

GDK 160.201:160.26:425.1:181.45:(497.12)

BIOINDIKACIJA ONESNAŽENOSTI GOZDOV Z ŽVEPLOM NA PODLAGI VSEBNOSTI ŽVEPLA V ASIMILACIJSKIH DELIH GOZDNEGA DREVJA

Janko KALAN * , Polona KALAN ** , Primož SIMONČIČ ***

Izvleček

Po izkušnjah raziskav, ki so bile izvedene v letih 1985-1993 na točkah osnovne bioindikacijske mreže (16 x 16 km), sklepamo, da je bioindikacija onesnaženosti zraka z žveplovim dioksidom po metodi analize vsebnosti žvepla v iglicah smreke, črnega in rdečega bora zelo primerna in tudi dovolj zanesljiva za ugotavljanje ogroženosti gozdov zaradi žveplovega dioksida. Gozdovi na območju Alp, Trnovskega gozda, Snežnika, Javornika, širšega kočevsko-ribniškega območja in Gorjancev so najmanj obremenjeni z žveplom. Najbolj obremenjeni gozdovi pa so na območju Koroške, Celja, Ljubljane, Zasavja, Maribora in Prekmurja. Vsebnost žvepla se je v zadnjih letih povečala na bmočjih ob meji z Italijo, Hrvaško in Madžarsko ter v bližini močnih emisijskih virov v notranjosti Slovenije.

Ključne besede: bioindikacija, analiza, iglice, žveplo, ovrednotenje, Slovenija

BIOINDICATION OF FOREST POLLUTION WITH SULPHUR BASED ON SULPHUR CONTENT IN ASSIMILATION PARTS OF FOREST TREES

Abstract

Based on the research carried out in 1985-1993 on the points of the basic bioindication network (16 x 16 km) it can be concluded that the bioindication of air pollution with sulphur dioxide by the method of sulphur content analysis in the needles of the Norway spruce, Scots pine, black pine is highly convenient and reliable for the establishing of forest endangerment due to sulphur. The forests in the region of the Alps, Trnovski gozd, Snežnik, Javornik, the broader Kočevje - Ribnica region and the Gorjanci are the least burdened by sulphur. The greatest burden was established in Koroško, in the region of Celje, Ljubljana, the region along the Sava river, in the vicinity of Maribor and in the Prekmurje. In the last five years the content of sulphur has increased in the zones along the border with Italy, Croatia and Hungary and the vicinity of strong emission sources in the central part of Slovenia.

Key words: bioindication, analysis, needles, sulphur, evaluation, Slovenia

* Dipl. inž. gozd., Gozdarski Inštitut Slovenije, 61000 Ljubljana, Večna pot 2, SLO

** Dipl. inž. kem., Gozdarski Inštitut Slovenije, 61000 Ljubljana, Večna pot 2, SLO

*** Mag., dipl. inž. gozd., Gozdarski Inštitut Slovenije, 61000 Ljubljana, Večna pot 2, SLO

KAZALO

1	UVOD	87
2	METODA BIOINDIKACIJE ŽVEPLA NA PODLAGI ANALIZE VSEBNOSTI ŽVEPLA V RASTLINSKIH TKIVIH	87
2.1	NABIRANJE VZORCEV ZA ANALIZO	88
2.2	LABORATORIJSKO DELO	89
2.3	OVREDNOTENJE REZULTATOV ANALIZE	90
3	OCENA OGROŽENOSTI GOZDOV ZARADI ZRAKA, KI JE ONESNAŽEN Z ŽVEPLOM, NA PODLAGI PODATKOV RAZISKAV NA OSNOVNI BIOINDIKACIJSKI MREŽI (16 x 16 km)	93
3.1	REZULTATI ANALIZE VZORCEV, NABRANIH JESENI 1991, 1992 IN 1993	93
3.2	OCENA OBREMENJENOSTI GOZDOV SLOVENIJE NA PODLAGI REZULTATOV RAZISKAV BIOINDIKACIJE ŽVEPLA ZA OBDOBJE 1985-1993	104
4	UGOTOVITVE	109
5	POVZETEK	110
6	SUMMARY	112
7	VIRI	114

1 UVOD

Pri novih oblikah poškodovanosti gozdnega drevja, ki so razširjene na velikih površinah, govorimo o večvzročnem pojavu (COWLING 1988, ŠOLAR 1991). Med mogoče vzroke poškodb gozdnega drevja prištevamo tudi onesnaženost gozdov z žveplom. Zrak, onesnažen z žveplovim dioksidom, lahko močno poškoduje gozdno drevje in povzroči njegovo propadanje. Tovrstne poškodbe so posebej izrazite blizu virov onesnaževanja zraka z žveplovim dioksidom. Visoke koncentracije SO_2 v zraku vplivajo na zmanjšanje fotosinteze, preprečujejo nastajanje ATP (adenozintrifosfat) in povzročajo še druge motnje. Akutne poškodbe rastlin se pojavijo, kadar nekajurna koncentracija SO_2 v zraku preseže 0.5 mg m^{-3} , ali če so koncentracije za daljše obdobje višje od $0.15 \text{ mg SO}_2 \text{ m}^{-3}$. Tovrstne poškodbe so posebej izrazite blizu virov onesnaževanja zraka z žveplovim dioksidom.

Onesnaženost zraka lahko ugotavljamo na več načinov. Lahko jo natančno merimo z aparaturami, ugotavljamo z metodo bioindikacije z epifitskimi lišaji (BATIČ 1991, BATIČ, KRALJ 1989), z metodo integriranega merjenja žveplovega dioksida v zraku s svinčevimi indikacijskimi svečicami (KALAN, KALAN, 1994) ali pa z metodo bioindikacije na podlagi vsebnosti žvepla v rastlinskih tkivih.

2 METODA BIOINDIKACIJE ŽVEPLA NA PODLAGI ANALIZE VSEBNOSTI ŽVEPLA V RASTLINSKIH TKIVIH

Žveplo je eno od nujno potrebnih hranil za rastline. Sprejem žvepla v rastline poteka preko korenin v obliki sulfatnih ionov (SO_4^{2-}) in preko listnih rež kot SO_2 (FIEDLER 1985).

Žveplo se pojavlja v rastlinah vezan v organske molekule (predvsem beljakove) in anorganske molekule, pretežno v sulfatni obliki (BAULE 1967). Večji del organsko vezanega žvepla v rastlinah je v aminokislinah, ki so glavni sestavni

deli proteinov. Žveplo vsebuje le tri aminokisljine (cistein, cistin in metionin). Koncentracija žvepla v listju in iglicah predstavlja 7 do 10 % koncentracije dušika (SCHULZE 1989).

V listju in iglicah dreves, ki rastejo v okolju, kjer so v zraku visoke vsebnosti SO², vsebujejo več žvepla kot tisti iz čistejšega okolja. Starejši deli rastlin navadno vsebujejo več skupnega žvepla kot mlajši deli. Iz povečane vsebnosti skupnega žvepla v rastlinskih delih oziroma na njih lahko sklepamo o onesnaženosti zraka z žveplovim dioksidom. Za laboratorijsko preiskavo najpogosteje uporabljamo iglice oz. listje gozdnega drevja.

Za bioindikacijo žvepla v gozdu so najbolj primerni zimzeleni iglavci. Pri njih ostajajo iglice več let na vejah. Zaradi dokaj pravilnega razraščanja vej je ločevanje različno starih iglic razmeroma preprosto. Tako lahko za analizo zelo skrbno nabereмо vzorce enako starih delov rastline. Kot glavno bioindikacijsko vrsto uporabljamo smreko (*Picea abies* (L.) Karst), ki je v Sloveniji zelo razširjena. V krajih, kjer smreka ne uspeva, pa izbiramo druge drevesne vrste. Tako v priobalno-kraškem območju za analizo nabiramo iglice črnega bora (*Pinus nigra* Arnold), v notranjosti Slovenije iglice rdečega bora (*Pinus silvestris* L.), nad višinsko gozdno mejo pa iglice ruševja (*Pinus mughus* Scop.). Le v zelo redkih primerih ne bomo našli primernih iglavcev za vzorčenje. Takrat si bomo morali pomagati z vzorci listja listnatih gozdnih dreves.

2.1 NABIRANJE VZORCEV ZA ANALIZO

Zemljišče, na katerem nabiramo vzorce za analizo vsebnosti žvepla, imenujemo bioindikacijska točka. Na vsaki bioindikacijski točki izberemo najmanj po dve drevesi, s katerih nabiramo vzorce. Izbrana drevesa morajo biti čim bolj vitalna, z dobro osvetljenim zgornjim delom krošnje (nadržala ali vsaj sorasla drevesa).

Vzorce za laboratorijsko analizo nabiramo iz dobro osvetljenih delov drevesne krošnje. Dogovorili smo se, da pri iglavcih jemljemo vzorce iz vej sedmega drevesnega vretena (KNABE, 1984). Pri tem je treba paziti, da so veje res stare

sedem let in da nas pri iskanju ne zavedejo vretena drugega reda. Izbira je pravilna, če ima veja sedem različno starih poganjkov (REEMTSMA 1964, KALAN 1989).

Najbolj primeren čas za vzorčenje iglic so pozni jesenski in prvi zimski meseci, ko vegetacija miruje (REEMTSMA 1964, STEFAN 1986, BGBI 1984, KNABE 1984, Foliar Expert Pannel, 1993).

Za analizo nabiramo vzorce enoletnih in dvoletnih iglic.

2.2 LABORATORIJSKO DELO

Iglice v laboratoriju posušimo in jim odstranimo primesi. Nato jih zmeljemo in presejemo. Homogenizirane vzorce shranimo v plastičnih prahovkah.

