

GDK 425.1 : 172.9 : 48 : (497.12 Zasavje)

Prispelo / Arrived: 20. 2. 1997

Sprejeto / Accepted: 4. 4. 1997

VPLIV EMISIJ NA GOZDOVE V ZASAVJU

Andrej STRNIŠA*, Franc BATIČ**

Izvleček

Onesnaževanje okolja je pereč problem v Zasavju. Izpusti termoelektrarne Trbovlje zaradi izjemno neugodnih terenskih razmer močno vplivajo na okolje. Globoke soteske ter slabo prevetrene doline so idealne za nastanek temperaturne inverzije. S tem se močno poveča vpliv onesnaženega zraka pod plastjo inverzije. V raziskavi smo opravili popis propadanja gozdov na profilu Prebold - Trbovlje, razdeljenem na severni in južni del. Popis in obdelava zbranih podatkov sta potekala po postopkih slovenske in evropske popisne metode. V okviru popisa propadanja gozdov smo popisali glavne morfološke tipe lišajev ter določili vrste v nabranih vzorcih. Pri analizah zbranih podatkov se je izkazalo, da prvotna predpostavka o čistejšem severnem delu profila ne drži povsem. Ob izredno močnem vplivu inverzije v južnem delu profila se je pojavil v obeh delih še vpliv daljinskega transporta onesnaženega zraka. Pri tem se je lišajsko kartiranje pokazalo kot boljša metoda ugotavljanja vplivov onesnaženega zraka kot popis poškodovanosti drevja. Glede na vrstno sestavo nabranih lišajskih vrst se profil uvršča med močno onesnažena območja. Spremljava velikih koncentracij ozona, izvedena pred leti v širšem delu obravnavanega območja, nakazuje občasno pojavljanje izredno velikih koncentracij tega polutanta, ki škoduje celo odpornim rastlinam in tako dodatno obremenjuje že sicer onesnaženo okolje.

Ključne besede: propadanje gozda, popis, gozdno drevje, lišaji, ozon

THE INFLUENCE OF EMISSIONS ON THE FORESTS IN THE ZASAVJE

Abstract

Environmental pollution is a serious problem in the Zasavje district. Exhausts from The Thermal Power Plant in Trbovlje represent a great impact on the environment due to the extremely unfavorable field conditions. Deep gorges and poorly ventilated valleys are ideal for the formation of temperature inversions. Thus, the impact of the polluted air is highly increased under the inversion layer. Forest decline inventory was carried out at the Prebold - Trbovlje profile, divided into the northern and southern part. The inventory and the analysis of data were carried out according to Slovenian and ECE methods. Forest decline inventory also included the mapping of epiphytic lichens, based on the assessment of cover nad frequency of the three major lichen thalli types and species analysis of the collected samples. The analysis of forest decline inventory showed, that the assumption about cleaner northern part of the profile was not completely correct. Apart from the very strong influence of the temperature inversion in the southern part of the profile, the influence of long distance air pollution was detected in both parts of the profile. Lichens mapping was recognised as a better bioindication method for determining air pollution. According to the lichen species composition, the profile can be classified as a highly polluted area. The monitoring of the occurrence of troposphere ozone concentrations, carried out few years ago in the broader area of the profile, confirmed temporary high concentrations of this pollutant, damaging even the resistant species and increasing the overall air pollution burden of the studied area.

Key words: forest dieback, inventory, forest trees, lichen, ozone

* Dipl. inž. gozd., Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Celje, 3000 Celje, Ljubljanska 13, SLO

** Prof. dr., dipl. biol., Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo, 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101, SLO

KAZALO

1	UVOD / INTRODUCTION	189
2	DELOVNE METODE / METHODS	190
2.1	BIOINDIKACIJA S POPISOM POŠKODOVANOSTI GOZDNEGA DREVJA / BIOINDICATION BY INVENTORY OF FOREST TREE DAMAGE.....	191
2.1.1	Ugotavljanje zdravstvenega stanja dreves / <i>Assessment of forest trees' health</i>	192
2.2	DELOVNE METODE PRI POPISU LIŠAJEV / <i>METHODS OF LICHEN MAPPING</i>	193
2.2.1	Vrednotenje podatkov lišajske vegetacije / <i>Evaluation of lichen vegetation data</i>	193
2.2.2	Nabiranje in določanje epifitskih lišajev / <i>Collecting and determining of epiphytic lichens</i>	195
2.3	SPREMLJANJE OZONA V OZRAČJU / <i>MONITORING OF OZONE PRESENCE IN THE ATMOSPHERE</i>	195
3	REZULTATI / RESULTS	197
3.1	REZULTATI POPISA POŠKODOVANOSTI GOZDNEGA DREVJA / <i>RESULTS OF FOREST DIEBACK INVENTORY</i>	197
3.2	REZULTATI POPISA LIŠAJEV / <i>RESULTS OF THE LICHEN MAPPING</i>	206
4	RAZPRAVA / DISCUSSION	211
4.1	POŠKODOVANOST GOZDOV / <i>FOREST DAMAGE</i>	211
4.1.1	Razlika med severnim in južnim delom profila / <i>Difference between the south and north part of the profile</i>	212
4.2	KARTIRANJE LIŠAJEV / <i>MAPPING OF LICHENS</i>	214
4.2.1	Primerjava stanja lišajev na profilu s tistimi v ostali Sloveniji / <i>A comparison of epiphytic lichen vegetation on the profile with that in the rest of Slovenia</i>	216
4.3	POJAVLJANJE VELIKIH KONCENTRACIJ OZONA / <i>OCCURRENCE OF HIGH OZONE CONCENTRATION</i>	217
5	SKLEPNE MISLI / CONCLUSIONS	218
6	VIRI / REFERENCES	219

1 UVOD

Vplivi sproščanja škodljivih snovi v okolje so najbolj opazni v neposredni bližini virov. V Zasavju, še posebej v vzhodnem delu, je precej virov onesnaževanja zraka na razmeroma majhnem območju. Poleg tega ima območje pestro in za širjenje onesnaženja neugodno topografijo z globokimi soteskami in ozkimi dolinami, v katerih ležijo posamezni gosteje naseljeni kraji.

Poškodbe vegetacije zaradi vplivov onesnaženega zraka so v Zasavju opazili že razmeroma zgodaj. Še posebej sta se obseg poškodovanosti in njena stopnja povečala po izgradnji drugega bloka Termoelektrarne Trbovlje (TET II). Gozdarji so bili takrat med prvimi, ki so se zavedeli nevarnosti propada gozdne in druge vegetacije (ŠOLAR 1977).

Raziskave s klasičnimi kemijskoanalitskimi postopki so žal razmeroma drage, zato so se že ob pričetku raziskav na tem območju naslonili na bioindikatorje, med njimi na najbolj splošno razširjene - gozdno drevje. Zgoščena mreža popisnih ploskev v Zasavju naj bi pokazala dejanski obseg poškodovanosti. Postavili so jo v času, ko v Sloveniji še niso potekali usklajeni popisi poškodovanosti. V raziskavi smo postavili novo mrežo sistematično preko ožjega profila v smeri sever - jug, da bi dopolnili že obstoječe mreže, 16×16 km, 4×4 km in "lokalno" mrežo Zasavja. Prejšnje mreže so postavili bodisi preredko, da bi s točkami zajeli stanje v Zasavju dovolj podrobno, bodisi so povsem nesistematične, kar povzroča problem pri vrednotenju. V okviru raziskave smo opravili standardni popis propadanja gozdov in še dodatno popisali lišaje, ki so znani kazalci kakovosti zraka.

Zasavje s posebnimi topografskimi razmerami predstavlja izredno neugodno območje glede onesnaženosti zraka. Reden pojav temperaturnega obrata (inverzije) v ozkih dolinah je namreč pomemben negativen dejavnik, ki dodatno slabša razmere v zaprtih, slabo prevetrenih dolinah. Onesnažen zrak se nabira na določeni višini nad dnom doline, kjer se pojavljajo tudi najhujše poškodbe (PARADIŽ *et al.* 1972). Tako zgoščeni onesnaženi zrak se navadno ob razgradnji inverzije v dopoldanskih urah spušča po dolini navzdol, s čimer se onesnaženo območje močno širi (PLANINŠEK 1989). Tak pojav je v trboveljski

dolini moč opaziti ob vsakem vremenskem stanju, samo da je ozračje mirno, najbolj pa pri jasnem vremenu.

Izgradnja novega, 360 metrov visokega dimnika termoelektrarne Trbovlje, ki je v preteklosti veljala za najhujšega onesnaževalca, je stanje deloma izboljšala, vendar je ostala še vedno kritična množica individualnih kurišč. Stanje je še sedaj v dolini kritično, saj se individualnim kuriščem pridružuje industrija v dolini (cementarna, toplarna,...). V prihodnosti je predviden prehod na plin ali centralno toplovodno omrežje, kar bo brez dvoma pomenilo dodatno izboljšanje (RODE 1989).

Po izgradnji dimnika se je stanje znatno spremenilo na okoliških hribih. Pogosto prihaja do povečanih koncentracij žveplovega dioksida v vaseh, kot so Dobovec, Kovk in ostalih višjeležečih krajih. Ob močnejših vetrovih zanese dimni stožec z velikimi koncentracijami SO₂ kratkotrajno v omenjene vasi. Zato nastajajo v omenjenih krajih hude poškodbe na vegetaciji.

2 DELOVNE METODE

V raziskavi smo zajeli razmeroma ozek pas od Trbovelj do Prebolda z mrežo popisnih ploskev, razdeljen na severni in južni del. Glede na poznavanje terena ter razmestitev industrije smo pričakovali, da bo severni del, ki je znatno manj naseljen, čistejši, medtem ko naj bi bili vplivi onesnaženja v južnem delu dosti večji. V dolinah so posamezni industrijski centri in naselja z individualnimi kurišči, ki prispevajo znaten delež k onesnaževanju okolja.

V prejšnjih letih smo v širši okolici in v obravnavanem območju izpostavljali tudi posebno sorto tobaka (*Nicotiana tabacum* L. cv. Bel W₃), ki je služila kot testna rastlina za odkrivanje povečanih koncentracij ozona v ozračju (BATIČ *et al.* 1995).

Za opisani profil smo se odločili na podlagi poznavanja obravnavanega območja in tudi lokalnih interesov (Območna enota Zavoda za gozdove Celje). Temu smo priredili položaj opisne mreže ter tudi njeno podrobnejšo razdelitev.

Osnova za izbiro točk na terenu je bila Gauß-Krügerjeva mreža s topografske karte 1 : 25 000, z oznako Trbovlje 014 - 31. Zaradi ustreznega števila točk smo se odločili za zgoščeno mrežo 2 × 2 km. Na območju Zasavja smo vključili še nekatere bioindikacijske točke iz dodatne bioindikacijske mreže. Na severnem delu smo opravili popis na osmih točkah, na južnem delu pa na enajstih, skupaj torej na devetnajstih točkah.

