

PROPADANJE ŠUMA KAO POKAZATELJ PROMJENE EKOLOŠKIH UVJETA U ATMOSFERI

FOREST DIEBACK AS A MANIFESTATION OF THE ECOLOGICAL CHANGES IN THE ATMOSPHERE

Ivica TIKVIĆ*, Zvonko SELETKOVIĆ*, Igor ANIĆ*

SAŽETAK: Procjena oštećenosti šuma u Hrvatskoj u 1993. godini provedena je na 84 bioindikacijske točke (točke mreže 16x16 km Gauss-Krügerova koordinatnog sustava), a 1994. godine na 89 točaka. Procjenjivana je osutost i požutjelost krošanja. Rezultati procjene oštećenosti prikazani su za glavne vrste listača i četinjača. Utvrđena je prosječna oštećenost (osutost) od 37.9% u 1993. godini i 53.8% u 1994. godini. Kod četinjača je iznosila u 1993. godini 45.1%, a kod listača 36.2%. Nešto veća oštećenost utvrđena je u 1994. godini i iznosila je kod četinjača 56.8%, a kod listača 53.1%. Najviše su bila oštećena stabla obične jele (87.5% — 1993.; 81.2% — 1994.), zatim hrasta lužnjaka (60.6% — 1993.; 81.8% — 1994.) i hrasta kitnjaka (52.2% — 1993.; 71.9% — 1994.). Indeks oštećenosti stabala, odnosno stabla s osutošću krošnje većom od 25% (stupnjevi oštećenja 2, 3 i 4) najveći je bio 1994. godine u odnosu na posljednjih pet procjena: 1987. je iznosio 7.9%, 1988. — 10.2%, 1990. — 9.9%, 1992. — 15.2%, 1993. — 19.2%, a 1994. iznosio je 28.8%. Posebno su analizirani uvjeti u atmosferi, priroda i izvori kiselosti atmosfere, te depozicija i učinci zračnih polutanata na šumske ekosustave. Razmatrane su i mjere putem kojih bi se u budućnosti trebala osigurati stabilnost šumskih ekosustava.

1. UVOD — Introduction

Jasno je da su šume i šumska zemljišta vrijedno prirodno bogatstvo koje pokriva oko 31,8% ukupne površine našega planeta. Same šume zauzimaju oko petinu Zemljine kopnene površine. Europa sudjeluje u šumskoj površini svijeta s oko 5%. Današnja vrijednost svjetskih šuma nije izražena samo u gospodarskoj vrijednosti, nego još i više u ekološkoj i socijalnoj vrijednosti, koje sve više dobivaju na važnosti.

Sušenje stabala svih vrsta drveća rezultat je borbe za opstanak i prirodnog odumiranja stabala. Ono se javlja u većem ili manjem opsegu u svim sastojinama. Sta-

bla se suše i zbog poremećenih prirodnih uvjeta života. Kada se osuši veliki broj stabala ili cijele sastojine govorimo o propadanju šuma. Katastrofalni karakter takvih pojava pokazuje da se radi o procesu koji odstupa od prirodnog procesa sušenja pojedinih stabala.

Sušenje šuma katastrofalnih razmjera u Europi i Sjevernoj Americi dovelo je do poremećaja u normalnom gospodarenju. Budući da su šume vrijedan obnovljivi resurs, to je izazvalo veliki zamah istraživanja uzroka te pojave i mjera zaštite. Jedno od istraživanja bazira se na praćenju oštećenosti stabala prema dogovorenoj metodi i to na međunarodnoj razini. Europske zemlje su prihvatile metodu *Komisije europske zajednice za šumarstvo i uzgajanje šuma* koju od 1987. godine primjenjujemo i mi u Hrvatskoj.

* Dipl. inž. Ivica Tikvić, prof. dr. sc. Zvonko Seletković, dipl. inž. Igor Anić, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb

Podaci procjene oštećenosti šuma na nacionalnoj razini koriste se kao osnova za kontinuirano praćenje i dokumentiranje opsega i razvoja oštećenosti šuma u Europi. Danas postoje dva programa koji se bave ovom problematikom. Prvi je Međunarodni kooperativni program procjene i praćenja učinaka zračnog zagađenja na šume (*International Cooperative programme on the Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests of UN/ECE*). Drugi je Zaštita šuma Europske Zajednice od atmosferskog zagađivanja (*Protection of*

the Community's Forests against Atmospheric Pollution). Zagađivanje zraka razmatra se s posebnim naglaskom kod utvrđivanja uzroka propadanja šuma. Stoga smo analizirali uvjete u atmosferi, izvore kiselosti atmosfere, te depozicije i učinke zračnih polutanata na šumske ekosustave.

Želimo ukazati na činjenicu da propadanje šuma na nacionalnoj i svjetskoj razini nije samo šumarski problem nego problem cijele nacionalne i svjetske zajednice.

KISELOST ATMOSFERE — Atmospheric acidity

Kod razmatranja kiselosti moramo naglasiti da pH otopine ne predstavlja ukupnu kiselost otopine, već koncentraciju kiselina u razrijeđenom obliku. Kiselost otopina kao relativno jednostavan termin postaje kompliciran u slučaju razmatranja atmosferske vode (koja dolazi u obliku oblaka, magli i oborina). Razlog tome je prisutnost ugljik(IV)oksida (CO_2) u zraku. Stoga se pH vrijednost od 5,6 na temperaturi od 10 °C smatra točkom neutralnosti. To znači da su vode atmosfere kisele ako je njihov pH niži od gore navedene vrijednosti. Nadalje u zraku se nalaze i različite kisele čestice aerosola kao i plinovi koji mijenjaju pH atmosferskih voda.

