog bora nalazimo na području cijele Istre, crni je bor vrsta koji iglice ne odbacuje ujesen, i vrsta koja iglice zadržava više godina. Također, ranija istraživanja pružaju mogućnost za komparaciju rezultata.

Zadatak je ovog istraživanja bio utvrditi opterećenost šumske vegetacije sumporom na različitim udaljenostima od TE Plomin u novom režimu rada.

MATERIJAL I METODE RADA – Material and methods of work

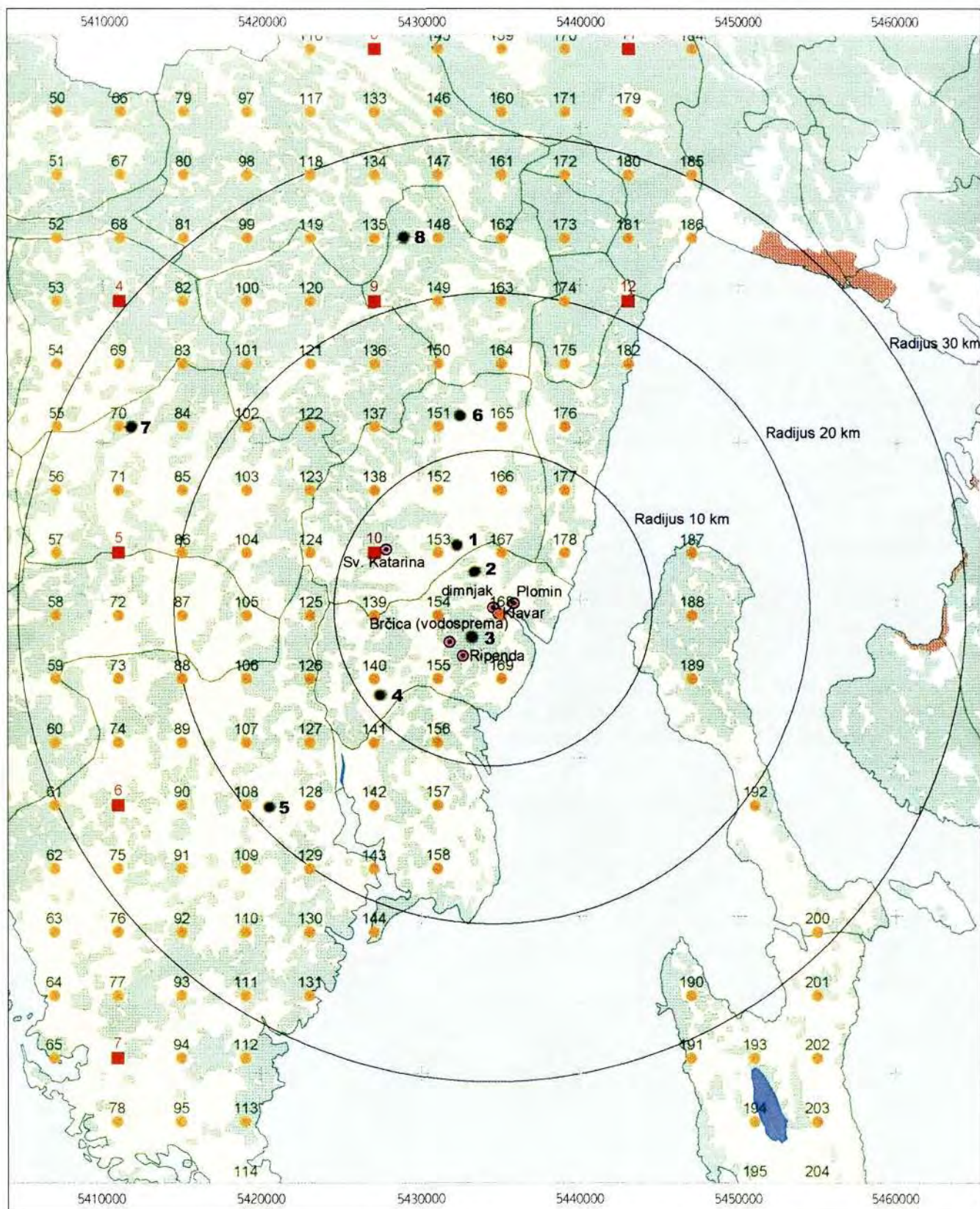
Istraživanje je provedeno na području Istre, a plohe su postavljene na različitim udaljenostima od TE Plomin, te kasnije svrstane u zone: do 10 km (4 plohe), 10 - 20 km (2 plohe) te 20 - 30 km (2 plohe), dok su ostalih 7 ploha smještene na udaljenosti većoj od 30 km,

većinom na rubovima Istarskog poluotoka. Plohe su postavljene u kulturama crnog bora (*Pinus nigra* Arn.) podjednake dobi (40-60 godina). Zemljopisni položaj i opis ploha dani su na karti 1. i u tablici 1.