2.1 BIOINDIKACIJA S POPISOM POŠKODOVANOSTI GOZDNEGA DREVJA

Popis propadanja gozdov smo izvedli po navodilih slovenske metode popisa poškodovanosti gozdnega drevja, ki je prirejena po evropski metodologiji popisa (BOGATAJ *et al.* 1993) in pri tem še dodatno prilagojena našim razmeram. Zaradi precej obsežnih negozdnih površin smo upoštevali dogovorjeno metodologijo premika položaja posameznih točk.

Oceno poškodovanosti v odraslem gozdu smo opravili na sledeč način: Na izhodiščni točki popisa (vedno stojišče 1) smo določili kvadrat z merami 25 × 25 metrov, katerega oglišča so hkrati predstavljala središča ostalih stojišč. Na vsakem stojišču smo izbrali po 6 najbližjih nadmernih dreves (nad 10 cm) (metoda 6 dreves). Izbira stojišč in posameznih dreves je bila pogojena tudi z rastiščnimi in sestojnimi razmerami, pri tem smo pazili na ustrezno rastiščno in sestojno homogenost. Osnovno stojišče 1 točno v sredini trakta je bilo na terenu tudi označeno, za ostala stojišča pa so bile oznake samo na drevju (ŠOLAR *et al.* 1987).

Na vseh drevesih v vzorcu smo popisali znake poškodovanosti s poudarkom na poškodbah krošnje. Krošnjo smo opazovali z najbolj vidne točke (s pomočjo daljnogleda), dodatno smo preiskali še sledi sesajočih žuželk in trosišča gliv na vejah pri tleh oziroma na slučajno odlomljenih vejah.

Slovenska popisna metoda je torej zasnovana na širokem spremljanju škodljivih dejavnikov, tako da se lažje določi vzroke propadanja drevesa. Vsekakor je to izboljšava glede na metodo ECE UN, pri kateri so posamezni dejavniki izvzeti iz

celotnega ekološkega kompleksa (ANONYMUS 1993).

2.1.1 Ugotavljanje zdravstvenega stanja dreves

Razredi osutosti kot kazalci stanja po slovenski metodi se nekoliko razlikujejo od evropske metode. Spremenjeni so odstotkovni intervali ocen osutosti posameznih osebkov (ŠOLAR 1991).

Preglednica 1: Stopnje osutosti po dveh popisnih metodah.

Table 1: *Defoliation classes used in the two inventory methods.*

	Slovenska metoda <i>Slovenian method</i>	ECE UN metoda <i>ECU UN method</i>
Stopnje osutosti <i>Defoliations classes</i>	Osutost iglic ali listov <i>Needle/leaf loss</i>	Osutost iglic ali listov <i>Needle/leaf loss</i>
0	do 10% : <i>to 10 %</i>	do 10% :- <i>to 10 %/</i>
1	11% - 25%	11% - 25%
2	26% - 60%	26% - 60%
3	61% - 90%	61% - 99%
4	nad 90% : <i>under 90%</i>	nad 99% : <i>under 90%</i> (sušice : <i>dead trees</i>))

Stopnjo osutosti smo na terenu določali glede na videz krošnje. Po zbranih rezultatih smo izračunavali povprečne stopnje osutosti na ploskvi.

Izračun povprečne osutosti drevja je dal stanje na ploskvi. Povprečna osutost je lastnost posameznih dreves, ki skupno poraščajo določeno rastišče. Slovenska metoda spremlja zdravstveno stanje vseh nadmernih dreves, ki so zajeta z vzorcem v okviru določenega ekosistema. Pri tem vloga drevesa v tem sistemu sploh ni pomembna, tako da imajo vsa drevesa možnost vplivati na vrednost ocene. Bolj je poudarjen biološki pomen popisa (STEFANOVIĆ 1986).

2.2 DELOVNE METODE PRI POPISU LIŠAJEV

Na popisnem mestu v središču popisnega trakta smo za izvedbo popisa lišajev izbirali stojišče s čimbolj klimazonalno vegetacijo, poleg tega pa je ustrezalo še ostalim zahtevam popisa lišajev (ni preveč grmovja okoli dreves, vrste z za lišaje ugodno skorjo,...). (BATIČ 1991). Na izbranih drevesih izbranega oglišča (ista drevesa, kot pri metodi 6 dreves) smo določili stran debla, ki je bila najbolj olišajena. Sprememba svetlobno-vlažnostnih razmer pa tudi prevladujoča smer vetra z onesnaženim zrakom lahko bistveno spremeni porastlost z lišaji. Izbrano stran smo nato razdelili na tri višine opazovanja (BATIČ 1987; BATIČ 1991, BOGATAJ *et al.* 1993, BATIČ / KRALJ 1995):

- do 0,5 metra, kjer je vključen koreničnik in dnišče
- od 0,5 do 2,5 metra višine debla
- nad 2,5 metra višine debla ter v krošnji

Na posameznih višinah, posebej na spodnjih dveh, smo nato celotno površino razdelili na ustrezno velike kvadrate glede na velikost debla. V vsakem kvadratu smo ocenili pokrovnost ter številčnost lišajev. Iz ocen smo za posamezno višino izračunali povprečje in ga vpisali v obrazec.

Ocenjevanje številčnosti:

1. - posamezne steljke (do 5 steljk na kvadrat)
2. - steljke srednje pogoste (5 - 10 steljk na kvadrat)
3. - steljke zelo pogoste (nad 10 steljk na kvadrat)

Ocenjevanje pokrovnosti:

1. - lišaji pokrivajo 1 - 10% površine debel
2. - lišaji pokrivajo 11 - 50% površine debel
3. - lišaji pokrivajo 51 - 100% površine debel

2.2.1.Vrednotenje podatkov lišajske vegetacije

Vrednotenje popisov lišajske obrasti lahko izvedemo po prilagojeni oceni čistosti zraka. Gre za kombinirano oceno, ki jo iz vrednotimo po enačbi (BATIČ / KRALJ 1989, 1995, BATIČ 1991):

$$IAP_i = \sum_{S,L,G} (b_i + c_i)$$

$$IAP_t = \sum_{i=1}^3 IAP_i$$

IAP_i - indeks atmosferske čistoče po različnih višinah debla ($i = 1, 2, 3$)
 - *atmospheric purity index by various stem heights ($i=1,2,3$)*

IAP_t - skupni indeks atmosferske čistoče
 - *overall atmospheric purity index*

S, L, G - skorjasti, listasti, grmičasti lišaji
 - *S (B), L (L), G (S) - bark, leaf, shrub lichens*

b_i - številčnost steljk
 - *thallophyte's frequency*

c_i - pokrovnost steljk
 - *thallophyte's cover*

Za lažjo primerjavo so indeksi atmosferske čistoče razporejeni v posamezne razrede (BATIČ, 1991).

Preglednica 2: Razredi indeksov atmosferske čistoče (IAP)(po BATIČ, 1991).

Table 2: Atmospheric purity index classes (IAP, after BATIČ, 1991).

Razred Class	Interval IAP_i IAP_i interval	Interval IAP_t IAP_t interval
1	13,6 - 18,0	40,6 - 54,0
2	9,1 - 13,5	27,1 - 40,5
3	4,6 - 9,0	13,6 - 27,0
4	1,0 - 4,5	1,0 - 13,5
5	0,0 - 0,9	0,0 - 0,9

Povprečno vrednost IAP indeksa smo na posamezni popisni ploskvi izračunavali nato o obrazcu:

$$\overline{IAP} = \frac{\sum_{i=1}^6 IAP_i}{6}$$

$\overline{IAP}$ = povprečna vrednost IAP na popisni ploskvi / *the IAP mean in a mapping plot*

IAP_i = individualni IAP za posamezne višine / *the individual IAP for individual heights*

Izračun in vrednotenje popisnih podatkov lišajev smo izvedli po postopku izračuna za enostavno slučajnostno vzorčenje.

2.2.2 Nabiranje in določanje epifitskih lišajev

Drugi del naloge na terenu je bil nabiranje lišajev za določevanje vrst. Vzorce smo nabirali v okolici popisne ploskve, pri čemer smo ločevali lišajske vzorce po drevesnih vrstah. Poleg številke točke ter drevesne vrste smo beležili še datum nabiranja. Lišajske vzorce smo vedno skušali nabrati s čim več različnih drevesnih vrst, še posebej z mineralno bogatejše skorje. Nabrali smo po več primerkov iste vrste lišaja. Nabrane lišajske vzorce smo posušili na zraku in jih nato določili v laboratoriju.

2.3 SPREMLJANJE OZONA V OZRAČJU

Meritve ozona so redke, saj ni dovolj meritvenih mest, zato je pomen bioindikatorskih rastlin še toliko večji. Pomemben razlog za uporabo bioindikatorjev pri preučevanju ozona je še v tem, da se ozon ne kopiči v tkivih in ga tam ni mogoče kemično analizirati (BATIČ *et al.* 1995).

Ena od indikatorskih rastlin za sledenje prisotnosti O₃ v zraku je posebna sorta tobaka (*Nicotiana tabacum* L. cv. Bel W₃). Rastline tega kultivarja kažejo značilne poškodbe že pri koncentracijah okrog 40 do 50 ppb. Velikost poškodb ter pojavnost lis sta neposredno povezani s povečanimi koncentracijami ozona (BARNES *et al.*, 1988; MANSFIELD *et al.*, 1987; DAVISON *et al.*, 1987).

Poizkusno izpostavitve v Zasavju smo izvedli leta 1990 v Radečah na dveh lokacijah. Primerjali smo ritem pojavljanja poškodb na neodporni vrsti. V letu 1991 smo število izpostavitvenih lokacij povečali na 8 ter jih razporedili po vseh treh zasavskih mestih, na Kumu ter v okolici Radeč. V opazovanjih leta 1992 smo tistim iz leta 1991 dodali še dve novi. Opazovalna mesta niso bila v obravnavanem profilu, ampak ležijo južneje. Na posamezni lokaciji smo izpostavili leta 1990 po dve rastlini posameznega kultivarja, leta 1991 po tri

rastline in leta 1992 po pet rastlin posameznega kultivarja. Rastline smo vsadili v ustrezno velike lonce. Zaradi možnega vpliva divjadi smo izpostavljene rastline na nenaseljenih mestih ogradili z mrežo. Poškodbe zaradi polžev smo preprečili z zrnci mesurola, ki smo jih raztrosili v okolici loncev.