2.1 Priroda atmosferske kiselosti — Nature of atmospheric acidity

Atmosferska opažanja u različitim dijelovima svijeta pokazala su da su SO_4^{2-} , NO_3^- i Cl^- najvažniji anioni u oborinama (Tablica 1). U kontinentalnim prilikama kiselost je prouzročena uglavnom sulfatnom (H_2SO_4) i nitratnom kiselinom (HNO_3), dok u oceanskim prilikama dimetil sulfid (DMS) igra važnu ulogu u kontroli kiselosti atmosfere. Dobro je dokumentirano da H_2SO_4 i HNO_3 u zraku i u atmosferskoj vodi nastaju od plinova emitiranih iz prirodnih ili antropogenih izvora. Naj-

Prosječni sastav oborinske vode sakupljene u južnoj Švedskoj 1970. god.
Average composition of precipitation water collected in southern Sweden in 1970

Tablica 1
Table 1

Kationi Cations	Koncentracija Concentration ($\mu\text{eq litra}^{-1}$)	Anioni Anions	Koncentracija Concentration ($\mu\text{eq litra}^{-1}$)
H^+	52	SO_4^{2-}	70
Ca^{2+}	14	NO_3^-	31
Mg^{2+}	8	Cl^-	18
K^+	3		
Na^+	15		
NH_4^+	31		
Ukupno	123		119

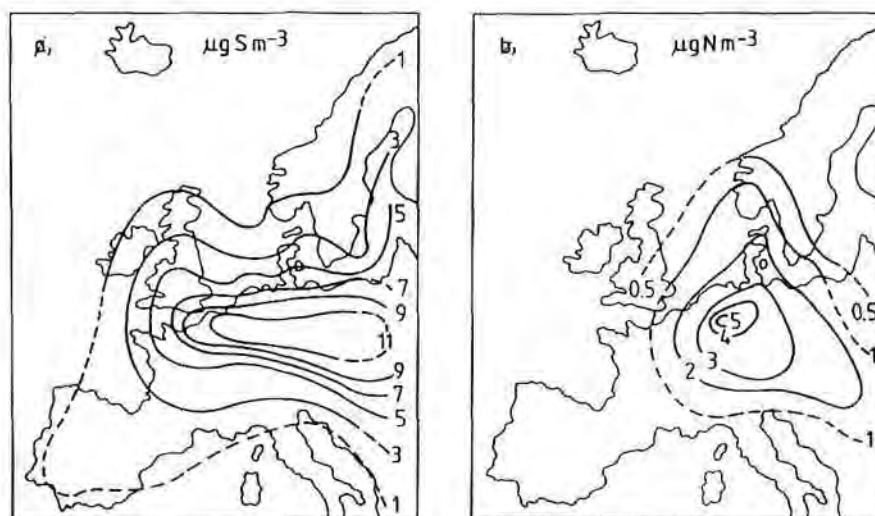
Prema: Swedish Ministry of Agriculture, Acidification Today and Tomorrow. Risbergs Tryckeri A.B., Uddevalla, Sweden, 1982.

važniji takvi plinovi su sumpor(IV)oksid (SO_2) i dušik (II) oksid (NO). Iznad kontinenata sumporovodik (H_2S) ima mali utjecaj na atmosfersko zakiseljavanje.

Stanje u Americi je veoma slično stanju u Europi, i tamo je doprinos SO_4^{2-} iona kiselosti oborina tri puta važniji od NO_3^- iona.

2.2 Koncentracija kiselih čestica u atmosferi — Concentrations of acidic compounds in the atmosphere

Relativno veliki broj čestica uključen je u kontrolu kiselosti atmosfere. Prostorna raspodjela koncentracije sumpornih i dušičnih oksida u površinskom sloju atmo-

Slika 1 Prostorna raspodjela koncentracije SO_2 - (a) i NO_2 (b) u površinskom zraku iznad Europe.Figure 1 Spatial distribution of the concentration of (a) SO_2 -S and (b) NO_2 -N in the surface air over Europe.

Prema Popovics, M., Szepesi, D. and Horvath, L., Territorial and temporal variations of air and precipitation quality for Europe (in Hungarian). Idojaras. 90 (1986) 131-42.

sfere iznad Europe prikazana je na Slici 1. Podaci su dobiveni na temelju mjerenja izvršenih u različitim programima monitoringa između 1978. i 1982. godine. Možemo vidjeti da su maksimalne koncentracije utvrđene u zraku iznad središnjeg (centralnog), najnaseljenijeg dijela europskog kontinenta, gdje je proizvodnja energije kao i prometna gustoća najveća. Koncentracija sumpor(IV)oksida (SO_2) i dušik (IV) oksida (NO_2) imaju svoje maksimalne vrijednosti za vrijeme zime, a minimalne za vrijeme ljeta. Republika Hrvatska nalazi se u području niskih koncentracija SO_2 i NO_2 .

Prostorna raspodjela čestica SO_4^{2-} u Europi je karakterizirana s dva maksimuma: u zapadnom i u istočnom

dijelu promatranog područja, slično kao i kod raspodjele SO_2 .

2.3. Kruženje tvari u atmosferi — Atmospheric cycle

Kruženje vode i kiselih čestica u jakom je međudodnosu. Voda ima važnu ulogu u kontroli kruženja tih čestica u atmosferi. Što se tiče sumpora iz Tablice 2 vidljivo je da učešće antropogenih emisija iznosi oko polovice ukupno oslobođenog sumpora. To znači da u globalnom smislu ljudska aktivnost znatno mijenja tok kruženja atmosferskog sumpora i kao posljedicu toga kiselost depozicija.

