

GDK 160.201:160.26:539:425.1:181.45:(497.12)

**OBREMENJENOST SLOVENSКИH GOZDOV Z ŽVEPLOM**

Janko KALAN\*

*Izveček*

Opisana je metoda zbiranja vzorcev za analizo, analitičnega postopka določevanja žvepla in izvrednotenja analiznih podatkov o vsebnosti žvepla v iglicah. Po podatkih raziskav l. 1987 je na dobri tretjini točk osnovne 16x16 km bioindikacijske mreže imisija žvepla tako visoka, da v okolici teh točk lahko pričakujemo poškodbe na gozdnem drevju zaradi škodljivega delovanja žveplovih spojin. Največje obremenitve gozda z žveplom so na bioindikacijskih točkah industrijskih območij Ljubljane, Maribora in Celja ter na gozdnogospodarskem območju Slovenj Gradec, kjer so večji emitenti žveplovega dioksida. V reliefno zelo razgibani pokrajini Slovenije nam podatki osnovne 16x16 km bioindikacijske mreže dajejo le približno oceno o obremenjenosti gozdov z žveplom.

*Ključne besede: analiza iglic, vzorčenje, vsebnost žvepla, izvrednotenje rezultatov, obremenjenost gozda, propadanje gozda, gozdnogospodarsko območje, Slovenija, vsebnostni razred, bioindikacijska točka.*

**THE CONTAMINATION OF SLOVENE FORESTS WITH SULPHUR**

Janko KALAN\*

*Abstract*

The paper describes the method for collecting samples needed for analysis, the analytical process of sulphur determination, and the evaluation of the data collected by the analysis of the sulphur contents in needles. According to research results from 1987, in one third of the basic 16x16 km bio-indication network the emission was so high, that we can expect the trees in the areas surrounding the network region to be damaged due to the harmful impact of sulphur compounds. Because there are big generators of sulphur dioxide emission, the major contamination of forests with sulphur is in the bio-indication areas of the industrial parts of Ljubljana, Maribor, Celje and in the forest enterprise area of Slovenj Gradec. Since the countryside in Slovenia varies greatly, the results from a basic 16x16 km bio-indication network provide us with only an approximation of the actual contamination of forests with sulphur.

*Key words: analysis needles, sulphur content, evaluation of results, impact of forests, forest decline, forest management areas of Slovenia, sulphur content class, bioindication plot*

---

\* dipl. ing. gozd., Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, 61000 Ljubljana, Večna pot 2

**VSEBINA**

1. UVOD
2. METODE PROUČEVANJA
  - 2.1. Nabiranje vzorcev za analizo
  - 2.2. Laboratorijsko delo
  - 2.3. Izvrednotenje analiznih rezultatov o vsebnosti žvepla
3. OCENA OBREMENJENOSTI SLOVENSКИH GOZDOV Z ŽVEPLOM
4. ZAKLJUČEK
5. LITERATURA
6. SUMMARY

## 1 UVOD

Pojav propadanja gozdov se na območju SR Slovenije vse bolj širi. Vzrokov za propadanje gozdnega drevja je veliko. Nekaj jih že poznamo, verjetno pa je še več takšnih, ki jih še nismo spoznali. Med znanimi povzročitelji propadanja gozdov so žveplovi oksidi verjetno najbolj razširjeni in učinkoviti. Z ustreznimi analiznimi metodami lahko vsebnost žvepla v rastlinskih tkivih dovolj natančno določimo. Ker rastline rastejo vedno na istem mestu, se pred neprijetnimi vplivi okolja ne morejo umakniti tako kot to lahko storita človek ali žival, morajo živeti v razmerah, kakršne pač so na rastišču, pri tem pa zbirajo odložine onesnaženega okolja, med njimi tudi žveplo. Zato rastline oz. njihova tkiva uporabljamo kot bioindikatorje za oceno obremenjenosti okolja s škodljivimi snovmi. Iz povečane vsebnosti žvepla glede na običajno naravno vsebnost žvepla v rastlinskih tkivih lahko sklepamo o obremenjenosti gozda z onesnaženim zrakom.

## 2 METODE PROUČEVANJA

### 2.1 Nabiranje vzorcev za analizo

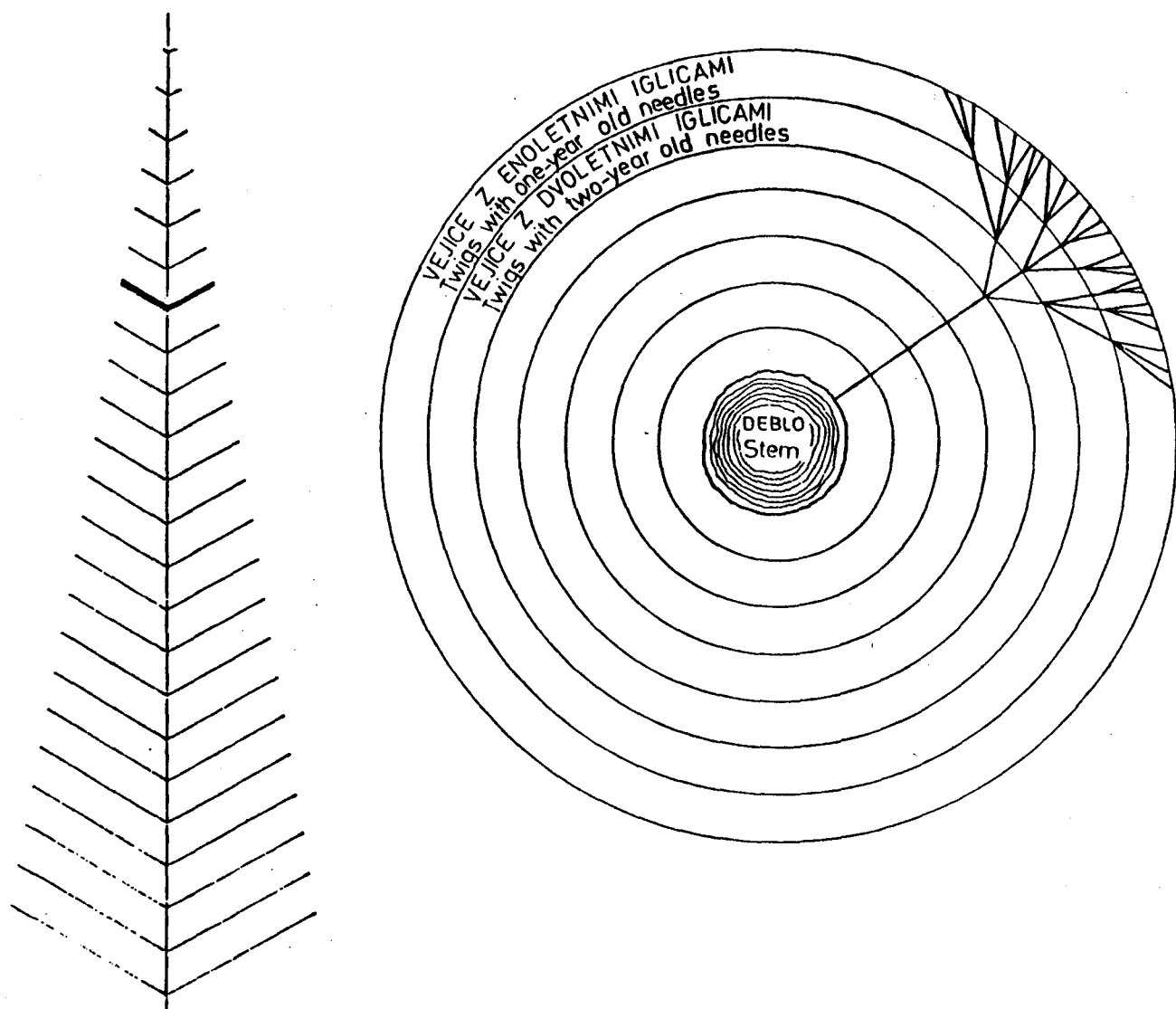
Leta 1985 so sodelavci Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo pričeli postavljati točke 16 x 16 km bioindikacijske mreže. Na teh točkah redno nabirajo vzorce iglic za laboratorijske analize.