Način opazovanja in ocenjevanja poškodovanosti smo privzeli po prirejeni norveški metodologiji (BATIČ *et al.*, 1995). Poškodbe na listih smo ocenjevali v intervalih (običajno vsak teden) z uporabo preproste skicirane lestvice. Rezultate smo vpisovali na prirejen popisni obrazec. Slovenska metoda opazovanja se od norveške razlikuje v izpostavljanju rastlin. V tujini namreč v vsakem intervalu izpostavljajo nove rastline, medtem ko smo v opazovanjih doma izpostavili le po en komplet rastlin, ki smo jih nato opazovali do konca obdobja. Iz nizov opazovanih podatkov smo nato izračunavali listni indeks ter odstotke poškodovanih listov (upoštevali smo liste v 4., 5. in 6. kategoriji poškodb). Enačba za izračun listnega indeksa je naslednja (ASHMORE 1980):

$$L_{II} = \frac{\sum_{n=1}^{n=N} [D_t - D_{t-1}]}{N - N_p}$$

L_{II} - indeks listnih poškodb

D_t - stopnja poškodovanosti posameznega lista na koncu opazovalnega obdobja

D_{t-1} - stopnja poškodovanosti posameznega lista na začetku opazovalnega obdobja

N - število vseh listov

N_p - število propadlih listov

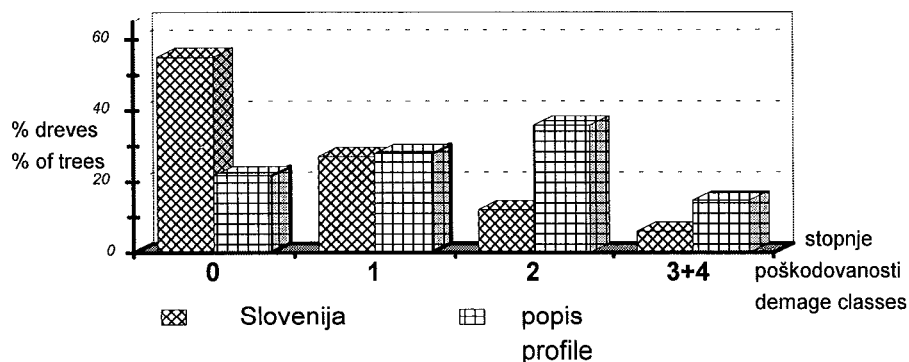
$$\% \text{ poškodovanih listov} = \frac{\text{listi v 4., 5. in 6 stopnji poškodb}}{N - N_p}$$

Med propadle liste smo šteli tiste, ki so povsem porjaveli, pojavili pa so se navadno kakšen teden po dosegu poškodb 6. stopnje poškodovanosti. Listom smo določili stopnjo poškodovanosti in jakost poškodovanosti listne površine pri vsakokratnem opazovanju z uporabo prirejene lestvice (BATIČ *et al.*, 1988, 1995).

3 REZULTATI

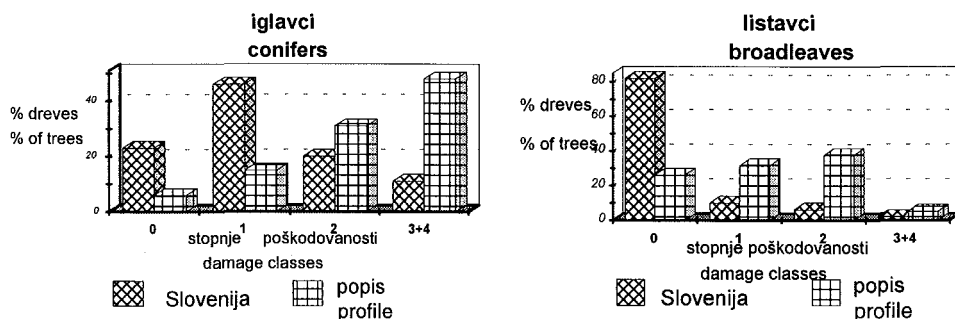
Rezultati popisa propadanja gozdov in stanja epifitske lišajske vegetacije v njih so za obravnavani profil Prebold-Trbovlje prikazani na grafikonih od 1 do 24. Izsledki spremljanja ozona s testnimi rastlinami tobaka so že bili objavljeni (BATIČ *et al.* 1995) in jih le povzemamo. Rezultati popisov poškodovanosti gozdnega drevja in stanja epifitske lišajske obrasti na njem so prikazani grafično, skupno in ločeno za severni in južni del profila. Obravnavani so še glede na višinske pasove, nagib terena, glede na skupine drevesnih vrst in primerjalno s stanjem v Sloveniji. Pri izračunih poškodovanosti drevja in izrednotenju podatkov popisa lišajske obrasti smo uporabili že prej omenjene metode (ŠOLAR 1991, JURC / BOGATAJ 1994, BATIČ 1991, BATIČ / KRALJ 1995).

3.1 REZULTATI POPISA POŠKODOVANOSTI GOZDNEGA DREVJA



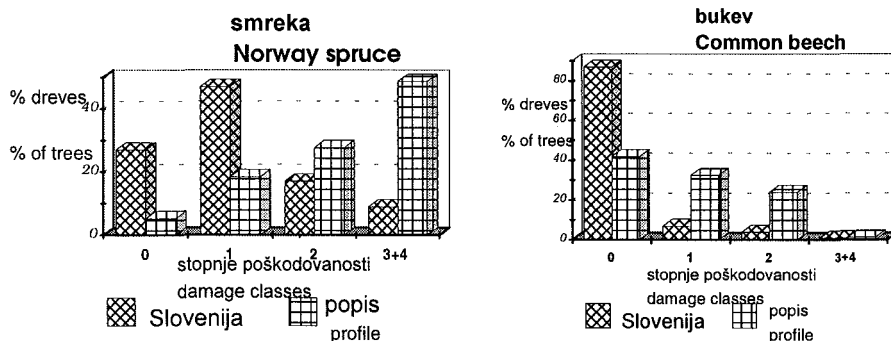
Grafikon 1: Primerjava poškodovanosti gozdnega drevja po stopnjah poškodovanosti za celotno Slovenijo ter za obravnavani profil.

Figure 1: A comparison of forest tree damage classes between whole Slovenia and the profile in Zasavje.



Grafikon 2: Primerjava poškodovanosti gozdnega drevja iz profila ter iz celotne Slovenije, ločeno za iglavce in listavce

Figure 2: A comparison of forest tree damage classes between Slovenia and the profile in Zasavje, separately for conifers and broadleaves.



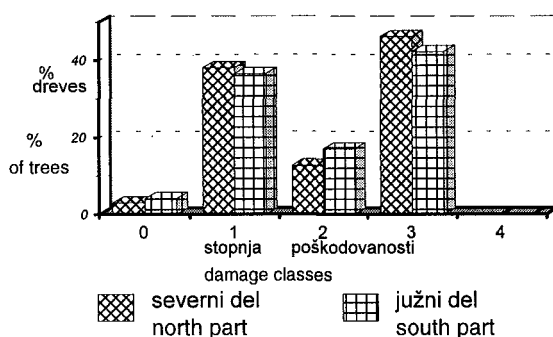
Grafikon 3: Primerjava poškodovanosti gozdnega drevja po stopnjah iz profila ter iz celotne Slovenije za smreko in bukev.

Figure 3: A comparison of forest tree damage classes between whole Slovenia and the profile in Zasavje for Norway spruce and common beech.

Primerjava severnega in južnega dela profila

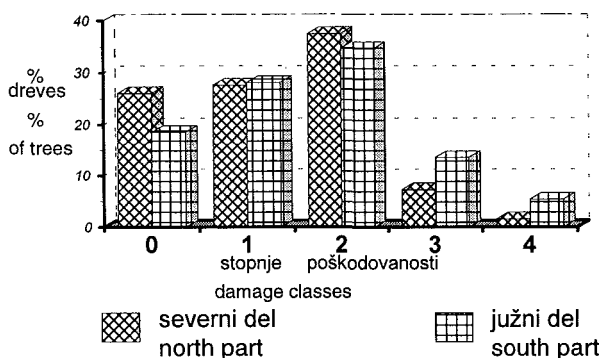
A comparison between north and south part of the profile

Sestava drevesnih vrst se zaradi drugačnih razmer v severnem in južnem delu precej razlikuje. V severnem delu, kjer so večinoma osojne lege z boljšimi vlažnostnimi razmerami, prevladujejo bukev ter ostali listavci, smreke je le okrog 9%. V južnem delu večji delež listavcev sicer še vedno ostane, poleg bukve imajo večji delež še hrast ter ostali listavci, poveča pa se delež smreke (22%) (umetni vnosi). Na južnem delu profila so vplivi človeka večji kot na severnem. Sklepamo, da so zato sestoji bolj spremenjeni.



Grafikon 4: Primerjava poškodovanosti med severnim in južnim delom profila (evropska metoda popisa).

Figure 4: A comparison of tree damage between north and south part of the profile (ECE UN method used).



Grafikon 5: Primerjava poškodovanosti med severnim in južnim delom profila (slovenska metoda popisa).

Fig. 5: A comparison of tree damage between north and south part of the profile (Slovenian method of inventory used).

Relativne deleže po stopnjah poškodovanosti podajamo še tabelarično:

Preglednica 3: Prikaz stopenj poškodovanosti po skupinah drevesnih vrst za severni in južni del profila v odstotkih.

Table 3: Forest tree damage classes for group of tree species, presented for the north and south part of the profile.

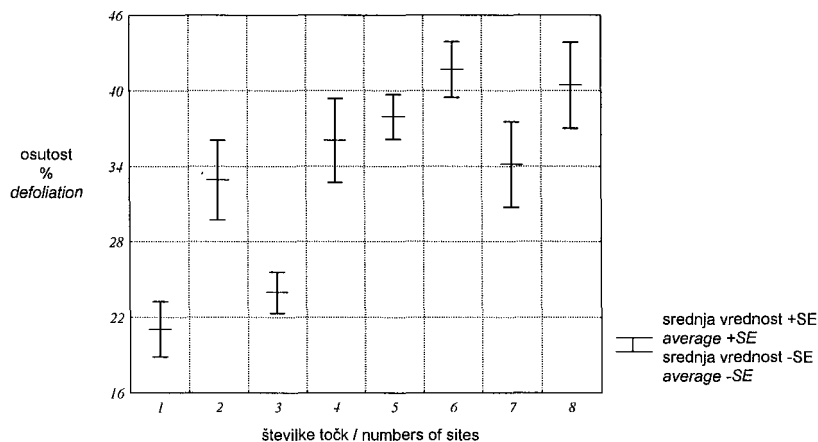
	iglavci conifers		listavci broadleaves	
	sever	jug	sever	jug
0	3,2	7,5	30,4	22,5
1	16,1	14,5	29,8	33,3
2	45,2	24,6	36,0	38,2
3	29,0	37,7	3,1	4,7
4	6,5	15,9	0,6	1,6

sever = North
jug = South

Srednje vrednosti poškodovanosti drevja (v %) se med profiloma precej razlikujejo in znašajo:

a) severni del: $\bar{y} = 33,52\%$, b) južni del: $\bar{y} = 35,08\%$

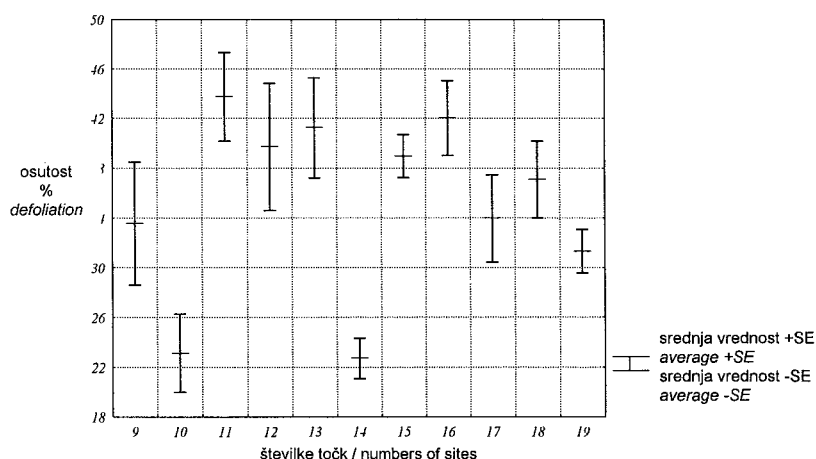
Po posameznih točkah se srednje vrednosti osutosti razporejajo na naslednji način:



Grafikon 6: Srednje vrednosti osutosti drevja za severni del (srednje črte so srednje vrednosti).