Oblici sumpora u atmosferskom kruženju
Terms of the globalatmospheric cycle od sulfur

Tablica 2
Table 2

Emisije Emissions	(Tmol god ⁻¹)	Depozicije Depositions	(Tmol god ⁻¹)
Antropogeni SO_2	2,47	SO_2	1,50
Morska sol	1,37	SO_4^{2-} (morska sol)	1,37
Vulkani	0,06	SO_4^{2-} (eksecesi)	1,93
DMS (kontinent)	0,15		
DMS (oceani)	1,10		
Izgaranje biomase	0,20		
Ukupno	5,35		4,80

Prema: Meszaros, E. & Varhelyi G., An evaluation of the possible effects of anthropogenic sulfate particles on the precipitation ability of clouds. Idojaras. 86 (1982) 76-81.

Podaci u Tablici 3 pokazuju nam da sklad između izvora i taloženja dušičnih oksida (NO_x) nije kao kod sumpornih spojeva. Ljudska aktivnost igra i ovdje važnu ulogu u kontroli kruženja atmosferskog NO_x . Kruženje klora u atmosferi nije još dovoljno poznato. Ve-

lika većina atmosferskog klora potječe iz morske soli tako da ovdje ljudska aktivnost nema neko veće značenje na ukupan sadržaj klora u atmosferi (Tablica 4). O ukupnom atmosferskom kruženju organskih kiselina ima malo kvantitativnih informacija.

Ukupni sadržaj atmosferskog NO_x
Global atmospheric budget of NO_x

Tablica 3

Table 3

Izvori Sources	(Tmol god ⁻¹)	Taloženja Sinks	(Tmol god ⁻¹)
Izgaranje fosilnih goriva	1,50	Mokra depozicija	0,86-3,00
Spaljivanje biomase	0,86	Suha depozicija	0,86-1,60
Munja	0,57		
Mikrobiološka aktivnost u tlu	0,57		
Oksidacija NH_3	~ 0,36		
Ukupno	3,86		1,72-4,60

Prema: Logan J. A., Nitrogen oxides in the troposphere: global and regional budgets. J. Geophys. Res., 88 (1983) 10785-807

Izvori atmosferskog klora
Global atmospheric sources of gaseous chlorine

Tablica 4

Table 4

Izvori Sources	(Tmol god ⁻¹)
Oslobodeno iz morske soli	1,01
Antropogeni	0,18
Vulkani	0,02
Oblici iz CH_3Cl	0,06
Spaljivanje biomase	0,005
Ukupno	1,28

Prema različitim autorima

2.4 Porijeklo atmosferske kiselosti — Sources of atmospheric acidity

Kiselost atmosfere uzrokovana je prirodnim i antropogenim putem. Od prirodnih izvora koji doprinose kiselosti atmosfere spominjemo vulkane. Općenito se smatra da je dominantan plin kod erupcije vulkana sumporne vrste i to sumpor(IV)oksid (SO_2). Prosječan odnos $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ kod erupcije vulkana St. Helens 1980. godine iznosio je oko 7. Ugljik-disulfid (CS_2) karbonil-sulfid (OCS) bili su iznad iznosa koji su se mogli izmjeriti. Prosječni SO_4^{2-} bio je mali dio ukupnog sumpora, reda veličine oko 5%. U atmosferi se H_2S prevodi u SO_2 i otuda eventualno u sulfatnu kiselinu (H_2SO_4) s potencijalnim kiselinskim učinkom oborine. Danas u svijetu ima oko 600 aktivnih vulkana, međutim manje

od 10% njih su aktivni u tijeku jedne godine. Većina autora slaže se da je prirodna emisija sumpora istog reda veličine kao i antropogena, ali ipak neznatno veća od antropogene emisije (Tablica 5).

Dušični spojevi u atmosferi su N_2O , NO , NO_2 , i NO_x (Tablica 6). Dušik(I)oksid (N_2O) oslobađa se iz tla djelovanjem bakterija.

Emisija NO i NO_2 iz tla nastaje aktivnošću nitrofilnih bakterija u aerobnim uvjetima i denitrofilnih bakterija u anaerobnim uvjetima. Nitrofilne bakterije koje oksidiraju NH_4^+ u nitrite i nitrate vrlo su važne. Spaljivanje biomase također je jedan od izvora pojave dušičnih spojeva u atmosferi. Pod ovim pojmom razumijeva se spaljivanje vegetacije koje nastaje kod čišćenja zemljišta u tropima, zatim spaljivanje savana, upotreba drva kao goriva i šumski požari.

Ukupne emisije sumpora prema različitim autorima (Tg S god⁻¹)
Global sulphur emissions according to different authors (Tg S year⁻¹)

Tablica 5
Table 5

	Grant et al. (1976)	Ryabo- shapko (1983.)	Cullis & Möller Hirschler (1980)	Other (1984)	(1981-85.)
<i>Prirodni izvori</i>					
Vulkani	3	28	5	<2	
Eolske emisije	-	20	-	-	
Biogeni plinovi iz tla	5	18	48	35	64
Biogeni plinovi iz vode	27	23	50	35	39
Morska vodena prašina	44	140	44	171	
Ukupna prirodna emisija	79	229	147	243	
Antropogena emisija	65	113	104	75	79

Ukupni izvori NO_x prema različitim autorima (Tg N god⁻¹)
Global sources of NO_x according to different authors (Tg N year⁻¹)