Glavna bioindikacijska drevesna vrsta je smreka (*Picea abies* (L.)Karst.). Na območjih, kjer smreka ne raste, izbirajo druge drevesne vrste. Tako na priobalno-kraškem območju nabirajo vzorce iglic črnega bora (*Pinus nigra* Arnold), v vzhodni Sloveniji pa rdečega bora (*Pinus silvestris* L.). Vzorce nabirajo iz čimbolj vitalnih, nadraslih ali vsaj soraslih dreves, ki imajo dobro osvetljen zgornji del krošnje. Na vsaki bioindikacijski točki ali drugem raziskovalnem objektu je treba odvzeti vzorce z dveh tako izbranih dreves.

Vzorce iglic za laboratorijske analize nabiramo z vej sedmega drevesnega vretena (skica 1). Pri izbiri sedmega vretena moramo paziti, da najdemo res sedem let stare veje in da nas pri iskanju ne zavedejo vretena drugega reda. Zato se o pravilni izbiri vej sedmega vretena še enkrat prepričamo tako, da preštujemo, če ima veja res sedem različno starih poganjkov.

Najbolj primeren čas za vzorčenje so pozni jesenski in pa zimski meseci, t.j. ko vegetacija miruje (4, 5).

Za analizo izberemo enoletne in dvoletne iglice.

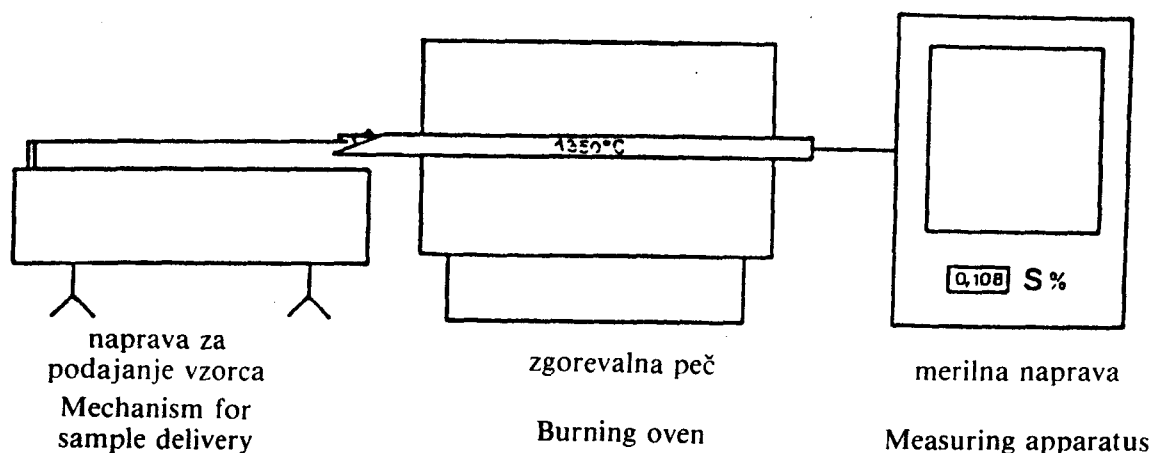


Skica 1: Shema nabiranja vzorcev iglic za kemijsko analizo  
 Sketch 1: Scheme of collection of needle samples for chemical analyses

## 2.2 Laboratorijsko delo

Če na terenu še niso ločili vzorcev enoletnih in dvoletnih iglic, potem v laboratoriju najprej razrežemo veje in posamezne odrezke razporedimo po starosti. Nato vzorce enoletnih in dvoletnih iglic posušimo, očistimo umazanije, jih zmeljemo in presejemo. Igllice sušimo pri sobni temperaturi, lahko pa tudi v sušilnih omarah pri temperaturi 45 °C.

Tako pripravljenim vzorcem določimo vsebnost skupnega žvepla z aparaturo SULMHOMAT 12 ADG (2, 3). Aparaturo (skica 2), ki deluje po konduktometrijski metodi, sestavljajo trije deli. Prvi del je naprava za avtomatično podajanje vzorcev, ki počasi in vedno z enako hitrostjo pomika žarilno ladjico z vzorcem v razžarjeni del peči. Z enakomernim in vedno enakim pomikom dosežemo, da analize potekajo vsakokrat v enakih pogojih zgorevanja, s tem pa dosežemo tudi večjo natančnost



Skica 2: Aparatura SULMHOMAT 12 ADG za določevanje skupnega žvepla  
Sketch 2: Equipment SULMHOMAT 12 ADG for determination of total sulphur content

določitve. Zgorevalna peč je drugi del aparature. Vzorec v njej zgori pri temperaturi 1350 °C. Ob dovajanju kisika žveplo zgori do žveplovega dvokisa (SO<sub>2</sub>). Nastali plini neprekinjeno prehajajo iz peči v merilni del aparature, ki meri količino žvepla na osnovi spremenjene prevodnosti reakcijske raztopine, v katero se uvaja žveplov dvokis.

### 2.3 Izvrednotenje analiznih rezultatov o vsebnosti žvepla v iglicah

Na osnovi analiznih rezultatov o vsebnosti žvepla v iglicah lahko ocenjujemo obremenjenost okolja z žveplom na posameznih objektih, iz katerih smo odvzeli vzorce za analizo. Za osnovno izhodišče takšnega ocenjevanja uporabljamo mejne vrednosti za klasifikacijo vsebnosti žvepla v smrekovih iglicah, kot jih uporabljajo v Avstriji (4, 5). Te vrednosti so prikazane v tabelah 1 in 2. Poprečne analizne rezultate o vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah za posamezen gozdni objekt (bioindikacijsko točko) najprej razvrstimo v ustrezne razrede po tabeli 1.

Tabela 1: Mejne vrednosti za klasifikacijo vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih smrekovih iglicah

Table 1: Marginal values required for the classification of the sulphur contents in one- and two-year spruce needles

Razred Class	Vsebnost žvepla (S) v ‰ Sulphur contents (S) in ‰	
	enoletne iglice one-year needles	dvoletne iglice two-year needles
1	do 0,080	do 0,100
2	0,081—0,110	0,101—0,140
3	0,111—0,150	0,141—0,190
4	nad 0,151	nad 0,191

Skupni razred vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic določimo na osnovi seštevka razreda vsebnosti žvepla v enoletnih iglicah in razreda vsebnosti žvepla v dvoletnih iglicah. Tako dobljeno vsoto vzporejamo z vrednostmi za skupni razred vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic v tabeli 2.