Figure 6: Mean values of defoliation on the north part of the profile (middle lines are mean values).

Zap. št. točke	Krajevno ime	Kordinata x	Kordinata y
1	Šmihlova zidanica	5121	5505
2	Gornja vas	5121	5509
3	Matke - Hojnik	5119	5509
4	Podbregar	5119	5507
5	Mrzličar	5119	5505
6	Jalenca	5117	5505
7	Kobac	5117	5505
8	Podmrzlica	5117	5509



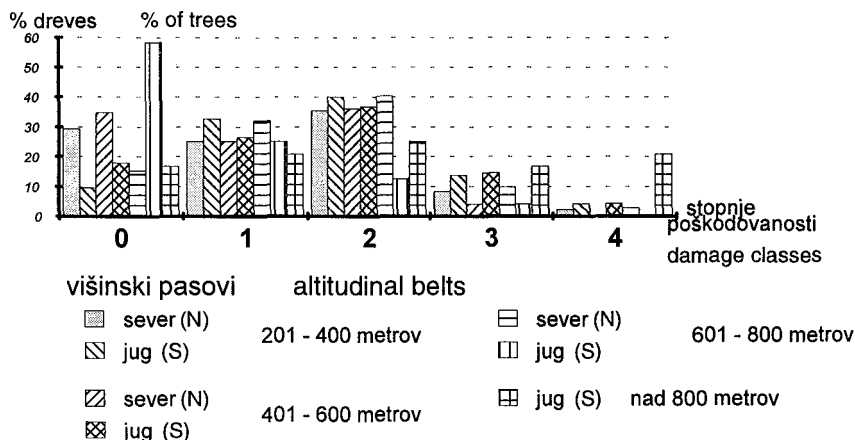
Grafikon 7: Srednje vrednosti osutosti drevja za južni del (srednje črte so srednje vrednosti).

Figure 7: Mean values of defoliation for the south part of the profile (middle lines are mean values).

Zap. št. točke	Krajevno ime	Kordinata x	Kordinata y
9	Kanerc	5115	5509
10	Čeče	5115	5507
11	Svine	5115	5507
12	Trbovlje-Golovec	5113	5505
13	Boben	5513	5507
14	Jelenca - Kal	5112,4	5508,2
15	Spodnji Hrastnik	5111	5507
16	Retje	5110	5505
17	Sv. Marija	5109	5507
18	Kovk	5109	5509
19	Kovk - dod. točka	5109,5	5508

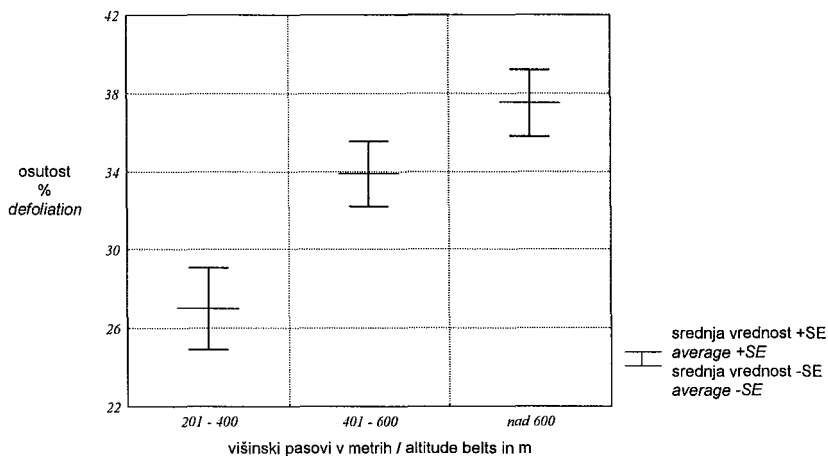
Razliki med srednjima vrednostima za obe skupini popisov sta statistično značilni:

$$z = 2,2153^*$$



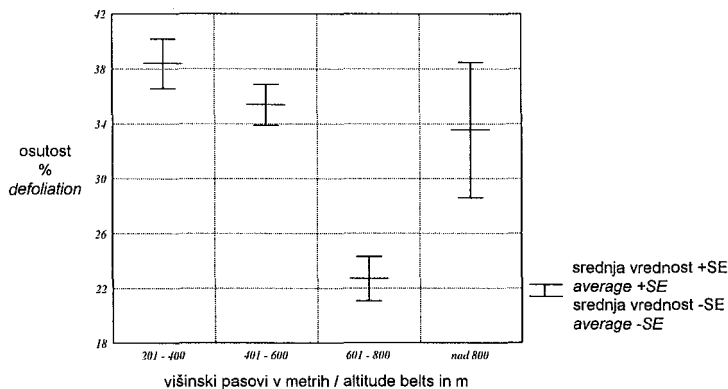
Grafikon 8: Pregled stopenj poškodovanosti za severni in južni profila glede na 200 m višinske pasove.

Figure 8: Overview of forest damage classes for north and south part of the profile, given for 200 m altitudinal belts.



Grafikon 9: Pregled osutosti po 200 m višinskih pasovih - severni del profila (srednje črte so srednje vrednosti).

Figure 9: Overview of defoliation in 200 m altitudinal belts - north part of the profile (middle lines are mean values).



Grafikon 10: Pregled osutosti po 200 m višinskih pasovih - južni del profila (srednje črte so srednje vrednosti).

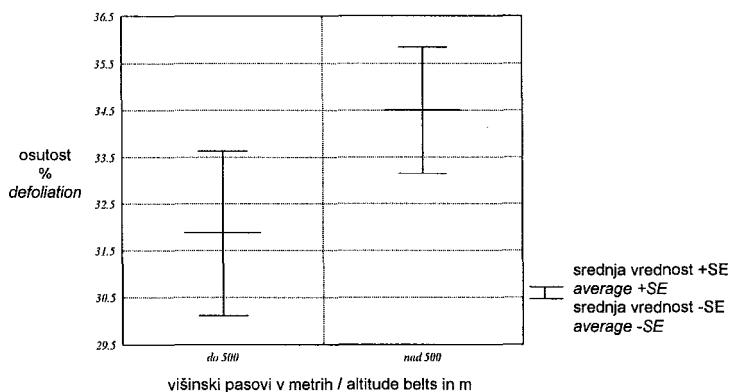
Figure 10: Overview of defoliation in 200 m altitudinal belts - south part of the profile (middle lines are mean values).

Razlike so statistično značilne v višinskih pasovih 201 - 400 metrov ter 601 - 800 metrov; nad 800 m na severnem delu ni popisa.

$$Z(201 - 400) = 10,9063^{***}$$

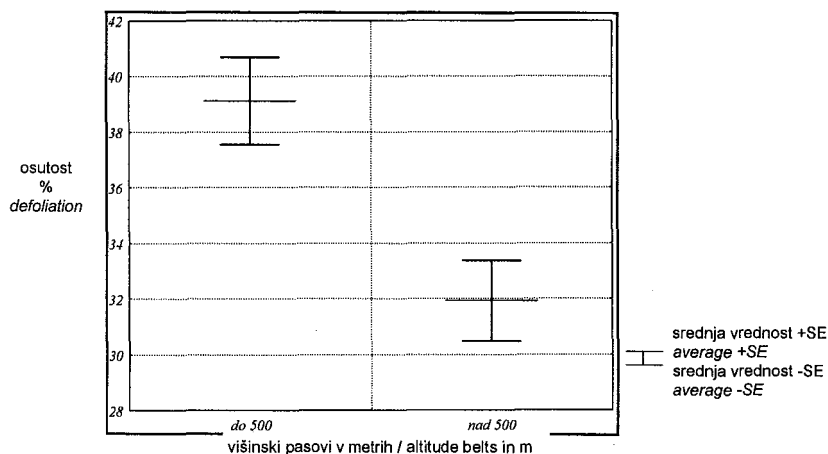
$$Z(601 - 800) = 24,5824^{***}$$

Razlika v vrednostih osutosti drevja med obema deloma profila se še bolj izrazi pri združevanju popisov v 500 m višinske pasove.



Grafikon 11: Pregled vrednosti osutosti v 500 m višinskih pasovih - severni del (srednje črte so srednje vrednosti).

Figure 11: Overview of defoliation for 500m altitudinal belts - north part of the profile (middle lines are mean values).



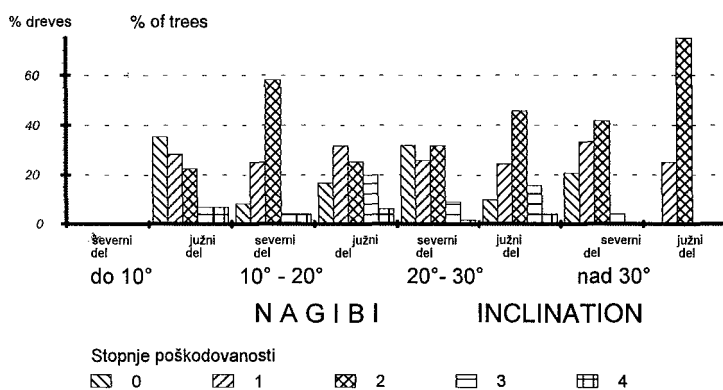
Grafikon 12: Pregled vrednosti osutosti v 500 m višinskih pasovih - južni del (srednje črte so srednje vrednosti).

Figure 12: Overview of defoliation for 500m altitudinal belts - south part of the profile (middle lines are mean values).