Tablica 1. Osnovni podaci o pokusnim plohama

Table 1 Plot description

Broj plohe Plot number	Lokacija Locality	Nad. visina Altitude, m	God. oborine Annual precipitation, mm	Tip tla Soil unit	Udaljenost od TE Plomin Distance from TE Plomin
1	Kršan	100	1150	Kalkokambisol	4 km
2	Vozilići	110	1150	Kalkokambisol	2 km
3	Ripenda	473	1200	Kalkomelanosol	3 km
4	Golji	280	1150	Crvenica	9 km
5	Manjadvorci	210	1050	Crvenica	19 km
6	Šušnjevica	70	1200	Kalkokambisol	12 km
7	Trviž	360	1050	Kalkokambisol	27 km
8	Lesiščina	350	1200	Rendzina	24 km
9	Oprtalj	360	1100	Crvenica	> 30 km
10	Trstenik	715	1550	Kalkomelanosol	> 30 km
11	Vodice	620	1550	Kalkomelanosol	> 30 km
12	Rupa	410	1800	Rendzina	> 30 km
13	Kaštel	145	890	Kalkokambisol	> 30 km
14	Novigrad	60	880	Rendzina	> 30 km
15	Fuškulin	65	790	Kalkokambisol	> 30 km



Karta 1. Zemljopisni položaj pokusnih ploha – Map 1 Geographical location of plots

Uzorec iglica uzimani su kao prosječni uzorak sa 4-5 stabala po plohi u vrijeme mirovanja vegetacije (listopad/studen) 1999. i 2000. godine. Uzorkovane su

jedno- i dvogodišnje iglice iz gornje trećine krošnje. Uzorci su u laboratoriju Šumarskog instituta u Jastrebarskom sušeni na 105 °C, usitnjeni te tako pripremlje-

ni, analizirani na sadržaj sumpora, a uzorci iz 1999. godine također na sadržaj dušika, fosfora, kalija, kalcija, magnezija, željeza, mangana i cinka.

Sadržaj ukupnog sumpora (S_t) određen je na anali-

zatoru Leco. Ukupni dušik (N_t) određen je po Kjeldahlu. Rezultati su statistički obrađeni uz pomoć programskog paketa Statistica.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA S RASPRAVOM – Research results and discussion

Rezultate analiza jedno- i dvogodišnjih iglica s pokusnih ploha svrstane prema udaljenosti od TE Plomin (do 10 km – zona I, 10-20 km – zona II, 20-30 km – zona III, iznad 30 km – zona IV) statistički smo obradili koristeći analizu varijance i Duncan test (tablice 2 i 3).

Tablica 2. Analiza varijance

Table 2 Analysis of variance

df	MS	df	MS		
Effect	Effect	Error	Error	F	p-level
3	0.158267	48	0.032346	4.892945	0.004775