Tablica 6
Table 6

	Enhalt & Drummond (1982)	Logan (1983)	Stedman & Shetter (1983)
<i>Prirodni izvori</i>			
Munje	5 (2-8)	8 (2-20)	3 (2)
NH ₃ oksidacija	3,1 (1,2-4,9)	1-10	1 (2)
Iz stratosfere	0,6 (0,3-0,9)	0,5	1 (2)
Biogena proizvodnja	5,5 (1-10)	8 (4-16)	10 (2)
Spaljivanje biomase	11,2 (5,6-16,4)	12 (4-24)	5 (3)
Ukupno	25	33	20
<i>Antropogeni izvori</i>			
Izgaranje goriva	13,5 (8,2-18,5)	21 (14-28)	20 (1,1)

Kao što je ranije rečeno spojevi klora u atmosferi uglavnom su prirodnog porijekla. Glavni prirodni izvor klora je morska emisija metil klorida (CH₃Cl) koji se prevodi u atmosferi u klorovodik (HCl).

I organske kiseline prirodnog porijekla su prisutne u atmosferi. Analize oborina sakupljenih na mjestima uzduž cijelog svijeta pokazale su široko rasprostranjenje organskih kiselina. Mravlja (HCOOH) i octena kiselina (CH₃COOH) obično su pronađene s mravljom kao glavnom kiselinom.

Antropogeni izvori koji utječu na atmosfersku kiselost su brojni. Na prvom mjestu je izgaranje fosilnih goriva. Sumpor je prisutan kao značajan onečišćivač u većine industrijskih goriva s izuzetkom prirodnog plina. U naftnim derivatima iznosi sumpora su su opsega manje od 0,05 težinskih % za benzin, manje od 0,3 težinska % za dizel gorivo ili plinsko ulje, do preko 3 težinska % za neka uljna goriva. Industrijski procesi su sli-

jedeći značajan izvor emisija sumpora. Talionice, rafinerije ulja, industrija celuloze (lokalna emisija), cementna, kemijska i staklarska industrija značajni su proizvođači emisija.

Tablica 7 pokazuje raspodjelu SO₂, NO_x i HCl emisija iz različitih izvora u Ujedinjenom Kraljevstvu (UK). Kako se vidi elektrane proizvode blizu 75% ukupnih nacionalnih emisija SO₂, rafinerije i ostala industrija daljih 18%, a domaćinstva i javne komercijalne kategorije samo 7%. Ova slika će se vjerojatno postupno mijenjati u slijedećim desetljećima s promjenama upotrebe goriva, uzimajući u obzir lagano povećanje upotrebe nuklearne energije, kao i uvođenje odsumporavanja gorivih plinova na nekim postojećim elektranama na ugljen, kao i kroz projekte novih elektrana.

Emisije NO_x u UK govore nam o dominaciji cestovnog prometa (45%) i elektrana (35%) kao glavnih izvora. Usporedne vrijednosti za cijelu Europu su 43%

Godišnje emisije (10^3 t) SO_2 , NO_x i HCl u UK
 Annual UK emissions (10^3 t) of SO_2 , NO_x and HCl

Tablica 7
 Table 7

Izvori Sources	SO_2		NO_x		HCl	
	Emisije Emissions	%	Emisije Emissions	%	Emisije Emissions	%
Domaćinstva	171	4	74	3	22	9
Javne usluge	106	3	61	3	2	1
Elektrane	2830	73	809	35	178	69
Rafinerije	162	4	43	2	-	-
Poljoprivreda	8	-	4	-	-	-
Ostala industrija	539	14	236	10	39	15
Željeznički prijevoz	4	-	35	2	-	-
Cestovni prijevoz	46	1	1031	45	0,4	-
Spaljivanje u polj.	-	-	12	1	16	6
Ukupno	3867	100	2303	100	257	100
Postotak ukupne potencijalne kiselosti		68		28		4

Podaci za SO_2 i NO_x su iz 1987. godine, a podaci za HCl su prema: Lightowler, P. J. & Cape J. N., Sources and fate of atmospheric HCl in the UK and Western Europe. Atmos. Environ., 22(1988) 7-15.

i 28%. Emisije HCl dolaze pretežno iz elektrana upravo zbog toga što je ugljen glavno gorivo.

U Tablici 7 prikazan je postotak ukupne potencijalne kiselosti prouzročene od ova tri polutanta. SO_2 uzro-

kuje 2/3, NO_x manje od 1/3 a HCl ostalo. Ovo je prikaz za cijelo područje UK, dok se lokalno javljaju razlike.

MATERIJAL I METODE — Materials and methods

Metodologija procjene oštećenosti stabala zasniva se na načelu uzoraka. Stajališta promatranih površina (ploha) nalaze na presjecištima kilometarske mreže Gauss-Krügerovog koordinatnog sustava. Ovdje razlikujemo tri tipa kvadratne mreže: 2-kilometarsku (dopunsku), 4-kilometarsku (osnovnu) i 16-kilometarsku mrežu (tzv. bioindikacijsku mrežu).

Za procjenu oštećenosti stabala u odraslim sastojinama izabrana su na promatranim površinama po 24 stabla, koja su označena i na kojima se vrši procjena kroz duži niz godina.

Procjena oštećenosti stabala obavlja se vizualnim putem, uz popunjavanje popisnih obrazaca. Da bi rezultati procjene bili što kvalitetniji, odnosno da bi se uskladili kriteriji popisivača, izrađeni su i posebni priručnici sa slikama krošanja i određenim postotkom osutosti. Isto tako se održavaju i povremeni seminari na kojima se teoretski i praktično obavlja uvježbavanje popisivača i usklađuju kriteriji. Procjena se obavlja u srpnju ili kolovozu.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA — Results

Poremećaj prirodne ravnoteže uvjetovan tehnološkim i industrijskim napretkom, utječe na stabilnost i postojanost šumskih ekosustava. Posljedica tog poremećaja je sušenje i propadanje naših najvrjednijih hrastovih i jelovih sastojina (Tablica 8).