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

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

Skupni razred vsebnosti žvepla Total sulphur content class	Vsota razredov za enoletne in dvoletne iglice 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

Drevesa, ki so v 1. skupnem razredu vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic, imajo naravno količino žvepla v sestavinah iglic. Pri drevesih 2. razreda je naravna vsebnost žvepla nekoliko povečana zaradi zmerne imisije žvepla. Pri tej imisiji še ne pričakujemo poškodb na gozdnem drevju zaradi žvepla. Drevesa, katerih vzorce uvrščamo v 3. razred, rastejo v območju povečane imisije. Na drevju, ki raste v tem območju, so poškodbe zaradi žvepla že pričakovane. Na objektih, iz katerih so analizirani vzorci iglic razporejeni v 4. razred, je drevje v območju zelo povečane imisije žvepla, kjer so poškodbe na drevju zagotovo povezane tudi z imisijo žvepla.

Po navedenih tabelah smo tudi analiziranim rezultatom iglic črnega in rdečega bora oblikovali skupne vsebnostne razrede.

Za nekatere prikaze uporabljamo še skupne relativne razrede vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic. Te razrede smo dobili tako, da smo posamezne bioindikacijske točke razvrstili po rastočih vrednostih vsebnosti žvepla v iglicah. Nato smo točke razvrstili 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 OBREMENJENOSTI SLOVENSКИH GOZDOV Z ŽVEPLOM

V pozni jeseni in pozimi l. 1987/88 so bili nabrani in analizirani vzorci iglic s 86 točk 16 x 16 km bioindikacijske mreže. Rezultati analiz so prikazani v tabeli 3, kjer poleg

Tabela 3: Točke 16 x 16 m bioindikacijske mreže — vsebnost žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah, skupni in relativni razred vsebnosti žvepla (Podatki za l. 1987)

Table 3: The 16 x 16 km plots of the bio-indication network of SR Slovenia — sulphur contents in one- and two-year needles, the total and relative class of sulphur contents (Data for 1987)

Koordinata		Drevesna vrsta	Vsebnost žvepla 1 letne      2 letne iglice		Skupni vsebnostni razred	Relativni vsebnostni razred
Co-ordinate		Tree species	Sulphur content 1 year      2 year needles		Total content class	Relative content class
			%	%		
A	4	sm	0.091	0.083	2	1
B	3	sm	0.079	0.084	1	1
B	4	sm	0.077	0.083	1	1
B	5	sm	0.112	0.112	3	4
B	6	sm	0.105	0.100	2	2
B	7	čbo	0.093	0.095	2	1
B	10	čbo	0.082	0.075	2	1
C	3	sm	0.103	0.108	2	3
C	4	sm	0.106	0.099	2	3
C	5	sm	0.080	0.081	1	1
C	6	sm	0.102	0.106	2	2
C	7	sm	0.101	0.101	2	2
C	8	čbo	0.091	0.084	2	1
C	9	čbo	0.103	0.100	2	2
C	10	čbo	0.080	0.082	1	1
D	3	sm	0.103	0.119	2	4
D	4	sm	0.093	0.104	2	2
D	5	sm	0.110	0.135	2	4
D	6	sm	0.101	0.115	2	3
D	7	sm	0.105	0.118	2	4
D	8	čbo	0.101	0.115	2	3
D	9	sm	0.098	0.113	2	3
E	4	sm	0.113	0.121	3	4
E	5	sm	0.115	0.128	3	4
E	6	sm	0.121	0.116	3	4
E	7	sm	0.111	0.106	3	3
E	8	sm	0.107	0.105	2	3
E	9	čbo	0.081	0.076	2	1
F	4	sm	0.094	0.108	2	2
F	5	sm	0.113	0.126	3	4
F	6	sm	0.132	0.146	3	5
F	7	sm	0.099	0.107	2	2
F	8	sm	0.112	0.110	3	4
F	9	sm	0.106	0.105	2	3
G	3	sm	0.097	0.105	2	2
G	4	sm	0.092	0.100	2	1
G	5	sm	0.119	0.131	3	5
G	6	sm	0.125	0.147	3	5
G	7	sm	0.116	0.112	3	4
G	8	sm	0.101	0.092	2	2
G	9	sm	0.089	0.096	2	1

Koordinata		Drevesna vrsta	Vsebnost žvepla 1 letne 2 letne iglice		Skupni vsebnostni razred	Relativni vsebnostni razred
Co-ordinate		Tree species	Sulphur content 1 year 2 year needles		Total content class	Relative content class
			%	%		
H	2	sm	0.103	0.116	2	3
H	3	sm	0.114	0.140	3	5
H	4	sm	0.104	0.107	2	3
H	5	sm	0.138	0.149	3	5
H	6	sm	0.122	0.121	3	5
H	7	sm	0.126	0.138	3	5
H	8	sm	0.093	0.084	2	1
H	9	sm	0.106	0.088	2	2
H	10	sm	0.103	0.085	2	2
I	2	sm	0.131	0.155	3	5
I	3	sm	0.154	0.164	4	5
I	4	sm	0.085	0.079	2	1
I	5	sm	0.155	0.129	3	5
I	6	sm	0.108	0.109	2	4
I	7	sm	0.103	0.102	2	2
I	8	sm	0.098	0.112	2	3
I	9	sm	0.088	0.083	2	1
I	10	sm	0.097	0.110	2	2
J	2	sm	0.121	0.132	3	5
J	3	sm	0.102	0.107	2	3
J	4	sm	0.109	0.108	2	3
J	5	sm	0.139	0.154	3	5
J	6	sm	0.111	0.116	3	4
J	7	sm	0.098	0.102	2	2
J	8	sm	0.104	0.111	2	3
J	9	sm	0.105	0.104	2	3
J	10	sm	0.079	0.076	1	1
K	2	sm	0.116	0.129	3	5
K	3	sm	0.121	0.129	3	5
K	4	sm	0.132	0.133	3	5
K	5	sm	0.103	0.121	2	4
K	6	sm	0.098	0.107	2	2
K	7	sm	0.090	0.091	2	1
L	2	sm	0.105	0.115	2	4
L	3	sm	0.123	0.113	3	4
L	4	sm	0.123	0.136	3	5
L	6	sm	0.088	0.092	2	1
M	2	sm	0.120	0.128	3	5
M	3	sm	0.129	0.130	3	5
M	4	sm	0.095	0.097	2	2
N	1	sm	0.101	0.110	2	3
N	3	sm	0.104	0.130	2	4
O	1	rbo	0.102	0.098	2	2
O	2	sm	0.118	0.108	3	4
P	3	rbo	0.112	0.102	3	3

čbo ..... črni bor (*Pinus nigra*)

rbo ..... rdeči bor (*Pinus silvestris*)

sm ..... smreka (*Picea abies*)



Tabela 4: Točke 16 x 16 m bioindikacijske mreže — vsebnost žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah, skupni in relativni razred vsebnosti žvepla (Podatki za l. 1988)

Table 4: The 16 x 16 km plots of the bio-indicative network of SR Slovenia — sulphur contents in one- and two-year needles, the total and relative class of sulphur contents (Data for 1988)