Razlika med srednjimi vrednostmi je statistično značilna in znaša:

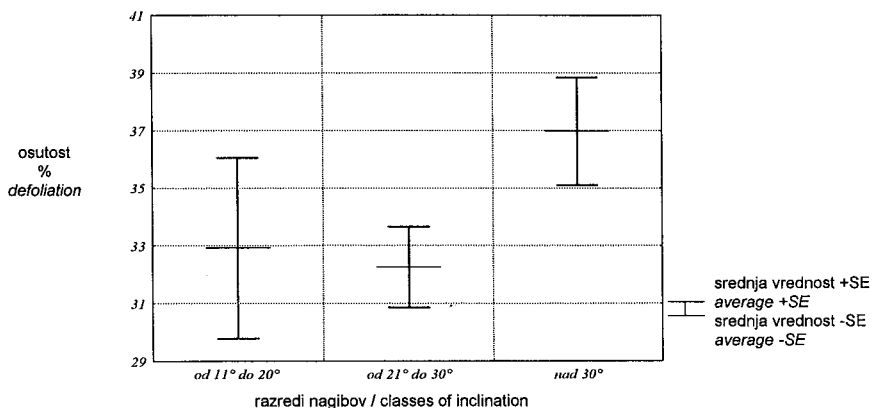
$$Z(\text{do } 500) = 5,7353^{***}$$

$$Z(\text{nad } 500) = 2,8847^{***}$$



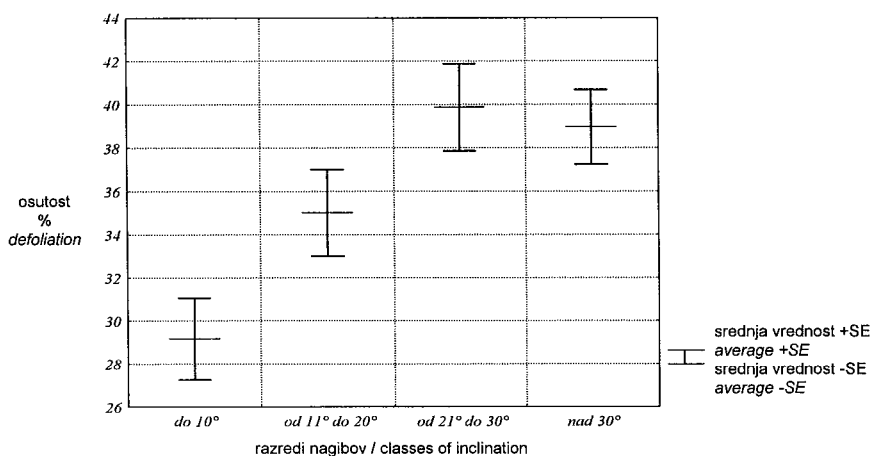
Grafikon 13: Primerjava poškodovanosti drevja na severnem in južnem delu profila po nagibu.

Figure 13: A comparison of tree damage between south and north part of the profile in relation to the inclination of the inventory plots.



Grafikon 14: Pregled vrednosti osutosti po nagibu za severni del profila (srednje črte so srednje vrednosti).

Figure 14: An overview of defoliation in relation to inclination for the north part of the profile (middle lines are mean values).



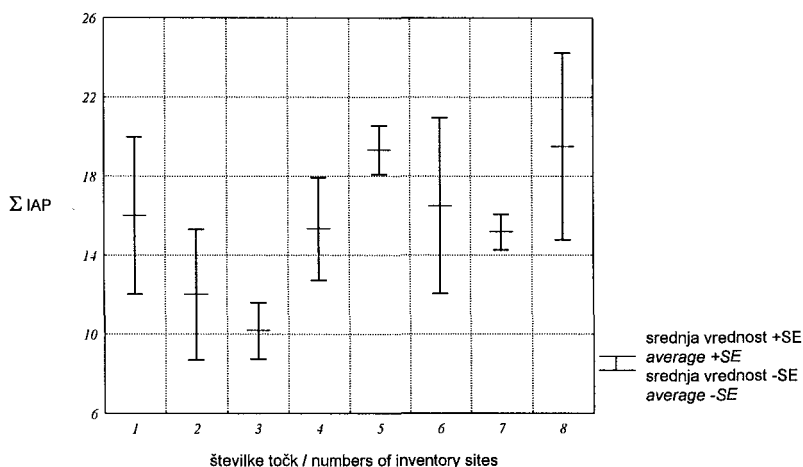
Grafikon 15: Pregled vrednosti osutosti po nagibu za južni del profila (srednje črte so srednje vrednosti).

Figure 15: An overview of defoliation in relation to inclination for the south part of the profile (middle lines are mean values).

Statistični test enakosti srednjih vrednosti daje statistično značilne razlike srednje vrednosti le za nagib med 21° in 30°:

$$Z_{(21^\circ - 30^\circ)} = 6,9482^{***}$$

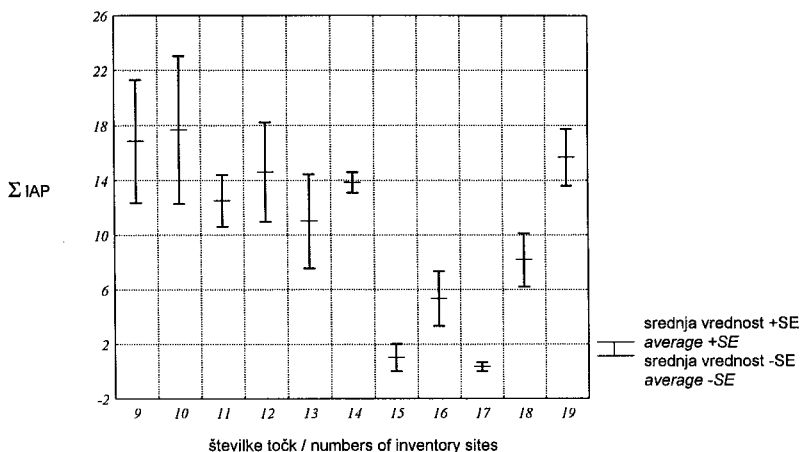
3.2 REZULTATI POPISA LIŠAJEV



Grafikon 16: Razporeditev srednjih vrednosti seštevkov IAP severnega dela (srednje črte so srednje vrednosti).

Figure. 16: Distribution of the IAP values on the inventory sites of the north part of the profile (middle lines are mean values).

Zap. št. točke	Krajevno ime	Kordinata	
		x	y
1	Šmihlova zidanica	5121	5505
2	Gornja vas	5121	5509
3	Matke - Hojnik	5119	5509
4	Podbregar	5119	5507
5	Mrzličar	5119	5505
6	Jalenca	5117	5505
7	Kobac	5117	5505
8	Podmrzlica	5117	5509



Grafikon 17: Razporeditev srednjih vrednosti seštevkov IAP južnega dela (srednje črte so srednje vrednosti).

Figure 17: Distribution of the IAP values for the inventory sites of the south part of the profile (middle lines are mean values).

Zap. št. točke	Krajeno ime	Kordinata x	Kordinata y
9	Kanerc	5115	5509
10	Čeče	5115	5507
11	Svine	5115	5507
12	Trbovlje-Golovec	5113	5505
13	Boben	5513	5507
14	Jelenca - Kal	5112,4	5508,2
15	Spodnji Hrastnik	5111	5507
16	Retje	5110	5505
17	Sv. Marija	5109	5507
18	Kovk	5109	5509
19	Kovk - dod. točka	5109,5	5508

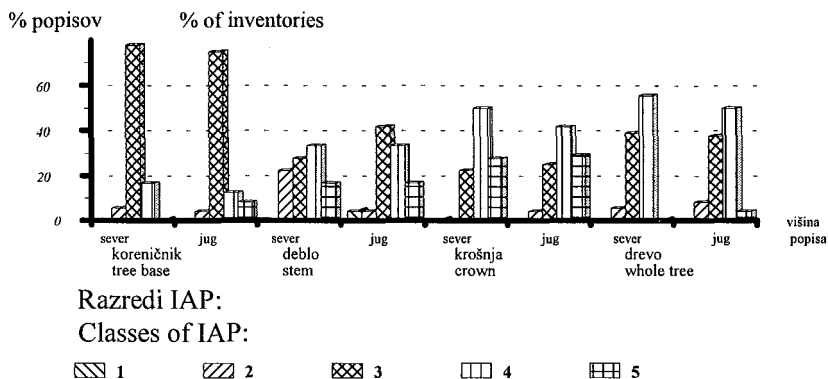
Srednji vrednosti seštevkov IAP po posameznih delih sta:

a) severni del: $y = 15,50$ b) južni del: $y = 10,57$

Statistični test enakosti srednjih vrednosti je statistično značilen:

$$t = 3,1128^{**}$$

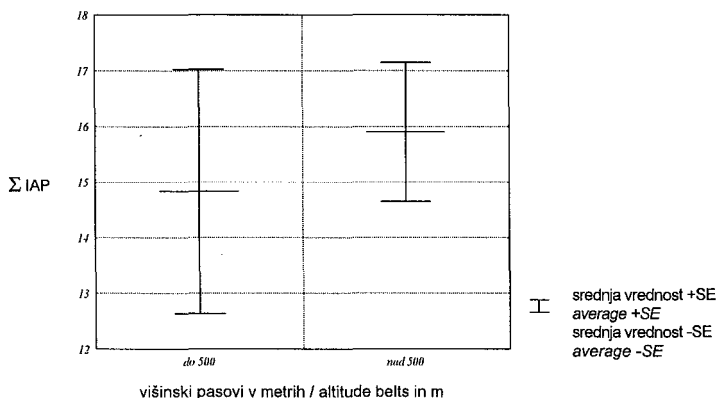
Pri analizi po posameznih višinskih pasovih so razlike med severno in južno stranjo razvidne. Z višino se vrednost seštevka IAP večja. Kot primer podajamo srednje vrednosti in variance po 500 m višinskih pasovih za severno in južno stran.



Grafikon 18: Primerjava razredov IAP po višinah opazovanja za višinski razred 501 - 600 m med severno in južno stranjo profila.

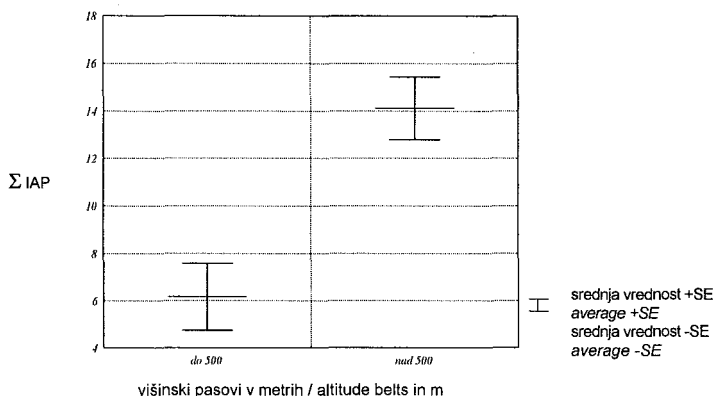
Figure 18: A comparison of the IAP values according to the observation height on the tree (tree base, trunk, crown) for altitudinal belt 501-600 m between south and north part of the profile.

Razlike so bolj opazne, če primerjamo nihanje srednjih vrednosti seštevka IAP in varianc med severnim in južnim delom.



Grafikon 19: Razporeditev srednjih vrednosti seštevka IAP severnega dela po 500 m višinskih pasovih (srednje črte so srednje vrednosti).