Važno je napomenuti da je i u prošlosti dolazilo do sušenja stabala pojedinih vrsta. Tako je kod nas zabilježeno sušenje hrasta lužnjaka još početkom ovoga stoljeća (1910. godine), ali je današnja pojava karakterizirana sušenjem stabala gotovo svih glavnih vrsta drve-

Postoci osutosti stabala u Republici Hrvatskoj
Percentages of defoliation in CroatiaTablica 8
Table 8

VRSTA DRVEĆA	GODINA	% PO STUPNJU OŠTEĆENJA				BROJ STABALA	ZNAČAJNO OŠTEĆENO 2+3+4
		0	1	2	3+4		
UKUPNO		0-10%	11-25%	26-60%	>60%	N	%
	1987	73.2	18.9	6.0	1.9	29176	7.9
	1988	67.1	22.7	7.8	2.4	47496	10.2
	1990	69.3	20.8	7.9	2.0	47547	9.9
	1992	57.9	26.9	12.5	2.7	25653	15.2
	1993	62.0	18.8	16.6	2.6	2016	19.2
1994	46.2	25.0	24.6	4.2	2174	28.8	
LISTAČE		0-10%	11-25%	26-60%	>60%	N	%
	1987	76.8	17.2	4.6	1.4	26009	6.0
	1988	69.1	21.9	6.8	2.2	40981	9.0
	1990	72.1	19.7	6.5	1.7	41412	8.2
	1992	58.9	27.8	11.1	2.2	21717	13.3
	1993	63.7	20.7	13.8	1.8	1621	15.6
1994	46.8	26.8	22.4	4.0	1767	26.4	
ČETINJAČE		0-10%	11-25%	26-60%	>60%	N	%
	1987	44.4	32.9	17.2	5.5	3167	22.7
	1988	55.0	27.8	13.9	3.3	6605	17.2
	1990	50.3	28.7	17.6	3.4	6135	21.0
	1992	52.3	21.7	20.5	5.5	3936	26.0
	1993	54.9	11.2	28.1	5.8	395	33.9
1994	43.3	17.4	34.1	5.2	407	39.3	

Osutost stabla po vrstama drveća u Republici Hrvatskoj
Defoliation for some coniferous and broadleaved trees in CroatiaTablica 9
Table 9

VRSTA	Godine	0	1	2	3+4	Značajno oštećeno 2+3+4
Abies alba	1987	27.8	33.7	27.0	12.8	39.8
	1988	24.2	39.2	28.5	8.1	36.6
	1990	24.4	32.2	35.7	7.7	43.4
	1993	12.5	16.7	58.3	12.5	70.8
	1994	18.8	15.8	53.5	11.9	65.4
Quercus robur	1987	62.3	28.8	7.2	1.7	8.9
	1988	61.8	30.1	6.3	1.8	8.1
	1990	61.9	23.1	11.1	4.0	15.1
	1993	39.4	24.9	30.7	5.0	35.7
Quercus petraea	1987	72.1	20.6	0.1	2.2	2.3
	1988	63.4	26.2	7.8	2.6	10.4
	1990	67.9	21.7	8.2	2.1	10.3
	1993	47.8	19.3	31.1	1.8	32.9
	1994	28.1	33.3	36.5	2.1	38.6
Fagus sylvatica	1987	80.6	14.4	4.1	0.9	5.0
	1988	72.1	20.7	6.0	1.2	7.2
	1990	77.6	16.9	5.0	0.5	5.5
	1993	73.9	21.8	4.3	0	4.3
	1994	67.3	24.7	7.5	0.4	8.0
Pinus halepensis	1993	72.7	8.7	18.0	0.6	18.6
	1994	37.3	18.7	38.1	6.0	44.1
Pinus nigra	1993	63.9	9.0	19.7	7.4	27.1
	1994	64.5	15.6	19.9	0	19.9

ća, kao i svih dobi. Do danas je u Republici Hrvatskoj obavljeno šest procjena oštećenosti stabala.

Procjena oštećenosti šuma u Hrvatskoj u 1993. godini provedena je na 84 bioindikacijske točke (točke mreže 16x16 km Gauss-Krügerova koordinatnog sustava), a 1994. godine na 89 točaka. To znači da je svake godine procjenjivano preko 2000 stabala svih vrsta.

Ako promotrimo procjene osutosti stabala svih vrsta, možemo zaključiti da se stanje od 1987. godine do danas postupno pogoršava. Kod opće oštećenosti stanje se u dva navrata neznatno popravilo (1990. i 1993. god.), međutim postotak značajno oštećenih stabala je gotovo u stalnom porastu. Iz Tablice 8 možemo vidjeti da je u 1994. godini došlo do značajnog povećanja u stupnju 2 što je izravno utjecalo na postotak značajno oštećenih stabala u toj godini.

Listopadne vrste drveća za koje se smatralo da su manje izložene sušenju pokazuju u zadnjih nekoliko godina značajan porast oštećenih stabala. Postotak značajno oštećenih stabala je od 1992. god. do 1994. godine gotovo udvostručen (od 13—26%). Kod četinjača sta-

nje je i dalje najnepovoljnije. Postotak značajno oštećenih stabala je u porastu (od 20% povećao se na gotovo 40%).