Tako pripravljenim vzorcem določamo skupno vsebnost žvepla. Analiziramo z aparaturo SULMHOMAT 12-ADG (WÖSTHOFF 1986, KALAN 1989). Sestavljajo jo trije deli: naprava za podajanje vzorcev, zgorevalna peč in merilni del. Z napravo, ki zagotavlja enakomeren in vedno enako hiter pomik, uvajamo vzorec v zgorevalno peč. Vzorec v peči zgori. Ob dovajanju kisika se žveplo pretvori v žveplov dioksid (SO_2). Žveplov dioksid skupaj z ostalimi plini prehaja v merilni del aparature, kjer se spira v reakcijski raztopini. Pri tem se spreminja elektroprevodnost raztopine. Naprava preračunava količino žvepla na podlagi spremenjene prevodnosti reakcijske raztopine (konduktometrijska analizna metoda).

Pravilnost izvajanja laboratorijskih analiz oz. točnost analiznih izsledkov stalno preverjamo. Vsak dan jih primerjamo z rezultati analiz standardnih vzorcev smrekovih iglic, ki smo jih sami pripravili, občasno pa s standardnimi vzorci smrekovih iglic oz. bukovega listja, ki smo jih dobili od mednarodne komisije za standardizacijo (Community Bureau of Reference, BCR). Sodelujemo tudi v mednarodnih krožnih in primerjalnih analizah (RINGANALYSE 1982, Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung; IUFRO

samples for chemical analysis 1987; primerjalna analiza IGLG - FBVA 1990; Intercalibration exercise of methods for forest soil analysis, ECE ICP 1992; IUFRO Interlaboratory Sample Exchange 1993). Tako zagotavljamo, da so analizni rezultati vedno dovolj točni in zato med seboj primerljivi.

2.3 OVREDNOTENJE REZULTATOV ANALIZE

Ker se v rastlinskih tkivih kopičijo žveplove spojine, lahko na podlagi povečane vsebnosti žvepla sklepamo o osnesnaženosti zraka z žveplovim dioksidom v okolici bioindikacijskih točk oziroma o ogroženosti gozdnega drevja.

V literaturi je naštetih veliko različnih vrednosti za celokupno žveplo v enoletnih iglicah. Te vrednosti so kriterij za ocenjevanje obremenjenosti smreke z SO_2 . Hüttel našteva npr. kritične vrednosti žvepla (oz. zgornjo mejo vsebnosti žvepla) različnih raziskovalcev, od 0.11% skupnega žvepla (Mosandl, Burschel, Stefan) do 0.19 % (Knabe) in več 0.21 % (Evers, Scoepfer). Razen celokupne vsebnosti žvepla pa je pomembno tudi razmerje med skupnim dušikom in žveplom v iglicah (HÜTTEL 1992).

Na gozdarskem inštitutu smo mejne vrednosti za presojo ogroženosti gozdnega drevja zaradi izpostavljenosti žveplovemu dioksidu prevzeli od Avstrijcev. Kot zgornjo mejo vsebnosti žvepla predpisujejo za smreko 0,11 % skupnega žvepla za enoletne, 0,14 % za dvoletne in 0,17 % za triletne iglice, za bukev pa 0,08 % žvepla v listju (BGBI 1984). Na podlagi teh mejnih vrednosti so podrobneje izdelali metodo za klasifikacijo vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih smrekovih iglicah (STEFAN 1990). Po teh mejnih vrednostih, ki so sicer postavljene za smreko, klasificiramo tudi vsebnost žvepla v iglicah rdečega in črnega bora, medtem ko za druge drevesne vrste mejne vrednosti za smreko ne veljajo.

Pri primerjanju izsledkov raziskav smo opazili, da se analizni rezultati, ki jih dobimo z napravo SULMHOMAT 12 ADG nekoliko razlikujejo od tistih, ki jih ugotavljajo z analizno napravo LECO. Takšne naprave za določevanje

skupnega žvepla uporabljajo v Avstriji in v Hrvaški. Zato smo izvedli primerjalno analizo (KALAN, FÜRST, PEZDIRC 1990) in na podlagi njenih rezultatov priredili mejne vrednosti za klasifikacijo (Tabela 1). Tako smo ugotovili, da je zgornja meja vsebnosti žvepla, določena z aparaturom SULMHOMAT 12 ADG za enoletne smrekove iglice 0,124 %, za dvoletne iglice pa 0,150 %.

Povprečne analize rezultate o vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah za posamezno bioindikacijsko točko najprej razvrstimo v ustrezne razrede po preglednici 1.

Preglednica 1: Prilagojene mejne vrednosti za klasifikacijo vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih smrekovih iglicah, določene z aparaturom SULMHOMAT 12-ADG

Table 1: *Adopted marginal levels required for the classification of the sulphur contents in one- and two-year spruce needles determinate by the SULMHOMAT 12-ADG apparatus*

Razred vsebnosti žvepla Sulphur content class	Vsebnost žvepla (S) v % Sulphur contents (S) in %	
	enoletne iglice one-year needles	dvoletne iglice two-year needles
1	do 0,097	do 0,114
2	0,098 - 0,123	0,115 - 0,149
3	0,124 - 0,158,	0,150 - 0,192
4	nad 0,158	nad 0,192

Skupni razred vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic določimo na podlagi seštevka razreda vsebnosti žvepla v enoletnih iglicah in razreda vsebnosti žvepla v dvoletnih iglicah. Dobljeno vsoto v tabeli 2 primerjamo z vrednostmi za skupni razred vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic.

Preglednica 2: Mejne vrednosti za skupni razred vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic

Table 2: Marginal levels for total classes of sulphur contents in one- and two-year needles

Skupni razred vsebnosti žvepla Total sulphur content class	Vsota razredov vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic Sum total of classes of sulphur contents in one- and two-year needles
1	2
2	3 in 4
3	5 in 6
4	7 in 8

Smrekova drevesa, ki so v 1. skupnem razredu vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic, imajo v sestavinah iglic naravno količino žvepla. Pri smrekah 2. razreda je naravna vsebnost žvepla nekoliko povečana zaradi zmerne imisije žvepla. Pri tej imisiji še ne pričakujemo poškodb gozdnega drevja zaradi žvepla. Smreke, katerih vzorce uvrščamo v 3. razred, rastejo v območju povečane imisije. Na drevju, ki raste v tem območju, se že lahko pojavljajo poškodbe zaradi žvepla. Na prostoru, na katerem so analizirani vzorci smrekovih iglic razporejeni v 4. razred, ja drevje v območju povečane imisije, v katerem so poškodbe zaradi žvepla pogostejše. (STEFAN 1986).

To klasifikacijsko uporabljamo še za črni in rdeči bor, ker imajo njune iglice približno enako naravno vsebnost žvepla.

V nekaterih prikazih uporabljamo relativne skupne razrede vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic. Te dobimo tako, da posamezne bioindikacijske točke razvrstimo po rastočih vsebnostih žvepla v iglicah. Nato točke razdelimo v pet enako velikih razredov tako, da je v prvem razredu petina točk z najnižjo, v petem razredu pa petina točk z najvišjo vsebnostjo žvepla.

3 OCENA OGROŽENOSTI GOZDOV ZARADI ZRAKA, KI JE ONESNAŽEN Z ŽVEPLOM, NA PODLAGI PODATKOV RAZISKAV NA OSNOVNI BIOINDIKACIJSKI MREŽI (16 x 16 km).

Do l. 1993 smo vsako leto določali vsebnost žvepla na točkah osnovne bioindikacijske mreže. (16 x 16 km). Točke naše mreže so povezane s točkami enake mreže v sosednji Avstriji. To mrežo so sodelavci Gozdarskega inštituta Slovenije začeli postavljati l. 1985, vzpostavljena pa je bila l. 1986. Od takrat na njej vsako leto zbiramo vzorce za analizo, jih analiziramo in analizne rezultate ovrednotimo (KALAN, ŠOLAR 1987, KALAN 1988, KALAN 1989, KALAN 1990, KALAN 1991).

3.1 REZULTATI ANALIZE VZORCEV, NABRANIH JESENI L. 1991, 1992 IN 1993

V zadnjih raziskavah smo obravnavali vzorce, ki so bili nabrani jeseni l. 1991, 1992 in 1993, da bi ocenili bioindikacijo žvepla na osnovni bioindikacijski mreži Slovenije za l. 1991, 1992 in 1993. Rezultati analiz so prikazani v tabeli 3 ter na kartah 1 do 6.

Poleg koordinat posameznih bioindikacijskih točk tabela 3 vsebuje še podatke o bioindikacijski drevesni vrsti, povprečni vsebnosti skupnega žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah, izračunani za dve drevesi ter o skupnem vsebnostnem in skupnem relativnem razredu vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah.