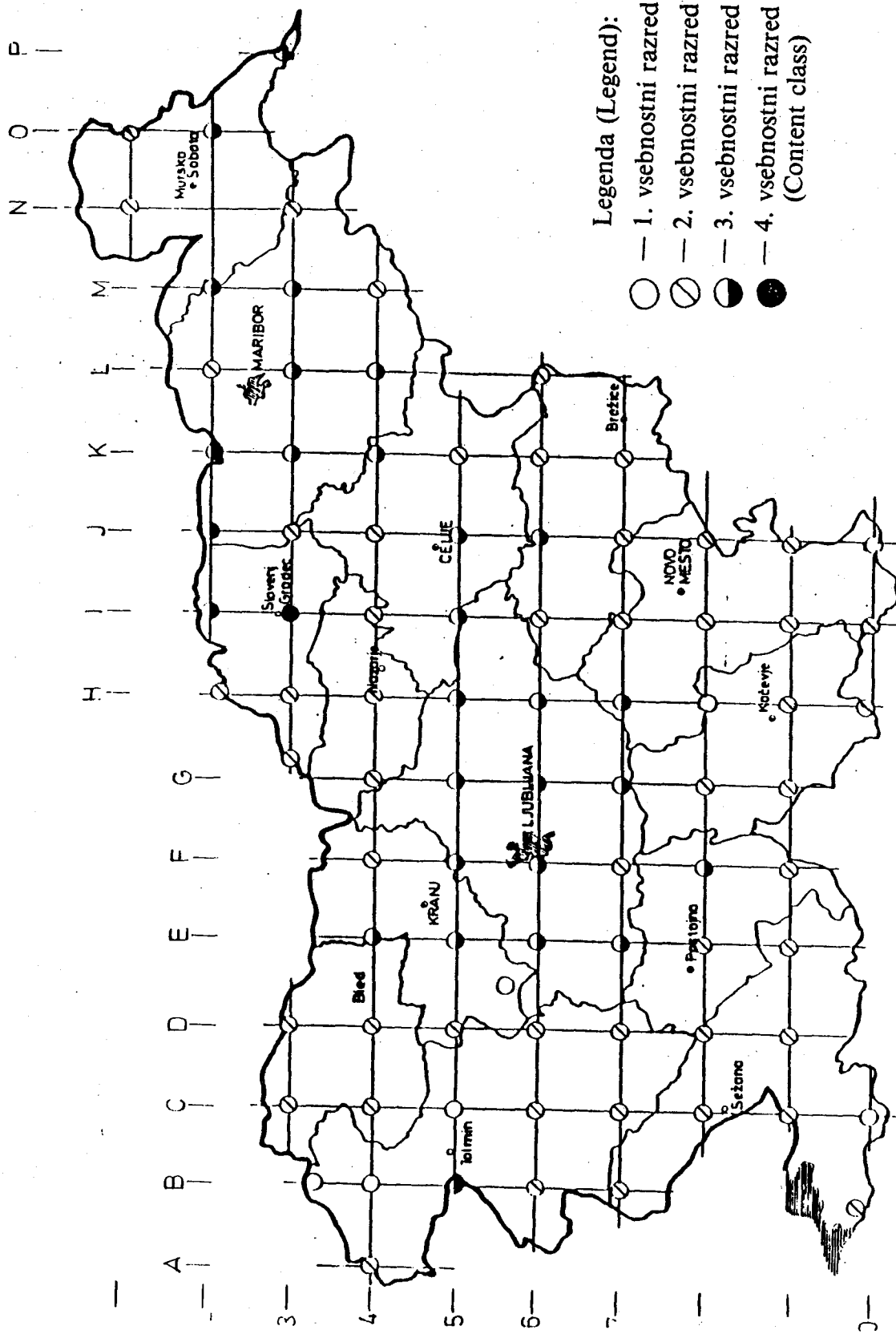
Koordinata		Drevesna vrsta	Vsebnost žvepla 1 letne      2 letne iglice		Skupni vsebnostni razred	Relativni vsebnostni razred
Co-ordinate		Tree species	Sulphur content 1 year      2 year needles		Total content class	Relative content class
			%	%		
A	4	sm	0.103	0.093	2	1
B	3	sm	0.106	0.121	2	2
B	4	sm	0.114	0.113	3	2
B	5	sm	0.132	0.144	3	5
B	6	sm	0.138	0.122	3	4
C	3	sm	0.135	0.128	3	4
C	4	sm	0.118	0.116	3	2
C	5	sm	0.104	0.108	2	1
C	6	sm	0.117	0.132	3	3
C	7	sm	0.113	0.120	3	2
D	3	sm	0.120	0.139	3	4
D	4	sm	0.104	0.107	2	1
D	5	sm	0.119	0.144	3	4
D	6	sm	0.123	0.115	3	2
D	7	sm	0.144	0.165	3	5
E	4	sm	0.115	0.145	3	3
E	5	sm	0.142	0.152	3	5
E	6	sm	0.122	0.129	3	3
E	7	sm	0.118	0.121	3	3
E	8	sm	0.110	0.106	2	1
F	4	sm	0.107	0.112	2	1
F	5	sm	0.137	0.144	3	5
F	6	sm	0.126	0.159	3	5
F	7	sm	0.104	0.113	2	1
F	8	sm	0.127	0.128	3	3
F	9	sm	0.110	0.120	2	2
G	3	sm	0.140	0.126	3	4
G	4	sm	0.110	0.120	2	2
G	5	sm	0.112	0.136	3	3
G	6	sm	0.126	0.147	3	4
G	7	sm	0.108	0.119	2	2
G	8	sm	0.113	0.116	3	2
G	9	sm	0.099	0.117	2	1
H	2	sm	0.129	0.143	3	4
H	3	sm	0.154	0.170	4	5
H	4	sm	0.124	0.151	3	4
H	5	sm	0.120	0.135	3	3
H	6	sm	0.123	0.140	3	4
H	7	sm	0.135	0.176	3	5
H	8	sm	0.090	0.089	2	1

Koordinata		Drevesna vrsta	Vsebnost žvepla		Skupni vsebnostni razred	Relativni vsebnostni razred
Co-ordinate			1 letne iglice	2 letne iglice		
		Tree species	Sulphur content		Total content class	Relative content class
			1 year needles	2 year needles		
			%	%		
H	9	sm	0.105	0.114	2	1
H	10	sm	0.131	0.113	3	3
I	2	sm	0.149	0.182	3	5
I	3	sm	0.172	0.212	4	5
I	4	sm	0.111	0.152	3	3
I	5	sm	0.142	0.168	3	5
I	6	sm	0.110	0.116	2	2
I	7	sm	0.117	0.125	3	3
I	8	sm	0.100	0.113	2	1
I	9	sm	0.101	0.093	2	1
I	10	sm	0.113	0.122	3	2
J	2	sm	0.124	0.128	3	3
J	3	sm	0.139	0.153	3	5
J	4	sm	0.129	0.136	3	4
J	5	sm	0.158	0.195	4	5
J	6	sm	0.113	0.145	3	3
J	7	sm	0.122	0.131	3	3
J	8	sm	0.104	0.100	2	1
J	9	sm	0.105	0.112	2	1
J	10	sm	0.091	0.090	2	1
K	2	sm	0.135	0.143	3	4
K	3	sm	0.107	0.111	2	1
K	4	sm	0.113	0.124	3	2
K	5	sm	0.122	0.137	3	4
K	6	sm	0.131	0.150	3	5
K	7	sm	0.117	0.119	3	2
L	2	sm	0.120	0.144	3	4
L	3	sm	0.140	0.136	3	5
L	4	sm	0.136	0.147	3	5
L	6	sm	0.110	0.112	2	2
M	2	sm	0.130	0.163	3	5
M	3	sm	0.117	0.134	3	3
M	4	sm	0.112	0.121	3	2
N	1	sm	0.124	0.133	3	4
N	3	sm	0.104	0.127	2	2
O	1	r.bo.	0.114	0.129	3	3
O	2	sm	0.131	0.135	3	4
P	3	r.bo.	0.134	0.128	3	4

r.bo. .... rdeči bor (*Pinus silvestris*)  
sm ..... smreka (*Picea abies*)