Ako promotrimo oštećenost stabala prema vrstama drveća uočavamo da je došlo do pogoršanja stanja naročito kod hrasta lužnjaka pa i kod hrasta kitnjaka, dok obična bukva i dalje pokazuje visoku stabilnost s relativno malim pogoršanjem stanja u razdoblju procjene oštećenosti od 1987. godine do danas. Naša najoštećenija vrsta drveća i dalje je obična jela (*Abies alba* Mill.), kod koje je u posljednje vrijeme utvrđeno više od 80% oštećenih stabala, odnosno više od 65% značajno oštećenih stabala (Tablica 9).

Rezultati procjene oštećenosti stabala po upravama šuma iz 1994. godine pokazali su da je u Upravama šuma Buzet, Senj, Delnice i Ogulin postotak značajno oštećenih stabala iznad 40%. To je sukladno ranijim rezultatima, koje prikazujemo na slici 2. Uočavamo da je i dalje u području Gorskog kotara najintenzivnije sušenje stabala.

Osutost stabla po vrstama drveća u Republici Hrvatskoj
Defoliation for some coniferous and broadleaved trees in Croatia

Tablica 10
Table 10

Zemlja — Country	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	X
Portugal			1.3	9.1	30.7	29.6	22.5	7.3	16.8
Španjolska	8.3	9.7	6.9	5.6	7.3	7.1	8.0	8.3	7.7
Francuska	8.3	9.7	6.9	5.6	7.3	7.1	8.0	8.3	7.7
Italija						16.4	18.2		17.3
Grčka			17.0	12.0	17.5	16.9	18.1	21.2	17.1
Bugarska	8.1	3.6	7.4	24.9	29.1	21.8	23.1	23.2	17.7
Rumunjska						9.7	16.7	20.5	15.6
Mađarska			7.5	12.7	21.7	19.6	21.5	21.0	17.3
Hrvatska		7.9	10.2		9.9		15.6	19.2	12.6
Slovenija				22.6	18.2	15.9		19.0	18.9
Austrija				10.8	9.1	7.5	6.9	8.2	8.5
Švicarska	12.0	15.0	12.0	14.0	17.0	21.0	16.0	18.0	15.6
Njemačka	18.9	17.3	14.9	15.9	15.9	25.2	26.0	24.2	19.8
Nizozemska	23.3	21.4	18.3	16.1	17.8	17.2	33.4	25.0	21.6
Velika Britanija		22.0	25.0	28.0	39.0	56.7	58.3	16.9	35.1
Češka							56.4	53.0	54.7
Slovačka			38.8	49.2	41.5	28.5	36.0	37.6	38.6
Poljska			20.4	31.9	38.4	45.0	48.8	50.0	39.1
Švedska									0.0
Finska		12.1	16.1	18.0	17.3	16.0	14.5	15.2	15.6

ZAKLJUČAK — Conclusion

Brojna istraživanja vezana uz problematiku propadanja šuma pokazuju da se radi o problemu kompleksne naravi. Danas nam je jasno da je u tim šumama došlo do poremećaja ekološke ravnoteže. Zagađivanje zraka otpadnim tvarima odražava se izravno i neizravno na tu ravnotežu. Zbog poremetnje fizioloških procesa u biljci se javljaju simptomi djelovanja štetnih tvari u

obliku nekroza, kloroza te promjena i deformacija u rastu i prirastu. Neizravno djelovanje štetnih tvari očituje se kroz zakiseljavanje tla, oštećivanje korijenja, promjene u fizikalnim, kemijskim i biokemijskim procesima u tlu.

Prostorna raspodjela koncentracija sumpornih i dušičnih spojeva u atmosferi iznad Europe pokazuje mak-

simalne koncentracije iznad središnjeg, najnaseljenijeg dijela Europe. Budući da je u tom području zabilježeno najintenzivnije propadanje šuma (Nizozemska, Njemačka, Poljska, Češka i Slovačka) s pravom možemo ustvrditi da je propadanje šuma rezultat promjena u ekosustavu izazvanih zračnim zagađivanjem.

Učešće antropogenih emisija sumpornih i dušičnih spojeva u ukupnom kruženju tih tvari u atmosferi je značajno. To znači da čovjek može utjecati na tok kruženja tih tvari u atmosferi. Stoga je potrebno ograničiti antropogene emisije tih tvari kako bi se zaustavilo i spriječilo dalje narušavanje prirodne ravnoteže biosfere. U Hrvatskoj je potrebno utvrditi ukupne emisije, te prema pojedinim djelatnostima, kako bi se moglo planirati njihovo smanjivanje.

Unatoč stalnim i obimnim zahvatima na postizanju stabilnosti u šumama uočavamo da se stabilnost ne po-

pravlja nego se povremeno i pogoršava tako da će zastavljanje procesa sušenja šuma tražiti kompleksan pristup rješavanju. Mislimo da će se s lokalnog morati preći na globalni način rješavanja tog problema (zaustavljanje ekosustavnih promjena).