Preglednica 3: Podatki o vsebnosti žvepla v iglicah na točkah bioindikacijske mreže (16 x 16 km). Stanje l. 1991

Table 3: Datas of sulphur contents in needles on bioindication network plots (16 x 16 km). Status for year 1991

Koor- dinata Coor- dinate	Drev. vrsta Tree spec.	Vsebnost žvepla Sulphur content		Skupni vsebn. razred Total cont. class	Skupni relat. razred Relat. cont. class	Koor- dinata Coor- dinate	Drev. vrsta Tree spec.	Vsebnost žvepla Sulphur content		Skupni vsebn. razred Total cont. class	Skupni relat. razred Relat. cont. class
		1 let 1 year %	2 let 2 year %					1 let. 1 year %	2 let 2 year %		
A 4	sm	0.137	0.118	3	3	H 4	sm	0.121	0.140	2	4
B 3	sm	0.102	0.115	2	2	H 5	sm	0.133	0.163	3	5
B 4	sm	0.109	0.099	2	1	H 6	sm	0.126	0.124	3	3
B 5	sm	0.132	0.140	3	4	H 7	sm	0.142	0.164	3	5
B 6	sm	0.133	0.129	3	4	H 8	sm	0.106	0.096	2	1
B 7	č.bo.	0.113	0.112	2	2	H 9	sm	0.106	0.111	2	2
B 10	č.bo.	0.114	0.110	2	2	H 10	sm	0.116	0.138	2	3
C 3	sm	0.108	0.113	2	2	I 2	sm	0.155	0.160	3	5
C 4	sm	0.105	0.107	2	1	I 3	sm	0.159	0.169	4	5
C 5	sm	0.103	0.099	2	1	I 4	sm	0.139	0.152	3	5
C 6	sm	0.112	0.111	2	2	I 5	sm	0.142	0.164	3	5
C 7	sm	0.126	0.141	3	4	I 6	sm	0.130	0.137	3	4
C 8	č.bo.	0.107	0.110	2	2	I 7	sm	0.118	0.112	2	2
C 9	č.bo.	0.135	0.125	3	4	I 8	sm	0.088	0.094	1	1
C 10	č.bo.	0.103	0.097	2	1	I 9	sm	0.106	0.112	2	2
D 3	sm	0.098	0.092	2	1	I 10	sm	0.124	0.135	3	4
D 4	sm	0.096	0.108	1	1	J 2	sm	0.137	0.138	3	5
D 5	sm	0.109	0.103	2	1	J 3	sm	0.142	0.145	3	5
D 6	sm	0.096	0.086	1	1	J 4	sm	0.166	0.154	4	5
D 7	sm	0.133	0.153	3	5	J 5	sm	0.131	0.140	3	4
D 8	č.bo.	0.098	0.104	2	1	J 6	sm	0.137	0.147	3	5
D 9	sm	0.126	0.120	3	3	J 7	sm	0.130	0.119	3	3
E 4	sm	0.120	0.127	2	3	J 8	sm	0.115	0.119	2	2
E 5	sm	0.103	0.103	2	1	J 9	sm	0.139	0.155	3	5
E 6	sm	0.115	0.102	2	2	J 10	sm	0.106	0.111	2	2
E 7	sm	0.110	0.109	2	2	K 2	sm	0.133	0.141	3	5
E 8	sm	0.111	0.106	2	2	K 3	sm	0.108	0.103	2	2
E 9	č.bo.	0.099	0.097	2	1	K 4	sm	0.154	0.179	3	5
F 4	sm	0.106	0.109	2	1	K 5	sm	0.130	0.143	3	4
F 5	sm	0.134	0.140	3	4	K 6	sm	0.116	0.123	2	3
F 6	sm	0.127	0.133	3	4	K 7	sm	0.118	0.117	2	3
F 7	sm	0.090	0.100	1	1	L 2	sm	0.142	0.150	3	5
F 8	sm	0.118	0.121	2	3	L 3	sm	0.139	0.132	3	4
F 9	sm	0.128	0.125	3	3	L 4	sm	0.122	0.122	2	3
G 3	sm	0.121	0.118	2	3	L 6	sm	0.121	0.126	2	3
G 4	sm	0.100	0.111	2	2	M 2	sm	0.130	0.129	3	4
G 5	sm	0.119	0.117	2	3	M 3	sm	0.116	0.121	2	3
G 6	sm	0.136	0.133	3	4	M 4	sm	0.103	0.108	2	1
G 7	sm	0.092	0.099	1	1	N 1	sm	0.119	0.145	2	4
G 8	sm	0.119	0.118	2	3	N 3	sm	0.117	0.117	2	3
G 9	sm	0.111	0.122	2	2	O 1	r.bo.	0.141	0.135	3	5
H 2	sm	0.141	0.150	3	5	O 2	sm	0.134	0.125	3	4
H 3	sm	0.130	0.144	3	4	P 3	r.bo.	0.158	0.000	3	5

Preglednica 3: Podatki o vsebnosti žvepla v iglicah na točkah bioindikacijske mreže (16 x 16 km). Stanje I. 1992 - nadaljevanje

Table 3: *Datas of sulphur contents in needles on bioindication network plots (16 x 16 km). Status for year 1992 - continued*

Koor- dinata	Drev. vrsta	Vsebnost žvepla Sulphur content		Skupni vsebn. razred	Skupni relat. razred	Koor- dinata	Drev. vrsta	Vsebnost žvepla Sulphur content		Skupni vsebn. razred	Skupni relat. razred
		1 let 1 year %	2 let 2 year %					Total cont. class	Relat. cont. class		
A 4	sm	0.104	0.106	2	2	H 4	sm	0.113	0.120	2	2
B 3	sm	0.142	0.136	3	5	H 5	sm	0.110	0.136	2	4
B 4	sm	0.105	0.098	2	2	H 6	sm	0.097	0.116	2	2
B 5	sm	0.103	0.115	2	2	H 7	sm	0.136	0.151	3	5
B 6	sm	0.117	0.122	2	4	H 8	sm	0.086	0.090	1	1
B 7	č.bo.	0.115	0.121	2	4	H 9	sm	0.102	0.103	2	1
B 10	č.bo.	0.102	0.111	2	2	H 10	sm	0.089	0.089	1	1
C 3	sm	0.084	0.092	1	1	I 2	sm	0.129	0.137	3	5
C 4	sm	0.102	0.095	2	1	I 3	sm	0.150	0.170	3	5
C 5	sm	0.084	0.086	1	1	I 4	sm	0.134	0.189	3	5
C 6	sm	0.108	0.120	2	3	I 5	sm	0.147	0.165	3	5
C 7	sm	0.124	0.113	2	4	I 6	sm	0.122	0.126	2	4
C 8	č.bo.	0.106	0.113	2	3	I 7	sm	0.103	0.108	2	2
C 9	č.bo.	0.126	0.123	3	5	I 8	sm	0.102	0.118	2	3
C 10	č.bo.	0.101	0.091	2	1	I 9	sm	0.102	0.097	2	1
D 3	sm	0.124	0.125	3	4	I 10	sm	0.111	0.106	2	3
D 4	sm	0.104	0.112	2	2	J 2	sm	0.108	0.121	2	3
D 5	sm	0.102	0.132	2	3	J 3	sm	0.123	0.135	2	5
D 6	sm	0.101	0.092	2	1	J 4	sm	0.119	0.125	2	4
D 7	sm	0.126	0.141	3	5	J 5	sm	0.134	0.150	3	5
D 8	č.bo.	0.104	0.109	2	2	J 6	sm	0.112	0.117	2	3
D 9	sm	0.119	0.102	2	3	J 7	sm	0.121	0.122	2	4
E 4	sm	0.126	0.128	3	5	J 8	sm	0.105	0.107	2	2
E 5	sm	0.104	0.112	2	3	J 9	sm	0.119	0.117	2	4
E 6	sm	0.102	0.102	2	1	J 10	sm	0.092	0.092	1	1
E 7	sm	0.102	0.105	2	2	K 2	sm	0.124	0.135	3	5
E 8	sm	0.103	0.111	2	2	K 3	sm	0.136	0.146	3	5
E 9	č.bo.	0.122	0.116	2	4	K 4	sm	0.108	0.128	2	4
F 4	sm	0.093	0.100	1	1	K 5	sm	0.110	0.118	2	3
F 5	sm	0.124	0.117	3	4	K 6	sm	0.114	0.128	2	4
F 6	sm	0.146	0.176	3	5	K 7	sm	0.118	0.106	2	3
F 7	sm	0.113	0.104	2	3	L 2	sm	0.111	0.131	2	4
F 8	sm	0.102	0.106	2	2	L 3	sm	0.119	0.127	2	4
F 9	sm	0.108	0.124	2	3	L 4	sm	0.118	0.122	2	4
G 3	sm	0.114	0.109	2	3	L 6	sm	0.108	0.105	2	2
G 4	sm	0.097	0.093	1	1	M 2	sm	0.103	0.105	2	2
G 5	sm	0.136	0.134	3	5	M 3	sm	0.098	0.097	2	1
G 6	sm	0.132	0.144	3	5	M 4	sm	0.102	0.098	2	1
G 7	sm	0.104	0.105	2	2	N 1	sm	0.105	0.119	2	3
G 8	sm	0.098	0.104	2	1	N 3	sm	0.120	0.114	2	3
G 9	sm	0.098	0.097	2	1	O 1	r.bo.	0.129	0.126	3	5
H 2	sm	0.113	0.107	2	3	O 2	sm	0.104	0.104	2	2
H 3	sm	0.123	0.140	2	5	P 3	r.bo.	0.119	0.128	2	4

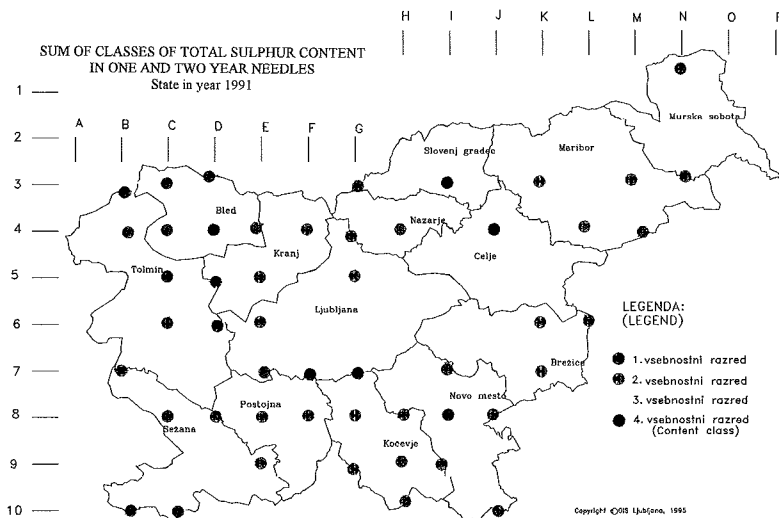
Preglednica 3: Podatki o vsebnosti žvepla v iglicah na točkah bioindikacijske mreže (16 x 16 km). Stanje l. 1993 - nadaljevanje

Table 3: Datas of sulphur contents in needles on bioindication network plots (16 x 16 km). Status for year 1993 - continued

