

GDK: 114.521.7 : 172.9 : 152.58 : 181.45 : (497.12)

BIOINDIKACIJA ONESNAŽENOSTI OZRAČJA V GOZDOVIH Z EPIFITSKIMI LIŠAJI

Franc BATIČ* , Anton KRALJ**

Izvleček

Prispevek podaja pregled uporabe različnih metod bioindikacije onesnaženosti gozdov v Sloveniji s poudarkom na spremljanju onesnaženosti zraka v gozdu z epifitskimi lišaji. Podrobneje so prikazani rezultati popisa epifitskih lišajev pri popisu propadanja gozdov 1991 in delno primerjava popisov v letih 1993 in 1994. Popis propadanja iz leta 1991 je zadnji, obsežnejši popis propadanja na mreži 4 x 4 km, medtem ko so vsakoletni popisi, tudi l. 1993 in 1994 le na mreži 16 x 16 km. Metoda popisa epifitskih lišajev temelji na popisu pokrovnosti in pogostnosti steljk skorjastih, listastih in grmičastih lišajev na šestih najbolj primernih drevesih na mestu popisa propadanja gozdov. Na podlagi ocene številčnosti in pokrovnosti lišajev je izračunan indeks atmosferske čistoče, posebej za dnišča debel, debela v prsni višini in krošnje. Izračuni indeksa so prikazani za popisne ploskve kot celoto in posebej za smreko, bukev, hrast in jelko. Visoke vrednosti indeksa (razpon 0-54 za celo drevo, 0-18 za opazovanja po stratumih) kažejo bogato lišajsko obrast in čist zrak, medtem ko majhne vrednosti indeksa pomenijo revno lišajsko obrast in domnevno onesnažen zrak. Vrednosti indeksa atmosferske čistoče kažejo na veliko onesnaženje zraka, še posebej v okolici večjih znanih emisijskih virov, pa tudi ponekod, koder ni lokalnih onesnaževalcev zraka. Vrednosti indeksa so po pričakovanju najnižje v krošnjah, pri drevesnih vrstah, pa je lišajska vegetacija najrevnejša na bukvi. To kaže na vpliv kislih odločin v padavinah, ki pa se ne pojavlja le v z žveplovimi spojinami močno onesnaženi osrednji in severovzhodni Sloveniji, ampak tudi v s padavinami bogatih predelih zahodne Slovenije, kjer takšnega stanja glede na domače vire onesnaženja ozračja ne bi pričakovali. Rezultati popisov lišajev so pokazali, da so epifitski lišaji tudi v gozdovih dobri kazalci onesnaženja zraka. Ta preprosta metoda kartiranja lišajev daje dobre rezultate in je primerna za velikopovršinska kartiranja, kadar ni dovolj časa in sredstev za kartiranje lišajev vrst.

Ključne besede: propadanje gozdov, onesnaženje zraka, bioindikacija, epifitski lišaji

BIOINDICATION OF AIR POLLUTION IN FORESTS BY EPIPHYTIC LICHENS

Abstract

The article deals with an overview of bioindication methods of air pollution used at Slovenian forest decline inventories, and more detailly with the bioindication of air pollution by epiphytic lichen vegetation. The results of epiphytic lichen vegetation assessment in forest die-back inventory carried out in 1991 are presented completely, and partly also the comparison of the results of the inventories carried out in 1993 and 1994. The inventory of forest decline in 1991 was carried out on a 4 x 4 km grid, while each years' inventories, e.g. those in 1993 and 1994 were limited only to a 16 x 16 km grid. The method of epiphytic lichen vegetation mapping in forest decline inventories is based on the assessment of cover and frequency of fruticose, foliose and crustose lichen thalli in a group of six of the most convenient trees for epiphytic lichen observation of the 24 trees included into forest decline inventory at a plot. On the basis of the assessment of the cover and frequency of all three lichens thalli types, the index of atmospheric purity was calculated for each assessed tree and together for the plot. Index values were determined separately for tree crowns, trunks at the breast height and for the base of the trunks. Index data are presented separately for observations on Norway spruce, common beech and hornbeam, silver fir and oaks and also computed together regardless trees species on which lichens were observed. High values of index (0-54 for a whole tree, 0-18 for separate tree strata) indicate rich epiphytic lichen vegetation and clean air, low values indicate poor epiphytic lichen vegetation and presumably polluted air. Index values show that air pollution in Slovenian forest is rather high, especially in the vicinity of the major known air pollution sources but also in some areas without known local emissions of air pollutants. As expected, index values of atmospheric purity are the lowest when calculated for tree crowns, yet among the values calculated for tree species the common beech with hornbeam show the lowest data due to the type of crown and bark quality of these two tree species. This can indicate the influence of acid precipitation, not only in the surroundings of the sources of high sulphur dioxide pollution in central and north-east parts of Slovenia but also in higher elevations in west and south-west parts which are rich in rainfall but without major local emissions. The results obtained by this simple method of epiphytic lichen mapping proved lichens as good air pollution indicators also in forests. The method is suitable for large scale mapping where species mapping is not possible due to limited time and funds.

Key words: forest decline, air pollution, bioindication methods, epiphytic lichens.

* Prof., dr., dipl. biol., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, 61000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101, SLO

** Dipl. inž. mat., Gozdarski inštitut Slovenije, 61000 Ljubljana, večna pot 2, SLO

KAZALO

1	UVOD	7
1.1	UGOTAVLJANJE ONESNAŽENOSTI ZRAKA Z EPIFITSKIMI LIŠAJI	12
2	METODA DELA	13
3	REZULTATI	17
4	RAZPRAVA IN UGOTOVITVE	20
5	VIRI	21
6	SLIKE	25

1 UVOD

Posledica raznolikih človekovih dejavnosti je tudi onesnaževanje okolja. Stranski produkt industrije, prometa, kmetijstva, pridobivanja energije in drugih gospodarskih panog so vedno snovi, ki so okolju tuje in škodljive, ali pa na okolje delujejo negativno na energetski ravni s sevanjem, hrupom in segrevanjem. Škodujejo zdravju ljudi in živali, slabšajo uspevanje rastlin in uničujejo materiale. Spekter teh snovi je danes izredno obsežen. Obsega snovi, ki se sproščajo v ozračje, vode in tla in spreminjajo naravne danosti teh elementov. Register teh snovi, pogosto jih imenujemo onesnaževalci, obsega snovi različne kemijske narave v različnih koncentracijah, od česar so odvisni tudi načini, mesto in jakost njihovega delovanja. Med te snovi sodijo že dolgo znani "klasični" onesnaževalci zraka, kot so dim, žveplov dioksid, dušikovi oksidi in fluoridi. V novejšem času so se jim pridružile težke kovine, fotooksidanti, radionuklidi, lahkohlapni ogljikovodiki in številne druge snovi z različno kemijsko sestavo, ki se sproščajo v ozračje ob različnih človekovih dejavnostih. Med onesnaževalce lahko sodijo tudi zaščitna sredstva v kmetijstvu in mineralna, gnojila, še posebej, če jih uporabljamo nestrokovno.

Kopičenje teh snovi v naravnih in vzdrževanih (polja, travniki, itd.) ekosistemih se je moralo prej ali slej pokazati kot motnja v njihovem delovanju. Pojavile so se poškodbe na posameznih organizmih, motnje v njihovi rasti in razmnoževanju, kar je povzročilo spremembe v sestavi populacij in njihovi dinamiki in končno spremembe obstoječih ekosistemov. Proces onesnaževanja okolja je po mnenju številnih raziskovalcev povzročil novodobno propadanje gozdov, ko so v naravnih ali gojenih gozdovih začele hirati in propadati številne drevesne vrste, najprej v Evropi, pozneje tudi v Severni Ameriki in na drugih celinah.

Onesnaževanje ozračja je še vedno velik problem Slovenije. Prav po emisiji žveplovih spojin sodimo v sam evropski vrh (HRČEK in sod. 1992) in prav tovrstno, danes že klasično onesnaževanje ozračja je v Sloveniji na več, prostorsko sicer dokaj omejenih mestih, popolnoma uničilo gozdno rastje

(okolica Žerjava, Trbovelj in Celja). Tudi poškodovanost gozdov je v Sloveniji v veliki meri posledica onesnaženosti ozračja. Poškodbe zaradi onesnaženega zraka se nedvomno pojavljajo tudi na kmetijskih rastlinah. Osveščenost prebivalstva je v tem primeru manjša, zato je to tudi manj odmevno. Po drugi strani pa je na srečo večina kmetijskih rastlin dosti bolj odpornih proti onesnaženju, kar je povezano z njihovo genetsko zasnovo in naravo kmetijske proizvodnje. Onesnaženi zrak postaja v Sloveniji vse večji problem za zdravje ljudi, kar ugotavljajo zdravniki na najbolj ogroženih območjih.

Namen tega prispevka je predstaviti pomen bioindikacije in njeno vlogo pri proučevanju in spremljanju pojava novodobnega propadanja gozdov.

Kemijske meritve onesnaževalcev v zraku so bile eden izmed prvih ukrepov v boju za čistejši zrak. Tudi v Sloveniji stalna služba Hidrometeorološkega zavoda iz Ljubljane že dalj časa meri koncentracijo žveplovega dioksida in dima v zraku na preko 40 mestih. Poleg teh dveh za Slovenijo še vedno značilnih "klasičnih" onesnaževalcev na nekaj izbranih mestih občasno merijo še ozon in dušikove okside. Meritve drugih onesnaževalcev so bolj izjema kot pravilo, razen meritev radioaktivnih snovi, katerih spremljanje v okolju je najbolj popolno vse od začetka dejavnosti, ki sproščajo te snovi v okolje. Stalne meritve žveplovega dioksida in dima potekajo v glavnem na gosteje naseljenih in večkrat tudi močnejše onesnaženih območjih. V primerih izredno visokih koncentracij teh snovi v zraku je mogoče ukrepati in tako preprečiti nevarnost za zdravje ljudi. V zadnjih letih ukrepajo tudi, ko bi koncentracija onesnaževalcev v zraku lahko poškodovala gozdove (primer je termoelektrarna Šoštanj).

Meritve onesnaževalcev v zraku so torej potrebne, niso pa zadostne. Potrebno bi bilo za vse onesnaževalce zraka vedeti, v katerih koncentracijah in v kakšnih odmerkih so škodljivi. Ker sorazmerno drage kemijske meritve vseh onesnaževalcev v zraku niso izvedljive, predvsem pa ne na zadostnem številu mest in ne z dovolj visokim številom ponovitev, so povsod v razvitem svetu začeli iskati ali gojiti organizme, ki s svojim videzom, uspevanjem, obrodом ali rastjo odražajo delovanje posameznega onesnaževalca zraka, tal ali vode.

Takšne organizme imenujemo bioindikatorje, to je žive kazalce določenih škodljivih snovi v okolju (ARNDT in dr. 1987).

Škodljiva snov (onesnaževalec) lahko prodre v rastlinski organizem neposredno iz zraka ali pa pride vanj posredno iz tal. Iz zraka pride v rastlinske organe najlažje skozi listne reže, v določeni meri pa tudi skozi kutikulo vseh celic povrhnjice listov, stebela, cvetov in plodov. Poškodbo lahko povzroči škodljiva snov sama ali pa spojine, ki iz nje nastanejo, oziroma tiste, ki se ob poškodbah tvorijo in sproščajo iz celičnih kompartmentov. Ko je onesnaževalec (npr. SO_2 , NO_x ali O_3 , itd.) v rastlini, ga ta poskuša presnoviti, kar se do določene koncentracije tudi zgodi. Vključijo se encimski sistemi, ki onesnaževalca razgradijo, ali pa tvorijo snovi, v katere ga vgrajujejo. Če se količina onesnaževalca še povečuje ali če koncentracije trajajo dalj časa, ti sistemi odpovedo in pride do poškodb. Te so sprva na biokemijski in fiziološki ravni in so nevidne, lahko pa jih ugotovimo s kemijsko analizo rastlinskih organov in tkiv (npr. analiza vsebnosti fotosintetskih pigmentov, tiolov, posameznih encimov) in meritvijo posameznih procesov (fotosinteze, transpiracije, dihanja, itd.). V naslednji fazi pride do propadanja tkiv, kar se izraža kot kloroza in nekroza na listih, stebelu, cvetovih, plodovih in koreninah. Očitno se spremeni podoba rastline, motena sta rast in razvoj ter razmnoževanje. Če se onesnaževanje še nadaljuje ali celo stopnjuje, organizem propade. Najprej propadejo občutljivejši osebki, nato odpornejši, tako v okviru iste populacije kot v okviru ekosistema.

V Sloveniji uporabljamo bioindikacijo onesnaženosti okolja pri spremljanju in proučevanju pojava novodobnega propadanja gozdov že od začetka teh dejavnosti. Že sama metoda ugotavljanja poškodovanosti drevesnih vrst je bioindikacijska metoda, kjer na podlagi značilnih znakov poškodovanosti (izguba iglic/listov, klorotičnost, sušenje vej, nepravilna razrast itd.) ugotavljamo zdravstveno stanje in določimo obseg poškodovanosti. Glede na to, da je proces propadanja gozdov izredno kompleksen pojav in da je delež, ki ga ima pri tem onesnaženi zrak, pogosto težko določiti, uporabljamo še diferencialne bioindikacijske metode, s katerimi skušamo dokazati določenega onesnaževalca ali pa način in mesto njegovega delovanja.

Onesnaženost ali čistočo zraka v gozdu določamo s popisom stanja epifitskih lišajev (BATIČ & KRALJ 1986, BATIČ 1991). Epifitski lišaji so simbiotske rastline, zgrajene iz alg in gliv, ki so izredno občutljive za onesnažen zrak, saj iz njega črpajo vodo in hranilne snovi. V onesnaženem ozračju propadejo mnogo prej kot višje rastline in s tem jasno kažejo na kakovost zraka. S popisom različnih tipov lišajev ali s popisom vrst, njihove številčnosti in pokrovnosti na deblih določimo za opazovana mesta indeks zračne čistoče (index of atmospheric purity) kar uporabimo pri razlagi vzrokov propadanja drevja na določenem območju.

Drugi primer uporabe bioindikacijske metode za spremljanje onesnaženosti ozračja s pomočjo rastlin je analiza vsebnosti celokupnega žvepla v iglicah smreke, ki jo pri spremljanju zdravstvenega stanja gozdov v Sloveniji uporabljamo že od 1985 za ugotavljanje onesnaženosti zraka z žveplovimi spojinami (KALAN 1991). Smreko v tem primeru uporabljamo kot bioindikator - akumulator.

Naslednja bioindikacijska metoda ugotavljanja vplivov onesnaženega okolja na gozdno drevje je ugotavljanje sprememb v prehranjenosti gozdnega drevja na podladi listnih analiz in pedoloških raziskav. Ta metoda omogoča vpogled v spremembe, ki nastajajo zaradi delovanja onesnaževalcev zraka v ozračju na liste, in spremembe, ki nastajajo v gozdnih tleh. Poleg analiz mineralne prehranjenosti gozdnega drevja uporabljamo kot bioindikacijske metode za ugotavljanje delovanja onesnaževalcev v okolju še druge biokemijske analize rastlinskih tkiv in meritve nekaterih vitalnih procesov v rastlinah.

