

RAZISKOVALNA NALOGA

ŠT. 12 / 89

LJUBLJANA, AVGUST 1990

GDK 174.7 *Picea abies* (L) Kant : 113 : 161 : 425.1 : 164.5 :
:(497 12 šostanj)

u. b. termoelektrarna, onesnaževant ohelja, posthodba gozda,
Picea abies, iglice, mehant žvepla, fotobiotetika pigment,
elektrina perodunt, ekofiziolitka lastunt

e-390

Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo

Ljubljana, Večna pot 2

Ekološka raziskovalna skupina

E S O

Velenje, Preloška cesta 1

PROFIZIOLOŠKE LASTNOSTI SMREKE /*Picea abies* (L.) Karst./ NA
VPLIVNEM OBMOČJU TERMOELEKTRARNE SOSTANJ

Raziskovalna naloga Občinske raziskovalne skupnosti Velenje št.
RN 12/89

NOSILEC NALOGE:

doc. dr. Frane BATIC, dipl. biolog

IZVAJALEC:

Cvetka RIBARIČ LASNIK, dipl. biolog

Cvetka Ribarič Lasnik

Direktor :

Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo

Marko Emeč, dipl. biolog

Marko Emeč

Ljubljana, avgust 1990





e 390/1790

POVZETEK *R. 11. 1990*

Eno in dvoletne iglice smreke so bile pobrane na 21-tih mestih vplivnega območja termoelektrarne Šoštanj, ki se razlikujejo po različni oddaljenosti od termoelektrarne, topografskih in klimatskih razmerah (nadmorska višina, položaj itd.). Vzorci so bili pobrani sredi, poleti, jeseni in pozimi v vegetacijskih sezonah 1988/89 in 1989/90. Opravljene so bile analize vsebnosti fotosintetskih pigmentov (klorofil a, klorofil b, klorofil a+b, celokupni karotenoidi, feofitin a, feofitin b, feofitin a+b) in celokupno žveplo.

Poškodovanost biomembran v iglicah je bila določena z meritvami električne prevodnosti in pH vrednosti destilirane vode, v kateri so se iglice stresale 24 ur. Izmernjene parametre smo ovrednotili glede na nadmorsko višino, oddaljenost od termoelektrarne, stopnjo poškodovanosti gozdov in koncentracijo polutantov v zraku (SO₂, NO_x, O₃).

Deskriptorji: Termoelektrarna Šoštanj, onesnažen zrak, fotosintetski pigmenti, električna prevodnost, vsebnost žvepla, *Picea abies* (L.) Karsten.

A B S T R A C T

One and two year old Norway spruce needles were collected in the influenced area on the 21 locations according to the distance from the power plant Šoštanj, topographic and climate circumstances (altitude, position etc.). Sampling was carried out four times (spring, summer, autumn, winter) during the vegetation periods 1988/89 and 1989/90.

The content of the photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a+b, total carotenoids, pheophytin a, pheophytin b, pheophytin a+b) and total sulphur content were analysed. The destruction of biomembranes in needles was determined by measurement of electrical conductivity and pH of distilled water, which was 24 hours shaken with needles. Measured parameters of sampling plot were compared with the altitude, and distance from the power plant, the degree of forest decline and the concentration of air pollutants (SO₂, NO_x, O₃).

Descriptors: Thermal power plant Šoštanj, air pollution, photosynthetic pigments, electrical conductivity, sulphur content, *Picea abies* (L.) Karsten.

K A Z A L O

	stran
1. UVOD	6
2. MATERIAL IN METODE	13
2.1. Objekt raziskovanja	13
2.2. Izbor vzorčnih mest	13
2.3. Osnovne značilnosti vzorčnih mest	13
2.4. Metoda vzorčenja	17
2.5. Čas vzorčenja	17
2.6. Spektrofotometrična analiza	17
2.6.1. Ekstrakcija pigmentov	18
2.6.2. Spektrofotometrične meritve	18
2.6.3. Formule za izračunevanje vsebnosti pigmentov	19
2.7. Konduktometrična analiza in pH	20
2.8. Analiza vsebnosti celokupnega žvepla	20
3. REZULTATI	22
3.1. Vsebnost klorofilov in karotenoidov v enoletnih iglicah	23
3.2. Vsebnost klorofilov in karotenoidov v dvoletnih iglicah	26
3.3. Vsebnost feofitinov v enoletnih iglicah	29
3.4. Vsebnost feofitinov v dvoletnih iglicah	32
3.5. Specifična električna prevodnost in pH v enoletnih iglicah	35
3.6. Specifična električna prevodnost in pH v dvoletnih iglicah	38
3.7. Vsebnost celokupnega žvepla v enoletnih iglicah	41
3.8. Vsebnost celokupnega žvepla v dvoletnih iglicah	41

3.9. Poprečne mesečne in maksimalne 24-urne koncentracije SO ₂	42
3.10. Poprečne mesečne in maksimalne 24-urne koncentracije dima	43
4. DISKUSIJA	59
5. ZAKLJUČKI	63
LITRATURA	64

U V O D

Človek s svojo aktivnostjo v kmetijstvu, prometu, industriji in proizvodnji energije sprošča mnogo strupenih snovi v ozračje.