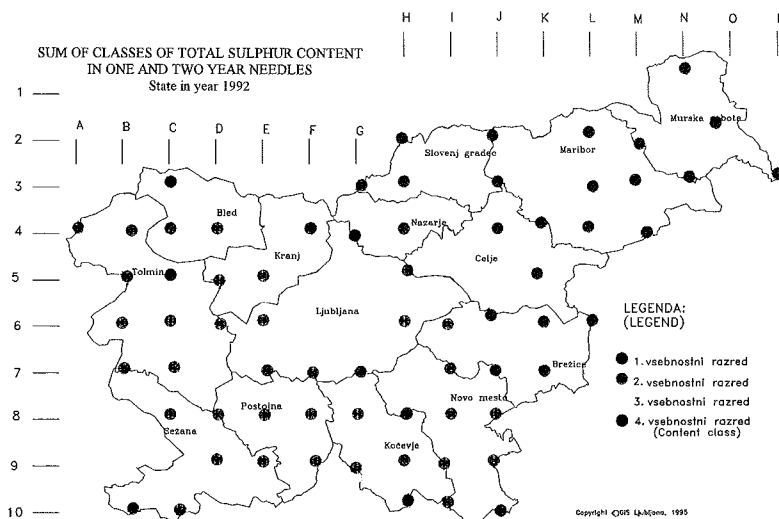
Koor- dinata	Drev. vrsta	Vsebnost žvepla Sulphur content		Skupni vsebn. razred	Skupni relat. razred	Koor- dinata	Drev. vrsta	Vsebnost žvepla Sulphur content		Skupni vsebn. razred	Skupni relat. razred
		1 let 1 year %	2 let 2 year %					1 let. 1 year %	2 let 2 year %		
Coordi- nate	Tree spec.			Total cont. class	Relat. cont. class	Coordi- nate	Tree spec.			Total cont. class	Relat. cont. class
A 4	sm	0.095	0.102	1	1	H 4	sm	0.121	0.126	2	3
B 3	sm	0.116	0.122	2	3	H 5	sm	0.129	0.141	3	4
B 4	sm	0.106	0.102	2	1	H 6	sm	0.132	0.119	3	3
B 5	sm	0.106	0.114	2	1	H 7	sm	0.151	0.145	3	5
B 6	sm	0.103	0.123	2	2	H 8	sm	0.117	0.105	2	2
B 7	č.bo.	0.141	0.130	3	5	H 9	sm	0.107	0.120	2	2
B 10	č.bo.	0.115	0.121	2	2	H 10	sm	0.123	0.107	2	2
C 3	sm	0.116	0.133	2	3	I 2	sm	0.146	0.164	3	5
C 4	sm	0.131	0.129	3	4	I 3	sm	0.167	0.167	4	5
C 5	sm	0.104	0.098	2	1	I 4	sm	0.129	0.136	3	4
C 6	sm	0.119	0.107	2	2	I 5	sm	0.132	0.162	3	5
C 7	sm	0.122	0.101	2	2	I 6	sm	0.131	0.132	3	4
C 8	č.bo.	0.117	0.139	2	3	I 7	sm	0.108	0.098	2	1
C 9	č.bo.	0.142	0.126	3	4	I 8	sm	0.129	0.121	3	3
C 10	č.bo.	0.093	0.101	1	1	I 9	sm	0.114	0.110	2	1
D 3	sm	0.124	0.145	3	4	I 10	sm	0.110	0.105	2	1
D 4	sm	0.113	0.135	2	3	J 2	sm	0.149	0.161	3	5
D 5	sm	0.130	0.140	3	4	J 3	sm	0.153	0.152	3	5
D 6	sm	0.083	0.085	1	1	J 4	sm	0.134	0.142	3	5
D 7	sm	0.113	0.128	2	3	J 5	sm	0.141	0.158	3	5
D 8	č.bo.	0.093	0.115	2	1	J 6	sm	0.120	0.116	2	3
D 9	sm	0.116	0.112	2	2	J 7	sm	0.132	0.138	3	5
E 4	sm	0.134	0.134	3	5	J 8	sm	0.130	0.131	3	4
E 5	sm	0.109	0.117	2	2	J 9	sm	0.140	0.122	3	4
E 6	sm	0.117	0.107	2	2	J 10	sm	0.091	0.094	1	1
E 7	sm	0.116	0.110	2	2	K 2	sm	0.132	0.139	3	5
E 8	sm	0.154	0.108	2	3	K 3	sm	0.106	0.094	2	1
E 9	č.bo.	0.118	0.113	2	2	K 4	sm	0.152	0.156	3	5
F 4	sm	0.107	0.108	2	1	K 5	sm	0.118	0.143	2	4
F 5	sm	0.131	0.130	3	4	K 6	sm	0.109	0.139	2	3
F 6	sm	0.126	0.157	3	5	K 7	sm	0.137	0.129	3	4
F 7	sm	0.104	0.111	2	1	L 2	sm	0.112	0.114	2	2
F 8	sm	0.137	0.126	3	4	L 3	sm	0.137	0.121	3	4
F 9	sm	0.118	0.115	2	3	L 4	sm	0.138	0.127	3	4
G 3	sm	0.124	0.124	3	3	L 6	sm	0.114	0.115	2	2
G 4	sm	0.113	0.114	2	2	M 2	sm	0.124	0.123	3	3
G 5	sm	0.137	0.121	3	4	M 3	sm	0.118	0.121	2	3
G 6	sm	0.146	0.142	3	5	M 4	sm	0.090	0.095	1	1
G 7	sm	0.116	0.103	2	1	N 1	sm	0.115	0.123	2	3
G 8	sm	0.111	0.108	2	1	N 3	sm	0.133	0.127	3	4
G 9	sm	0.116	0.112	2	2	O 1	r.bo.	0.174	0.179	4	5
H 2	sm	0.121	0.124	2	3	O 2	sm	0.115	0.117	2	2
H 3	sm	0.138	0.130	3	5	P 3	r.bo.	0.161	0.121	3	5

Legenda za drevesno vrst (Legend for tree species):

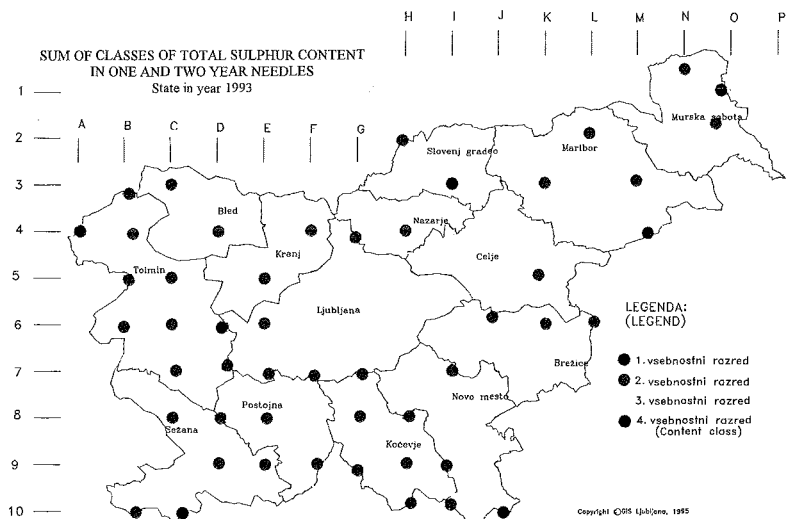
č.bo. - črni bor (*Pinus nigra*)
r.bo. - rdeči bor (*Pinus silvestris*)
sm - smreka (*Picea abies*)



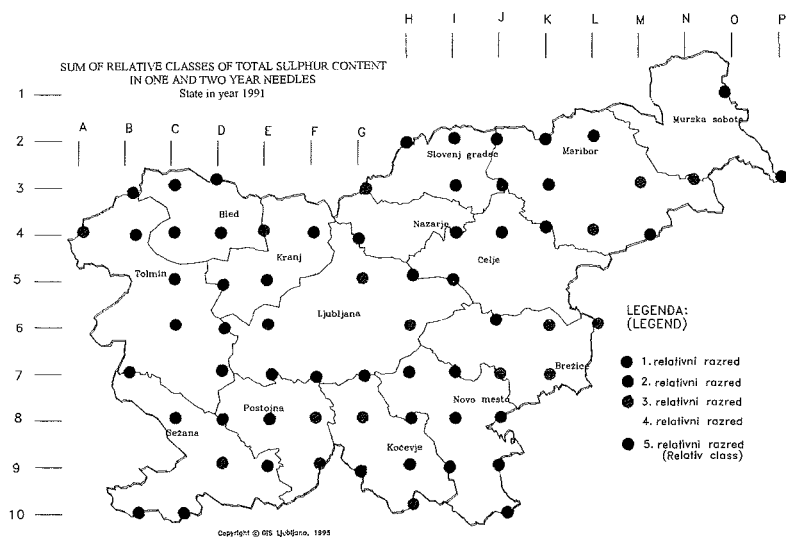
Karta 1: Pregled točk na osnovni bioindikacijski mreži po skupnih razredih vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah - stanje I. 1991



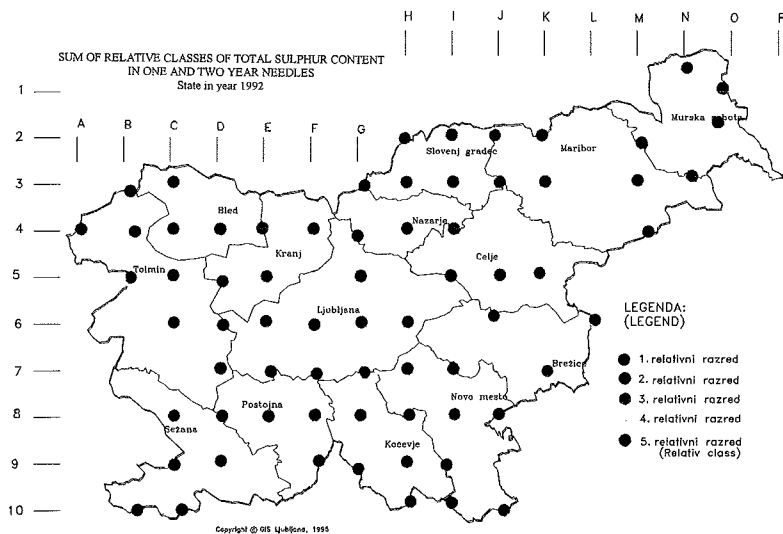
Karta 2: Pregled točk na osnovni bioindikacijski mreži po skupnih razredih vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah - stanje I. 1992