Te analize odražajo specifično ali splošno reakcijo rastlin na strese, saj se večina ukvarja z analizo t.i. zaščitnih substanc in pomembnejših reparaturnih mehanizmov. Nekaj metod pa temelji tudi na odkrivanju značilnih poškodb. Od teh biokemičnih metod bioindikacije delovanja zračnih onesnaževalcev v Sloveniji najdlje uporabljamo analizo vsebnosti fotosintetskih pigmentov in ascorbinske kisline, v zadnjem času pa tudi analizo vsebnosti vodotopnih tiolov in aktivnosti encima peroksidaze (BATIČ & KRALJ 1990, RIBARIČ-LASNIK

1991, ROMIH 1991, BATIČ in dr. 1993a, BATIČ in dr. 1993b). Najbolj proučevana drevesna vrsta je smreka. Pri tem vsebnost klorofilov odraža delovanje kislih onesnaževalcev, vrstni sestav in vsebnost karotenoidov pa delovanje fotooksidantov. Ostali analizirani parametri so bolj splošni kazalci stresa in lahko smiselno dopolnjujejo druge analize.

Zelo specifična metoda bioindikacije delovanja onesnaževalcev in po mnenju nekaterih avtorjev tudi dobra metoda za ugotavljanje vitalnosti gozdnega drevja je t.i. citogenetska bioindikacija (DRUŠKOVIČ 1988). Ta na podlagi motenj mitotičnih delitev v rastnih vršičkih gozdnega drevja ugotavlja prisotnost onesnaževalcev in hkrati odraža ogroženost oziroma vitalnost analiziranega osebka.

Pri ugotavljanju sprememb, ki zaradi onesnaženega zraka nastajajo v gozdnih tleh in vplivajo na uspevanje rastlin, smo začeli tudi z raziskavami mikorize na nekaterih domnevno onesnaženih in nekaterih domnevno še čistih gozdnih rastiščih (AL SAYEGH-PETKOVŠEK in sod. 1993, KRAIGHER 1994). Mikoriza je za uspešno rast drevja nepogrešljiva, tako z vidika preskrbe drevja z mineralnimi snovmi in vodo kot z vidika zaščite korenin pred patogenimi glivami ter zaradi medsebojne hormonalne povezanosti glive v mikorizi in drevesa. Zato smo se teh analiz lotili na različnih ravneh, od analiz mikoriz na koreninah, popisov trosnjakov mikoriznih gliv na proučevanih ploskvah do proučevanj hormonalnih povezav med glivo in višjo rastlino.

Med zgoraj omenjenimi biokemijskimi analizami je večina časovno zelo zahtevnih in se kot bioindikacijske metode uporabljajo le na posebnih trajnih raziskovalnih ploskvah, ne pa velikopovršinsko kot analiza vsebnosti celokupnega žvepla in citogenetska bioindikacija, ki se že od 1985 izvajata v okviru osnovne bioindikacijske mreže (16 x 16 km) na ozemlju cele Slovenije. Ker je namen tega zbornika prikazati le raziskave, ki so tesneje povezane s popisi poškodovanosti gozdov in potekajo velikopovršinsko, bodo na tem mestu podrobneje predstavljeni le izidi in ugotovitve teh raziskav.

1.1 UGOTAVLJANJE ONESNAŽENOSTI ZRAKA Z EPIFITSKIMI LIŠAJI

Ugotavljanje onesnaženosti ozračja z epifitskimi lišaji je ena izmed najstarejših metod bioindikacije onesnaženosti kopenskih ekosistemov (SKYE 1968, FERRY in dr. 1973, HAWKSWORTH & ROSE 1976). Tudi pri ugotavljanju onesnaženosti ozračja pri proučevanju in spremljanju pojava novodobnega propadanja gozdov je ta metoda že dolgo v rabi (KNABE 1981, WHITTMANN & TUERK 1988, BARTHOLMESS in dr. 1987, GLIEMEROTH 1990). V Sloveniji je že od samega začetka vključena v redne popise propadanja gozdov (BATIČ & KRALJ 1989, BATIČ 1991a, BATIČ 1991b). Osnova za tako široko uporabo te metode je dejstvo, da so epifitski lišaji zaradi svoje biologije zelo občutljivi na onesnažen zrak in so kot takšni odlično diferencialno diagnostično sredstvo. Njihovo pojavljanje in stanje v največji meri izraža kakovost zraka, ne pa tudi dogajanja v gozdnih tleh. Prav tako so v veliki meri izključeni vplivi biotskih dejavnikov, bolezni in škodljivcev, ki tudi vplivajo na stanje višjih rastlin kot bioindikatorjev. Zaradi vsega naštetega uporabljamo epifitske lišaje za ocenitev čistoče zraka v gozdnih sestojih, kjer poteka popis poškodovanosti gozdnega drevja ne glede na povzročitelja.

Uporabnost lišajev kot kazalcev kakovosti zraka je lahko zelo različna. Lišaji veljajo predvsem za splošne kazalce dolgotrajne onesnaženosti zraka s klasičnimi nečistočami kot so žveplov dioksid, dim in fluoridi (SKYE 1968, FERRY in dr. 1973, HAWKSWORTH & ROSE 1976), medtem ko je njihova občutljivost za modernejše onesnaževalce zraka, med katere sodijo fotoooksidanti, dušikovi oksidi in različni ogljikovodiki, še manj raziskana. Dokazana pa je tudi uporabnost lišajev kot bioindikatorjev-akumulatorjev težkih kovin (MARTI 1985) in radioaktivnih onesnaževalcev zraka (JERAN in sod. 1994). V zadnjem času je tudi vse več dokazov, da so nekatere lišajске vrste dobri bioindikatorji eutrofikacije, to je onesnaženja zraka z naravnimi in mineralnimi gnojili, ki jih v ozračje sprošča kmetijska dejavnost (SOCHTING 1991). Iz vsega naštetega je razvidno, da so metode bioindikacije onesnaženosti zraka z lišaji lahko zelo različne, odvisno od tega, kaj želimo opazovati in

kakšne možnosti imamo. Pri popisih propadanja gozdov v Sloveniji, ki potekajo na številnih trajnih opazovalnih ploskvah smo uporabili zelo preprosto metodo bioindikacije kakovosti zraka z epifitskimi lišaji. Morala je biti enostavna, poceni in hkrati dovolj natančna. Takšen izbor metode je narekovalo dejstvo, da je popis vsakokrat potekal na številnih popisnih ploskvah, kar ne dopušča zamudnih popisov lišajskih vrst. Poleg tega nismo imeli na voljo dovolj specialistov lihenologov, ki bi opravili popis vrst v zadovoljivem času. Zato smo se odločili za popis številčnosti in pokrovnosti treh tipov steljk epifitskih lišajev, skorjastih, listastih in grmičastih, katerih določitev in ocenitev je možna hkrati z ostalimi znaki, ki jih popisovalci opazujejo na ploskvi. S takšnim izborom smo do neke mere ohranili različno občutljivost izbranih tipov lišajev, to je na ravni steljk, in se izognili zamudnemu določanju vrst. S tem smo tudi do neke mere izenačili heterogenost naravnih danosti za uspevanje epifitskih lišajev, to je veliko pestrost drevesnih vrst in podnebnih razmer v sestojih, v katerih je potekal popis propadanja gozdov. Znano je, da uspevajo na vseh drevesnih vrstah in v vseh naših vegetacijskih tipih epifitski lišaji vseh treh morfoloških tipov, medtem ko je diverziteteta vrst zelo različna glede na drevesno vrsto in tip gozdne združbe. Zato popis tipov steljk, njihove številčnosti in pokrovnosti dopušča sklepanje o kakovosti zraka na širšem področju, vendar manj natančno kot pa vrstna kartiranja, kjer so primerjave možne le znotraj podobnih vegetacijskih tipov ali pa le med popisi na isti drevesni vrsti.

2 METODA DELA

Popis epifitskih lišajev poteka na ploskvi popisa poškodovanosti gozdnega drevja. Od vsega začetka, od popisa propadanja gozdov l. 1985, popisujemo prisotnost, številčnost in pokrovnost skorjastih, listastih in grmičastih lišajev. Takšen izbor je narekovalo dejstvo, da so ti trije tipi steljk pri večini lišajskih vrst v neposredni povezavi z občutljivostjo oziroma odpornostjo lišaja proti onesnaženemu zraku. Skorjaste steljke (C), ki so s hifami vrasle v drevesno lubje, dobijo precejšnji del vode in mineralov iz substrata in so manj izpostavljene in tudi manj odvisne od kakovosti zraka. Nasprotno so grmičaste

steljke (R) pritrjene na podlago z zelo majhno površino in se z vodo in minerali preskrbujejo v glavnem iz zraka. Zato so tudi bolj odvisne od njegove kakovosti in v onesnaženem okolju prej propadejo. Listaste steljke (F), ki so s podlago v zvezi s številnimi rizinami ali s spodnjo stranjo steljke, so srednje občutljive oziroma odporne. Jasno je, da so v okviru vseh treh tipov odstopanja pri posameznih vrstah, vendar v splošnem to rezultatov popisa bistveno ne spremeni.

Zaradi kompasne naselitve lišajev na deblih, ko praviloma najprej poselijo bolj hladne in bolj vlažne severne strani debel, smo se odločili popisovati vedno le na najbolj porasli strani debla. Drevo, na katerem popisujemo lišaje, razdelimo v tri stratume, in sicer:

- na dnišče (višina 1), ki obsega koreničnik in deblo do 0,5 m višine,
- na deblo (višina 2), ki obsega deblo med 0,5 in 2,5 m višine,
- na krošnjo (višina 3), ki obsega deblo nad 2,5 m in krošnjo.

Za takšno opazovanje smo se odločili, da bi stanje epifitskih lišajev lahko bolje ovrednotili glede na razvoj epifitskega rastja na drevju, glede na vpliv tal in debeline snežne odeje ter vpliv onesnaženega zraka. Na vsaki izmed izbranih višin ocenimo številčnost in pokrovnost posameznih tipov steljk po naslednjih lestvicah:

Številčnost (a): 0 - ni lišajev;

- 1 - 5 steljk posameznega tipa na opazovano višino debla;
- 2 - 5 do 10 steljk posameznega tipa na opazovano višino debla;
- 3 - nad 10 steljk posameznega tipa na opazovano višino debla.

Pokrovnost (c): 0 - ni lišajev;

- 1 - posamezen tip steljke pokriva do 10% opazovane površine;
- 2 - posamezen tip steljke pokriva med 10 in 50% opazovane površine;
- 3 - posamezen tip steljke pokriva med 50 in 100% opazovane površine.

Epifitske lišaje opazujemo in ocenjujemo na takšen način od popisa propadanja gozdov leta 1991, prej je bil popis lišajev opravljen na drevesu kot celoti. Na popisni ploskvi izberemo le 6 izmed 24 dreves, ki naj bodo vsa na tistem kvadrantu, ki je najprimernejši za opazovanje lišajev. To pomeni skupino tistih šestih dreves, katerih vrstna sestava je najbližje klimatoconalnemu rastju na popisni ploskvi in ki so zadosti stara (ocenjeno po debelini), da na njih že lahko pričakujemo normalno razvite lišajske združbe. Ker poteka popis vedno na slučajno izbranih drevesih, je izbor idealnih dreves za popis lišajev nemogoč, vendar je vedno mogoča izbira med štirimi skupinami šestih dreves. Ker so vsa popisana drevesa označena, je zagotovljena tudi možnost ponovitev popisa lišajev.

Ocenjeno stanje epifitskega lišajskega rastja številčno izrazimo z indeksom atmosferske čistoče (Index of Atmospheric Purity = IAP), ki ga lahko izračunamo po stratumih (IAP1 = stanje na dniščih dreves, IAP2 = stanje na deblih v prsni višini, IAP3 = stanje v krošnjah) glede na višine opazovanj ali pa za cela drevesa (IAPt). V vsakem primeru je vrednost indeksa povprečje opazovanj na šestih drevesih. Indeks čistoče zraka izračunamo po naslednji enačbi:

$$IAP_{1,2,3} = C(a+c) + F(a+c) + R(a+c)$$

$$IAP_t = IAP_1 + IAP_2 + IAP_3$$

IAP = indeks atmosferske čistoče; C = skorjaste steljke,
 F = listaste steljke, R = grmičaste steljke;
 a = številčnost steljk, c = pokrovnost steljk)

Vrednosti indeksa atmosferske čistoče na popisni ploskvi se lahko gibljejo med 0 in 54 za opazovanja na celem drevesu in med 0 in 18 za opazovanja po stratumih. Nizke vrednosti indeksa pomenijo revno lišajsko rastje in domnevno onesnažen zrak, visoke vrednosti pa čisto ozračje in bujno epifitsko lišajsko rastje. Zaradi lažje primerjave s stopnjami poškodovanosti gozdov tudi vrednosti indeksa atmosferske čistoče večkrat razdelimo v pet razredov:

a) delni indeksi

IAPP(1,2,3), razpon vrednosti: 0-18

Razred	Vrednost IAP
5	0
4	1 - 4,5
3	4,6 - 9,0
2	9,1 - 13,5
1	13,6 - 18,0

b) indeks za popisno ploskev (IAPt), razpon vrednosti: 0-54

Razred	Vrednosti IAP
5	0
4	1,0 - 13,5
3	13,6 - 27,0
2	27,1 - 40,5
1	40,6 - 54,0

Vrednost indeksa računamo po drevesnih vrstah ali pa rezultate opazovanj združujemo za opazovanja na drevesnih vrstah s primerljivimi fizikalno-kemijskimi lastnostmi lubja in podobnim tipom krošnje. Zaradi naključne postavitve trajne opazovalne ploskve in določene metode izbora opazovanih dreves je izbor primernih drevesnih vrst, na katerih opazujemo lišaje, nemogoč. Mogoča je le boljša izbira med štirimi skupinami šestih dreves. Zaradi tega se dogaja, da na posamezni popisni točki popis lišajev ne poteka na enakem vzorcu dreves iste vrste, pač pa je tudi to stvar naključja. Pri izračunu indeksa atmosferske čistoče lahko poleg že omenjenih stratumov izračunamo še vrednosti za posamezne drevesne vrste.

3 REZULTATI

Rezultati popisa stanja epifitskih lišajev pri popisih propadanja gozdov so prikazani za popis iz l. 1991 in deloma za popisa iz l. 1993 in 1994. Podatki starejših popisov so že objavljeni (BATIČ & KRALJ 1989, BATIČ 1991a, BATIČ 1991b) in jih je zaradi spremembe metode popisa lišajev v l. 1991 težko primerjati.

Na podlagi ocenitve stanja epifitskih lišajev na popisnih ploskvah so bili izračunani indeksi atmosferske čistoče. Izračuni so bili narejeni za ploskve kot celote in po drevesnih vrstah. V obeh primerih so izračuni narejeni po stratumih. Vrednosti indeksa atmosferske čistoče so prikazane v absolutnih vrednostih za cela drevesa in po stratumih za vse vrste skupaj (Sl. 1), za smreko (Sl. 3), bukev in beli gaber (Sl. 4), hraste (Sl. 5) in jelko (Sl. 6) in razvrščene v pet razredov ne glede na drevesno vrsto (Sl. 2). Kjer so vrednosti razvrščene, označuje razred 1 najsvetlejši krožec, ki pomeni čist zrak in bujno lišajsko obrast dreves, razred 5 pa najtemnejši krožec, kjer je ozračje onesnaženo. Tu so drevesa v glavnem brez lišajev ali pa so prekrita z zelo odpornimi skorjastimi steljkami in zelenimi algami ter redkimi zelo poškodovanimi listastimi steljkami. Največ opazovanj je bilo na smreki in bukvi, ki sta tudi sicer najbolj razširjeni gozdni drevesni vrsti.