Figure 19: Distribution of the IAP values on the north part of the profile for 500m altitudinal belts (middle lines are mean values).



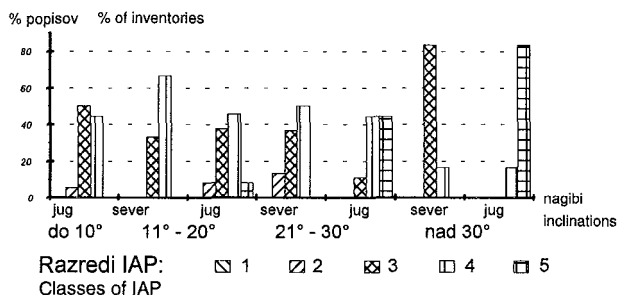
Grafikon 20: Razporeditev srednjih vrednosti seštevka IAP južnega dela po 500 m višinskih pasovih (srednje črte so srednje vrednosti).

Figure 20: Distribution of the IAP values for the south part of the profile for the 500 m altitudinal belts (middle lines are mean values).

Razlike so statistično značilne v spodnjem razredu pod 500 metrov. Izračunane vrednosti so:

a) pod 500 m: $t = 3,4705^{**}$, b) nad 500 m: $t = 0,9713$

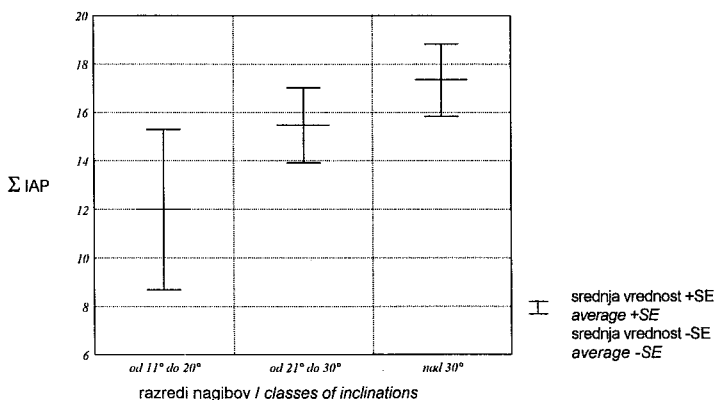
Nagib vpliva na vrstno sestavo drevja in na sestavo lišajskih populacij. Pri manjših nagibih ni posebnih razlik, šele nad 30° se pojavijo razlike. Upoštevati moramo še topografske položaje posameznih ploskev.



Grafikon 21: Primerjava razredov IAP po ploskvah za celotno drevo med severnim in južnim delom po nagibih.

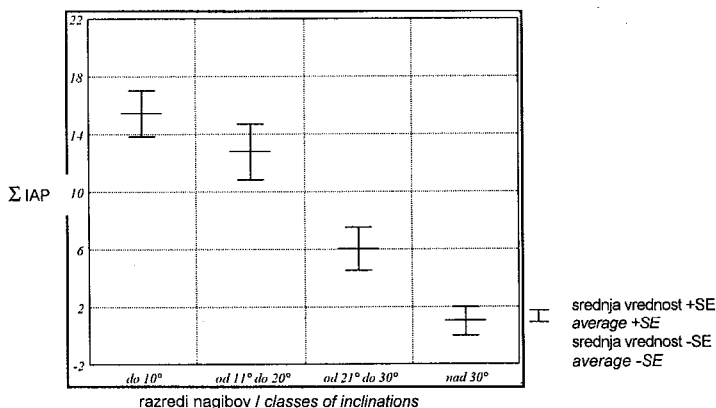
Figure 21: A comparison of the IAP classes, calculated for the whole tree, between the north and south part of the profile in relation to the inclination of the inventory plots.

Razporeditve srednjih vrednosti IAP po nagibih za severni in južni del še bolj kažejo omenjene razlike.



Grafikon 22: Razporeditev IAP v odvisnosti od nagibov severnega dela profila (srednje črte so srednje vrednosti).

Figure 22: Distribution of the IAP in dependance of the inclination of the inventory site for the north part of the profile (middle lines are mean values).



Grafikon 23: Razpored IAP v odvisnosti od nagiba južnega dela profila (srednje črte so srednje vrednosti).

Figure 23: Distribution of the IAP in dependance of the inclination for the south part of the profile (middle lines are mean values).

Opisane razlike so potrjene tudi s statističnim testiranjem. Vrednosti testov so:

a) 11° - 20°: $t = 0,1875$, b) 21° - 30°: $t = 4,0602^{***}$, c) nad 30°: $t = 7,2296^{***}$

4 RAZPRAVA

4.1 POŠKODOVANOST GOZDOV

Krošnja drevja deluje v razmerah gibajočega se zraka kot filter. Koncentracije škodljivih snovi se pri prehodu skozi krošnje namreč občutno zmanjšajo, še posebej pri iglavcih, ki obdržijo asimilacijski aparat skozi vso zimo (KOLIČ 1988). Zima je najtežji in tudi najbolj onesnaženi letni čas, ko se zaradi velikih koncentracij onesnaževalcev v zraku postopoma uničujejo krošnje drevja. V Zasavju, ki je izredno onesnaženo območje, nimamo veliko iglavcev. Prvi predstavniki te skupine dreves uspevajo šele v višjih legah, kjer je onesnaženost zraka manjša. V popis propadanja smo zajeli predvsem gozdove, v katerih prevladujejo listavci. To dejstvo je pomembno upoštevati še zlasti pri analizi popisa v spodnjem delu južne strani profila, ob Savi, kjer so iglavci po pričevanju tamkajšnjih gozdarjev že pred leti povsem izginili. Le redki primerki iglavcev, ki jih naključno še najdemo v tem predelu, so najbolj vitalni osebki. Stanje gozda je zato nekoliko boljše, saj listavci niso tako občutljivi na onesnažen zrak kot iglavci. Analiza podatkov osutosti je pokazala, da je drevje, zajeto s popisom, večinoma v 2. razredu poškodovanosti (od 26% do 60 % poškodovanega asimilacijskega aparata). Po prehodu iz drugega v tretji razred poškodovanosti drevje hitro propade. Zato so manj vitalna drevesa v preteklosti že izginila iz sestojev. Stalen vpliv velikih koncentracij onesnaženja deluje izredno negativno na oslabiljena drevesa. Nihanja srednjih vrednosti poškodovanosti drevja po posameznih točkah profila so povezana s topografskim položajem popisnih mest. Manjše vrednosti osutosti, zabeležene v štirih primerih, smo dobili v čistih sestojih odpornejših listavcev.

Upadanje stopnje povprečne poškodovanosti na ploskvah z naraščanjem nadmorske višine je potrdilo predpostavko, da se v območju obravnavanega profila pojavlja inverzijska plast. Višje ležeči deli so čistejši. Glavna inverzijska plast se pojavlja 300 - 400 metrov nad dnem doline, kar se ujema z nadmorskimi višinami 500 - 600 metrov. Razlike v srednjih vrednostih poškodovanosti ter v relativnih deležih pod to višino in nad njo so visoko statistično značilne. Iz tega sklepamo, da je spreminjanje poškodovanosti povezano s spreminjanjem nadmorske višine.

4.1.1 Razlika med severnim in južnim delom profila

Že ob pregledu območja smo predvidevali, da se pojavljajo razlike med severnim in južnim delom. Območje Marija Reke na severnem delu naj bi bilo po predvidevanju dosti čistejše kot južnejše zasavsko območje.

Z analizo popisov pa se je izkazalo, da tudi v severnem delu stanje ni dosti boljše kot v južnem. Razloga za to sta dva. Prvi je v geografskem položaju, saj je severni del profila neposredno pod udarom onesnaženih zračnih mas iz velenjsko-šoštanskega bazena (ustni vir HMZ). Drugi, nič manj pomembni dejavnik je precej različna drevesna sestava v posameznem delu profila. V severnem delu je več občutljivih iglavcev, v južnem delu jih je dosti manj, pa še tisti poraščajo predvsem zgornje, čistejše predele. Prav zaradi tega razlik med skupinami drevesnih vrst (iglavci : listavci) ne moremo primerjati. Razlike, gledano skupno, obstajajo in so s primerjavo popisov, izdelanih po slovenski metodi, tudi statistično značilne.

Dosti bolj pridejo omenjene razlike do izraza pri primerjavah po posameznih nadmorskih višinah. Severni del kaže dosti boljše stanje kot južni pri razporeditvi popisov v 200 metrske višinske pasove ali, kar je glede na pojavljanje inverzijske plasti še bolj zanimivo, v 500 in 600 metrske pasove. Pri zadnjih so razlike izrazite in visoko statistično značilne. To delno potrjuje hipotezo o močnejšem onesnaženju plasti zraka pod inverzijsko plastjo v Zasavju. Vplivi inverzijske plasti so opazni na severnem in južnem delu profila, saj so tudi tu razlike statistično značilne. Pri nihanju vrednosti povprečne osutosti srečamo še zanimivost, ko na severni strani profila osutost z nadmorsko višino narašča, medtem ko na južni strani pada. Ta pojav kaže na daljinski transport onesnaženja iz termoelektrarne Šoštanj.

Primerjave s starimi popisi ni moč izdelati, saj je večina vzorčnih ploskev posneta prvič. Popise na profilu primerjamo s stanjem na področju cele Slovenije in nato še glede na pretekle popise v Zasavju, obdelane v posameznih letnih poročilih.

Primerjava s podatki delnega popisa poškodovanosti gozdov v Sloveniji iz leta

1993 (JURC / BOGATAJ, 1994), izdelanega istočasno z našim popisom kaže slabše stanje v profilu. Manjši delež drevja v prvih dveh razredih poškodovanosti in večji delež v drugih dveh kaže na precej slabše razmere v Zasavju. Severni del je sicer nekoliko boljši, na južnem delu pa so poškodbe večje kot povprečne v Sloveniji. Poškodovanost sestojev v Zasavju je glede na skupne podatke v združevanju nedvoumnih poškodb (združevanje poškodb v razredih 2 - 4) in glede na skupne podatke celega profila trikrat večja (50% : 18%) kot v Sloveniji. V severnem delu je poškodovanost večja za dvainpolkrat (46% : 18%), v južnem delu pa za trikrat (54% : 18%).

Omenjeno prihaja še bolj do izraza pri primerjanju razporeda poškodovanosti za posamezne skupine drevesnih vrst. Iglavci so v Zasavju prava redkost, še posebej v ožjem emisijskem območju. Preseneča le pojav iglavcev v dolini nad Gabrskim (popisna točka Svine) ter na Golovcu nad Trbovljami. Na Gabrskem je v popis zajeta celo skupina jelk. V območju Golovca (Ostenk nad Trbovljami) pa se pojavljajo še vedno razmeroma bujno rastoči gozdovi iglavcev, ki so umetnega nastanka. V profilu je smreka trikrat bolj poškodovana (50% : 18%) kot v Sloveniji (gledano združeno 2 - 4). Enako je stanje, ko opazujemo ločeno severni ali južni del profila. Bukev je v celotnem profilu petkrat bolj poškodovana (25% : 5%). Pri tem je v severnem delu okrog štirikrat, v južnem delu pa je kar šestkrat bolj poškodovana kot v celotni Sloveniji.