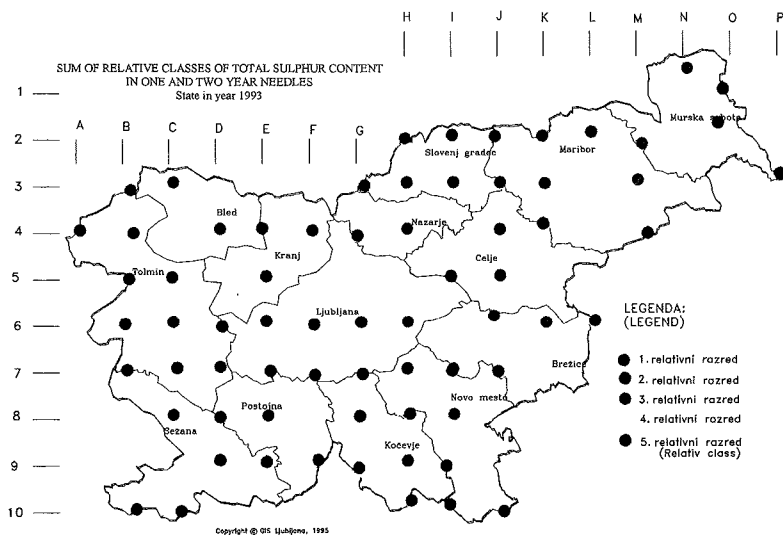
Karta 3: Pregled točk na osnovni bioindikacijski mreži po skupnih razredih vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah - stanje I. 1993



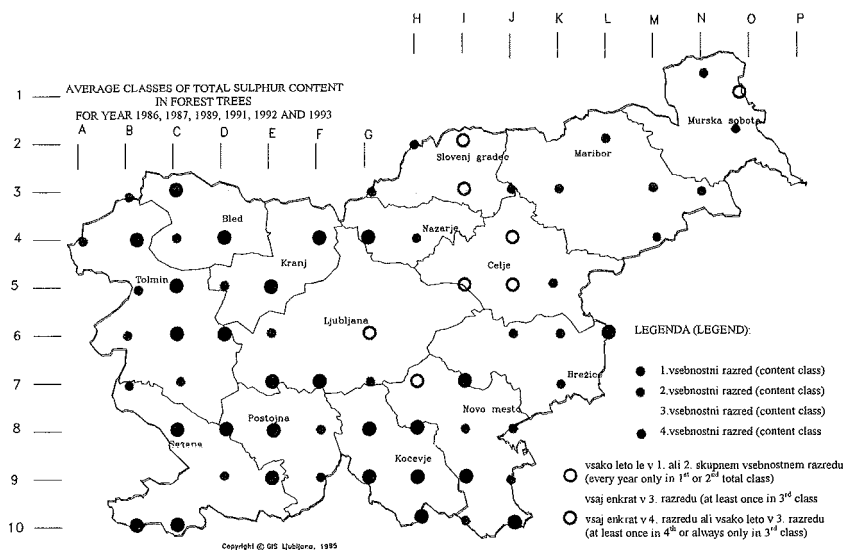
Karta 4: Pregled točk na osnovni bioindikacijski mreži po skupnih relativnih razredih vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah - stanje I. 1991



Karta 5: Pregled točk na osnovni bioindikacijski mreži po skupnih relativnih razredih vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah - stanje I. 1992



Karta 6: Pregled točk na osnovni bioindikacijski mreži po skupnih relativnih razredih vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah - stanje I. 1993



Karta 7: Skupni razredi vsebnosti žvepla v iglicah gozdnega drevja za l. 1986, 1987, 1989, 1991, 1992 in 1993

Na kartah 1, 2 in 3 je pregled skupnih vsebnostnih razredov žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah, na kartah 4, 5 in 6 pa pregled skupnih relativnih razredov vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah na posameznih točkah osnovne bioindikacijske mreže na območju Republike Slovenije.

V preglednici 4 so podatki o razporeditvi bioindikacijskih točk v skupnih razredih vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah za l. 1991, 1992 in 1993. Hkrati so prikazani še podatki o srednjih, najnižjih in najvišjih ter povprečnih vrednostih vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah.

Preglednica 4: Porazdelitev bioindikacijskih točk na bioindikacijski mreži Slovenije po skupnih razredih vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic

Table 4: The distribution of bioindication plots on the bioindication network of Slovenia according to the total sulphur contents in one- and two-year needles

Skupni razred vsebnosti žvepla Total sulphur contents class	Leto Year					
	1991		1992		1993	
	Število točk No. of plots	%	Število točk No. of plots	%	Število točk No. of plots	%
1	5	5,8	7	8,2	5	5,8
2	43	50,0	61	70,9	43	50,0
3	36	41,9	18	20,9	36	41,9
4	2	2,3	-	-	2	2,3
Skupaj (Total)	86	100,0	86	100,0	86	100,0
Povprečni razred The average class	2,4		2,1		2,4	

Posebej prikazujemo še podatke o porazdelitvi bioindikacijskih točk v skupne vsebnostne razrede (preglednica 5) in skupne relativne razrede vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah po posameznih goznogospodarskih območjih (preglednica 6).

Preglednica 5: Porazdelitev bioindikacijskih točk po skupnih vsebnostnih razredih žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah po gozdnogospodarskih območjih

Table 5: The distribution of bioindication plots into total classes according to sulphur contents in one- and two-year needles per forest enterprise area

Leto (Year)	1991					1992					1993						
Gozdnogospodarsko območje Forest enterprise	Skupni vsebnostni razredi Total contents class																
	1	2	3	4	pov.	1	2	3	4	pov.	1	2	3	4	pov.		
Tolmin	1	4	5	-	2,4	1	7	2		2,1	2	8	-	-	1,8		
Bled	1	4	-	-	1,8	1	2	2		2,2	-	2	3	-	2,6		
Kranj	-	3	-	-	2,0	1	2	-		1,7	-	2	1	-	2,3		
Ljubljana	2	3	6	-	2,4	-	6	5		2,5	-	4	7	-	2,6		
Postojna	-	2	1	-	2,3	-	3	-		2,0	-	2	1	-	2,3		
Kočevje	-	4	-	-	2,0	1	3	-		1,8	-	4	-	-	2,0		
Novo mesto	1	5	3	-	2,2	2	6	1		1,9	1	4	4	-	2,3		
Brežice	-	3	3	-	2,5	-	6	-		2,0	-	3	3	-	2,5		
Celje	-	-	4	1	3,2	-	3	2		2,4	-	1	4	-	2,8		
Nazarje	-	2	-	-	2,0	1	1	-		1,5	-	2	-	-	2,0		
Slovenj Gradec	-	1	4	1	3,0	-	4	2		2,3	-	1	4	1	3,0		
Maribor	-	5	4	-	2,4	-	7	2		2,2	1	3	5	-	2,4		
Murska Sobota	-	1	4	-	2,8	-	4	1		2,2	-	2	2	1	2,8		
Sežana	-	6	2	-	2,2	-	7	1		2,1	1	5	2	-	2,1		
Skupaj (Total)	2,4					2,1					2,4						
N	5	43	36	2	86	7	61	18		86	5	43	36	2	86		
%	6	50	42	2	100	8	71	21		100	6	50	42	2	100		
%	56			44		79		21		100		56		44		100	

Preglednica 6: Porazdelitev bioindikacijskih točk po skupnih relativnih razredih vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah po gozdnogospodarskih območjih

Table 6: The distribution of bioindication plots into total classes according to sulphur contents in one- and two-year needles per forest enterprise area

Leto	1991						1992						1993					
Gozdnogospodarsko območje Forest enterprise	Relativni razredi vsebnosti žvepla Relative sulphur contents class																	
	1	2	3	4	5	x	1	2	3	4	5	x	1	2	3	4	5	x
Tolmin	3	2	1	3	1	2,7	2	3	1	2	2	2,9	5	3	2	-	-	1,7
Bled	3	1	1	-	-	1,6	2	1	-	1	1	2,6	-	-	2	2	1	1,8
Kranj	3	-	-	-	-	1,0	1	-	2	-	-	2,3	1	1	-	1	-	2,3
Ljubljana	2	2	2	3	2	3,1	1	3	1	2	4	3,5	2	2	1	3	3	3,3
Postojna	-	1	2	-	-	2,7	-	2	1	-	-	2,3	-	-	2	1	-	3,3
Kočevje	-	2	2	-	-	2,5	4	-	-	-	-	1,0	1	3	-	-	-	1,8
Novo mesto	2	4	-	1	2	2,7	3	2	2	1	1	2,4	4	1	1	2	1	2,4
Brežice	-	-	4	1	1	3,5	-	1	2	3	-	3,3	-	1	2	2	1	3,5
Celje	-	-	-	2	3	4,6	-	-	1	2	2	4,2	-	-	-	2	3	4,6
Nazarje	-	1	-	1	-	3,0	1	1	-	-	-	1,5	-	1	1	-	-	2,5
Slovenj Gradec	-	-	1	1	4	4,5	-	-	2	-	4	4,3	-	-	2	-	4	4,3
Maribor	1	1	3	1	3	3,4	2	-	2	3	2	3,3	2	1	1	3	2	3,2
Murska Sobota	-	-	-	3	2	4,4	-	2	1	1	1	3,2	-	1	2	-	2	3,6
Sežana	3	3	1	1	-	2,0	1	2	2	2	1	3,0	2	3	1	1	1	2,5

Iz navedenih podatkov lahko ugotovimo, da je splošno stanje bioindikacije žvepla v l. 1991, 1992 in 1993 podobno stanju v prejšnjih letih. Povprečne vsebnosti žvepla so bile l. 1991 in 1993 skoraj enake kot l. 1989 in 1990, l. 1992 pa so bile nekoliko nižje. L. 1991 in 1993 je bila dobra polovica bioindikacijskih

točk (55,8%), leta 1992 pa celo 70,9% točk v 1. in 2. vsebnostnem razredu, v katerih še ne pričakujemo poškodb zaradi žveplovega dioksida.