Rezultati opazovanja lišajev so za vse drevesne vrste skupaj (Sl. 1, Sl. 2) podobni rezultatom opazovanj na smreki, ki so prikazani na slikah 3a - 3d. Lišajske karte, izdelane na podlagi opazovanj epifitskih lišajev na vseh drevesnih vrstah skupaj in na smreki, kažejo, da ima večina sestojev, v katerih je potekal popis propadanja gozdov, revno lišajsko obrast. Iz tega lahko sklepamo na onesnažen zrak. Najrevnejšo epifitsko lišajsko obrast imajo vse drevesne vrste skupaj s smreko v osrednji severovzhodni Sloveniji, na območju med Ljubljano, Zasavjem, Celjem in Pohorjem. To območje se ujema s položajem največjih emitentov zračnih onesnaževalcev, predvsem termoelektrarn Šoštanj, Trbovlje, Ljubjana in celjskim industrijskim središčem. Nenavadno slabo stanje lišajske obrasti kažejo tudi severozahodna okolica

Novega Mesta, južna pobočja Kamniških Alp, širša okolica Maribora in nekatera popisna mesta v zgornjem Posočju. Po pričakovanju je najslabše stanje epifitskih lišajev v krošnjah (IAP3), kar potrjuje odločilni vpliv onesnaževalcev. Razmeroma čist zrak imajo na podlagi opazovanj lišajev na smreki na Kočevskem in Postojnskem, v okolici Bohinja s Pokljuko in Zgornjesavsko dolino ter na osrednjem Pohorju. Podobno sliko stanja lišajev in s tem tudi kakovosti zraka dobimo, če pogledamo razširjenost različni tipov steljk, skorjastih, listastih in grmičastih, ne glede na drevesno vrsto (Sl. 7a - 7d). Analiza stanja na bukvi in belem gabru (Sl. 4a - 4d), ki imata glede na razporeditev padavin bolj sredotežni tip krošnje, pokaže, da je stanje podobno, le da je v zahodni Sloveniji, ki ima več padavin, slika slabša. Predvsem na obrobju Julijcev je epifitska obrast na bukvi slaba, kar velja tudi za Kamniške Alpe, Zasavje, okolico Novega Mesta in širšo okolico Maribora, Slovenske gorice in Goričko. Pri bukvi je slaba obrast tako v krošnjah (IAP3) kot na deblu na prsni višini (IAP2) na vseh zgoraj omenjenih območjih, na dniščih debel (IAP1) pa kot zelo onesnažena izstopajo stara industrijska območja (Zasavje, Maribor, širša okolica Ljubljane), vendar tudi Novo mesto in iz neznanih razlogov tudi zgornje Posočje. Opazovanja na hrastih, ki so jim pridružena še opazovanja na pravem kostanju in črnem gabru (Sl. 5a - 5d), so podobna tistim na bukvi in smreki, le da je opazovanj manj in da je stanje v zahodni Sloveniji nekoliko boljše, dosti slabše pa je v vzhodnem delu države. Hrasti, ki imajo sicer izmed vseh drevesnih vrst najbolj pestro epifitsko lišajsko obrast, so v popisu propadanja gozdov žal zajeti s premajhnim številom opazovanih dreves.

Popisi epifitskih lišajev na različnih tipih podlage so prikazani na slikah 8a - 8c. Večina opazovanih ploskev ima povprečno lišajsko obrast (IAP=3) na vseh treh opazovanih višinah. Najslabše je stanje v krošnjah, kjer je delež ploskev z zelo revno lišajsko obrastjo največji (razred IAP 4 in 5). Deloma je to gotovo posledica večje izpostavljenosti krošenj atmosferi in s tem vplivu onesnaženega zraka, vendar so bila na delu ploskev gotovo opazovana tudi mlajša drevesa, na katerih se epifitski lišaji še niso optimalno razvili, ali pa so bile ploskve popisa propadanja gozdov v zelo osončenih in močno preprihanih legah, ki imajo zelo majhno relativno zračno vlago in ne dopuščajo bujne rasti lišajev. Pri

opazovanih na deblih v prsni višini (IAP2) in na dniščih (IAP1) je delež ploskev, katerih vrednosti IAP padejo v razreda 4 in 5, bistveno manjši. Vse to kaže na zaščitno vlogo krošenj, večji vpliv kakovosti lubja in na dniščih tudi na vpliv snežne odeje. Primerjava vrednosti IAP po vrstah kaže na to, da imata med vsemi drevesnimi vrstami jelka in presenetljivo tudi smreka vsaj na nekaterih opazovanih ploskvah še bujno epifitsko obrast. Isto velja v veliko manjšem odstotku ploskev tudi za opazovanja na hrastih in njim priključenih podlagah, kjer pa je število opazovanih dreves bistveno manjše. Najslabša pa je epifitska lišajska obrast na bukvi in belem gabru. To je še posebej izrazito pri opazovanju stanja v krošnjah. Te razlike so deloma pogojene z razširjenostjo posameznih drevesnih vrst in bližino emisijskih središč, npr. večina smrekovih in jelovih gozdov je gorskih, torej so sorazmerno bolj oddaljeni od virov onesnaževanja kot nižinski hrastovi in deloma tudi bukovi gozdovi v spodnjem gorskem pasu. Tudi pojav temperaturnih obratov v kotlinah in dolinah, ki v zimskem času zadržuje onesnažen zrak v določenih območjih, lahko prispeva k ugotovljenemu stanju (PETKOVŠEK & VRHOVEC 1994). Druga verjetna razlaga pa je v različnih tipih krošnje glede na razporeditev padavin. Pri smreki, jelki in hrastih, ki imajo sredobežno krošnjo in steče po deblih manj padavin je vpliv kislih padavin bistveno manjši (BARKMAN 1958). To še posebej dokazuje stanje na bukvi, kar smo ugotovili tudi pri kartiranju vrst, ki ga na tem mestu ne obravnavamo.

Na Sl. 9 so prikazani rezultati popisa lišajev na bioindikacijski mreži, 16 x 16 km, v l. 1993 in 1994 za vse drevesne vrste skupaj (Sl. 9a) in posebej za opazovanja na smreki in bukvi (Sl. 9b). Prikazano je le stanje opazovanj na celem drevesu. Kot je razvidno iz ponazoritve, so rezultati popisov na večini mest v dveh zaporednih letih podobni, kar bi tudi pričakovali, saj se onesnaženost ozračja v Sloveniji še ni drastično zmanjšala. Na nekaterih mestih pa se vrednosti bistveno razlikujejo. Vzrokov za to je več. Lahko je to napaka popisovalca, največkrat pa gre za spremembo opazovanega drevesa, kar je spet lahko posledica napake ali pa je bilo staro opazovano drevo odstranjeno.

4 RAZPRAVA IN UGOTOVITVE

Primerjava lišajskih kart, narejenih na podlagi podatkov opazovanja epifitskih lišajev pri popisih propadanja gozdov z analizami vsebnosti žvepla v iglicah smreke in z meritvami onesnaževalcev v ozračju kaže, da se podatki po pričakovanju ujemajo. Območja z revnim epifitskim lišajskim rastjem (nizka vrednost IAP) so okrog znanih emisijskih središč, kjer so tudi vsebnosti žvepla v iglicah smreke visoke (KALAN 1991). Do neke mere se to ujema tudi s poškodovanostjo gozdov, vendar ne povsod in ne pri vseh dreesnih vrstah. Tako je jelka naša najbolj poškodovana drevesna vrsta, ki pa ima sorazmerno dobro epifitsko lišajsko obrast. Razlaga rezultatov v tem primeru ni preprosta. Za popolno razjasnitev stanja bi bilo treba vrstno kartirati lišaje, oziroma opraviti ogled takšnih ploskev z različnimi specialisti - od gojiteljev, fitopatologov, entomologov itd. Nasprotno ima bukev najslabšo epifitsko lišajsko obrast in je po vseh dosedanjih popisih naša najbolj zdrava drevesna vrsta. V tem primeru gre zelo verjetno za vpliv kislih padavin, ki prej uničijo lišaje na bukvi zaradi večjega izpiranja steljk, vendar bi bilo to treba dokazati še z analizami vode, ki ob padavinah polzi po deblih ("stemflow", debelni odced).

Zaradi spremembe metode popisa epifitskih lišajev v I. 1991 popisov na posameznih ploskvah ne moremo neposredno med seboj primerjati (BATIČ 1991), vendar nam vsakokratne lišajske karte stalno kažejo enako stanje, to je splošno, velikopovršinsko onesnaženje zraka v Sloveniji z majhnimi, sorazmerno čistimi območji.

Na podlagi dosedanjih popisov epifitskih lišajev kot bioindikatorjev onesnaženosti zraka pri popisih propadanja gozdov v Sloveniji lahko ugotovimo naslednje:

- Epifitski lišaji so dobri kazalci onesnaženosti zraka tudi v gozdnih ekosistemih.

- Stanje epifitskih lišajev na popisni ploskvi ni odvisno le od kakovosti zraka ampak tudi od sestoja (starosti, sklenjenosti, vrstne sestave, podnebja) kar je pri razlagi rezultatov treba upoštevati.
- Popis tipov steljk, njihove številčnosti in pokrovnosti na treh višinah drevja je smiseln, saj dopušča boljšo razlago dogajanj v odvisnosti od jakosti onesnaženja in stanja sestoja.
- Opazovanja na naključno izbranih in označenih stalnih opazovanih drevesih bodo dala ustrezne rezultate šele po nekaj ponovitvah. Potreben je večji časovni razpon.
- Idealno je primerjati le rezultate po posameznih ali vsaj primerljivih drevesnih vrstah. Le za zelo grob prikaz je dopustno združevati opazovanja na različnih vrstah
- Stanje epifitskih lišajev ni vedno v korelaciji z zdravstvenim stanjem sestoja ali opazovane drevesne vrste, pač pa odraža le kakovost zraka glede na občutljivost lišajev kot bioindikatorjev.
- Uporabljena metoda popisa epifitskih lišajev je zaradi lahke izvedbe, nizke cene in svoje relevantnosti primerna za velikopovršinske popise. Za raziskave stanja na posameznih ploskvah je treba metodo dopolniti z opazovanjem lišajevskih vrst.

5 VIRI

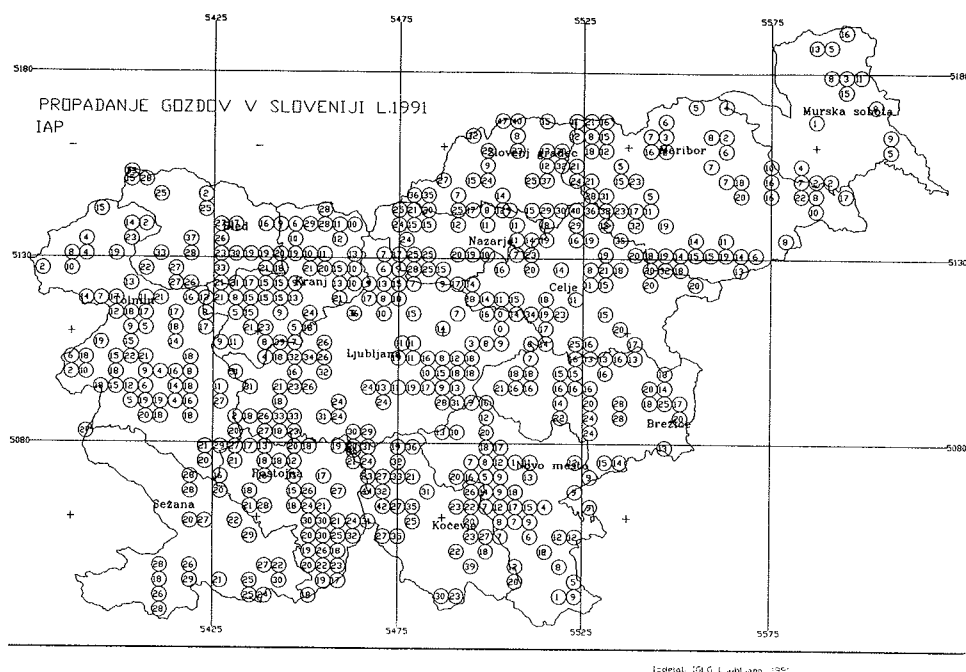
- AL SAYEGH-PETKOVŠEK, S., KRAIGHER, H., BATIČ, F., GOGALA, N., AGERER, R., 1993. Mycorrhizal potential of two forest research plots in Zavodnje in Mislinja. V: 1. slovenski simpozij iz rastlinske fiziologije. Gozd Martuljek, 29.9. - 1.10. 1993. Povzetki: 41 s.
- ARNDT, U., NOBEL, W., SCHWEIZER, B., 1987. Bioindikatoren, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, FRG.
- BARKMAN, J. J. 1958. Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. Van Gorcum, Assen, The Netherlands, 628 s.

- BARTHOLMESS, H., HAENISCH-LUGTENBURG, A., ARNDT, U., WIRTH, V., 1987. Passives monitoring mit Flechten im Waldschadengebiet Schwaebisch-Frankischer Wald. - VDI Berichte 609, s. 597 - 618.
- BATIČ, F., KRALJ, T., 1989. Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitsko lišajsko vegetacijo pri inventurah propadanja gozdov. Zbornik gozdarstva in lesarstva 34, s. 51 - 70.
- BATIČ, F., KRALJ, T., 1990. Bioindikacija onesnaženosti zraka na osnovi analize fotosintetskih barvil v iglicah smreke (*Picea abies* /L.) Karst.). Zbornik gozdarstva in lesarstva 36, s. 79 - 106.
- BATIČ, F., 1991a. Bioindication of air pollution in Slovene forest die-back inventories by mapping of epiphytic lichen vegetation. In: IUFRO Workshop on Monitoring of Air Pollution Impact on Permanent Sample Plots. Data processing and results interpretation, IUFRO, Prachatice (ČSFR), s. 177 - 187.
- BATIČ, F., 1991b. Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitskimi lišaji. Gozdarski vestnik 49 (5), s. 248 - 254
- BATIČ, F., GRILL, D., MAYRHOFER, H., 1993a. Karl-Franzens Universitaet Graz, Austria, Bioindikation in belasteten und unbelasteten Gebieten. Final report for the project GZ 45.224/2-276/91 of BMfWF, s. 1 - 74.
- BATIČ, F., GRILL, D., KALAN, J., RIBARIČ - LASNIK, C., 1993b. Impact of emission gases from thermal power plant in Šoštanj on biochemical parameters of Norway spruce needles (*Picea abies*/L./ Karst.). V: 1. slovenski simpozij iz rastlinske fiziologije., Gozd Martuljek, 29.9. - 1.10. 1993, Povzetki: SP 8.
- DRUŠKOVIČ, B., 1988. Citogenetska bioindikacija I. Uporaba citogenetske analize pri odkrivanju delovanja genotoksičnih polutantov na gozdno drevje. Biol. vestn. 36(3) s. 1 - 17.
- FERRY, B.W., BADDLEY, M.S., HAWKSWORTH, D.L., 1973. Air pollution and lichens. The Atlone Press, London, UK, 390 s.
- GLIEMEROTH, A.-K., 1990. Die Flechtenflora kranker Nadelbaeume im Nordschwarzwald: Oekologische Untersuchungen zur Differenzierung zwieschen Immisionsbelastung und epidemischer Erkrankung. J. Cramer, Berlin, Stuttgart, FRG. Dissertationes Botanicae, BAND 161, 128 s.