Tablica 3. Duncan test

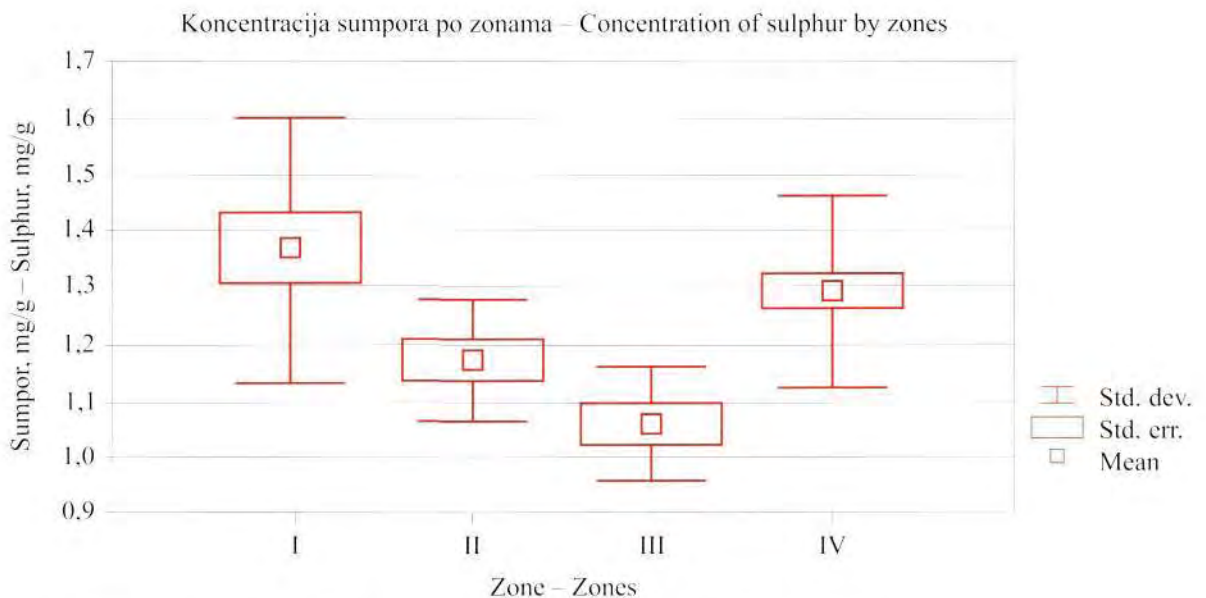
Table 3 Duncan test

Zona/zone	I	II	III	IV
ar. sredina/mean	1,367143	1,176250	1,061667	1,292500
I		0.02909	0.00084	0.360986
II	0.02909		0.163278	0.157358
III	0.00084	0.163278		0.008695
IV	0.360986	0.157358	0.008695	

Zajednički su obrađene vrijednosti dobivene za jedno- i dvogodišnje iglice uzoraka iz 1999. i 2000. godine za pojedine plohe. Pri $p < 0,05$ utvrđeno je da pos-

toje statistički značajne razlike između koncentracija sumpora u iglicama crnog bora ovih parova zona: I i II, I i III, te III i IV.

U grafikonu 1 prikazane su srednje vrijednosti i standardne devijacije koncentracija sumpora po zonama. Iz grafikona je vidljivo očekivano opadanje koncentracija sumpora s porastom udaljenosti od izvora onečišćenja za zone I, II, i III. Iako ne postoji statistički značajna razlika između II i III zone, ipak jasan je trend smanjivanja koncentracije sumpora s udaljenosti od TE Plomin. U zoni IV koncentracije ponovno rastu, što je u skladu s drugim istraživanjima, npr. Komlenović (1990) navodi da “u sjeverozapadnom dijelu Istre treba računati s neposrednim utjecajem koparske i tršćanske industrijske zone.” Kalan (1990) navodi da se povećane koncentracije sumpora u iglicama smreke nalaze ponajviše u industrijski razvijenijim područjima Slovenije, kao i u blizini većih izvora onečišćenja, dok veće koncentracije u slabije industrijaliziranim područjima objašnjava daljinskim transportom. U istom smislu riječka industrijska zona može utjecati na povišene koncentracije sumpora u sjeveroistočnoj Istri (plohe Vodice, Rupa, Trstenik).



Grafikon 1. Srednje vrijednosti i standardne devijacije koncentracija ukupnog sumpora u iglicama
Graph 1 Mean values and standard deviations of total sulphur concentrations in needles

Prma Komlenoviću (1990) koncentracije sumpora bile su najviše na području šumarije Labin i opće-

nito u istočnom dijelu Istre. Te se koncentracije približavaju prirodnim vrijednostima, karakterističnim za

crni bor, u središnjoj Istri. U okolici Pule i sjeverozapadnom dijelu Istre [...] utvrđen je lagani porast S-koncentracija". Ta se zapažanja umnogome podudaraju s našim rezultatima.

Pravu sliku o koncentracijama sumpora u iglicama crnog bora možemo steći tek usporedbom s graničnim vrijednostima, koje navode razni autori.

FBVA, Austrijski federalni istraživački centar daje sljedeće granične koncentracije za običnu smreku i crni bor (tablica 4):

Značenje klasa 1-4 je sljedeće:

- prva klasa sadržaja sumpora odgovara prirodnoj koncentraciji sumpora
- druga klasa označava slabu imisiju sumpora: ne očekuje se štetno djelovanje na drveće
- treća klasa upozorava na povećane imisije sumpora: moguće je štetno djelovanje sumpora na drveće
- četvrti razred znači jaku imisiju sumpora s čestim oštećenjima drveća.