Če upoštevamo povprečne skupne vsebnostne razrede in skupne relativne razrede za posamezna gozdnogospodarska območja, lahko ocenimo, da so zaradi žveplovega dioksida najmanj ogroženi gozdovi na gozdnogospodarskih območjih Kočevje, Kranj, Nazarje, sledijo jim Tolmin, kraško gozdnogospodarsko območje, Novo mesto, Bled, Postojna, Maribor, Brežice, Ljubljana, Murska Sobota, Slovenj Gradec in Celje, kjer je gozdno drevje zaradi onesnaženega zraka najbolj ogroženo. Pri tej ugotovitvi preseneča nizka poprečna obremenitev gozdnogospodarskega območja Nazarje, čeprav je tamkajšnja termoelektrarna Šoštanj, največji emitent žveplovega dioksida v Sloveniji. Na tem območju sta le dve bioindikacijski točki (G4 in H4) in obe sta zunaj vpliva termoelektrarne. Največje onesnaženje z žveplovim dioksidom je na bioindikacijski točki I3 ter na točkah J4 in O1.

3.2 OCENA OBREMENJENOSTI GOZDOV SLOVENIJE NA PODLAGI REZULTATOV RAZISKAV BIOINDIKACIJE ŽVEPLA ZA OBDOBJE 1985-1993

Na posameznih bioindikacijskih točkah smo analizirali tudi stanje v celotnem opazovalnem obdobju, vendar le za l. 1986, 1987, 1989, 1991, 1992 in 1993, ko so bili pobrani vzorci za analizo s prav vseh točk mreže. L. 1985, ko so začeli osnovno bioindikacijsko mrežo šele postavljati, so bili analizirani le vzorci iglic s 56 točk. Zaradi različnih težav v gozdarstvu vzorci z vseh točk niso bili pobrani še l. 1988 in 1990.

Podlaga za analizo so bili podatki o razporeditvi bioindikacijskih točk v skupne razrede vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah in v skupne relativne razrede vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah (preglednica 7)

Preglednica 7: Porazdelitev skupnih vsebnostnih razredov in skupnih relativnih razredov vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah po bioindikacijskih točkah za leta 1986, 1987, 1989, 1991, 1992 in 1993

Table 7: The distribution of the total sulphur content classes and the total relative classes according to sulphur contents in one- and two-year needles for bioindication plots for year 1986, 1987, 1989, 1991, 1992 and 1993

Koordinata Coordinate	Skupni vsebnostni razred Total sulphur content class							Relativni razred Relative class						
	86	87	89	91	92	93	x	86	87	89	91	92	93	x
A 4	1	1	2	3	2	1	2	1	1	2	3	2	1	2
B 3	2	1	2	2	3	2	2	2	1	1	2	5	3	2
B 4	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1
B 5	2	2	3	3	2	2	2	4	4	3	4	2	1	3
B 6	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	4	4	2	3
B 7	1	1	3	2	2	3	2	1	1	3	2	4	5	3
B 10	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2
C 3	2	2	2	2	1	2	2	4	3	3	2	1	3	3
C 4	2	2	2	2	2	3	2	3	3	2	1	1	4	2
C 5	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
C 6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2
C 7	2	2	2	3	2	2	2	3	2	1	4	4	2	3
C 8	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	3	3	2
C 9	2	2	3	3	3	3	3	4	2	3	4	5	4	4
C 10	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D 3	2	2	3	2	3	3	3	3	4	3	1	4	4	3
D 4	2	1	2	1	2	2	2	4	2	2	1	2	3	2
D 5	2	2	2	2	2	3	2	5	4	3	1	3	4	3
D 6	1	2	1	1	2	1	1	2	3	1	1	1	1	2
D 7	2	2	3	3	3	2	3	5	4	4	5	5	3	4
D 8	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	1	2
D 9	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	3	3	2	3
E 4	2	2	3	2	3	3	3	4	4	4	3	5	5	4
E 5	2	2	2	2	2	2	2	5	4	3	1	3	2	3
E 6	2	2	3	2	2	2	2	3	4	4	2	1	2	3
E 7	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	3
E 8	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	2	2	3	2
E 9	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	4	2	2
F 4	2	1	2	2	1	2	2	3	2	3	1	1	1	2
F 5	2	2	3	3	3	3	3	5	4	5	4	4	4	4
F 6	2	3	3	3	3	3	3	5	5	4	4	5	5	5
F 7	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	3	1	2
F 8	2	2	2	2	2	3	2	2	4	2	3	2	4	3
F 9	2	2	2	3	2	2	2	2	3	1	3	3	3	3
G 3	2	1	2	2	2	3	2	4	2	1	3	3	3	3
G 4	2	1	2	2	1	2	2	2	1	3	2	1	2	2
G 5	3	2	3	2	3	3	3	5	5	4	3	5	4	4
G 6	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	4	5	5	5
G 7	2	2	3	1	2	2	2	5	4	4	1	2	1	3
G 8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	1	2
G 9	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2
H 2	2	2	2	3	2	2	2	5	3	3	5	3	3	4
H 3	3	2	3	3	2	3	2	5	5	5	4	5	5	5

Preglednica 7: Porazdelitev skupnih vsebnostnih razredov in skupnih relativnih razredov vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah po bioindikacijskih točkah za leta 1986, 1987, 1989, 1991, 1992 in 1993 -nadaljevanje

Table 7: The distribution of the total sulphur content classes and the total relative classes according to sulphur contents in one- and two-year needles for bioindication plots for year 1986, 1987, 1989, 1991, 1992 and 1993 - continued

Koordinata Coordinate	Skupni vsebnostni razred Total sulphur content class							Relativni razred Relative class						
	86	87	89	91	92	93	x	86	87	89	91	92	93	x
H 4	2	2	3	2	2	2	2	4	3	5	4	2	3	4
H 5	3	3	3	3	2	3	3	5	5	5	5	4	4	5
H 6	2	2	3	3	2	3	3	3	5	4	3	2	3	3
H 7	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5
H 8	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1
H 9	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2
H 10	2	2	1	2	1	2	2	3	2	1	3	1	2	2
I 2	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5
I 3	3	3	3	4	3	4	3	5	5	5	5	5	5	5
I 4	2	1	3	3	3	3	3	4	1	4	5	5	4	4
I 5	3	3	4	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5
I 6	2	2	3	3	2	3	3	4	4	5	4	4	4	4
I 7	2	2	2	2	2	2	2	4	2	3	2	2	1	2
I 8	2	2	2	1	2	3	2	3	3	2	1	3	3	3
I 9	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1
I 10	2	1	2	3	2	2	2	3	2	3	4	3	1	3
J 2	2	2	3	3	2	3	3	4	5	5	5	3	5	5
J 3	2	2	2	3	2	3	2	4	3	3	5	5	5	4
J 4	2	2	2	4	2	3	3	4	3	3	5	4	5	4
J 5	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	4	5	5	5
J 6	2	2	3	3	2	2	2	5	4	4	5	3	3	4
J 7	2	2	3	3	2	3	3	3	2	4	3	4	5	4
J 8	2	2	1	2	2	3	2	2	3	1	2	2	4	2
J 9	1	2	2	3	2	3	2	1	3	1	5	4	4	3
J 10	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
K 2	2	2	3	3	3	3	3	4	5	5	5	5	5	5
K 3	2	2	2	2	3	2	2	2	5	2	2	5	1	3
K 4	2	3	3	3	2	3	3	2	5	4	5	4	5	4
K 5	2	2	3	3	2	2	2	4	4	4	4	3	4	4
K 6	2	2	3	2	2	2	2	3	2	4	3	4	3	3
K 7	1	1	2	2	2	3	2	1	1	2	3	3	4	2
L 2	1	2	3	3	2	2	2	1	4	4	5	4	2	3
L 3	2	2	3	3	2	3	3	1	4	4	4	4	4	4
L 4	3	2	3	2	2	3	3	5	5	5	3	4	4	4
L 6	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	3	2	2	2
M 2	2	2	3	3	2	3	3	4	5	5	4	2	3	4
M 3	2	3	2	2	2	2	2	4	5	3	3	1	3	3
M 4	2	1	3	2	2	1	2	3	2	3	1	1	1	2
N 1	2	2	3	2	2	2	2	3	3	4	4	3	3	3
N 3	1	2	3	2	2	3	2	2	4	4	3	3	4	3
O 1	2	2	3	3	3	4	3	3	2	5	5	5	5	4
O 2	2	2	3	3	2	2	2	3	4	5	4	2	2	3
P 3	2	2	3	3	2	3	3	3	3	5	5	4	5	4

Vsakokratna razporeditev točk v skupne vsebnostne razrede žvepla je odvisna od povprečne letne obremenitve okolja z žveplovim dioksidom in od povprečnih letnih klimatskih razmer zlasti pozno jeseni in pozimi.