- HAWKSWORTH, D.L., ROSE, F., 1976. Lichens as air pollution monitors, Edward Arnold, London, UK, 60 s.
- HRČEK, D., BERNOT-IVANČIČ, A., BONAČ, CIGLAR, R., M., LEŠNJAK, M., MITIČ, D., PAVLI, P., PLANINŠEK, A., RODE., B., 1992. Onesnaženost zraka v Sloveniji, April 1991 - Marec 1992, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana, Maj 1992, s. 1 - 122.
- JERAN, Z., JAČIMOVIČ, R., LUPŠINA - MIKLAVČIČ, V., SMODIŠ, B. & BATIČ, F. 1994. Ugotavljanje onesnaženosti zraka s kovinami in radionuklidi z uporabo biomonitorjev - lišajev. V: Varstvo zraka. Stanje in ukrepi za izboljšanje stanja v Sloveniji: 19/1-19/13. Bled, 28.3. - 30.3.1994, Zavod za tehniško izobraževanje Ljubljana.
- KALAN, J., 1991. Imisija žvepla leta 1990 na točkah 16x16 km bioindikacijske mreže Slovenije. Gozdarski vestnik 49 (5), s. 240 - 247.
- KNABE, W. 1981. Immissionsoekologische Waldzustandserfassung in Nordrhein-Westfalen. Allg. Forstzeitschrift 36, s. 641 - 643.
- KRAIGHER, H., 1994. Citokinini in tipi ektomikorize pri smreki (*Picea abies* /L./ Karst.) kot kazalci onesnaženosti gozdnih rastišč. Doktorska disertacija, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana, 156 s.
- MARTI, J., 1985. Die Toxizität von Zink, Schwefel- und Stickstoffverbindungen auf Flechten-Symbionten. J. Cramer, Vaduz, Lichtenstein. Bibliotheca Lichenologica, Band 21, 128 s.
- PETKOVŠEK, Z. & VRHOVEC, T. 1994. Note on influences of inclined fog lakes on the air pollution in them and on the irradiance above them. Meteorol. Zeitschrift, N.F. 3, s. 227 - 232.
- RIBARIČ-LASNIK, C., 1991. Ekofiziološke lastnosti smreke (*Picea abies* /L./ Karst.) na vplivnem območju termoelektrarne Šoštanj. Magistrsko delo, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo.
- ROMIH, R., 1991. Diplomsko delo, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani.
- SKYE, E., 1968. Lichens and air pollution. A study of cryptogamic epiphytes and environment in the Stockholm region. Acta phytogeographica suecica 51: 123, s. 1 - 123.

- SOCHTING, U., 1991. Laver som kvaelstofmonitorer i danske skove. Institut for Sporeplanter, Koebehavns Universitet, Danmark, 75 s.
- WITTMANN, H. & TUERK, R. 1988. Immissionsbedingte Flechtenzonen im Bundesland Salzburg (Oesterreich) und ihre Beziehung zum Problemkreis "Waldsterben". Berichte der ANL 12, s. 247 - 258.

6 SLIKE

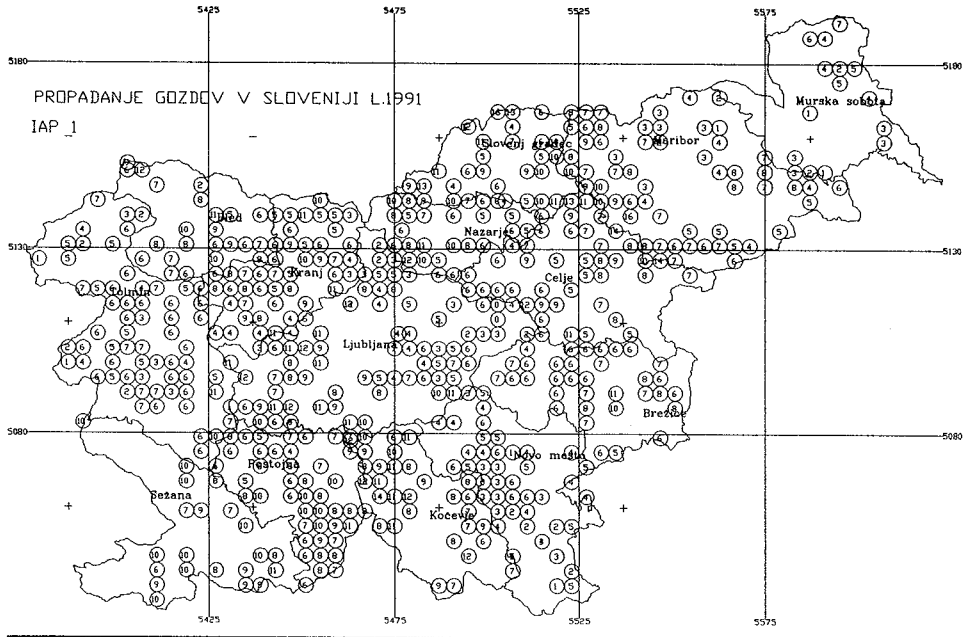


Slika 1a: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rasti ob popisu propadanja gozdov I. 1991:

- absolutne vrednosti indeksa atmosferske čistoče (IAP), izračunane za cela drevesa na popisni ploskvi ne glede na vrsto drevesa;

Fig. 1a: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation at forest die-back inventory in 1991:

- absolute values for index of atmospheric purity (IAP), calculated for whole trees in a plot, regardless a tree species:

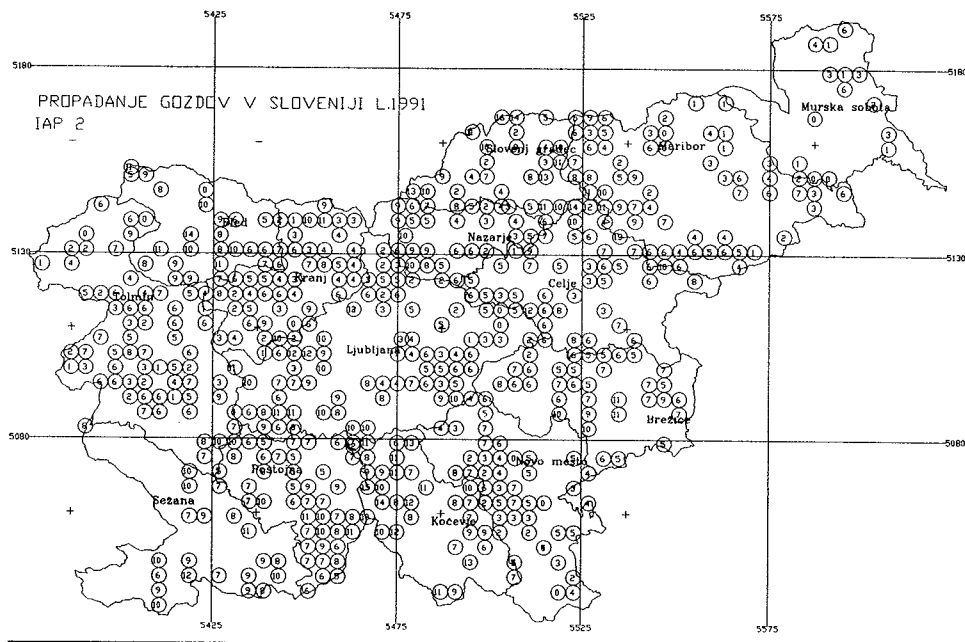


Slika. 1b: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rastja ob popisu propadanja gozdov l. 1991:

- vrednosti IAP za dnišča debel in koreničnik;

Fig. 1b: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for a tree trunk base and butroot:

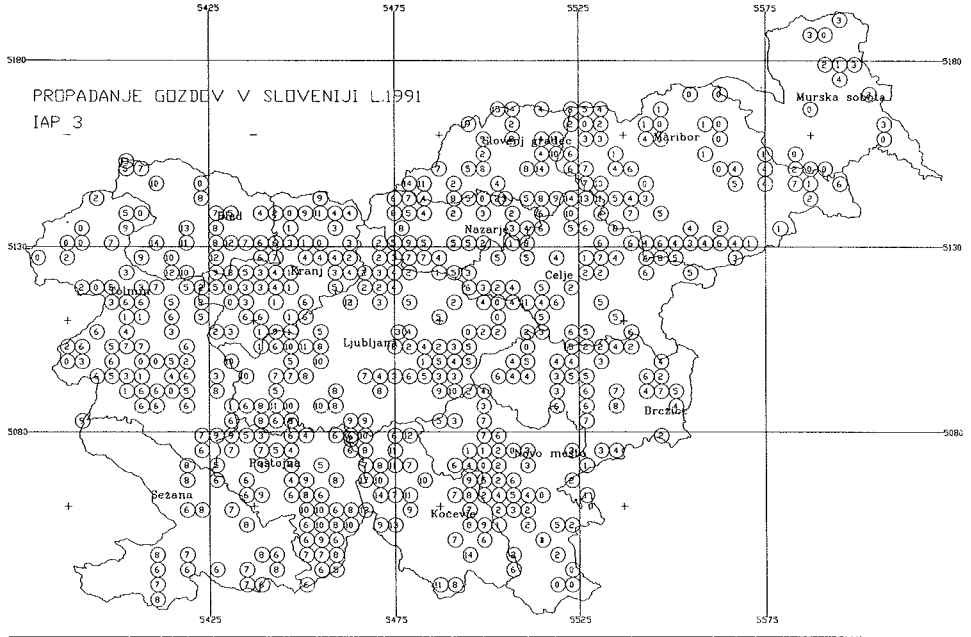


Slika. 1c: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rasti ob popisu propadanja gozdov l. 1991:

- vrednosti IAP za debla v prsni višini;

Fig. 1c: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for a tree trunks at breast height;



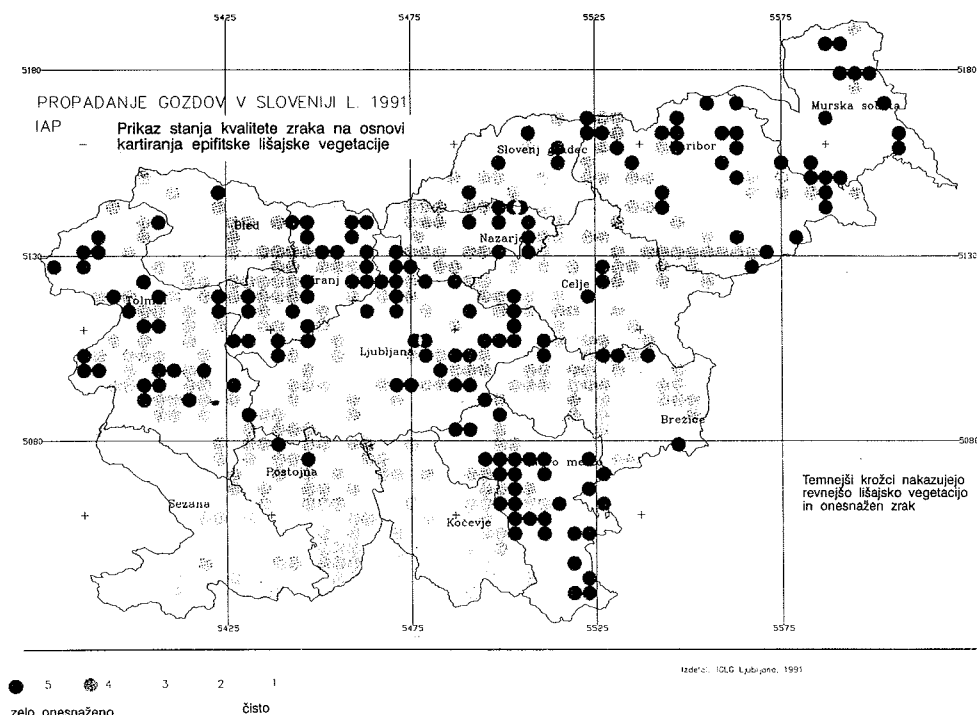
Izdela: ICUG Ljubljana 1991

Slika. 1d: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rasti ob popisu propadanja gozdov I. 1991:

- vrednosti IAP za krošnje.

Fig. 1d: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for tree crowns.

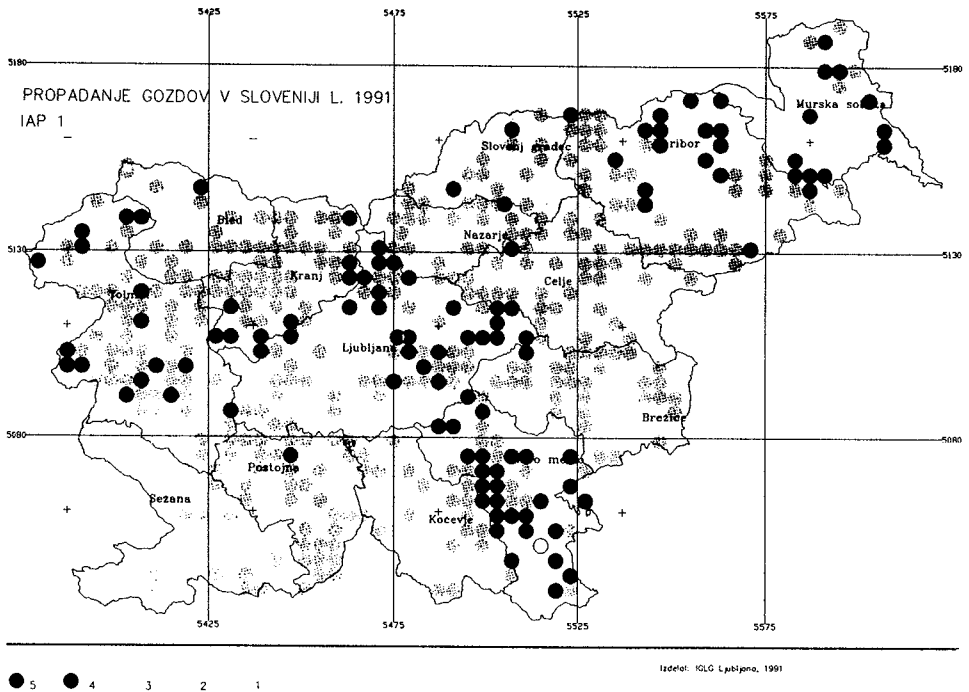


Slika. 2a: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rasti ob popisu propadanja gozdov l. 1991. Vrednosti indeksa atmosferske čistoče (IAP) so razdeljene v 5 razredov. Temnejši krožci označujejo majhno vrednost IAP, revno lišajsko obrast in domnevno onesnažen zrak:

- razredi IAP, izračunani za cela drevesa na ploskvi, ne glede na vrsto;

Fig. 2a: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation at forest die-back inventory in 1991. Index of atmospheric purity (IAP) values are divided into 5 classes. Dark circles represent a low IAP value, poor lichen overgrowth and presumably polluted air:

- classes of IAP, calculated for whole trees in the plot, regardless a tree species;

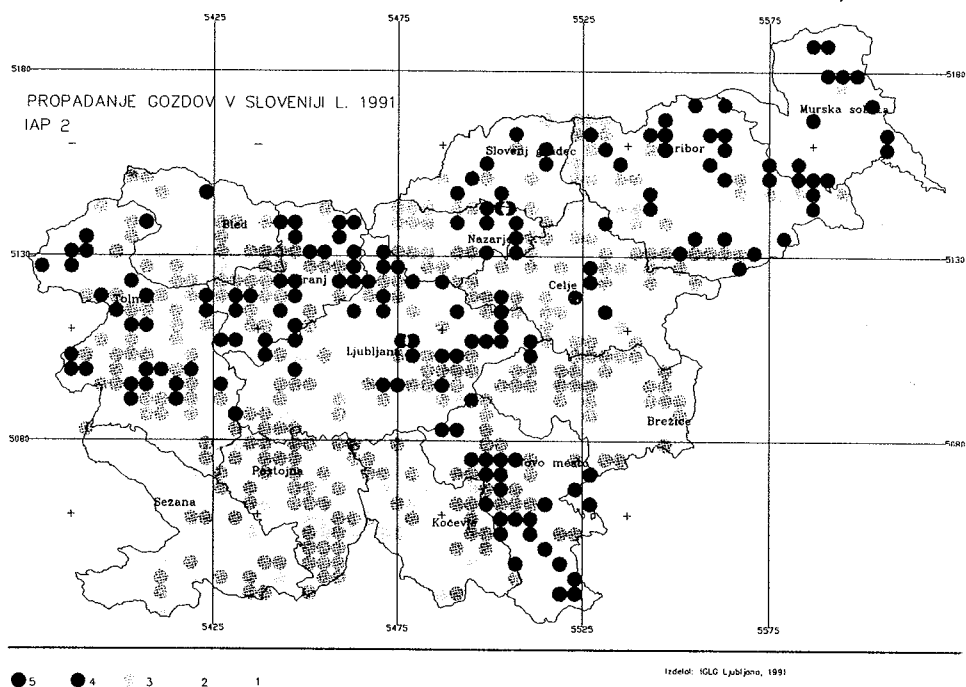


Slika. 2b: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rastja ob popisu propadanja gozdov I. 1991. Vrednosti indeksa atmosferske čistoče (IAP) so razdeljene v 5 razredov. Temnejši krožci označujejo majhno vrednost IAP, revno lišajsko obrast in domnevno onesnažen zrak:

- razredi IAP za dnišča debel in korenničnik;

Fig. 2b: *Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation at forest die-back inventory in 1991. Index of atmospheric purity (IAP) values are divided into 5 classes. Dark circles represent a low IAP value, poor lichen overgrowth and presumably polluted air:*

- *classes of IAP for the base of a tree trunk and butroot;*

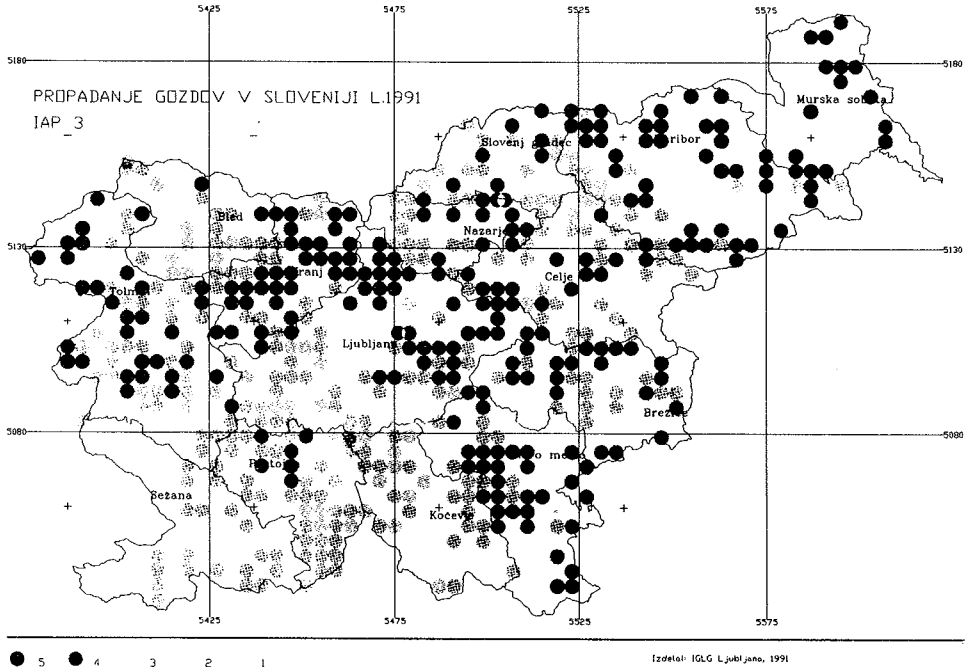


Slika. 2c: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rastja ob popisu propadanja gozdov l. 1991. Vrednosti indeksa atmosferske čistoče (IAP) so razdeljene v 5 razredov. Temnejši krožci označujejo majhno vrednost IAP, revno lišajsko obrast in domnevno onesnažen zrak:

- razredi IAP za debla v prsni višini;

Fig. 2c: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation at forest die-back inventory in 1991. Index of atmospheric purity (IAP) values are divided into 5 classes. Dark circles represent a low IAP value, poor lichen overgrowth and presumably polluted air:

- classes of IAP for trunks at breast height;

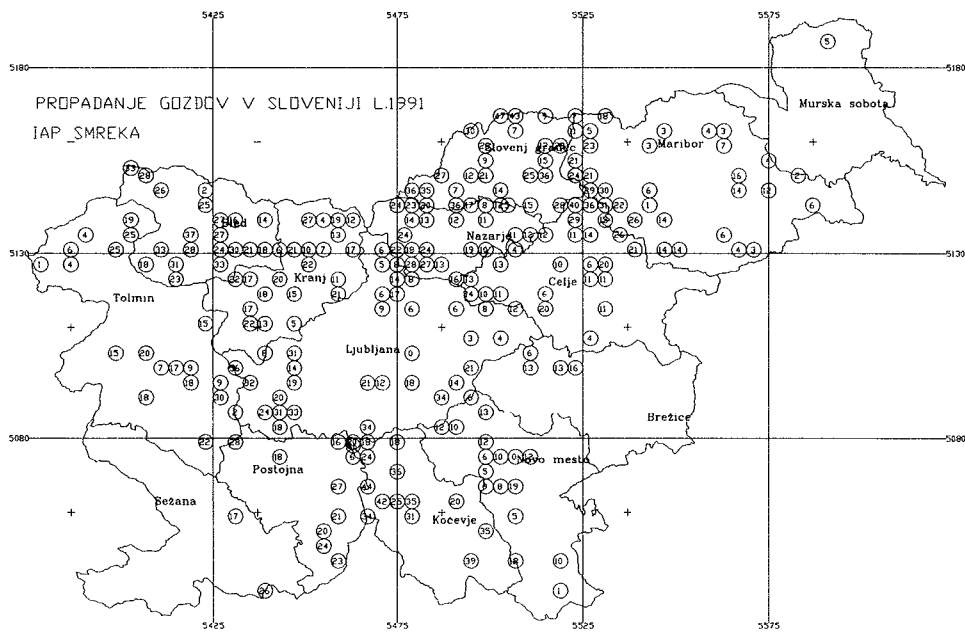


Slika. 2d: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rastja ob popisu propadanja gozdov I. 1991. Vrednosti indeksa atmosfere čistote (IAP) so razdeljene v 5 razredov. Temnejši krožci označujejo majhno vrednost IAP, revno lišajsko obrast in domnevno onesnažen zrak:

- razredi IAP za krošnje.

Fig. 2d: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation at forest die-back inventory in 1991. Index of atmospheric purity (IAP) values are divided into 5 classes. Dark circles represent a low IAP value, poor lichen overgrowth and presumably polluted air:

- classes of IAP for tree crowns.

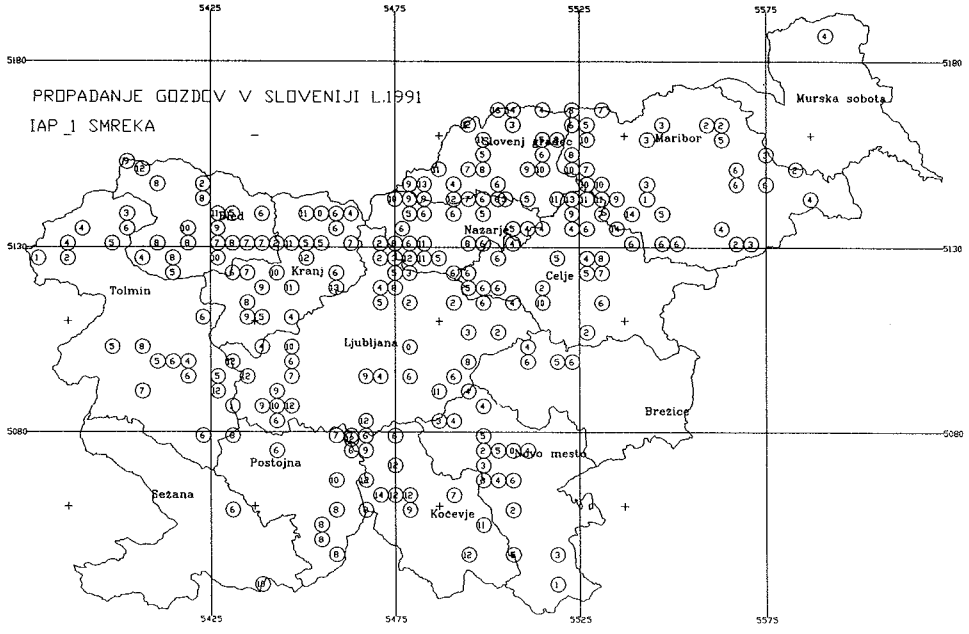


Slika. 3a: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rasti na smreki (*Picea abies* /L./ Karst.) ob popisu propadanja gozdov I. 1991:

- vrednosti IAP za cela drevesa;

Fig. 3a: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for whole trees;

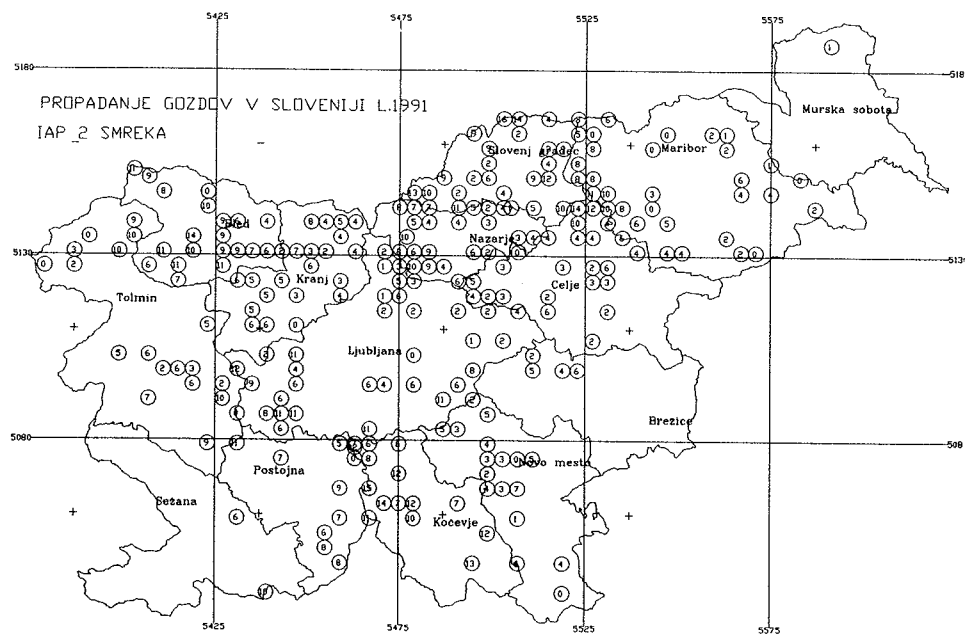


Slika. 3b: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rasti na smreki (*Picea abies* L./ Karst.) ob popisu propadanja gozdov l. 1991:

- vrednosti IAP za dnišča debel in koreničnik;

Fig. 3b: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on Norway spruce (*Picea abies* L./ Karst.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for a trunk base and butroot;

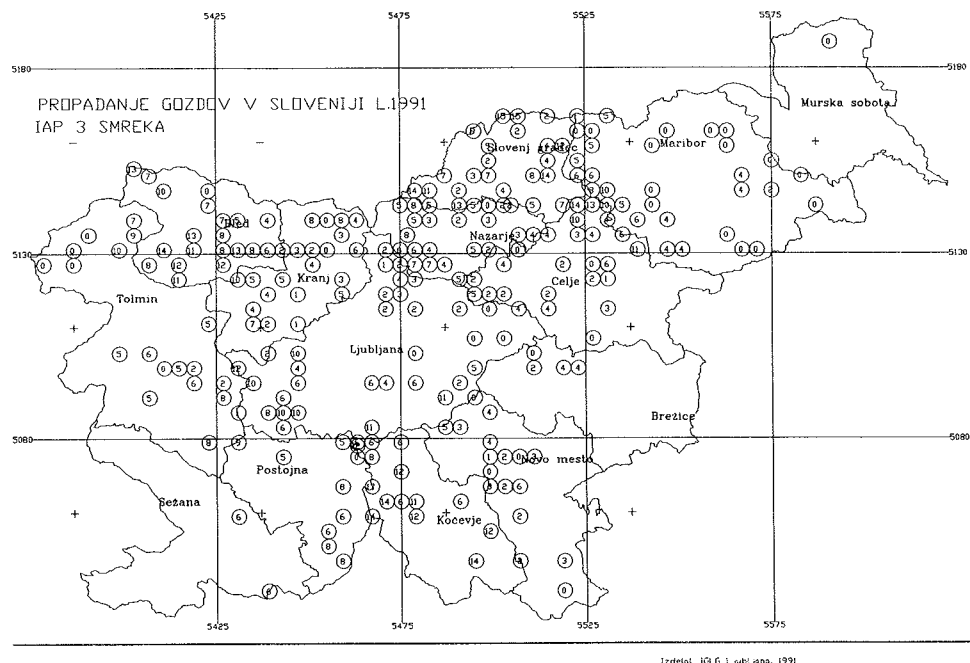


Slika. 3c: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rastja na smreki (*Picea abies* /L./ Karst.) ob popisu propadanja gozdov I. 1991:

- vrednosti IAP za debla v prsni višini;

Fig. 3c: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for trunks at breast height;

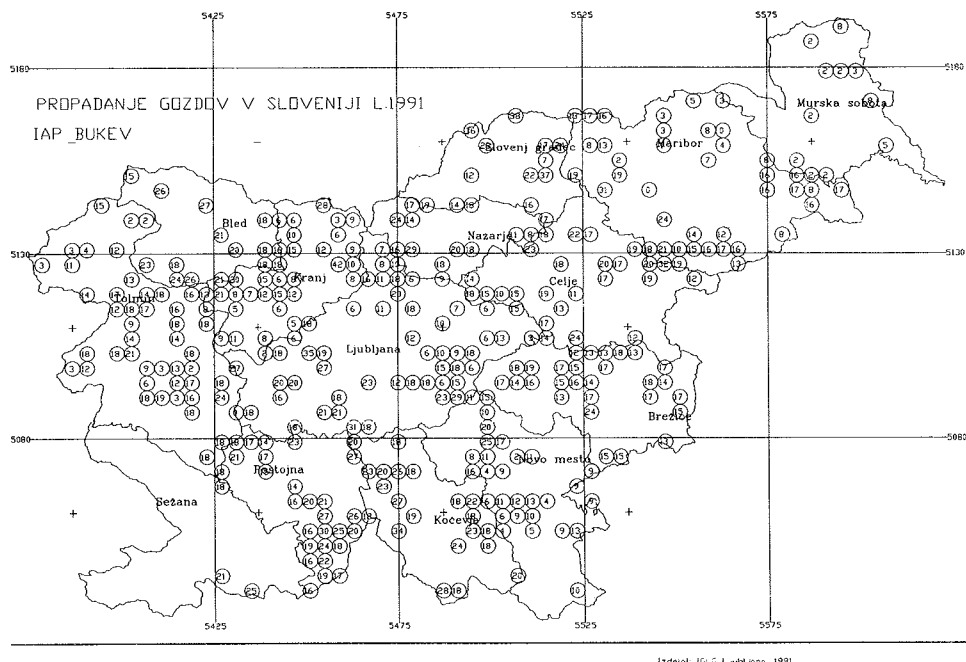


Slika. 3d: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rasti na smreki (*Picea abies* /L./ Karst.) ob popisu propadanja gozdov I. 1991:

- vrednosti IAP za krošnje.

Fig. 3d: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for tree crowns.