Zanimiv pojav imamo na platoju Kopitnika. Masiv leži vzhodno od točke izpusta dimnika termoelektrarne in je ob močnih severozahodnih ali zahodnih vetrovih neposredno na udaru dimnih plinov. Na grebenih iglavcev ni več. Najdemo jih še po dnu posameznih zavetnih vrtač, kjer pa poškodovanost ni tako kritična, kot bi pričakovali.

Primerjava rezultatov popisa v južnem delu profila s starimi poročili za obdelane točke na zgošчени mreži v Zasavju (ŠOLAR 1991) ni najbolj primerna zaradi drugačne razporeditve popisov. Kljub temu primerjava podatkov za smreko in bukev vodi do naslednjih spoznanj:

- smreka: v obravnavanem profilu so poškodbe bistveno večje, kot so bile zabeležene v mreži zgoščenih točk. Delež drevja v aglomeraciji 2 - 4

je kar za 50% večji. Razliko bi morda lahko pojasnili s tem, da so položaji zgostitvenih točk izbrani v precej širšem območju Zasavja, kar 30 % točk pa leži zahodno od Trbovelj in te navadno niso na udaru onesnaženja. Točke profila pa so v najbolj onesnaženem predelu Zasavja, v območju Trbovelj in Hrastnika.

- bukev: v nasprotju s smreko kaže bukev za polovico boljše stanje glede na pretekle popise v zgoščeni mreži. Z gotovostjo vzrokov za takšno stanje ne moremo pojasniti.

4.2 KARTIRANJE LIŠAJEV

Lišaje smo v raziskavi preučevali na dva načina. Izračun indeksa atmosferske čistoče (IAP) je najpreprostejši način analize stanja lišajev. Izhaja iz popisovanja morfoloških oblik steljk lišajev. Je manj natančna metoda (BELEC 1992), a je uporabna za grobo oceno onesnaženosti zraka. Drugo je bilo vrstno določanje lišajev. Na obravnavanem profilu smo v okolici popisnih ploskev našli 18 vrst epifitskih lišajev, med katerimi prevladujejo skorjasti lišaji, nekaj je listastih. Našli smo celo eno slabo razvito steljko grmičastega lišaja (nahajališča poleg vasi Kovk).

Razporeditev po stopnjah poškodovanosti epifitske lišajske vegetacije uvršča popis na profilu v 3. - 4. stopnjo vrednosti IAP glede na celotno drevo. Po posameznih višinah debla je stanje boljše, saj je na korenčniku, ki je pred vplivi onesnaženega zraka najbolj zaščiten del debla, lišajska vegetacija v 3. razredu IAP. Na deblu do višine 2.5 metra je že opazen premik proti 4. razredu IAP, v krošnji pa je stanje med 4. in 5. razredom IAP. Takšno stanje je pričakovano, saj je zrak najbolj onesnažen v krošnji, ki v večjih višinah nad tlemi "filtrira" zrak.

Stanje epifitske lišajske vegetacije je boljše na listavcih. Na smreki spada večina opazovanj epifitske lišajske obrasti v 5. razred IAP. Glede na mineralno revnost skorje smreke ter način luščenja skorje je takšen pojav razumljiv. Stanje na jelki ni najbolj odločilno, saj je zajeti vzorec lišajev s skorje jelke iz čistejšega območja na prelazu med Podmrzlico in Kalom. Pri kasnejšem določanju lišajev smo opazili poškodbe steljk celo pri na onesnažen zrak najbolj odporni listasti vrsti,

Hypogymnia physodes (L.) Nyl., kot nekroze in obnovitvene krpice. Stanje epifitske lišajske vegetacije na popisnih ploskvah kaže očitne vplive onesnaženega zraka. Na koreničniku, deblu in na celém drevesu so vrednosti IAP v 3. razredu, v krošnji pa v 4. ali 5. razredu. Takšno stanje lišajev, kjer so vrednosti indeksa IAP največje na koreničniku in najmanjše v krošnji, je značilno za mlado drevje in za okolje z onesnaženim ozračjem (BATIČ 1991, BELEC 1992, BATIČ / KRALJ 1995).

Višji višinski pasovi v profilu kažejo nekoliko boljše stanje kot nižji. Še posebej lahko to trdimo za najvišji pas, kjer so v glavnem sami iglavci, vendar so vrednosti indeksa IAP še vedno relativno velike. Največjo spremembo v vrednosti indeksa IAP smo našli na višini 600 metrov nad morjem. Razlike med srednjimi vrednostmi indeksa IAP višinskega razreda do 600 metrov in nad 600 metrov so velike, kar potrjuje tudi test statističnih razlik (velika značilnost). Pojav razlik v vrednostih IAP po posameznih višinskih pasovih razlagamo z vplivom inverzijske plasti. Stanje lišajev se izboljša kasneje kot stanje drevja. Ta pojav je verjetno povezan z dvigovanjem onesnaženega zraka ob pobočjih navzgor in z večjo občutljivostjo epifitskih lišajev. Do dviganja onesnaženega zraka pride po razpadu glavne inverzijske plasti. Ta pojav je brez dvoma pogostejši v zimskem času.

Analiza razlik v lišajskih popisih med severnim in južim delom profila je pokazala (srednje vrednosti so statistično značilno različne) precejšnja nihanja srednjih vrednosti IAP. V južnem delu profila se pojavlja izrazit padec vrednosti IAP v popisih na najjužnejših točkah profila. Ležijo v najbolj onesnaženem predelu Trbovelj in Hrastnika. Izjemen primer sta popisa na Kovku. Popis na zahodno eksponiranem pobočju, ki je neposredno pod udarom onesnaženih zračnih mas ob zahodnih vetrovih kaže razmeroma slabo stanje. Vzhodno eksponirana pobočja so zaščitena pred direktnim vplivom onesnaženega zraka. Kljub temu, da je tam čist bukov sestoje, je stanje epifitske lišajske vegetacije, vsaj na koreničniku dosti boljše, kar dokazujejo večje vrednosti indeksa IAP. To domnevo potrjuje tudi bolj razvita lišajska obrast na sadnem drevju kmetije v bližini, kjer smo našli celo grmičaste lišaje.

Določanje lišajskih vrst je pokazalo najboljše stanje v višjih legah. Daleč

najslabše je bilo stanje na strmih pobočjih nad dolino Save. Povsod smo našli le skorjasto vrsto *Scoliciosporum chlorococcum* (Graewe ex Stenh.) Vězda, indikator splošne onesnaženosti ozračja. Na večjih nadmorskih višinah so se pojavljale odpornejše vrste parmelij (*Parmelia* sp.), kolačarjev (*Lecanora* sp.) in jelenovcev (*Cladonia* sp.). Najpogostejša vrsta višjih predelov je napihnjena hipogimnija (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.). V primerjavi s tujimi opazovanji (HAWKSWORTH / ROSE, 1970) se naše območje uvršča med območja z velikimi koncentracijami SO₂ v zraku (nad 60 μgSO₂/m³ zraka, kjer so še grmičasti lišaji; 100 μgSO₂/m³ zraka, kjer uspevajo le še najbolj odporne listaste vrste in nad 150 μgSO₂/m³ zraka, kjer so na deblih le še zelene alge oziroma sterilne stelje skorjaste vrste, n.p. *Scoliciosporum chlorococcum* (Graewe ex Stenh.) Vězda; koncentracije polutantov v zraku se nanašajo na povprečne mesečne koncentracije v zimskem obdobju). Vendar je tu potrebno poudariti, da so primerjalni tuji podatki pridobljeni v drugačnem okolju in ne veljajo povsem za naše razmere.

4.2.1 Primerjava stanja lišajev na profilu s tistimi v ostali Sloveniji

Primerjava stanja lišajev na obravnavanem profilu s tistim v popisih v Sloveniji iz leta 1990 kaže približno enako stanje. Tudi sestava drevesnih vrst je podobna. Bukev je v obeh primerih najbolj zastopana drevesna vrsta. Kot lišajska podlaga je razmeroma slaba (samozastrupljanje), smreka pa je izven optimalnega areala in ima zato slabše razvito epifitsko lišajsko vegetacijo. Spoznanje, da je na vseh drevesnih vrstah približno enako razvita lišajska vegetacija, je tudi znak motenj (BATIČ 1991).

Ob primerjanju stanja lišajev v popisih za celotno Slovenijo in tistega na obravnavanem profilu (podatki za Slovenijo so vzeti iz mreže 4 × 4 km, popisov leta 1991) kaže popis na profilu slabše stanje, torej onesnaženo območje. Vrednosti indeksa IAP so v 4. in 5. razredu. Le del popisanege profila bi lahko uvrstili v 3. razred IAP. Glede na celotno državo je to območje - gledano tudi na vse drevesne vrste - eno najbolj onesnaženih. Pri pregledu zgoščenih popisov ugotavljamo slabosti preveč redkega, točkovnega, 4 × 4 km popisa, pri katerem

so vse točke v onesnaženem območje. Dejansko pa vsaj v višjih predelih Zasavja, nekako nad 600 metri nad morjem, odkrijemo, da je zrak manj onesnažen. Iz primerjave popisov morfoloških tipov lišajev (vrednosti IAP) in kartiranj epifitskih lišajskih vrst je razvidno, da je že iz mreže 4×4 km moč razbrati mesta, kjer se pojavljajo le skorjasti in kjer je najti še listaste lišaje.

Iz analize lišajev na obravnavanem profilu lahko sklenemo naslednje:

- ne glede na višino opazovanja lišajev v popisu (koreničnik, deblo, krošnja) je v popisu vse Slovenije stanje lišajev boljše kot v profilu. V prvem razredu IAP v Zasavju ni popisa, razen v enem primeru, na južnem delu profila.
- stanje lišajev na koreničniku je na severnem delu profila boljše kot v popisu v Sloveniji, saj v 5. razredu IAP nimamo popisov. Vendar pa je v južnem delu stanje razmeroma slabše.
- stanje na debelu je v profilu povsod slabše kot v vsej Sloveniji. Večina popisov je v 4. in 5. razredu indeksa IAP. Še posebej je to značilno za smreko.
- podoben pojav najdemo tudi pri analizi stanja v krošnji. Razmere so še posebej slabe v južnem delu popisa, kjer je delež 5. razreda ne glede na vse drevesne vrste izredno velik. V 1. razredu IAP pa predstavnika prav tako ni.

4.3 POJAVLJANJE VELIKIH KONCENTRACIJ OZONA

Opazovanje rastlin tobaka kot bioindikatorja pojavljanja večjih koncentracij ozona je bilo pri nas izvedeno poskusno (BATIČ *et al.* 1995). V Sloveniji imamo le šest merilnih mest ozona, kar je glede na velikost države malo. Od teh je v zasavskem emisijskem območju le eno merilno mesto, Kovk (CIGLAR *et al.* 1994).