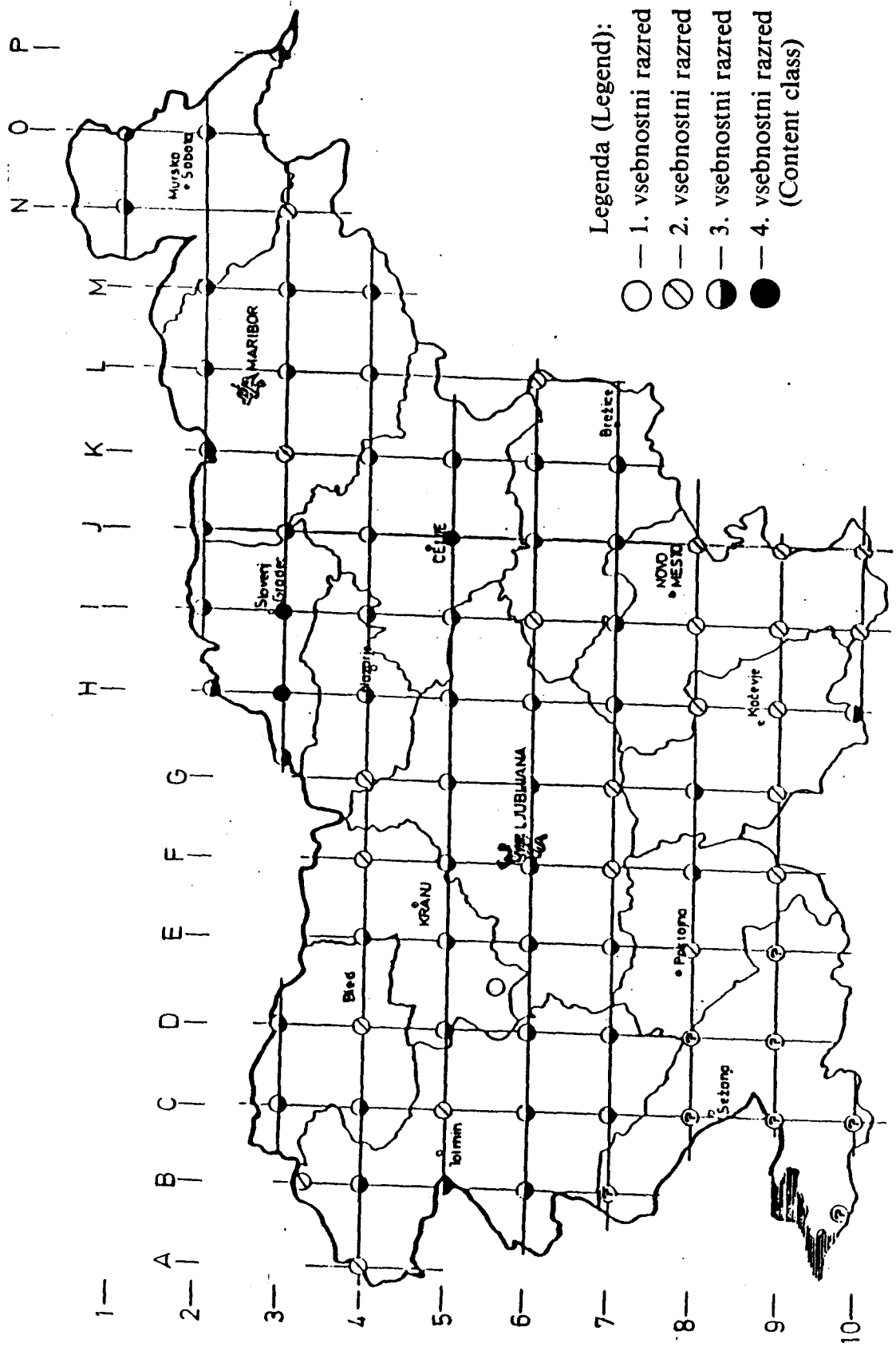
Opomba 1: Na bioindikacijskih točkah kraškega gozdnogospodarskega območja l. 1988 niso bili nabrani vzorci za laboratorijske analize

Please note 1: No samples for lar analysis were collected in the Karst forest enterprise area for 1988



Skica 3: Skupni razredi vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic na bioindikacijski mreži (1987)

Sketch 3: Total sulphur content classes in one- and two-year needles of bio-indication network (1987)



Skica 4: Skupni razredi vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic na bioindikacijski mreži (1988)

Sketch 4: Total sulphur content classes in one- and two-year needles of bio-indication network

podatkov o imenu in položaju bioindikacijske točke ter srednjih vrednosti vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah lahko razberemo tudi relativni in skupni razred vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic (skupni vsebnostni razred žvepla). Tudi analiznim podatkom o vsebnosti žvepla v iglicah črnega in rdečega bora smo tvorili skupne vsebnostne razrede žvepla po omenjenih tabelah, ki sicer veljajo za smreko. Za l. 1988/89 imamo podatke za 78 bioindikacijskih točk (tabela 4), ker takrat niso bili nabrani vzorci na točkah kraškega gozdnogospodarskega območja Sežana. Na priloženih skicah 3 in 4 so skupni vsebnostni razredi žvepla razporejeni po legi bioindikacijskih točk v prostoru SR Slovenije. Po teh podatkih lahko sklepamo, da so gozdovi zahodnega in južnega dela Slovenije najmanj obremenjeni z žveplom in da je največja imisija žvepla na širšem območju Ljubljane, Celja, Slovenj Gradca in Maribora.

Iz porazdelitve relativnih razredov vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic po gozdnogospodarskih območjih (tabela 5) lahko sklepamo, da sta v poprečju Kraško

Tabela 5: Bioindikacijska mreža SR Slovenije — porazdelitev točk po relativnih razredih vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic (Podatki za l. 1987)

Table 5: The bio-indication network of SR Slovenia — the distribution of plots according to relative classes of sulphur contents in one- and two-year needles (Data for 1987)

Gozdnogospodarsko območje	Relativni vsebnostni razred žvepla					Skupaj
	1	2	3	4	5	
Forest enterprise	Relative sulphur contents class					Total
	1	2	3	4	5	
Tolmin	4	3	1	2	—	10
Bled	—	1	2	2	—	5
Kranj	—	1	—	2	—	3
Ljubljana	—	1	1	3	6	11
Postojna	—	—	2	1	—	3
Kočevje	1	3	—	—	—	4
Novo mesto	3	2	3	—	1	9
Brežice	2	2	—	2	—	6
Celje	1	—	1	1	2	5
Nazarje	1	—	1	—	—	2
Slovenj Gradec	—	1	2	—	3	6
Maribor	—	1	—	3	5	9
Murska Sobota	—	1	2	1	1	5
Sežana	5	1	2	—	—	8
Skupaj	17	17	17	17	17	86
Total	17	17	17	17	17	86

gozdnogospodarsko območje in gozdnogospodarsko območje Kočevje najmanj, območji Maribor in Ljubljana pa najbolj obremenjeni z žveplom. Imisijske razmere žvepla naraščajo po gozdnogospodarskih območjih po naslednjem vrstnem redu (poleg imena gozdnogospodarskega območja je naveden še poprečni relativni razred za območje):