Ker je jeseni in pozimi poraba fosilnih goriv v termoelektrarnah, gospodinjstvih, pa tudi ponekod v industriji največja, je v zimskih mesecih večja tudi emisija žveplovega dioksida. Poraba goriva in z njo povezana emisija žveplovega dioksida je tem večja, čim hladneje je. Vpliv imisije žveplovega dioksida na gozdno drevje pa je odvisen še od vetrovnosti v času največjih emisij. V mirnem ozračju onesnaženost zraka z žveplovim dioksidom narašča in tudi močneje vpliva na gozdni ekosistem. Ob vetrovnem vremenu pa se onesnaženost zraka razredčuje in je tudi njen učinek na vegetacijo manjši. Zato je ob ugodnejših vremenskih razmerah več bioindikacijskih točk v nižjih, v neugodnih razmerah pa v višjih vsebnostnih razredih žvepla.

Vsa leta opazamo, da je večina bioindikacijskih točk (74-94%) le v dveh (2. in 3.) vsebnostnih razredih žvepla. Ker pri tem težko ugotovimo, ali je posamezna bioindikacijska točka bližje spodnji ali zgornji meji razreda, težko objektivno presojamo o večji ali manjši ogroženosti gozdnega drevja zaradi žvepla na posameznih bioindikacijskih točkah. Zato si pri takšni presoji pomagamo s podatki o razporeditvi bioindikacijskih točk v relativne razrede vsebnosti žvepla v iglicah. Pri tem načinu razvrščanja bioindikacijskih točk je njihov medsebojni položaj po stopnji onesnaženosti z žveplom objektivnejši, saj za presajo lahko uporabimo večje število razredov, pa tudi razporejenost bioindikacijskih točk po relativnih razredih vsebnosti žvepla je vsako leto enako dosledna, ne glede na to, ali je povprečno letno onesnaženje zraka z žveplovim dioksidom v posameznem letu večje ali manjše.

Vsaki bioindikacijski točki smo izračunali frekvenčno razvrstitev po skupnih vsebnostnih razredih in skupnih relativnih razredih vsebnosti žvepla v enoletnih

in dvoletnih iglicah ter povprečni srednji vsebnostni in relativni razred za vseh šest let opazovanja.

Ugotovili smo, da je v l. 1986, 1987, 1989, 1991, 1992 in 1993 pet bioindikacijskih točk v 1. povprečnem srednjem skupnem razredu vsebnosti žvepla v iglicah, 53 točk v 2. razredu, preostalih 28 točk pa v 3. razredu. Nobene točke ni v povprečnem 4. vsebnostnem razredu.

Iz frekvenčne razporeditve skupnih vsebnostnih razredov žvepla za isto obdobje smo razbrali:

- 26 bioindikacijskih točk je bilo vsa leta razporejenih v 1. oz. 2. vsebnostni razred žvepla, vsebnost žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah pa je bila vsa leta pod tisto mejo, pri kateri lahko pričakujemo poškodbe na gozdnem drevju.
- 52 točk je bilo vsaj enkrat v 3. vsebnostnem razredu, v katerem je že mogoče opaziti poškodbe gozdnega drevja.
- 8 bioindikacijskih točk je bilo vsaj enkrat v 4. vsebnostnem razredu, to je nad tisto mejo, pri kateri so poškodbe gozdnega drevja zaradi žvepla že pogoste, ali pa so bile točke vsa leta le v 3. vsebnostnem razredu.

Povprečne srednje skupne razrede vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah za obdobje 1986, 1987, 1989, 1991, 1992, 1993 smo prikazali na karti 7. Na karto smo vnesli še podatke o pogostnosti preseganja mejne vrednosti za vsebnost žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah.

Na karti so jasno vidna tri območja, ki so najbolj obremenjena z žveplom, in sicer območje Celja, Šaleška dolina z okolico Slovenj Gradca in območje Ljubljane. Zelo obremenjeni so še Prekmurje, nizki kras nad Trstom in Koproj ter okolica bioindikacijske točke D7.

Pri proučevanju težnje spreminjanja vsebnosti žvepla v iglicah v opazovalnem obdobju smo ugotovili, da se obremenjenost gozdov z žveplom nekoliko zmanjšuje le na štirih bioindikacijskih točkah na Gorenjskem (C3, E5), Tolminskem (D6) in Dolenjskem (G7). Iz leta v leto se večja vsebnost žvepla v iglicah na nekaterih točkah v obmejnem pasu Slovenije (A4, B6, B7, B10, C7, C8, C9, E9, J9, K7, L6 in O1) in na nekaterih točkah v notranjosti, ki ležijo blizu velikih onesnaževalcev z žveplovim dioksidom (I4, J3). Na bioindikacijskih točkah na manj obremenjenih območjih Slovenije ni opaziti večjih sprememb vsebnosti žvepla. Nekatero točko na obremenjenem območju so bile vsa leta v najvišjem relativnem razredu vsebnosti žvepla v iglicah, veliko pa jih je bilo vsako leto razporejenih v drug razred, pri čemer so bile razlike med posameznimi leti tudi do tri relativne razrede.

4 UGOTOVITVE

Bioindikacija onesnaženosti gozdov z žveplom po metodi analize vsebnosti žvepla v asimilacijskih delih gozdnega drevja je dovolj zanesljiva za ugotavljanje onesnaženega zraka z žveplovim dioksidom. Če jo primerjamo z drugimi metodami, ki so zasnovane predvsem na različnih načinih merjenja onesnaženega zraka, je razmeroma poceni. Posebna prednost te metode pa je, da lahko v razmeroma kratkem času posnamemo stanje imisije onesnaženega zraka z žveplovim dioksidom na več mestih. Z zgoščevanjem sistema bioindikacijskih točk za vzorčenje iglic oz. listja gozdnega drevja si lahko poljubno izbiramo možnosti za natančnejšo predstavitev onesnaženosti zraka z žveplovim dioksidom in za odkrivanje oz. potrjevanje virov emisije.

Že pri eni bioindikacijski točki na vsakih 196 km² (osnovna bioindikacijska mreža) smo dobili razmeroma dober pregled nad onesnaženostjo zraka z žveplovim dioksidom in z njo povezano ogroženostjo gozdnega drevja zaradi žvepla na območju Republike Slovenije. Za podrobnejše poznavanje razmer v posameznih predelih pa potrebujemo gostejšo mrežo bioindikacijskih točk, še posebej na bolj obremenjenih območjih. Po ugotovitvah iz drugih raziskav, ki

smo jih izvedli na našem inštitutu, je ponekod onesnaženost zraka z žveplovim dioksidom veliko hujša kot po ugotovitvah raziskav na točkah osnovne bioindikacijske mreže.

Rezultati osnovne raziskave bioindikacije žvepla na 86 bioindikacijskih točkah nam v prvi fazi zadoščajo. Opozarjajo nas, na katerih območjih Slovenije lahko pričakujemo poškodbe gozdnega drevja, ki bi jih povzročil žveplov dioksid iz onesnaženega zraka. Hkrati pa nas ugotovitve stanja na osnovni bioindikacijski mreži v obdobju 1985-1993 spodbujajo k vsakoletnim nadaljnjim raziskavam, da nas čez nekaj let ne bi presenetila nova emisijska žarišča in nova območja ogroženosti gozdnega drevja. Redno spremljanje stanja imisije žveplovega dioksida je nujno potrebno, ker v Sloveniji še ni bilo ustreznih večjih ukrepov za zmanjšanje emisije žveplovega dioksida, pa tudi zato, ker se slabšajo razmere na nekaterih bioindikacijskih točkah blizu naše državne meje. Takšne pojave in spremembe pa lahko zaznavamo le z rednimi vsakoletnimi raziskavami, ki jih moramo izvajati na vseh 86 točkah osnovne bioindikacijske mreže.

Ugotovitve naše raziskave niso pomembne le za gozdarstvo. Zanimive so tudi za druge uporabnike. Uporabljajo jih lahko strokovnjaki, ki proučujejo področje varstva zraka, zdravstvenega varstva in drugi.

5 POVZETEK

Med povzročitelje poškodovanosti gozdnega drevja štejemo tudi žveplov dioksid. Onesnaženost zraka z žveplovim dioksidom lahko ugotavljamo z metodo bioindikacije na podlagi analize vsebnosti žvepla v rastlinskih tkivih.

Rastline sprejemajo žveplo, ki se veže na sestavne dele rastlinskih tkiv, obliki soli in drugih spojin pa na površino rastlinskih delov. Zato rastline v onesnaženem okolju vsebujejo več žvepla kot v čistejšem okolju. Starejši deli rastlin navadno vsebujejo več žvepla kot njihovi mlajši deli. Zato lahko iz povečane vsebnosti skupnega žvepla, ki ga analiziramo v vzorcih rastlinskih

tkiv, sklepamo o stopnji onesnaženosti zraka z žveplovim dioksidom.

V naših razmerah so za analizo najbolj primerne smrekove iglice, kjer smreka ne uspeva, pa iglice rdečega in črnega bora ter ruševja. Pri nabiranju vzorcev izbiramo čim bolj zdrava odrasla drevesa, ki imajo dobro osvetljeno krošnjo (nadržala ali sorasla drevesa). Vzorce enoletnih in dvoletnih iglic nabiramo jeseni in v prvi polovici zime.

Posušene in homogenizirane vzorce analiziramo v laboratoriju z napravo SULMHOMAT 12-ADG. Analizne rezultate primerjamo z mejnimi vrednostmi iz tabele 1 in jih klasificiramo po tabeli 2.

Leta 1985 in 1986 je bila na območju Slovenije zasnovana osnovna bioindikacijska mreža (16 x 16 km), ki jo sestavlja 86 bioindikacijskih točk. Na teh točkah redno vsako leto raziskujemo bioindikacijo onesnaženega zraka z žveplom in ocenjujemo ogroženost gozdov zaradi žveplovega dioksida.

Iz podatkov raziskav vzorcev, ki so bili nabrani jeseni 1991, 1992 in 1993 je razvidno, da je bila l. 1991 in 1993 dobra polovica bioindikacijskih točk (55,8%), leta 1992 pa celo 70,9% točk pod kritično mejo, t.j. v 1. in 2. vsebnostnem razredu, pri katerem ne pričakujemo, da bi se na gozdnem drevju pojavljale poškodbe zaradi žveplovega dioksida.