Forest Foliar Coordinating Centre programa ICP Forests daje (1995) sljedeće vrijednosti za jednogodišnje iglice smreke (u mg/g suhe tvari):

Tablica 5. Granične St koncentracije za smreku prema Schonpfhagenu i granične vrijednosti za crni bor, mg/g suhe tvari
Table 5 Critical St values according to Schonpfagen and critical values for Austrian pine, mg/g dry matter

Stupanj opterećenja Load level	Schonpfagen (za smreku) (for spruce)		Prilagođeno za crni bor Adapted for Austrian pine	
	1 god 1 year	2 god 2 year	1 god 1 year	2 god 2 year
prirodna koncentracija natural concentration	<0,8	<1,1	<0,75	<1,0
granično opterećenje critical load	0,9-1,1	1,2-1,4	0,76-1,05	1,01-1,30
nisko opterećenje low load	1,2-1,4	1,5-1,7	1,06-1,30	1,31-1,55
srednje opterećenje medium load	1,5-1,7	1,8-2,0	1,31-1,55	1,56-1,85
visoko opterećenje high load	>1,8	>2,1	>1,55	>1,85

Ovako preračunate vrijednosti dobro se slažu s graničnim vrijednostima po FBVA, koje vrijede za običnu smreku i crni bor.

U tom smislu, jako opterećenje sumporom zabilježeno je na plohi Ripenda (1- i 2-godišnje iglice). Jednogodišnje uzorke s ploha Golji i Vozilići možemo svrstati u klasu "opterećeno". Ove plohe pripadaju prvoj zoni udaljenosti od TE Plomin. Na plohama u zoni II zabilježeno je lako opterećenje. Najniže koncentracije sumpora u iglicama pronađene su na plohama Trviž i Lesiščina (zona III). Vrijednosti sumpora svrstavaju te plohe u granično područje opterećenja sumporom. Niti na jednoj plohi nije zabilježena koncentracija ukupnog sumpora u iglicama koja bi odgovarala prirodnim vrijednostima.

Tablica 4. Granične vrijednosti ukupnog sumpora (St), mg/g suhe tvari, prema FBVA

Table 4 Critical values for total sulphur (St), mg/g dry matter, according to FBVA

Klasa Class	Starost iglica, g- Needle age, yr	
	1	2
1	<0,80	<1,00
2	0,81-1,10	1,01-1,40
3	1,11-1,50	1,41-1,90
4	>1,50	>1,90

donja granična vrijednost 1,1
gornja granična vrijednost 1,8.

Donja granična vrijednost odgovara niskoj, a gornja visokoj imisiji sumpora u sastojinu.

Komlenović (1987) navodi rezultate svojih komparativnih istraživanja prema kojima su iglice crnog bora imale oko 10 % niže koncentracije sumpora od iglica obične smreke. Stoga smo na osnovi tih zapažanja i graničnih St koncentracija za smreku prema Schonpfhagenu (1985) preračunali granične vrijednosti za crni bor (tablica 5).

Nedostatak korištenja koncentracije ukupnog sumpora u biljnom materijalu je taj što on ne kvantificira količinu tog elementa koja je fiziološki aktivna (Sheppard, 1996). Za interpretaciju opskrbljenosti biljaka sumporom, treba poznavati i odnos ukupnog dušika i sumpora u biljnom materijalu. Sinteza proteina zahtijeva relativno stalan odnos ta dva elementa (Kaupenjohann i dr. 1989). Simončić i Kalan, 1996 (prema Hutt1, 1992), navode kao zadovoljavajući odnos N/S > 8. Nepovoljan odnos N/S pri tome ne mora biti samo posljedica visokog sadržaja sumpora, već može biti smanjen uslijed suboptimalnog sadržaja dušika.

Odnosi ukupnog dušika i sumpora u iglicama crnog bora u 1999. godini dani su u tablici 6.