Najvišjo vsebnost žvepla so imeli vzorci iglic na območju Slovenj Gradca (Podgorje), kar pojasnjujemo z bližino TE Šoštanj. Preseneča podatek, da so gozdovi gozdnogospodarskega območja Nazarje po rezultatih raziskave za l. 1987 najmanj obremenjeni z žveplom, čeprav je po podatkih popisa gozdov l. 1987 (1) na tem in na slovenjegraškem območju največ poškodovanih dreves in so tam najbolj ogroženi gozdovi na območju SR Slovenije, saj je v tem območju največji slovenski onesnaževalec zraka z žveplom. Iz tega lahko sklepamo, da edini točki osnovne 16 x 16 km bioindikacijske mreže Slovenije na gozdnogospodarskem območju Nazarje ležita izven

Podatki za l. 1988

Data for 1988

Gozdnogospodarsko območje	Relativni vsebnostni razred žvepla					Skupaj
	1	2	3	4	5	
Forest enterprise	Relative sulphur contents class					Total
	1	2	3	4	5	
Tolmin	2	4	1	1	2	10
Bled	1	1	1	2	—	5
Kranj	1	—	—	1	1	3
Ljubljana	1	1	4	2	3	11
Postojna	1	1	1	—	—	3
Kočevje	2	1	1	—	—	4
Novo mesto	6	1	1	—	1	9
Brežice	—	3	2	—	1	6
Celje	—	1	1	2	1	5
Nazarje	—	1	—	1	—	2
Slovenj Gradec	—	—	—	2	4	6
Maribor	1	2	2	2	2	9
Murska Sobota	—	—	1	3	1	5
Sežana	—	—	—	—	—	—
Skupaj	15	16	15	16	16	78
Total						

Opomba 1: Na bioindikacijskih točkah kraškega gozdnogospodarskega območja l. 1988 niso bili nabrani vzorci za laboratorijske analize

Please note 1: No samples for lab analysis were collected in the Karst forest enterprise area for 1988

vplivnega območja onesnaževanja zraka z žveplovim dvokisom in, da so točke 16 x 16 km bioindikacijske mreže preredke, da bi lahko zajele vsa večja onesnažena območja.

Tabela 7 prikazuje porazdelitev točk 16 x 16 km bioindikacijske mreže po skupnih vsebnostnih razredih žvepla. Poleg števila točk v posameznem razredu in njihovega odstotnega deleža so v tabeli navedene še poprečne, minimalne in maksimalne vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah.

L. 1987 je bila za vseh 86 bioindikacijskih točk v Sloveniji poprečna vsebnost žvepla v enoletnih iglicah 0,106 ‰S, v dvoletnih iglicah pa 0,110 ‰S, kar ustreza drugemu skupnemu razredu vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic. Največ točk (51 točk ali 59 ‰ vseh obravnavanih točk) je v 2. razredu, 29 točk (34 ‰) je v 3. razredu, 5 točk (6 ‰) je v 1. in 1 točka (1 ‰) v 4. razredu. Torej je v osnovni bioindikacijski mreži Slovenije 30 (35 ‰) takšnih točk, kjer lahko pričakujemo poškodbe na gozdnem drevju zaradi škodljivega delovanja žvepla.

Tabela 6: Razporeditev gozdnogospodarskih območij po poprečnih relativnih razredih vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic

Table 6: The distribution of forest enterprise areas according to the average relative classes of sulphur contents in one- and two-year needles

1987		1988	
1. Kraško GGO Sežana	1,6	(Kraško GGO Sežana)	—
2. GGO Kočevje	1,8	GGO Kočevje	1,8
3. GGO Nazarje	2,0	GGO Novo mesto	1,8
4. GGO Tolmin	2,1	GGO Postojna	2,0
5. GGO Novo mesto	2,3	GGO Tolmin	2,7
6. GGO Brežice	2,3	GGO Bled	2,8
7. GGO Bled	3,2	GGO Brežice	2,8
8. GGO Kranj	3,3	GGO Nazarje	3,0
9. GGO Postojna	3,3	GGO Maribor	3,2
10. GGO Murska Sobota	3,4	GGO Kranj	3,3
11. GGO Celje	3,6	GGO Ljubljana	3,5
12. GGO Slovenj Gradec	3,8	GGO Celje	3,6
13. GGO Ljubljana	4,3	GGO Murska Sobota	4,0
14. GGO Maribor	4,3	GGO Slovenj Gradec	4,7

(Please note: GGO — forest enterprise area)

Tabela 7: Bioindikacijska mreža SR Slovenije — porazdelitev bioindikacijskih točk po skupnih razrednih vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic

Table 7: The bio-indication network of SR Slovenia — the distribution of the bio-indication plots into total classes according to sulphur contents in one- and two-year needles

Skupn. vsebn. razr. žvepla Total class (S)	Štev. točk No. of points	Vsebnost žvepla (S) v % Sulphur contents (S) in %						
		%	enoletne iglice popr. min. max.			dvoletne iglice popr. min. max.		
			%	average	min.	max.	average	min.
<b>1985</b>								
1	0	—	—	—	—	—	—	—
2	27	49,1	0,101	0,084	0,110	0,107	0,85	0,128
3	28	50,1	0,123	0,111	0,145	0,130	0,104	0,163
4	0	—	—	—	—	—	—	—
Skupaj	55	100,0	0,112	0,084	0,145	0,119	0,085	0,163
<b>1986</b>								
1	2	2,3	0,075	0,075	0,075	0,076	0,067	0,085
2	54	62,8	0,100	0,078	0,110	0,104	0,078	0,132
3	30	34,9	0,123	0,112	0,146	0,131	0,103	0,164
4	—	—	—	—	—	—	—	—
Skupaj	86	100,0	0,107	0,075	0,146	0,113	0,067	0,164
<b>1987</b>								
1	5	5,8	0,079	0,077	0,080	0,081	0,076	0,084
2	51	59,3	0,099	0,081	0,110	0,103	0,075	0,135
3	29	33,7	0,122	0,111	0,155	0,127	0,102	0,155
4	1	1,2	0,154	0,154	0,154	0,164	0,164	0,164
Skupaj	86	100,0	0,106	0,077	0,155	0,110	0,075	0,164
<b>1988</b>								
1	0	—	—	—	—	—	—	—
2	22	28,2	0,104	0,090	0,110	0,110	0,089	0,127
3	53	68,0	0,125	0,111	0,149	0,137	0,113	0,182
4	3	3,8	0,161	0,154	0,172	0,192	0,170	0,212
Skupaj	78	100,0	0,121	0,090	0,172	0,132	0,089	0,212

V isti tabeli so tudi podatki za leti 1985 in 1986. Po teh podatkih se je poprečna vsebnost žvepla v iglicah iz leta v leto nekoliko zmanjševala, pa tudi razpored točk po skupnih vsebnostnih razredih žvepla je bil iz leta v leto ugodnejši, saj so se točke viš-