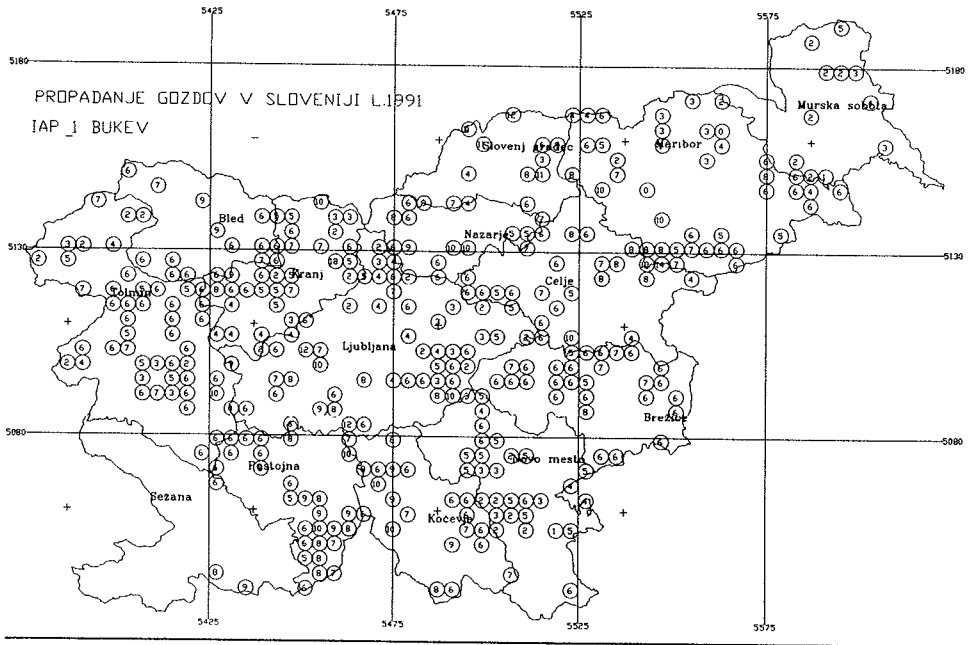
Izdelač: IGL, L. juheljanski, 1991

Slika. 4a: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rastišča na bukvi (*Fagus sylvatica* L.) in belem gabru (*Carpinus betulus* L.) ob popisu propadanja gozdov I. 1991:

- vrednosti IAP za cela drevesa;

Fig. 4a: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on common beech (*Fagus sylvatica* L.) and European hornbeam (*Carpinus betulus* L.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for whole trees;

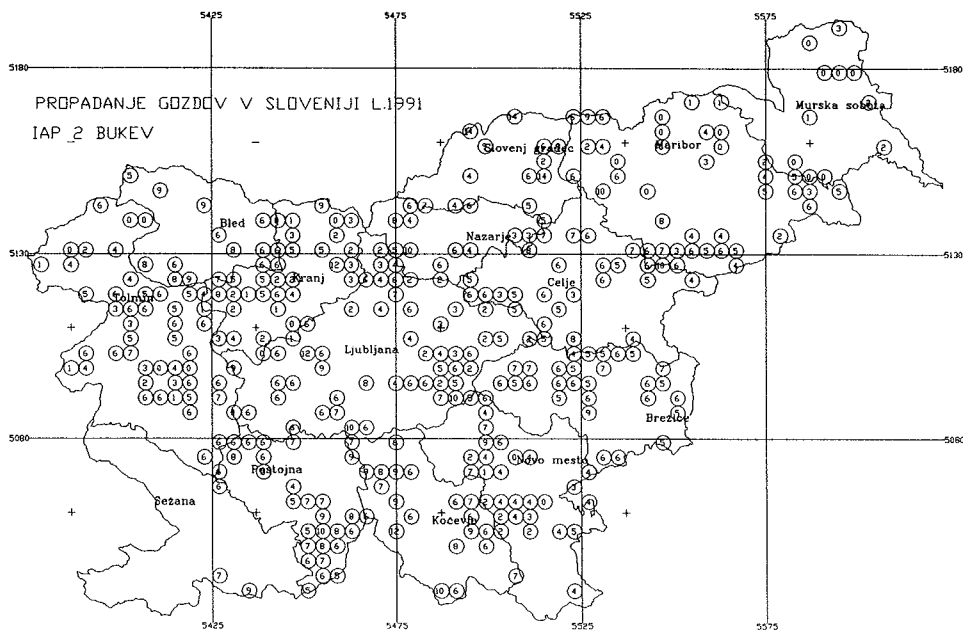


Slika. 4b: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rastja na bukvi (*Fagus sylvatica* L.) in belem gabru (*Carpinus betulus* L.) ob popisu propadanja gozdov I. 1991:

- vrednosti IAP za dnošča debel in koreničnik;

Fig. 4b: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on common beech (*Fagus sylvatica* L.) and European hornbeam (*Carpinus betulus* L.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for a tree trunk base and buttroot;

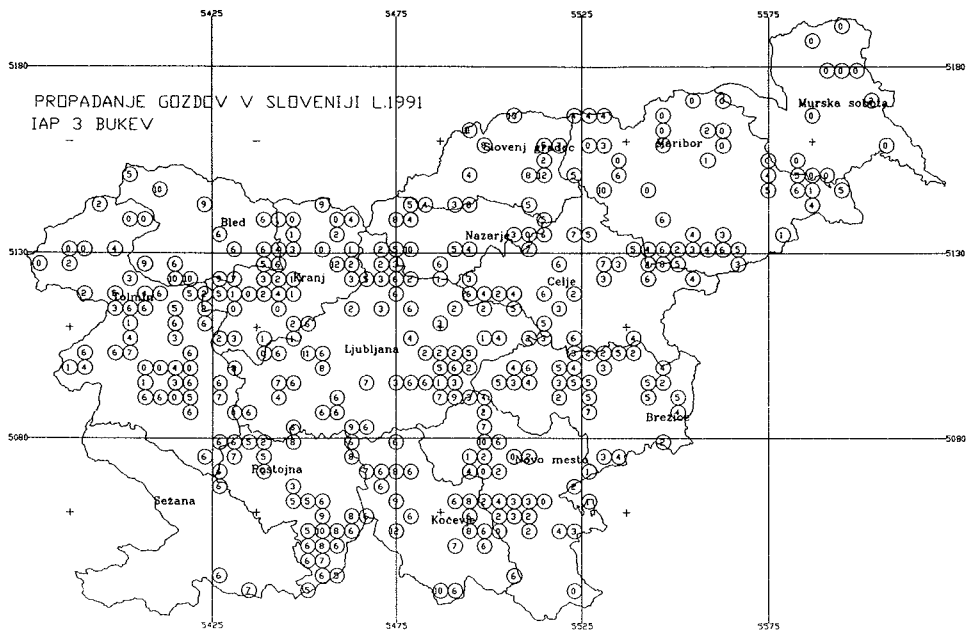


Slika. 4c: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rasti na bukvi (*Fagus sylvatica* L.) in belem gabru (*Carpinus betulus* L.) ob popisu propadanja gozdov I. 1991:

- vrednost IAP za debla v prsni višini;

Fig. 4c: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on common beech (*Fagus sylvatica* L.) and European hornbeam (*Carpinus betulus* L.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for tree trunks at breast height;

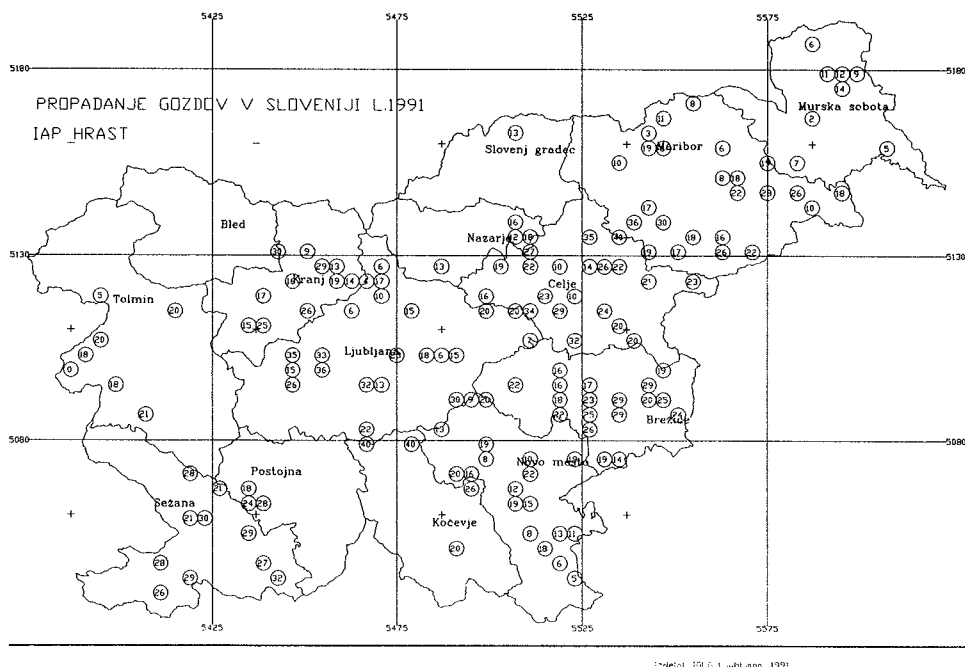


Slika. 4d: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rastja na bukvi (*Fagus sylvatica* L.) in belem gabru (*Carpinus betulus* L.) ob popisu propadanja gozdov I. 1991:

- vrednosti IAP za krošnje.

Fig. 4d: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on common beech (*Fagus sylvatica* L.) and European hornbeam (*Carpinus betulus* L.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for tree crowns.

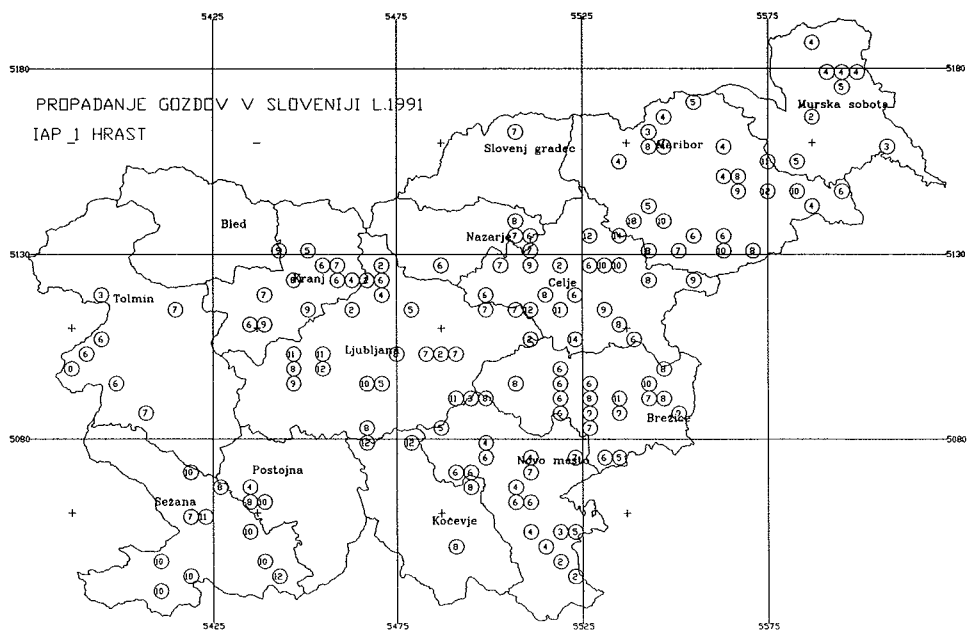


Slika. 5a: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rasti na hrastih (*Quercus robur* L., *Q. petraea* /Mattuschka/Leibl., *Q. cerris* L., *Q. pubescens* Willd.), pravem kostanju (*Castanea sativa* Mill.) in črnem gabru (*Ostrya carpinifolia* Scop.) pri popisu propadanja gozdov I. 1991:

- vrednosti IAP za cela drevesa;

Fig. 5a: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on oaks (*Quercus robur* L., *Q. petraea* /Mattuschka/Leibl., *Q. cerris* L., *Q. pubescens* Willd.), sweet chesnut (*Castanea sativa* Mill.) and European hop-hornbeam (*Ostrya carpinifolia* Scop.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for whole trees;

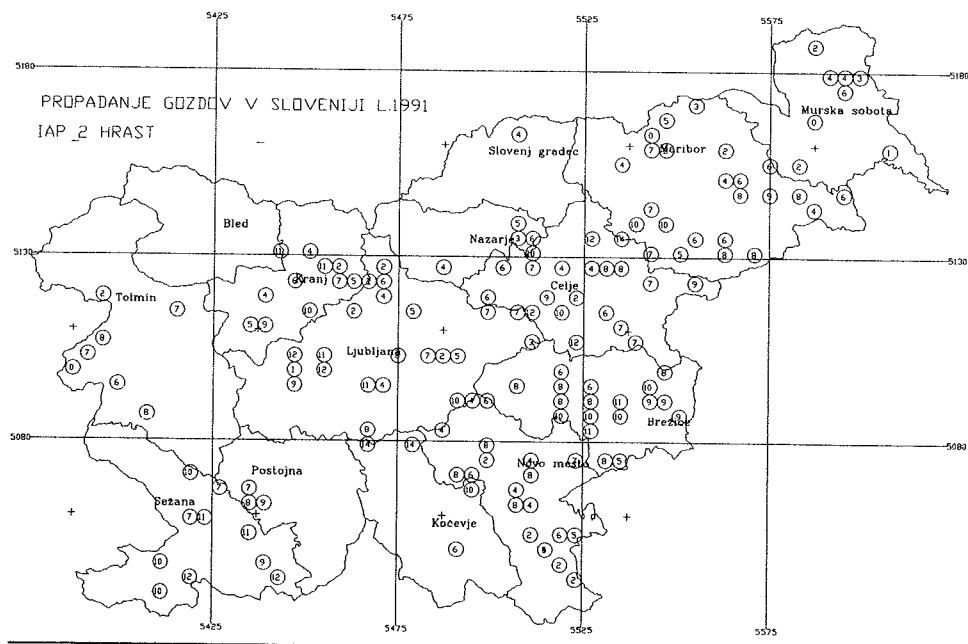


Slika. 5b: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rasti na hrastih (*Quercus robur* L., *Q. petraea* /Mattuschka/Leibl., *Q. cerris* L., *Q. pubescens* Willd.), pravem kostanju (*Castanea sativa* Mill.) in črnem gabru (*Ostrya carpinifolia* Scop.) pri popisu propadanja gozdov I. 1991:

- vrednosti IAP za dnošča debel in koreničnik;

Fig. 5b: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on oaks (*Quercus robur* L., *Q. petraea* /Mattuschka/Leibl., *Q. cerris* L., *Q. pubescens* Willd.), sweet chesnut (*Castanea sativa* Mill.) and European hop-hornbeam (*Ostrya carpinifolia* Scop.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for a tree trunk base and butroot;