Gozdovi na območju Alp, Trnovskega gozda, Snežnika, Javornika, širšega kočevsko - ribniškega območja in Gorjancev so najmanj obremenjeni z žveplom. Najbolj obremenjeni gozdovi pa so na območju Koroške, Celja, Ljubljane, Zasavja, Maribora in Prekmurja. Vsebnost žvepla se je v zadnjih letih povečala na nekaterih točkah v obmejnem pasu Slovenije (A4, B6, B7, B10, C7, C8, C9, E9, J9, K7, L6 in O1), in na nekaterih točkah v notranjosti, ki ležijo blizu velikih onesnaževalcev z žveplovim dioksidom (I4, J3).

Posameznim bioindikacijskim točkam smo izračunali povprečni srednji skupni vsebnostni razred žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah za l. 1986, 1987, 1989,

1991, 1992 in 1993, ko so bili nabrani vzorci za analizo žvepla na vseh točkah osnovne bioindikacijske mreže. Pet bioindikacijskih točk ima 1. povprečni srednji skupni vsebnostni razred, 53 točk 2. razred, ostalih 28 točk pa 3. azred. Nobena bioindikacijska točka nima povprečnega srednjega 4. razreda ali pa so bile te točke vsa leta le v 3. skupnem razredu. Pri drevju 3. vsebnostnega razreda se že lahko pojavljajo tudi poškodbe, ki jih povzroča žveplov dioksid, pri drevju 4. razreda pa so takšne poškodbe pogoste.

Po povprečnih srednjih skupnih vsebnostnih razredih žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah posameznih bioindikacijskih točk in po podatkih o frekvenci preseganja mejne vrednosti za vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah smo pripravili karto Republike Slovenije o obremenjenosti gozdov z žveplovim dioksidom (gl. karto 7).

Po dosedanjih izkušnjah sklepamo, da je bioindikacija onesnaženosti zraka z žveplovim dioksidom z analizo vsebnosti žvepla v iglicah smreke, črnega in rdečega bora zelo primerna in tudi dovolj zanesljiva za ugotavljanje ogroženosti gozdov zaradi žveplovega dioksida. Izsledke teh raziskav lahko uporabljajo tudi strokovnjaki, ki delajo na področju varstva zraka, zdravstvenega varstva in drugi.

6 SUMMARY

One of the reasons for forest damage is also sulphur dioxide. Air pollution with sulphur dioxide can also be established by bioindication method based on the analysis of sulphur content in plant tissues.

Plants absorb sulphur which binds to plant tissue component parts or the form of salts or other compounds to plant part surface. Therefore, plants in a more polluted environment contain more sulphur than in a less polluted environment. Older plant parts usually contain more sulphur than their younger parts. Consequently, an increased value of total sulphur analysed in plant tissue

samples can lead to a conclusion regarding the level of air pollution due to sulphur dioxide.

As to Slovenian situation, Norway spruce needles are the most convenient for the analysis; where the Norway spruce cannot be found the needles of the Scots pine, the black pine and the dwarf pine can be used. The most vital grown up trees with highly illuminated tree crown (superimposed and even-aged ones) are selected in sampling. The samples of one-year and two-year needles are collected in autumn and in the first part of winter.

Dried and homogenised samples are analysed in a laboratory by means of a SULMHOMAT 12 ADG appliance. The results are compared with the limit values of table 1 and classified in table 2.

In 1985 and 1986 a basis 16 x 16 km bioindication net was founded in Slovenia, consisting of 86 bioindication points. There, regular research of sulphur air pollution bioindication is annually carried out and forest endangerment caused by sulphur dioxide is being established.

The data regarding sample research obtained in autumn 1991, 1992 and 1993 evidence that in 1991 and 1993 more than a half of bioindication points (55,8%), in 1992 even 70,9% were under the critical limit, i.e. in the first and second content class; there, it is still not expected that damage due to sulphur dioxide would occur in forest trees.

The forests in the region of the Alps, Trnovski gozd, Snežnik, Javornik, the broader Kočevje - Ribnica region and the Gorjanci are the least burdened with sulphur. The most burdened forests are in Koroško, in the region of Celje, Ljubljana, in the Zasavje, in the vicinity of Maribor and in the Prekmurje. The content of sulphur has been increased in some points of the border zone of Slovenia in the recent years (A4, B6, B7, B10, C7, C8, C9, E9, J9, K7, L6 and O1) and in some points in central Slovenia situated in the vicinity of great sulphur dioxide polluters (I4, J3).

The mean common content sulphur class has been calculated for individual bioindication points in one-year and two-year needles for the years 1986, 1987, 1989, 1991, 1992 and 1993, when all the samples were collected for sulphur analysis in all points of the basic 16 x 16 km bioindication net. Five bioindication points have the first mean common content class, 53 points have the second class, the rest 28 points the third class. None of the bioindication points has been classified into the fourth mean class or all these points were only in the third common sulphur class throughout all these years. With the trees of the third content class the damage caused by sulphur dioxide might occur yet with the trees of the fourth class such damage is quite frequent.

Based on the mean common content sulphur classes in one-year and two-year needles of individual bioindication points and on the data regarding the frequency of the values exceeding the limit sulphur content value in one- and two-year needles, a map of the Republic of Slovenia was elaborated, presenting the burden of forests with sulphur dioxide (see map 7).

According to present experiences it can be presumed that bioindication air pollution with sulphur dioxide by the method of sulphur content analysis in the needles of the Norway spruce, the black pine and the Scots pine is highly appropriate and reliable for the establishing of forest endangerment with sulphur dioxide. The results of this research can also be used by the experts active in the sphere of air protection, health welfare and others.

7 VIRI

- ANON., 1993. Foliar Analysis Expert Panel. Bruxelles, 12.-13. Januar 1993, ICP-Forests.
- BATIČ, F., 1991. Bioindikacija onesnaženega zraka z epifitskimi lišaji. Gozdarski vestnik, Ljubljana, 49, 5, s. 248-254.
- BATIČ, F., KRALJ, T., 1989, Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitsko

- lišajsko vegetacijo pri inventurah propadanja gozdov. Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 34, s. 51-70.
- BAULE, H., 1967. Die Düngung von Waldbäumen. BLV Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München, 259 s.
- BGBI, 1984. 199. Verordnung: Zweite Verordnung gegen forstliche Luftverunreinigungen. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. Wien, 89. Stück, s. 1519-1524.
- COWLING, E., KRAHL-URBAN, B., SCHIMANSKY, C. 1988. Hypotheses to Explain Forest Decline. V: Forest Decline. Jülich. s.120-125. KFA Jülich GmbH.
- FIEDLER, H.J., THAKUR, S.D., 1985. Wirkungen von Schwefeldioxid und Sauren Niederschlägen auf Bodenfruchtbarkeit und die Forstwirtschaft, 19, 1, s. 25 - 34.
- HÜTTEL R.F., 1992. Die Blattanalyse als diagnose- und Monitoringinstrument in waldökosystemen, Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, heft 30. Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre, Universität Freiburg, Freiburg im Breisgau, s. 31-59
- KALAN, J., 1988. Obremenjenost gozdov z žveplom. Črna knjiga o propadanju gozdov v Sloveniji I. 1987 - nadaljevanje. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, Ljubljana, s. 19-27.
- KALAN, J., 1989. Obremenjenost slovenskih gozdov z žveplom. Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 34, s. 99-120.
- KALAN, J., 1990. Obremenjenost gozdov z žveplom leta 1989. Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 36, s. 183-198.
- KALAN, J., 1991. Imisija žvepla leta 1990 na točkah 16x16 km bioindikacijske mreže. Gozdarski vestnik, 49, 5, s. 240-247.
- KALAN, J., FÜRST, A., PEZDIRC, N., 1990. Korelacija analiznih izvidov vsebnosti žvepla, določenih z napravama SULMHOMAT 12-ADG in LECO SC-132. Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 36, s. 107-119.
- KALAN, J., ŠOLAR, M., 1987. Obremenjenost gozdov z žveplom. Črna knjiga o propadanju gozdov v Sloveniji I. 1987. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, Ljubljana, s. 28-31.
- KALAN, P., KALAN, J., 1994. Integrirano merjenje imisije žveplovega dioksida.

- Varstvo zraka. Stanje in ukrepi za izboljšanje stanja v Sloveniji. Bled, 28.-30.3.1994. ZTI - Zavod za tehnično izobraževanje, Ljubljana, s. 15-18
- KNABE, W. 1984. Merkblatt zur Entnahme von Blatt- und Nadelproben für chemische Analysen. Allgem. Forst Zeitschr. 33/34, s. 847-848.
- REEMTSMA, J, B., 1964. Untersuchungen an Fichte und anderen Nadelbaumarten über den Nährstoffgehalt der lebenden Nadeljahrgänge und Streu. Doktorska disertacija. Göttingen, Hann. Münden
- SCHULZE, E.D., LANGE, O.L., OREN, R., 1989. Forest Decline and Air Pollution. Springer-Verlag, Berlin, 475 s.
- STEFAN, K., 1986. Bioindikatornetz Kärnten 1985. Ergebnisse der Schwefelanalysen. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien, (tipkopolis).
- STEFAN, K., 1990. Vergleich der schwefelanalysedaten des Österreichischen Bioindikatornetzes im Jhr 1989 mit den Ergebnissen vorangegangener Jahre. (Bericht BIN-S 62/1990). Forstliche Bundesversuchsanstalt. Institut für Immissionsforschung und Forstchemie, Wien, 70 s.
- ŠOLAR, M., 1991. Popis poškodovanosti gozdov v Sloveniji leta 1990. Gozdarski vestnik, Ljubljana, 49, 5, s. 234-239.
- WÖSTHOFF, 1986. Gasanalysen-Messanlage. Typ: "SULMHOMAT 12 ADG". Gebrauchsanleitungen. WÖSTHOFF GmbH, Messtechnik, Bochum.