Tabela 8: Porazdelitev bioindikacijskih točk po skupnih razredih vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic po gozdnogospodarskih območjih

Table 8: The distribution of bio-indication plots into total classes according to sulphur contents in one- and two-year needles per forest enterprise area

Gozdnogospodarsko območje Forest enterprise	1985					1986				
	Skupni vsebnostni razred žvepla Total sulphur contents class					Skupni vsebnostni razred žvepla Total sulphur contents class				
	1	2	3	4	S Total	1	2	3	4	S Total
Tolmin	—	6	2	—	8	—	7	3	—	10
Bled	—	—	5	—	5	—	2	3	—	5
Kranj	—	1	2	—	3	—	1	2	—	3
Ljubljana	—	—	—	—	—	—	4	7	—	11
Postojna	—	—	—	—	—	—	3	—	—	3
Kočevje	—	3	—	—	3	—	4	—	—	4
Novo mesto	—	5	4	—	9	—	8	1	—	9
Brežice	—	4	1	—	5	—	4	2	—	6
Celje	—	3	2	—	5	—	4	1	—	5
Nazarje	—	1	1	—	2	—	1	1	—	2
Slovenj Gradec	—	—	6	—	6	—	—	6	—	6
Maribor	—	4	5	—	9	—	6	3	—	9
Murska Sobota	—	—	—	—	—	—	4	1	—	5
Sežana	—	—	—	—	—	2	6	—	—	8
Skupaj	—	27	28	—	55	2	54	30	—	86
%		49	51			2	63	35	1	
%		49	51			65		36		

Gozdnogospodarsko območje Forest enterprise	1987					1988				
	Skupni vsebnostni razred žvepla Total sulphur contents class					Skupni vsebnostni razred žvepla Total sulphur contents class				
	1	2	3	4	S Total	1	2	3	4	S Total
Tolmin	3	6	1	—	10	—	3	7	—	10
Bled	—	4	1	—	5	—	1	4	—	5
Kranj	—	2	1	—	3	—	1	2	—	3
Ljubljana	—	1	10	—	11	—	2	9	—	11
Postojna	—	2	1	—	3	—	2	1	—	3
Kočevje	—	4	—	—	4	—	2	2	—	4
Novo mesto	1	7	1	—	9	—	6	3	—	9
Brežice	—	5	1	—	6	—	2	4	—	6
Celje	—	3	2	—	5	—	—	4	1	5
Nazarje	—	2	—	—	2	—	1	1	—	2
Slovenj Gradec	—	3	2	1	6	—	—	4	2	6
Maribor	—	3	6	—	9	—	2	7	—	9
Murska Sobota	—	2	3	—	5	—	—	5	—	5
Sežana	1	7	—	—	8	—	—	—	—	—
Skupaj	5	51	29	1	86	—	22	53	3	78
%	6	59	34	1		—	28	68	4	
%		49	51				28	72		

Opomba 3: Na bioindikacijskih točkah kraškega gozdnogospodarskega območja l. 1988 niso bili nabrani vzorci za laboratorijske analize.

Please note 3: No samples for lab analysis were collected in the Karst forest enterprise area for 1988.

jih razredov premeščale v nižje skupne vsebnostne razrede žvepla. Lahko bi torej sklepali, da se imisijske razmere v gozdovih Slovenije iz leta v leto izboljšujejo oz. da se imisija žvepla zmanjšuje. Ker pa doslej pri nas še niso izvedli nobenih večjih ukrepov za zmanjševanje emisije žveplovega dvokisa (namestitvev naprav za razžvepljevanje plinov, uporaba goriv z nižjo vsebnostjo žvepla, ...), lahko nižje vsebnosti žvepla pripisujemo le ugodnejšim vremenskim razmeram kot so npr. večja vetrovnost in mile zime. Pogostejši, pa tudi močnejši veter razredčuje vsebnost žveplovega dvokisa v zraku in na ta način zmanjšuje njegovo škodljivo delovanje, seveda pa se splošna onesnaženost z žveplovim dvokisom ne zmanjša, ampak se poveča daljinski transport žveplovih spojin. V milejših zimah je manjša poraba trdih goriv za ogrevanje prostorov pa tudi v termoelektrarnah, saj so takrat tudi potrebe po proizvodnji elektrike manjše. Zaradi manjše porabe goriv je tudi onesnaževanje zraka z žveplovim dvokisom manjše. Rezultati raziskave l. 1988 so višji od rezultatov prejšnjih let in potrjujejo domnevo, da je stanje imisije žvepla na območju SR Slovenije vedno slabše in da so bili podatki za l. 1986 in 1987 le rezultat ugodnejših vremenskih razmer.

Porazdelitev skupnih razredov vsebnosti žvepla enoletnih in dvoletnih iglic po gozdnogospodarskih območjih (tabela 8) nam podrobneje ponazarja spremembe imisijskih razmer v zadnjih letih po posameznih gozdnogospodarskih območjih.

Najbolj vidni premiki bioindikacijskih točk iz višjih v nižje skupne vsebnostne razrede žvepla so bili v l. 1986 in 1987 na gozdnogospodarskem območju Tolmin in Bled, vidni so bili tudi v Kranju, Novem mestu, Brežicah in Nazarjih, na Kočevskem se stanje ni spremenilo, poslabšalo pa se je na območju Postojne, Murske Sobote, Sežane, Slovenj Gradca, Celja, posebno pa na širšem območju Ljubljane in Maribora. Po podatkih raziskave l. 1988 se je obremenjenost gozdov z žveplom zelo povečala. Na vseh gozdnogospodarskih območjih je slabše stanje od prejšnjih let. Le na gozdnogospodarskem območju Postojna je stanje enako kot je bilo l. 1987.

Poprečne vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah za gozdnogospodarska območja (tabela 9) tudi pojasnjujejo poprečne imisijske razmere na posameznih območjih. Najnižjo poprečno vsebnost žvepla so imele iglice bioindikacijskih točk na območju Kočevja, Sežane, Tolmina, Novega mesta, Brežic in Nazarij. Nekaj višje vsebnosti so bile ugotovljene na območju Murske Sobote, Postojne in Bleda, najvišje pa na območju Maribora, Celja, Kranja, Ljubljane in Slovenj Gradca, kjer so poprečne vsebnosti žvepla v enoletnih in dvoletnih iglicah najvišje (bioindikacijska točka 13 Podgorje, kjer je bilo l. 1987 v enoletnih iglicah 0,154 % S, v dvoletnih iglicah pa 0,164 % S).