Tablica 6. Odnosi sadržaja ukupnog dušika i sumpora u 1- i 2- godišnjim iglicama crnog bora

Table 6 Total nitrogen / total sulphur ratios in 1- and 2-year old needles of Austrian pine

Broj plohe Plot number	Lokacija Locality	Starost iglica, god. Needle age, yr	Sadržaj uk. N Nt content mg/g	Sadržaj uk. S St content mg/g	Odnos Nt/St Nt/St ratio
1	Kršan	1	10.2	1.14	8.9
1	Kršan	2	9.9	1.13	8.8
2	Vozilici	1	10.8	1.09	9.9
2	Vozilici	2	11.5	1.20	9.6
3	Ripenda	1	9.5	1.69	5.6
3	Ripenda	2	10.6	1.85	5.7
4	Golji	1	11.9	1.38	8.6
4	Golji	2	10.4	1.41	7.4
5	Manjadvorci	1	8.8	1.15	7.7
5	Manjadvorci	2	9.0	1.33	6.8
6	Šušnjevic	1	10.4	1.21	8.6
6	Šušnjevic	2	10.9	1.01	10.8
7	Trviž	1	10.1	1.03	9.8
7	Trviž	2	11.1	1.22	9.1
8	Lesiščina	1	8.8	0.91	9.7
8	Lesiščina	2	7.7	1.11	6.9
9	Oprtalj	1	7.3	1.25	5.8
9	Oprtalj	2	7.3	1.39	5.3
10	Trstenik	1	12.2	1.09	11.2
10	Trstenik	2	13.0	1.25	10.4
11	Vodice	1	8.1	1.22	6.6
11	Vodice	2	9.5	1.28	7.4
12	Rupa	1	12.0	1.14	10.5
12	Rupa	2	10.2	1.31	7.8
13	Kaštel	1	13.0	1.46	8.9
13	Kaštel	2	13.2	1.63	8.1
14	Novigrad	1	10.2	1.51	6.8
14	Novigrad	2	10.9	1.60	6.8
15	Fuškulin	1	8.4	1.11	7.6
15	Fuškulin	2	8.4	1.22	6.9

ZAKLJUČCI – Conclusions

Temeljem rezultata vlastitog istraživanja kao i iz podataka drugih autora, možemo donijeti sljedeće zaključke i preporuke:

- utvrđeno je da postoje razlike između koncentracija sumpora u iglicama crnog bora na različitim udaljenostima od TE Plomin. Koncentracije sumpora opadaju sa povećanjem udaljenosti sve do zone 20 - 30 km nakon koje ponovo rastu.
- stupanj opterećenosti sumporom na plohama kreće se u rasponu od kategorije "granično područje" do "jako opterećeno". Niti na jednoj plohi nije zabilježena koncentracija sumpora u iglicama u okviru

prirodnih vrijednosti

- bez obzira na planirano smanjenje emisija TE Plomin u novom režimu rada naše se vrijednosti za 1999. i 2000. godinu ne razlikuju bitno od vrijednosti zabilježenih u prethodnom razdoblju. Dio odgovora možemo tražiti u činjenici da biljke translociraju višak sumpora u svoje mlađe dijelove, produžujući na taj način negativno djelovanje suviška sumpora. Zbog toga smatramo da je potrebno i dalje pratiti depozicije sumpora putem bioindikatora na području Istre.

LITERATURA – References

- Anić, J. 1973: Ishrana bilja, skripta, Zagreb
- Batič, F. i Mayrhofer, H. 1996: Bioindication of Air Pollution by Epiphytic Lichens in Forest De-

cline Studies in Slovenia. Phytol. Vol. 36, str. 85-90.