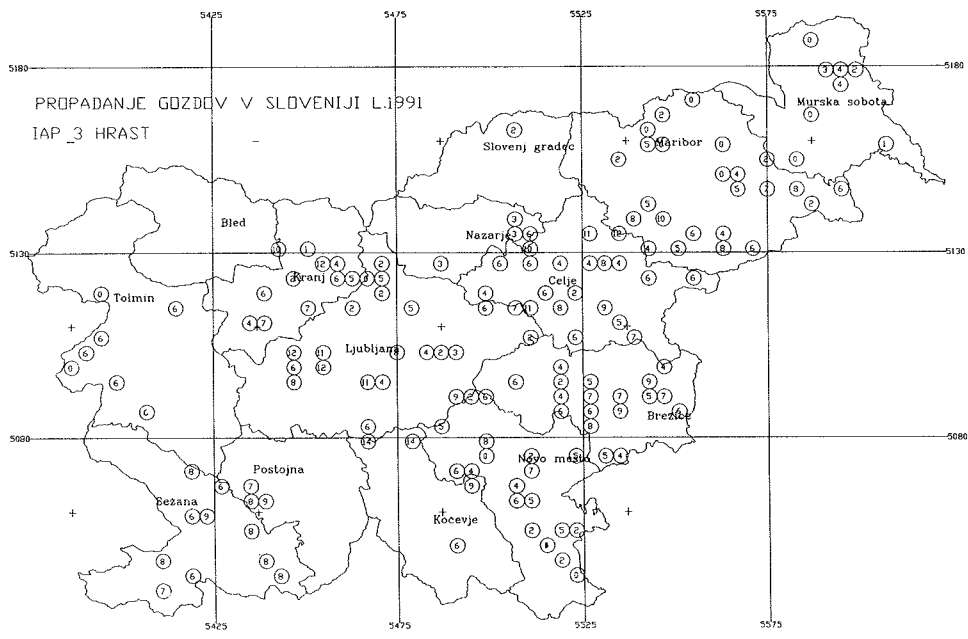


Slika. 5c: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rastja na hrastih (*Quercus robur* L., *Q. petraea* /Mattuschka/Leibl., *Q. cerris* L., *Q. pubescens* Willd.), pravem kostanju (*Castanea sativa* Mill.) in črnem gabru (*Ostrya carpinifolia* Scop.) pri popisu propadanja gozdov I. 1991:

- vrednosti IAP za debla v prsni višini;

Fig. 5c: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on oaks (*Quercus robur* L., *Q. petraea* /Mattuschka/Leibl., *Q. cerris* L., *Q. pubescens* Willd.), sweet chesnut (*Castanea sativa* Mill.) and European hop-hornbeam (*Ostrya carpinifolia* Scop.) at forest die-back inventory in 1991:

- values for tree trunks at breast height;



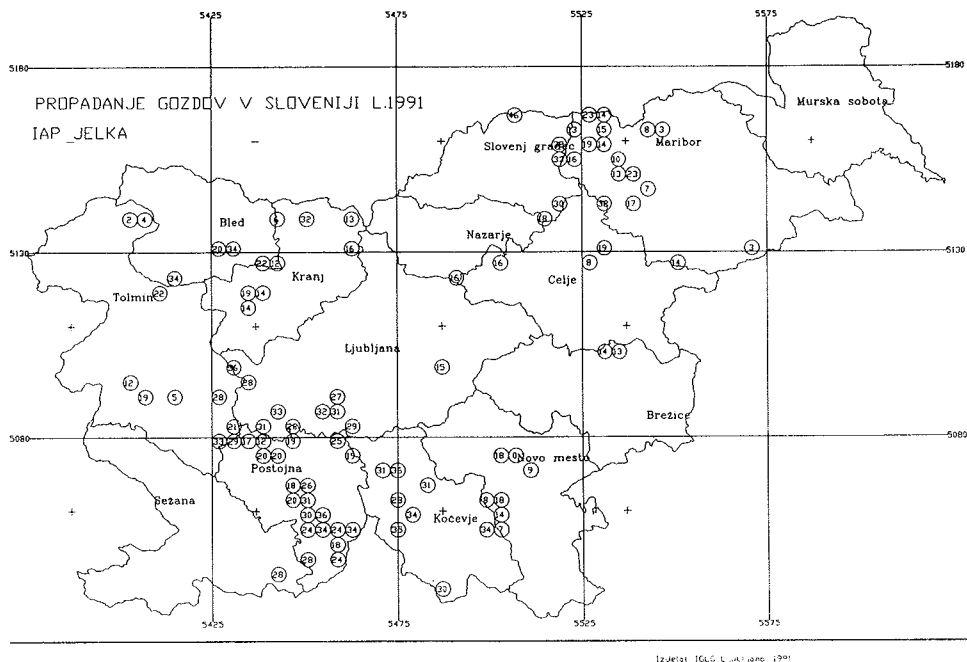
Izdelal: IGL, G. L. publik. jana. 1991.

Slika. 5d: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rastišča na hrastih (*Quercus robur* L., *Q. petraea* /Mattuschka/Leibl., *Q. cerris* L., *Q. pubescens* Willd.), pravem kostanju (*Castanea sativa* Mill.) in črnem gabru (*Ostrya carpinifolia* Scop.) pri popisu propadanja gozdov I. 1991:

- vrednosti IAP za krošnje.

Fig. 5d: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on oaks (*Quercus robur* L., *Q. petraea* /Mattuschka/Leibl., *Q. cerris* L., *Q. pubescens* Willd.), sweet chesnut (*Castanea sativa* Mill.) and European hop-hornbeam (*Ostrya carpinifolia* Scop.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for tree crowns.

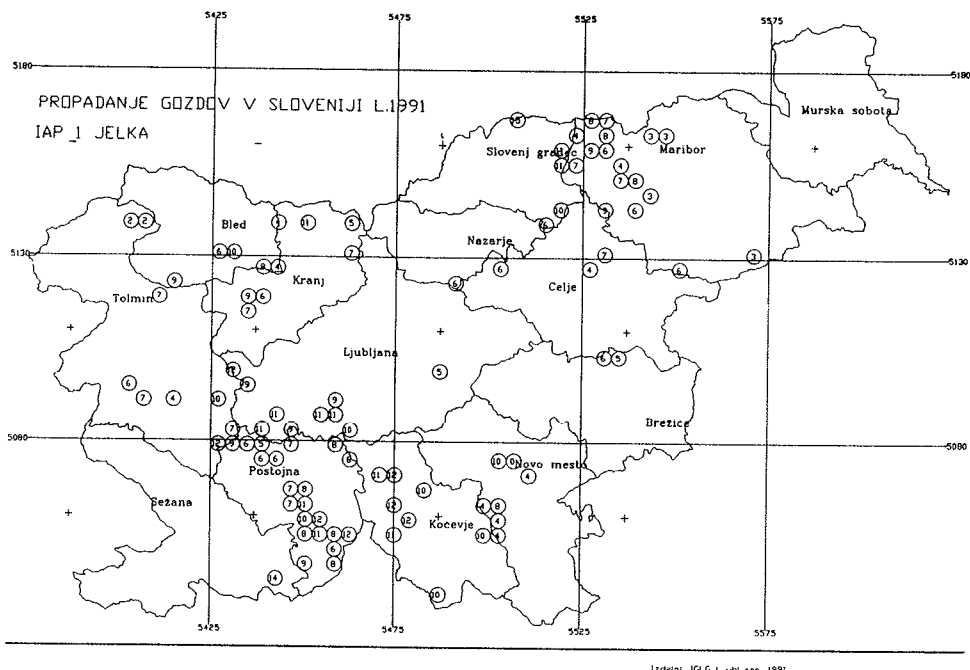


Slika. 6a: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rasti na jelki (*Abies alba* Mill.) pri popisu propadanja gozdov l. 1991:

- vrednosti IAP za cela drevesa;

Fig. 6a: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on silver fir (*Abies alba* Mill.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for whole trees;

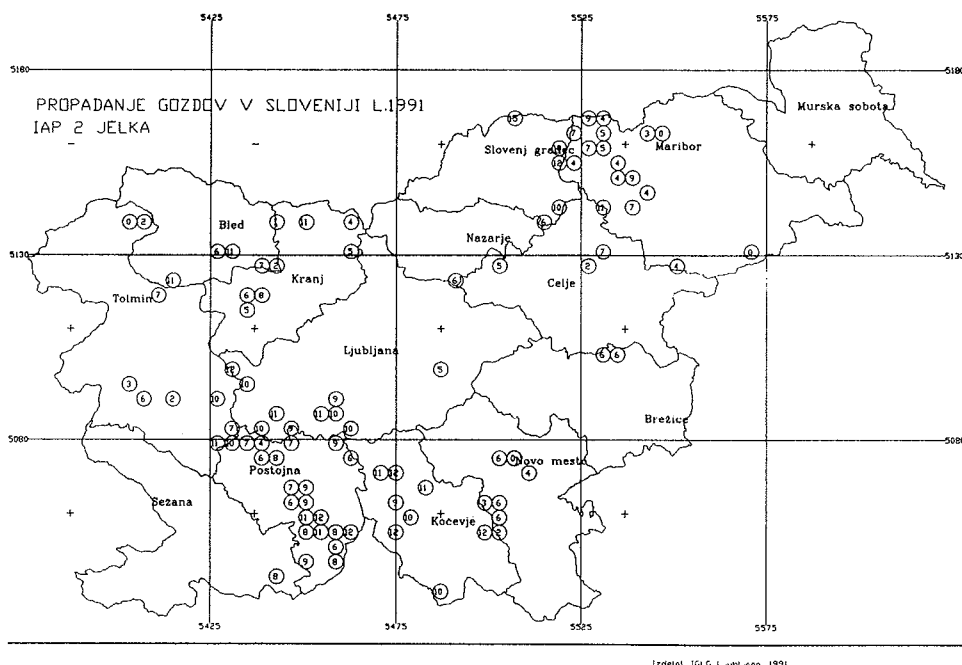


Slika. 6b: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rasti na jelki (*Abies alba* Mill.) pri popisu propadanja gozdov l. 1991:

- vrednosti IAP za dnišča debel in korenčnik;

Fig. 6b: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on silver fir (*Abies alba* Mill.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for a tree trunk base and buttroot;

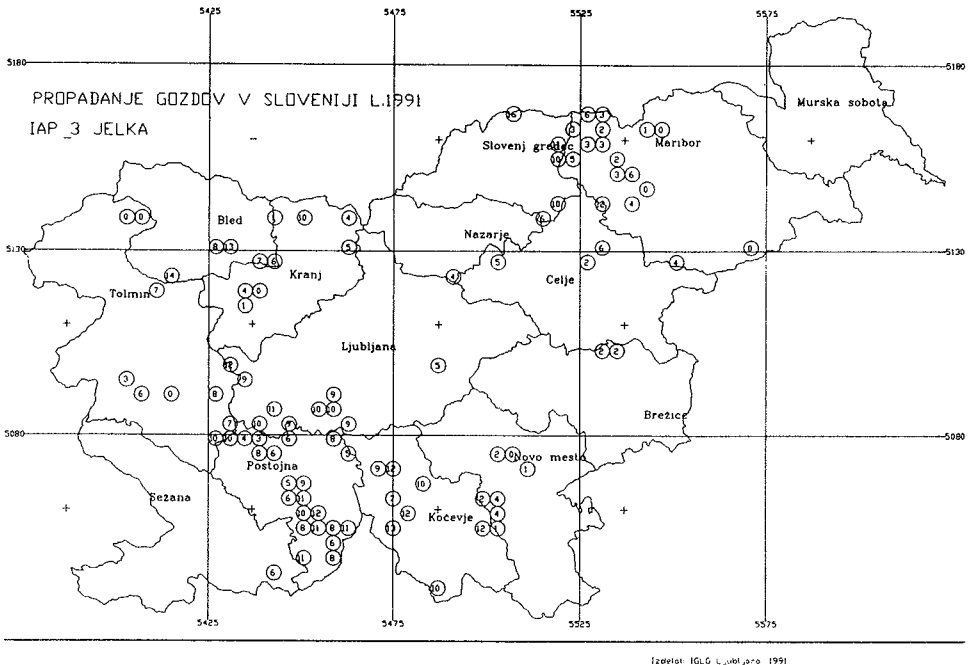


Slika. 6c: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rasti na jelki (*Abies alba* Mill.) pri popisu propadanja gozdov l. 1991:

- vrednosti IAP za debla v prsni višini;

Fig. 6c: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on silver fir (*Abies alba* Mill.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for tree trunks at breast height;

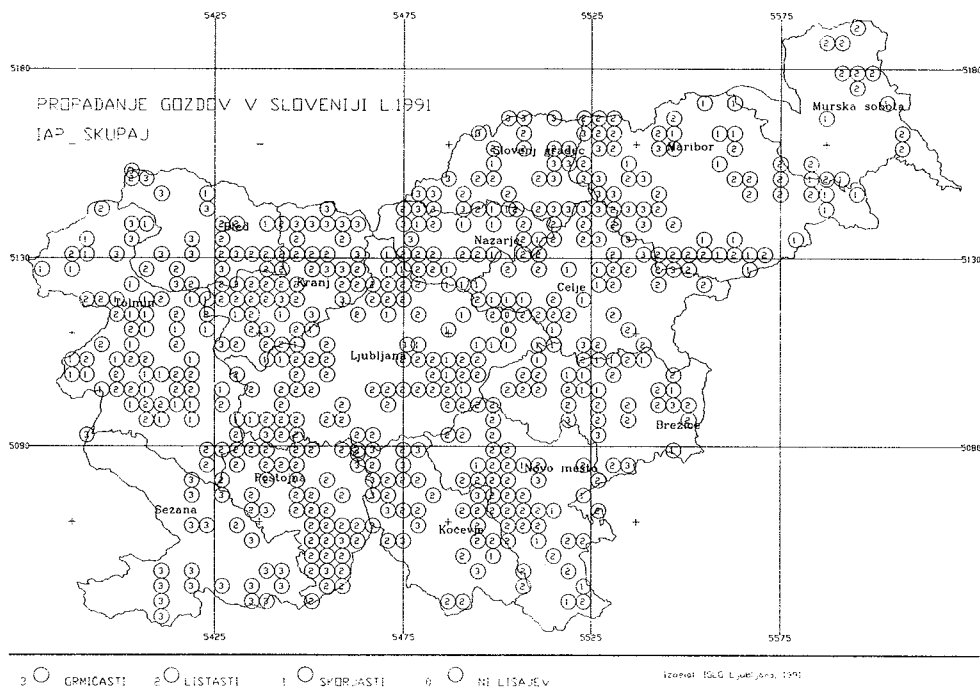


Slika. 6d: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskega lišajskega rastja na jelki (*Abies alba* Mill.) pri popisu propadanja gozdov l. 1991:

- vrednosti IAP za krošnje.

Fig. 6d: Presentation of air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation on silver fir (*Abies alba* Mill.) at forest die-back inventory in 1991:

- values of IAP for tree crowns.