Poprečne vsebnosti žvepla po posameznih gozdnogospodarskih območjih so se iz leta v leto večinoma zmanjševale, le v gozdnogospodarskih območjih Postojna, Murska Sobota, Maribor in Ljubljana te vrednosti naraščajo, kar pomeni, da se na

Tabela 9: Poprečne vsebnosti žvepla v iglicah  
Table 9: The average sulphur contents in needles

Gozdnogospodarsko območje Forest enterprise	enoletne iglice one-year needles			
	1985	1986	1987	1988
Tolmin	(0,103)*	0,102	0,095	0,119
Bled	0,116	0,113	0,104	0,118
Kranj	0,111	0,116	0,106	0,123
Ljubljana	—	0,119	0,123	0,122
Postojna	—	0,102	0,108	0,116
Kočevje	(0,095)	0,098	0,100	0,112
Novo mesto	0,108	0,100	0,099	0,106
Brežice	0,109	0,103	0,099	0,117
Celje	0,113	0,114	0,114	0,127
Nazarje	0,115	0,108	0,098	0,117
Slovenj Gradec	0,136	0,126	0,117	0,147
Maribor	0,113	0,106	0,115	0,122
Murska Sobota	—	0,108	0,111	0,127
Sežana	—	0,091	0,091	—
Skupaj	(0,112)	0,107	0,106	(0,121)

Gozdnogospodarsko območje Forest enterprise	dvoletne iglice two-year needles			
	1985	1986	1987	1988
Tolmin	(0,105)	0,102	0,098	0,123
Bled	0,120	0,117	0,110	0,127
Kranj	0,122	0,126	0,124	0,136
Ljubljana	—	0,131	0,126	0,137
Postojna	—	0,103	0,107	0,118
Kočevje	(0,099)	0,102	0,090	0,115
Novo mesto	0,114	0,106	0,102	0,113
Brežice	0,113	0,106	0,103	0,129
Celje	0,131	0,125	0,119	0,149
Nazarje	0,112	0,114	0,104	0,136
Slovenj Gradec	0,148	0,139	0,131	0,164
Maribor	0,120	0,112	0,123	0,132
Murska Sobota	—	0,111	0,109	0,138
Sežana	—	0,092	0,093	—
Skupaj	(0,119)	0,113	0,110	(0,132)

\* V oklepaju navedene vrednosti so poprečje nepopolnega števila bioindikacijskih točk na posameznem gozdnogospodarskem območju.

\* The numbers in parenthesis are the averages of the incomplete number of bio-indicative points in individual forest enterprise areas.

teh območjih imisijske razmere žvepla slabšajo. L. 1988 so se poprečne vsebnosti žvepla v iglicah povečale prav na vseh gozdnogospodarskih območjih Slovenije.

#### **4 ZAKLJUČEK**

Iz vsega navedenega lahko povzamemo, da je bila l. 1987 na približno tretjini vseh točk osnovne 16 x 16 km bioindikacijske mreže imisija žvepla tako visoka, da v njihovi okolici lahko pričakujemo poškodbe na gozdnem drevju tudi zaradi škodljivega delovanja žvepla. Po podatkih zadnjih raziskav l. 1988 pa je drevje ogroženo od imisije žvepla kar na dveh tretjinah vseh točk bioindikacijske mreže. Obremenitev gozdov z žveplom se v Sloveniji povečuje, posebno v industrijsko bolj razvitih območjih kot so Ljubljana, Maribor in Celje, v okolici večjih onesnaževalcev zraka z žveplovimi oksidi (Slovenj Gradec), pa tudi ponekod drugod, kjer v bližini sicer ni večjih onesnaževalcev zraka z žveplom (Postojna, severovzhodna Slovenija) verjetno pa prihaja onesnaženje iz oddaljenejših industrijskih središč (Trst, Istra, Reka, oz. Maribor in Celje).

V reliefno zelo razgibani pokrajini Slovenije nam podatki osnovne 16 x 16 km bioindikacijske mreže lahko dajejo le približno oceno o stanju imisijskih razmer žvepla v gozdovih Slovenije, saj smo ugotovili, da nam razmeroma redko razmeščene bioindikacijske točke te mreže nakazujejo npr. majhno obremenjenost gozdov gozdnogospodarskega območja Nazarje z žveplom, čeprav je na tem območju eden največjih onesnaževalcev zraka z žveplovimi oksidi v Sloveniji, kar potrjujejo tudi podatki iz popisa l. 1987 o visoki stopnji poškodovanosti gozdnega drevja na tem območju. Zato bi morali marsikje na območju SR Slovenije zgostiti mrežo bioindikacijskih točk, ali pa postaviti vmesne, po posebnem načrtu razmeščene profile bioindikacijskih točk, ki bi upoštevali specifične reliefne, mezoklimatske in druge razmere določenega območja. Le tako bi lahko dobili stvarnejšo predstavo o obremenjenosti slovenskih gozdov z žveplom.

#### **5 LITERATURA**

1. Črna knjiga o propadanju gozdov v Sloveniji l. 1987. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, Ljubljana, 1987.
2. Gasanalysen-Messanlage. Typ: "SULMHOMAT 12 ADG". Gebrauchsanleitungen. WÖSTHOFF GmbH, Messtechnik, Bochum, 1986.
3. KREUTZSCHMAR, R.: Kulturtechnisch-bodenkundliches Praktikum. Ausgewählte Laboratoriumsmethoden. Eine Anleitung zum selbständigen Arbeiten an Böden, 4. Auflage. Institut für Wasserwirtschaft und Meliorationswesen der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Kiel, 1984.
4. STEFAN, K.: Bioindikatornetz Kärnten 1985. Ergebnisse der Schwefelanalysen. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien, 1986 (tipkopis).

5. Zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, Wien, 1982, 196. Stück.

## 6. SUMMARY

### THE CONTAMINATION OF SLOVENE FOREST WITH SULPHUR

Sulphur dioxide is the most widely spread and efficient among the known causes of damages on trees in forests. Plants grow in one and the same spot. They cannot withdraw from unpleasant impacts of the environment as man or animals can. They have to carry on living in conditions given on their site. As a result they collect the deposits of their polluted environment and among them sulphur as well. Plants and their tissues can therefore be used as bio-indicators when evaluating the degree of contamination of the environment with sulphur.

Samples of needles required for lab analysis are collected in the points of the 16 x 16 km bio-indication network. They are collected in late autumn or winter, when vegetation rests. The main bio-indication tree species is norway spruce (*Picea abies* Karst.), while in areas where spruce does not prosper, black pine (*Pinus nigra* Arnold) and Scots pine (*Pinus silvestris* L.) are collected. Samples are collected from trees which have to be as vital as possible and those either higher in growth or of the same height. In each bio-indication area we collect samples from two trees. Samples of one-year (half year) and two-year needles from six and a half year old branches, i.e. the branches of the seventh whirl are collected for analysis.

The sulphur contents in needles is determined with the SULMHOMAT 12 ADG instrument. The analysis results are evaluated according to the marginal values for the classification of sulphur contents in spruce needles — the same as they use in Austria.

According to data obtained through research on samples collected in autumn 1987 it was established, that in one third of the plots of 16 x 16 km bioindication network of forest decline research, sulphur contamination was so high, that we can expect damage on trees in forests surrounding these areas, a result of the damaging impact of sulphur compounds. The most contaminated are the industrially developed parts of Ljubljana, Maribor, Celje and the surroundings of Slovenj Gradec.

A comparison of data for 1985, 1986 and 1987 shows, that the sulphur content slightly decreased from year to year. Since no major measures to decrease the emission of sulphur dioxide have yet been undertaken in this country, a lower sulphur content can only be attributed to favourable weather conditions. This was confirmed by data based on research on samples collected in autumn 1988. The results of this analysis show a much higher level of contamination than it had been in previous

years. The entire two thirds are so contaminated with sulphur, that sulphur became the major cause of forest damage in the surroundings.

In a land as varied as Slovenia, data from the basic 16 x 16 km bio-indication network gives us only an average estimate of forest contamination with sulphur. A more realistic picture can be achieved on the basis of a more dense network of bio-indication plots which have to be very carefully placed, taking into account the specific configuration, the mezoclimatic and other conditions of each individual area.