- Bergmann, W. 1992: Nutritional Disorders of Plants, Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart, New York
- Glavač, V., Koenies, H. i Prpić, B. 1985: O unosu zračnih polutanata u bukove i bukovo-jelove šume Dinarskog gorja sjeverozapadne Jugoslavije, Šumarski list 9-10, str. 53-60.
- Kalan, J. 1990: Obremenjenost gozdov z žveplom leta 1989, Zbornik gozdarstva in lesarstva 36, str. 183-198.
- Kalan, J., Kalan, P. i Simončič, P. 1995: Bioindikacija onesnaženosti gozdov z žveplom na podlagi vsebnosti žvepla v asimilacijskih delih gozdnega drevja, Zbornik gozdarstva in lesarstva 47, str. 85-116.
- Kaupenjohann, M. et al. 1988: Sulphuric acid rain treatment of *Picea abies* (Karst. L): Effects on nutrient solution, throughfall chemistry, and tree nutrition, Pflanzennahrung Bodenkunde 151, str. 123-126.
- Kaupenjohann, M. et al. 1989: Mineral nutrition of forest trees: A regional survey, Ecological Studies, Vol. 77, str. 282-296.
- Klapčič, S., Kopjar, D. i Vukelić, I. 1999: TE Plomin 2 u pogonu: Ustrojstvo bloka 2, EGE 4, str. 100-102.
- Komlenović, N. i Pezdirc, N. 1987: Koncentracije sumpora u lišću nekih vrsta drveća u Istri i Hrvatskom primorju, Šumarski list 5, str. 5-17.
- Komlenović, N. i Gračan, J. 1989: Kritične vrijednosti opterećenja sumporom idušikom, Šumarski list, str. 363-371.
- Komlenović, N., Rastovski, P. i Pezdirc, N. 1991: Odnos ishrane i oštećenosti obične jele (*Abies alba* Mill.) u šumi jele s rebračom na području Fužina, Radovi, Vol. 26, br. 2, str. 187-198.
- Komlenović, N. i Rastovski, P. 1993: Novi rezultati istraživanja o utjecaju emisija na šumske ekosustave Republike Hrvatske, Radovi Vol. 28, br. 1-2, str. 115-128.
- Komlenović, N., Rastovski, P. i Novosel, D. 1998: Utjecaj sumpora i teških kovina na kulture crnog bora (*Pinus nigra* Arn.) na području Rijeke i istočne Istre, Prirodoslovna biblioteka 1, str. 483-489.
- Kropf, M. J. 1991: Long-term effects of SO₂ on plants, SO₂ metabolism and regulation of intracellular pH, Plant and Soil 131, str. 235-245.
- Prpić, B., Komlenović, N. i Seletković, Z. 1988: Propadanje šuma u Hrvatskoj, Šumarski list 5-6, str. 195-215.
- Schätzle, H. et al. 1990: The Hohenheim Long-term Experiment: Mineral Content in the Soil and Tree Foliage, Environmental Pollution 68, str. 253-273.
- Seletković, Z. 1991: Utjecaj industrijskih polutanata na običnu bukvu (*Fagus sylvatica* L.) u šumskim ekosistemima slavonskoga gorja, Glas. šum. pokuse 27, str. 83-196.
- Sheppard, L. J. 1996: How Reproducible are the Reactions of stress Indicators for Sitka Spruce Treated with Acid Mist?, Phytion, Vol. 36, str. 23-30.
- Simončič, P. 1996: Odziv gozdnega ekosistema na vplive kislih odložen s poudarkom na preučevanju prehranskih razmer za smreko (*Picea abies*, Karst.) in bukev (*Fagus sylvatica* L.) v vplivnem območju TE Šoštanj, disertacija, Ljubljana
- Simončič, P. i Kalan, P. 1996: Annual Pattern of Sulphur Content in Spruce Needles from Heavily and Less Polluted Areas, Phytion, Vol. 36, str. 81-84.
- Vukadinović, V. i Lončarić, Z. 1998: Ishrana bilja, Poljoprivredni fakultet, Osijek
- Zech, W., Suttner, TH. i Popp, E. 1985: Elemental Analyses and Physiological Responses of Forest Trees in SO₂-polluted Areas of NE Bavaria, Water, Air and Soil Pollution 25, str. 175-183.

SUMMARY: Concentration of SO₂ in the air is elevated near oil refineries and power plants burning coal, as well as in other industrial and urban areas. It has already been proven that the concentration of sulphur in plants is higher when the atmosphere is SO₂-polluted. TE Plomin 2 was put in operation at the end of year 1999. Different to TE Plomin 1, it uses coal with substantially lower percentage of sulphur, which should, in addition to desulphurization, lead to considerably lower emissions of smoke gases.

One of the ways to establish deposition of chemical compounds into ecosystems is using certain plant species as bioindicators. In this investiga-

tion black pine (Pinus nigra Arn.) was chosen as bioindication species for several reasons: black pine stands can be found throughout Istria, it does not shed needles in the autumn, and the needles are kept for several years.

The aim of this investigation was to determine the load of sulphur in forest vegetation at various distances to TE Plomin 2.

1- and 2-year-old black pine needles from years 1999 and 2000 were collected and analysed for total sulphur (S_t) using Leco S-analyser, and subsequently the results were combined for statistical analysis.

The results are compared with the tables of critical S_t values proposed by several authors.

Key words: SO_2 emissions, TE Plomin 2, desulphurization, critical loads, bioindication, Pinus nigra