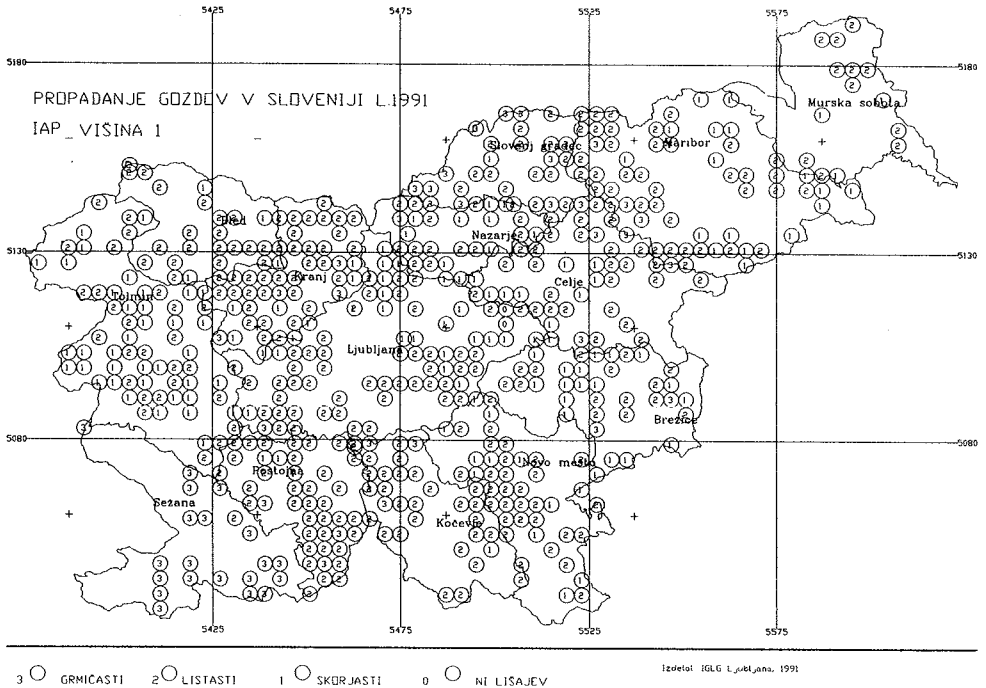


Slika. 7a: Pregled razširjenosti treh osnovnih lišajskih tipov (0 - ni lišajev, 1 - samo skorjasti lišaji, 2 - skorjasti in listasti, 3 - skorjasti, listasti in grmičasti lišaji) ob popisu propadanja gozdrov I. 1991. Upoštevan je popis na vseh drevesnih vrstah:

- prikaz stanja na celih drevesih;

Fig. 7a: Overview of the distribution of the three major lichen thallus types (0- no lichens, 1 - only crustose lichens, 2 - crustose and foliose, 3 - crustose, foliose and fruticose thallus types) at forest die-back inventory in 1991. Lichen thallus type observation on all tree species is included:

- distribution on whole trees;

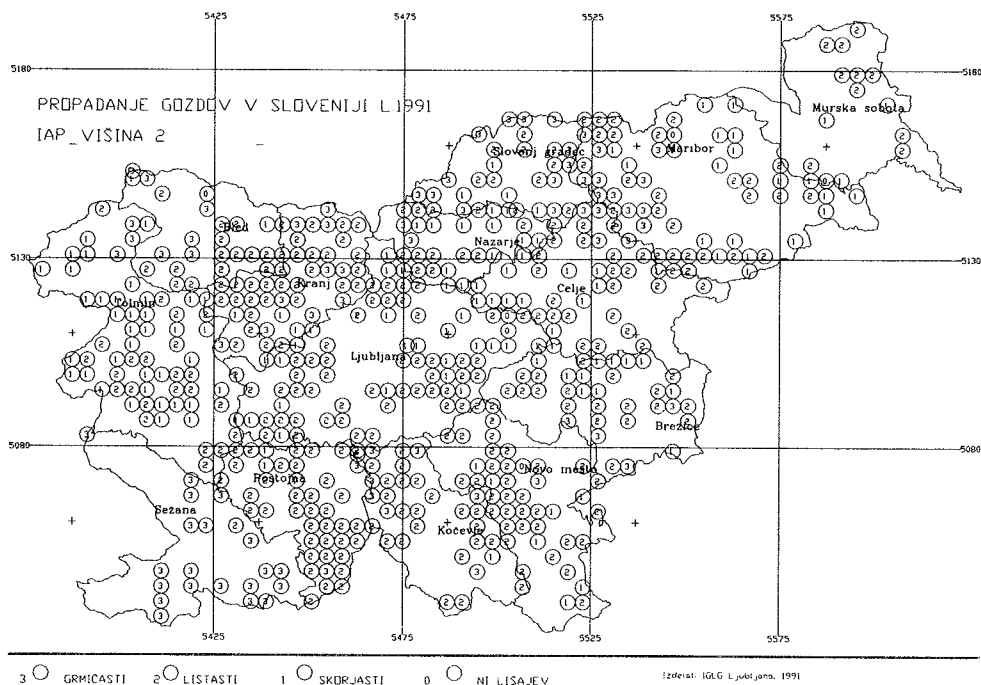


Slika. 7b: Pregled razširjenosti treh osnovnih lišajskih tipov (0 - ni lišajev, 1 - samo skorjasti lišaji, 2 - skorjasti in listasti, 3 - skorjasti, listasti in grmičasti lišaji) ob popisu propadanja gozdov I. 1991. Upoštevan je popis na vseh drevesnih vrstah:

- prikaz stanja na dnoščih debel in koreničniku;

Fig. 7b: Overview of the distribution of the three major lichen thallus types (0- no lichens, 1 - only crustose lichens, 2 - crustose and foliose, 3 - crustose, foliose and fruticose thallus types) at forest die-back inventory in 1991. Lichen thallus type observation on all tree species is included:

- distribution on a tree trunk base and butroot;

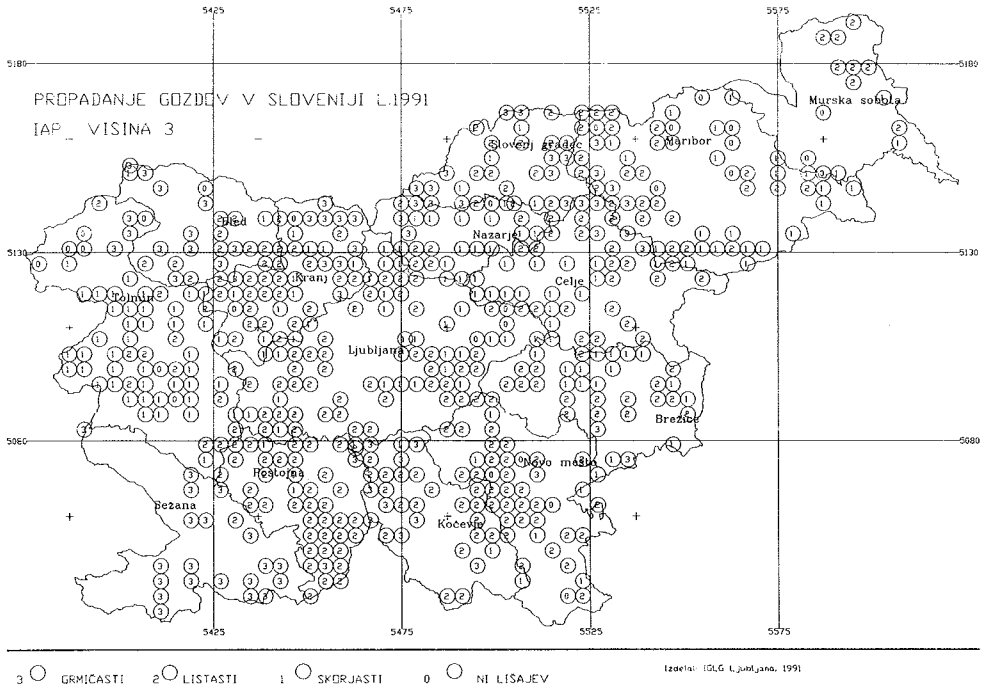


Slika. 7c: Pregled razširjenosti treh osnovnih lišajskih tipov (0 - ni lišajev, 1 - samo skorjasti lišaji, 2 - skorjasti in listasti, 3 - skorjasti, listasti in grmičasti lišaji) ob popisu propadanja gozdov I. 1991. Upoštevan je popis na vseh drevesnih vrstah:

- prikaz stanja na deblih v prsni višini;

Fig. 7c: Overview of the distribution of the three major lichen thallus types (0- no lichens, 1 - only crustose lichens, 2 - crustose and foliose, 3 - crustose, foliose and fructicose thallus types) at forest die-back inventory in 1991. Lichen thallus type observation on all tree species is included:

- distribution on tree trunks at breast height;

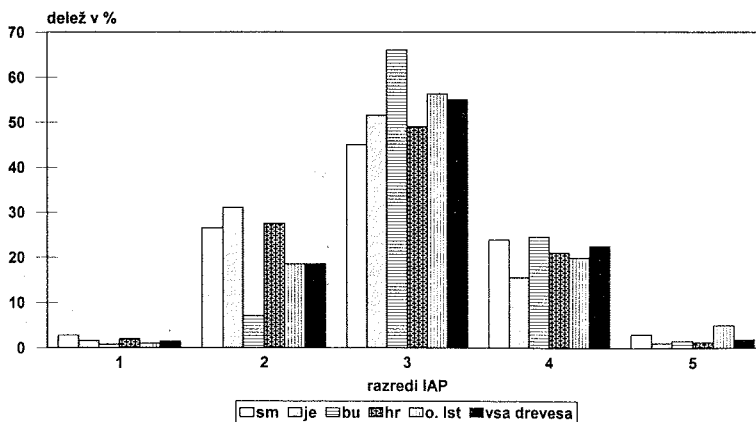


Slika. 7d: Pregled razširjenosti treh osnovnih lišajskih tipov (0 - ni lišajev, 1 - samo skorjasti lišaji, 2 - skorjasti in listasti, 3 - skorjasti, listasti in grmičasti lišaji) ob popisu propadanja gozdov I. 1991. Upoštevan je popis na vseh drevesnih vrstah:

- prikaz stanja v krošnjah.

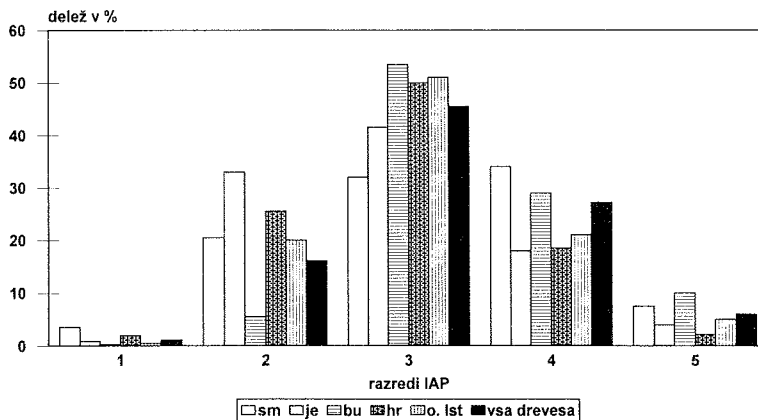
Fig. 7d: Overview of the distribution of the three major lichen thallus types (0 - no lichens, 1 - only crustose lichens, 2 - crustose and foliose, 3 - crustose, foliose and fructicose thallus types) at forest die-back inventory in 1991. Lichen thallus type observation on all tree species is included:

- distribution on tree crowns.



Slika. 8a: Odstotna razdelitev opazovanih dreves glede na stanje epifitskega lišajskega rastišča, opredeljena z razredi IAP ob popisu propadanja gozdov I. 1991:
- prikaz stanja za dnošča debel in koreničnik;

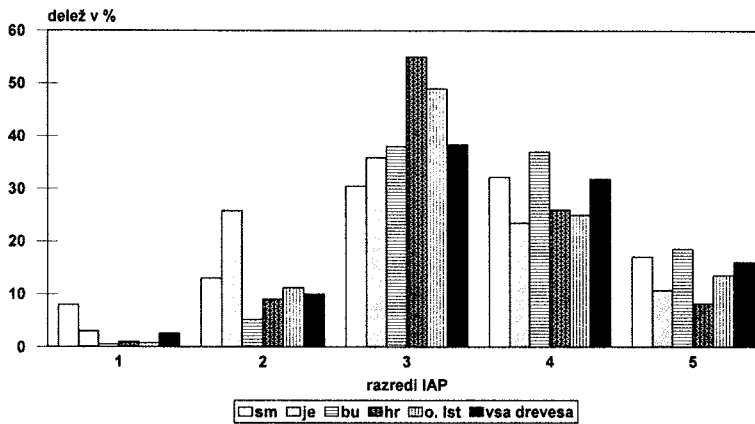
Fig. 8a: Distribution of observed trees according to the condition of epiphytic lichen vegetation, determined by classes of IAP at forest die-back inventory in 1991 expressed as a percentage:
- presentation for a tree trunk base and butroot;



Slika. 8b: - prikaz stanja za debla na prsni višini;

Fig. 8b: - presentation for tree trunks at breast height;

Okrajšave / Abbreviations: sm = *Picea abies* L./ Karst.; je = *Abies alba* Mill.;
bu = *Fagus sylvatica* L., *Carpinus betulus* L.; hr = *Quercus* ssp. L., *Castanea* Mill.,
Ostrya Scop.; o. lst = ostali listavci / other broadleaves; vsa drevesa = all trees



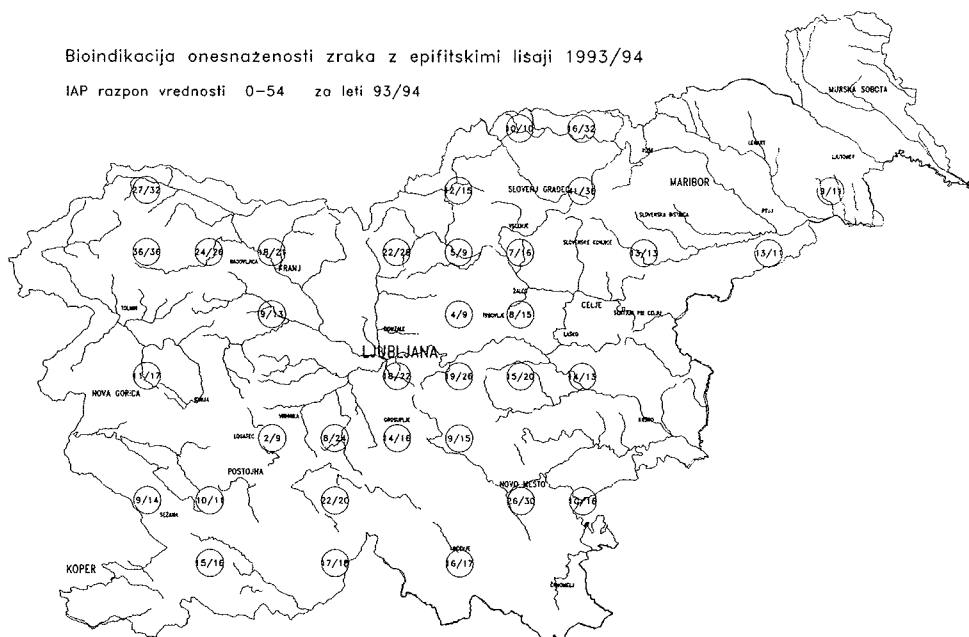
Slika. 8c: Odstotna razdelitev opazovanih dreves glede na stanje epifitskega lišajskega rastišča, opredeljena z razredi IAP ob popisu propadanja gozdov l. 1991:

- prikaz stanja za krošnje.

Fig. 8c: Distribution of observed trees according to the condition of epiphytic lichen vegetation, determined by classes of IAP at forest die-back inventory in 1991 expressed as a percentage:

- presentation for tree crowns.

Okrajšave / Abbreviations: sm = *Picea abies* (L.) Karst.; je = *Abies alba* Mill.; bu = *Fagus sylvatica* L., *Carpinus betulus* L.; hr = *Quercus* ssp. L., *Castanea* Mill., *Ostrya* Scop.; o.lst = other broadleaves; vsa drevesa = all trees



Slika. 9a: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskih lišajev ob popisih propadanja gozdov v letih 1993 in 1994. Prikazane so vrednosti IAP za cela drevesa:

- primerjava stanja med letoma 1993 in 1994 za vse drevesne vrste;

Fig. 9a: Presentation of the air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation at forest die-back inventories in 1993 and 1994. Absolute values of IAP are presented for whole trees:

- *comparison of the situation between 1993 and 1994, regardless tree species;*



Slika. 9b: Prikaz stanja kakovosti zraka na podlagi kartiranja epifitskih lišajev ob popisih propadanja gozdov v letih 1993 in 1994. Prikazane so vrednosti IAP za cela drevesa:

- primerjava stanja med letoma 1993 in 1994 za smreko in bukev.

Fig. 9b: Presentation of the air quality by the mapping of epiphytic lichen vegetation at forest die-back inventories in 1993 and 1994. Absolute values of IAP are presented for whole trees:

- comparison of the situation between 1993 and 1994 for the observation on the Norway spruce and common beech.