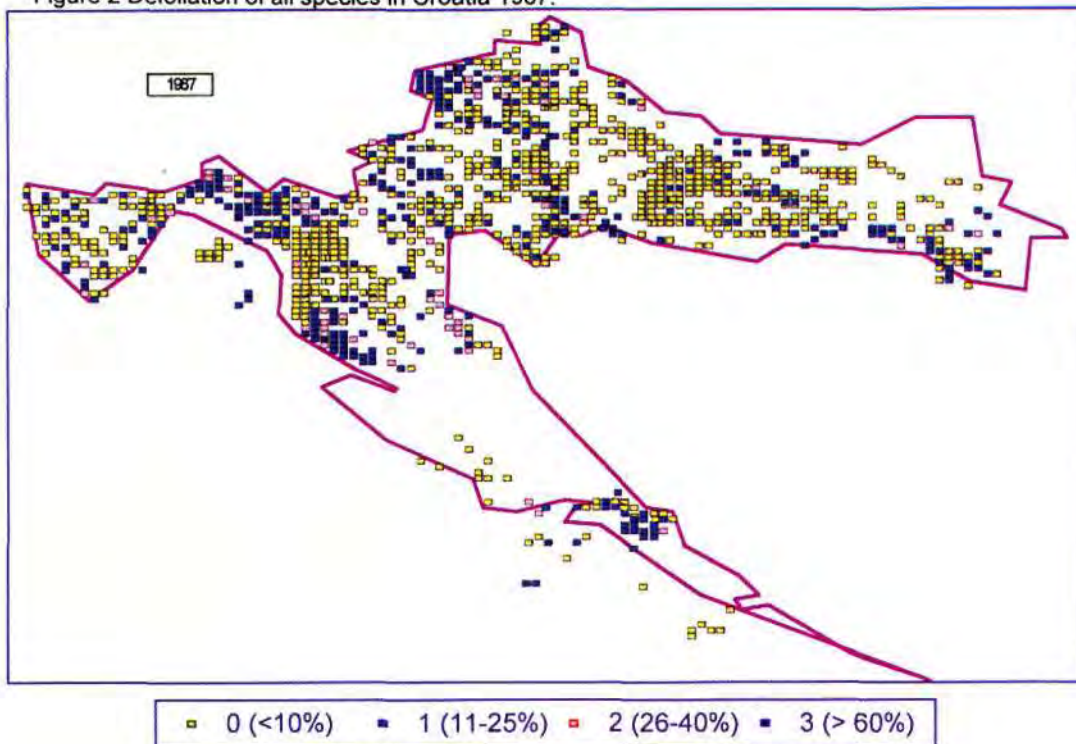
Zabrinjavajući su podaci o značajno oštećenim stablima u Hrvatskoj. U razdoblju od 1987. do 1994. godine od 13 do 26 stabala listača je s osutošću krošnje iznad 25%. Neposredno je smanjen prirast tih stabala, a posredno su umanjene sve općekoriske funkcije šuma. Oštećenost stabala četinjača u promatranom razdoblju iznosila je od 20 do 40% stabala s osutošću krošnje iznad 25%. Vidimo da su četinjače kod nas jače oštećene kao i u Europi. Prosječna oštećenost stabala izračunata za pojedine europske zemlje pokazuje da su šume u Hrvatskoj malo oštećene u odnosu na ostale zemlje. To svakako možemo zahvaliti prirodnom sastavu i povoljnoj strukturi naših šuma.

5. LITERATURA — References

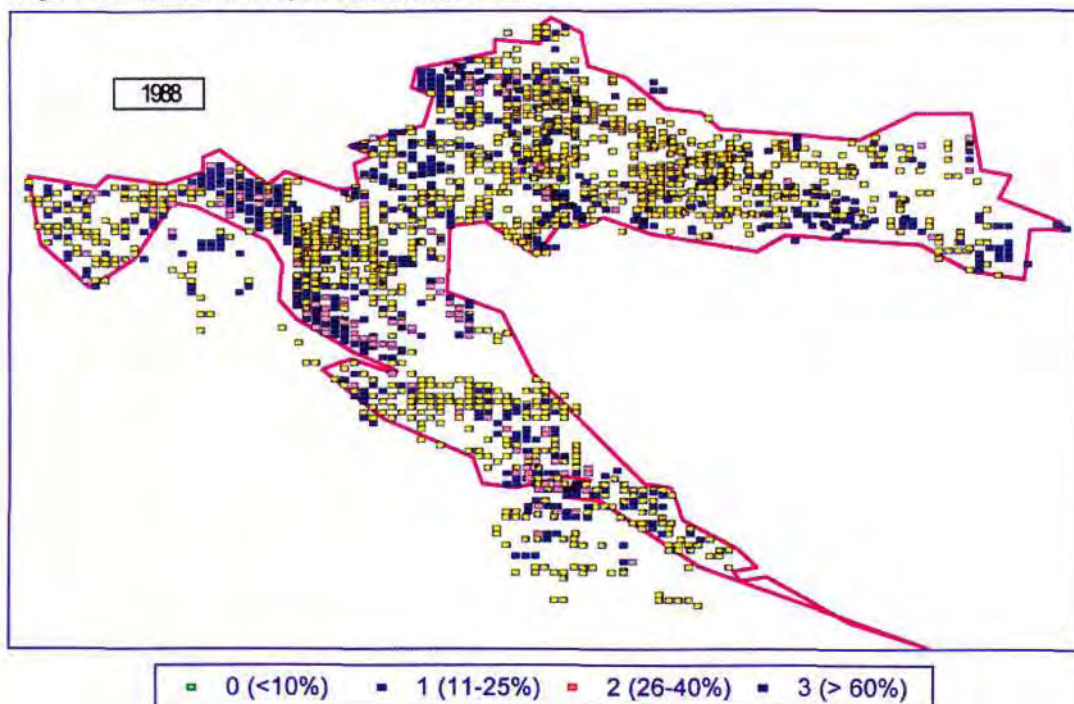
- Glavač, V., Koenies, H., Prpić, B., (1985): O unosu zračnih polutanata i bukovo-jelove šume dinarskog gorja sjeverozapadne Jugoslavije. Šumarski list, Zagreb, str. 429—447.
- Kauzlarić, K., (1985): Štetno djelovanje zagađujućih tvari na šume s posebnim osvrtom na TE Plomin. Šumarski list, Zagreb, str. 363—371.
- Prpić, B., (1987): Sušenje šumskog drveća u SR Hrvatskoj s posebnim osvrtom na opterećenje Gorskog kotara kiselim kišama s teškim metalima. Šumarski list, Zagreb, str. 53—60.
- Kauzlarić, K., (1988): Utjecaj štetnih polutanata na propadanje šuma u Gorskom kotaru. Šumarski list, Zagreb, str. 231—245.
- Komlenović, N., Gračan, J., Pezdirc, N., Rastovski, P., (1988): Utjecaj polutanata na bukove šume i kulture smreke u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Šumarski list, Zagreb, str. 217—230.
- Scütt, P., (1989): Međunarodni aspekti problematike umiranja šuma. Šumarski list, Zagreb, str. 329—333.
- Prpić, B., Seletković, Z., Ivkov, M., (1991): Propadanje šuma u Hrvatskoj i odnos pojave prema biotskim i abiotskim činiteljima danas i u prošlosti. Šumarski list, Zagreb, str. 107—129.
- Radojević, M., Harisson, Roy M. (1992): Atmospheric Acidity: Sources, Consequences and Abatement, London i New York, str. 1—72.