Na občutljivi sorti tobaka so bile poškodbe stalne. Poškodbe listov so se pojavile tudi na bolj odporni sorti Bel Wb, ki smo jo imeli za primerjavo. To dokazuje, da so bile koncentracije v opazovalnem obdobju izredno velike, tudi okrog $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zraka. Poškodbe so se pojavljale vedno na povsem razvitih, "odraščениh" listih, medtem ko so bili mladi listi na rastlini vedno nepoškodovani.

V letu 1991 so bile poškodbe občutljive sorte tobaka Bel W₃ v Radečah, v Čimernem in na Kumu zelo izrazite. To bi lahko pripisali vplivu termoelektrarne ali

prometa. V letu 1992 so bile poškodbe izrazite samo še v Čimernem, drugod pa je stopnja poškodovanosti upadla. Omembe je vredna še poškodovanost na Kumu. Odporna vrsta Bel Wb je ostala povsem nepoškodovana.

Uporabnost tobaka kot testerja smo s tem potrdili tudi v naših razmerah. Hkrati pa smo opazili, da je časovno uporaba pri nas izredno omejena. Rastlina je poleg ozona izredno občutljiva tudi na nižje temperature, med 0°C in 10°C. Te so v naših krajih, vsaj v višjih nadmorskih višinah (Kum - 1219 m) pogoste. Zato so podatki že za september sporni.

Rezultati sledenja ozona so zato bolj informativni in nikakor ne morejo nadomestiti meritev (VIDERGAR-GORJUP 1994, BATIČ *et al.* 1995). Vsekakor bi morali pred ponovno uporabo obravnavane metode izpopolniti še nekatere postopke pri vzgoji in izpostavljanju sadik tobaka, ki so se izkazali kot slabi.

5 SKLEPNE MISLI

Raziskava je bila opravljena z namenom dodatno analizirati vplive onesnaženja v območju Zasavja. Podatki popisa kažejo, da se onesnaženje v zasavskem "bazenu" vztrajno širi. Sledove vplivov onesnaženja najdemo že v legah, ki za sedaj veljajo za razmeroma čiste. Propadanje lišajev na Mrzlici in na Kopitniku kaže, da se je prenesel vpliv onesnaženja iz doline v višje lege. S tem odkrivamo tudi povezave med posameznimi emisijskimi območji. Prihaja do združevanja zasavskega in celjskega emisijskega območja (prelaza Marn in Podmrzlica). V precejšnji meri to združevanje pospešuje še vpliv termoelektrarne Šoštanj.

Za ugotavljanje onesnaženosti zraka smo uporabili metode:

- popis propadanja gozdov kot najbolj integralno metodo biomonitoringa, s katerim smo določili stopnjo propada gozdne vegetacije v obravnavanem profilu,
- popis morfoloških oblik lišajev, s katerim smo dodatno ovrednotili stanje onesnaženosti zraka,
- spremljanje ozona z občutljivo sorto tobaka.

Ugotavljanje stanja okolja z uporabo rastlin - biomonitorjev je zapleteno, saj na

posamezne rastline vpliva cela vrsta dejavnikov. Poleg zračnih onesnaževalcev so izrednega pomena tudi ostali okoljski dejavniki. Ugotovili smo, da je za ugotavljanje onesnaženosti ozračja s klasičnimi polutanti še najbolj uporabno spremljanje stanja epifitskih lišajev. Lišaji so od vseh uporabljenih bioindikatorjev najbolj odvisni od stanja zraka in nanje vplivajo manj ostali okoljski dejavniki. Uporaba biomonitorjev dopolnjuje meritve zračnih onesnaževalcev z analitskokemijskimi postopki. Obe metodi določanja se namreč med seboj lepo dopolnjujeta.

Pri delu na terenu smo imeli na ožjem območju Zasavja vrsto stikov z ljudmi, ki delajo na področju varovanja okolja, pa tudi z ljudmi, ki tu prebivajo. V prvi skupini smo naleteli večkrat na nerazumevanje oziroma na prikrivanje dejstev, kar je verjetno pogojeno tudi s pridobitniškimi razlogi. Povsem drugače pa je bilo z drugo skupino ljudi. Še posebej prebivalci neposredno ogroženih vasi so posvetili obravnavani problematiki veliko pozornost. V večini primerov so si že sami poiskali odgovore na vprašanja v zvezi z onesnaževanjem. Žal pa je omenjena zadnja skupina večkrat odrinjena v ozadje in pri razreševanju problematike nima večjega vpliva.

6 VIRI

- ANONYMUS, 1993. Manual for integrated monitoring, Programme phase 1993-1996. - Environmental Centre, Helsinki, s. 114.
- ASHMORE, M. R. / BELL, J. N. B. / REILY, C. L., 1980. The distribution of phytotoxic ozone in the British Isles. - Environmental pollution 53, 1, s. 195-216.
- BARNES, J. D. / REILING, K. / DAVISON, A. W. / RENNER, C. J., 1988. Interaction between ozone and winter stress. - Environmental pollution 53, s. 235-254.
- BATIČ, F. / GOSAR, M. / PETERLIN, M. / PETKOVŠEK, Z., 1984. Raziskovanje onesnaženosti zraka v Sloveniji - 2. del. - Ljubljana, Prirodoslovno društvo Slovenije, s. 20-26, 48-74.
- BATIČ, F. / JURČ, D. / MACAROL, B., 1988. Propadanje gozdov na območju

- ljubljskih občin. Bioindikacija onesnaženosti zraka. - Zaključno poročilo o raziskovalnem delu. Ljubljana, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo.
- BATIČ, F., 1987. Bioindikacija onesnaženosti zraka v gozdu s pomočjo epifitskih lišajev. - V: Črna knjiga o propadanju gozdov v Sloveniji iz leta 1987. Ljubljana, IGLG, s. 32-36.
- BATIČ, F. 1991. Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitskimi lišaji I. - Poročilo 312, IGLG, Ljubljana, s. 2-11.
- BATIČ, F. 1991. Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitskimi lišaji. - Gozdarski vestnik, 49 (5), s. 248-254.
- BATIČ, F., KRALJ, T. 1989. Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitso lišajsko vegetacijo pri inventurah propadanja gozdov. - Zbornik gozdarstva in lesarstva, 34, s. 51-70.
- BATIČ, F. & KRALJ, T. 1995. Bioindikacija onesnaženosti ozračja v gozdovih z epifitskimi lišaji. - Zbornik gozdarstva in lesarstva, 47, s. 5-56.
- BATIČ, F. / JENČIČ-MEDVEŠČEK, M. / KLEMENČIČ, S. / MACAROL, B. / RIBARIČ-LASNIK, C. / STRNIŠA, A. & VIDERGAR-GORJUP, N. 1995. Bioindikacija ozona v troposferi z občutljivim kultivarjem tobaka (*Nicotiana tabacum* L. cv. Bel W₃). - Zbornik gozdarstva in lesarstva, 47, s. 131-144.
- BELEC, Z. 1992. Vrednotenje metode popisa propadanja gozdov na nekaterih rastiščih mariborskega gozdnogospodarskega območja. - Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana, 119 s.
- BOGATAJ, N. *et al.*, 1993. Navodila za popis poškodovanosti gozdov (in stanja lesnih zalog) v Republiki Sloveniji v letu 1993. - Poročilo 354, IGLG Ljubljana, 35 s.
- CIGLAR, R. / PLANINŠEK, A. / RODE, B., 1994. Varstvo zraka in ukrepi za izboljšanje stanja v Sloveniji. - V : Varstvo zraka - stanje in ukrepi za izboljšanje stanja v Sloveniji, Bled, Zavod za tehnično izobraževanje Ljubljana, s. 4/2-4/6.
- DAVISON, A. W. / BARNES, J. D. / RENNER, C. J. 1987. Interactions between air pollutants and cold stress. - V: Air pollution and plant metabolism, ed.: SCHULTE - HOSTEDE, S.). - Elsevier applied science, London, New York,

- HAWKSWORTH, D.L. & ROSE, F. 1970. Quantitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, London, 227, 5-6, s. 145-148.
- JURC, D. / BOGATAJ, N., 1994. Proučevanje propadanja gozdov in sprememb v ekosistemi v Sloveniji. - V: Varstvo zraka - stanje in ukrepi za izboljšanje stanja v Sloveniji, Bled, Zavod za tehnično izobraževanje Ljubljana, s. 10/4-10/6.
- KOLIĆ, M., 1988. Šumarska ekoklimatologija sa osnovama fizike atmosfere. - Naučna Knjiga, Beograd, s. 397.
- MANSFIELD, T. A. / WRIGHT, E. A. / LUCAS, P. W. / COTTAM, D. A., 1987. Interactions between air pollutants and water stress. - V: Air pollution and plant metabolism, ed.: SCHULTE - HOSTEDE, S., Elsevier applied science, London, New York
- MURATI, M., 1992. Flora lišajeva (Slovenije, Hrvatske, Vojvodine, Bosne i Hercegovine, Srbije, Crne gore, Kosova i Makedonije). - Univerzitet u Prištini, s. 397.
- PARADIŽ, B. *et al.*, 1972. Zboljšanje kakovosti zraka v Zasavju s sanacijo TET II in izgradnjo TE - TO III Trbovlje. - HMZ Ljubljana, s. 1-8.
- PLANINŠEK, T., 1989. Gradiva za strokovne podlage pri izdelavi sanacijskega načrta TE - TO III, (prvi del - meteorologija in onesnaženje). - HMZ Ljubljana, s. 17.
- RODE, B., 1989. Gradiva za strokovne podlage pri izdelavi lokacijskega načrta Te - TO Trbovlje III, (drugi del - emisija). - HMZ Ljubljana, s. 20-27.
- STEFANOVIĆ, V., 1986. Fitocenologija sa pregledom šumskih fitocenoza Jugoslavije. - Svjetlost, Sarajevo, s. 269.
- ŠOLAR, M. 1977. Poškodbe vegetacije (gozdov) vsled onesnaženega ozračja. - Elaborat 118, IGLG Ljubljana, s. 22.
- ŠOLAR, M. / JURC, D., 1987. Opis metodologije raziskave. - V: Črna knjiga o umiranju gozdov leta 1987, IGLG, Ljubljana, s. 9-13.
- ŠOLAR, M. 1991. Popis poškodovanosti gozdov v Sloveniji leta 1990. - Gozdarski vestnik, 49, 5, s. 234-239.
- ŠOLAR, M. 1991. Poškodbe gozdov - slovenske posebnosti. - Zbornik

gozdarstva in lesarstva, 34, s. 71-97.

VIDERGAR - GORJUP, N., 1994. Onesnaženost zraka v Zasavju, vzroki, posledice in ukrepi. - V : Varstvo zraka - stanje in ukrepi za izboljšanje stanja v Sloveniji, Bled, Zavod za tehnično izobraževanje Ljubljana, s. 28/1-28/13.