SUMMARY: An evaluation of the forest damage in Croatia in 1993 was carried out on 84 bioindicating points (16x16 km network of the Gauss-Krüger coordination system) and in 1994 on 89 points. The results of the evaluation have been shown for the major broadleaved and coniferous tree species. The sledding and yellowness of crowns has been estimated. The assessed mean damage was established as 37.9% in 1993 and 53.8% in 1994, the conifers amounting to 45.1% in 1993 and 56.8% in 1994, the broadleaves 36.2% in 1993 and 53.1% in 1994. The most damaged trees were of the common fir (87.5% in 1993; 81.2% in 1994), followed by the peduncled oak (60.6% in 1993; 81.8% in 1994), and sessile-flowered oak (52.2% in 1993; 71.9% in 1994). The index of tree damage, i.e. sledding higher than 25%, damage degrees being 2, 3, and 4, is the highest in the last five estimates: 1987 it was 7.9%; 1988—10.2%; 1990—9.9%; 1992—15.3%, 1993—19.2% and 1994 it was 28.8%. The atmospheric conditions, the natural environment, the deposition and the impact of the air pollution upon the forest ecosystems in the future were also considered.

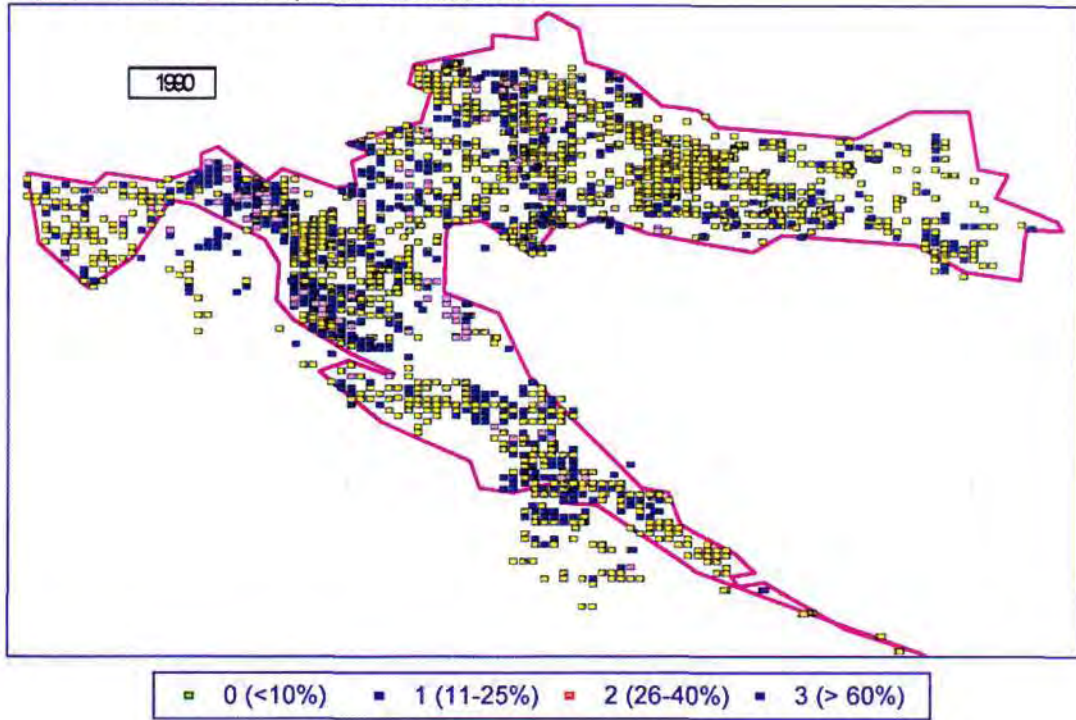
Slika 2 Osutost stabala u Republici Hrvatskoj 1987. godine.
Figure 2 Defoliation of all species in Croatia 1987.



Slika 2 Osutost stabala u Republici Hrvatskoj 1988. godine.
Figure 2 Defoliation of all species in Croatia 1988.



Slika 2 Osutost stabala u Republici Hrvatskoj 1990. godine.
Figure 2 Defoliation of all species in Croatia 1990.



Slika 2 Osutost stabala u Republici Hrvatskoj 1992. godine.
Figure 2 Defoliation of all species in Croatia 1992.