Na človeka, živali in rastline delujejo kot primarni polutanti, to je v obliki kot se izločijo iz vira (žveplov dioksid, dušikovi oksidi in drugo) in kot sekundarni polutanti, ki nastanejo kot posledica kemijskih reakcij v atmosferi (ozon, peroksiacetalnitrat, kisle padavine). Naravno ozadje za žveplov dioksid je pod 2 ppb, za ozon 20-50 ppb, za dušikov oksid 20-40 ppb in za vodikov fluorid 0.2-2 ppb (Lentzian, Unsworth, 1983).

Vpliv plinastih polutantov na rastline so v zadnjih letih začeli intenzivno proučevati v evropskih in drugih državah po svetu (Grill, 1988; Lutz 1988; Mitterhuber 1989; Batič 1988, Rabe 1990).

Vzroke, ki jih velja pri tem omeniti so propadanje gozdov in izginjanje določenih rastlinskih vrst, zlasti okoli velikih emisijskih centrov.

Raziskave vključujejo odziv rastlin na sprejemanje polutantov, to je na depozicijo na in v rastlinah, ter na fiziološke in biokemijske procese, ki jih izovejo žveplov dioksid (SO₂), dušikovi oksidi (NO_x), fluoridi (HF), ozon (O₃), peroksiacetalnitrat (PAN) in produkti njihove pretvorbe v rastlinskih tkivih , v ozračju in tleh.

V rastline lahko prehajajo z difuzijo preko rež in poškodovane kutikule (Guderian 1985). Kutikulo lahko poškodujejo zračni polutanti (SO₂, O₃, kisle padavine), biotski faktorji (insekti) in abiotski faktorji (mraz, suša). Preko intaktne kutikule pa lahko prehajata HF in O₃ (Weistein, Alscher-Herman, 1982).

Na sistem odpiranja rež vplivajo različni faktorji, med drugim tudi koncentracije plinastih polutantov.

Višje koncentracije SO_2 povzročajo zapiranje rež, nižje pa odpiranje, vendar je težko določiti reverzibilnost procesa (Black and Unsworth 1980; Taylor et al. 1981).

Delno zaprtje rež povzroča tudi prisotnost ozona (O_3) (Mudd, 1982; Tingey and Taylor 1982). Vpliv NO_2 na reže se prav tako kaže v zapiranju, vendar šele pri koncentraciji nad 7,000 ppb.

Pri nadaljnjem prodiranju polutantov v liste pride do spremembe fizioloških procesov in strukture celic (Holopainen, 1984; Lasnik, 1987).

Iz SO_2 , v odvisnosti od pH vodne faze v apoplastu, nastane več ionskih stanj. Predvsem sta pomembna sulfitni ion HSO_3^- , ki prevladuje pri pH pod 7 in bisulfitni ion SO_3^{--} , ki prevladuje pri pH nad 7, pri neutralnem pH 7 pa sta v ravnovesju.

Ko je spejemanje SO_2 v rastlino veliko, nastane naenkrat velika koncentracija sulfitnega iona, kar vodi v nastanek akutnih poškodb. Te se kažejo z bledenjem tkiva (kloroze, nekroze). So različno obarvana in se pojavljajo na različnih mestih listov odvisno od rastlinske vrste. Kronične poškodbe pa nastanejo ko je rastlina izpostavljena nižjim koncentracijam SO_2 in je akumulacija sulfata v celicah večja. V takšnih primerih vizuelne spremembe niso nujno opazne, spremembe pa lahko dokažemo z analizo fizioloških parametrov (npr. spremenjena vsebnost fotosintetskih pigmentov, spremenjena permeabilnost membran za določene ione, nastanek tiolov, spremenjene koncentracije encimov..) (Environmental Protection Agency 1976, Black 1982).

Delovanje bisulfitnega, predvsem pa sulfitnega iona se kaže v cepitvi disulfidnih vezi, nastanku prostih radikalov (superoksidni anion, hidroksil in hidroperoksid radikal) in pH efektu (Unsworth, 1982; Alscher 1988).

Cepitev disulfidnih vezi s HSO_3^- v strukturnih proteinih in

encimih vodi v nastanek tiolov in S-sulfonata. Posledica je razpad terciarne in kvartarne konformacije strukturnih proteinov in encimov.

O povečani koncentraciji tiolov kot posledici delovanja SO₂ v poškodovanih iglicah smreke so poročali Grill D., Estewrbauer H., 1973, Grill D., 1990.

Keller (1985) in Mitterhuber (1989) poročata o povečani permeabilnosti membran za ione, predvsem kalijeve in magnezijeve.

Ozon in peroksiacetyl nitrat sta močna oksidanta. Permeabilnost membran spreminjata z oksidacijo nenasičenih maščobnih kislin, delovanjem na sulfhidrilne skupine in ciklične komponente (Mudd, 1982).

Pri višjih koncentracijah ali daljši izpostavljenosti rastlin nižjim koncentracijam pride do prehajanja polutantov iz intercelularjev v notranjost celic.

Znano je, da so klorofili in karotenoidi glavna tarča intracelularnega delovanja SO₂, NO_x, O₃ in PAN.

Razpad klorofilov in nastanek feofitinov je bil dokazan v številnih rastlinah izpostavljenih SO₂ (Le Blanc and Rao, 1975; Grill 1988; Lutz 1988, Rabe 1990,).

Mnenja avtorjev o uporabi feofitinov kot bioindikatojev kisle polucije so deljena.

Poleg SO₂ povzročajo razgradnjo klorofila tudi NO_x. Za njih je znano, da razgrajujejo tudi karotenoide. (Kandler, Ullrich 1964).

Poznan je tudi vpliv fluoridov na fotosintetske pigmente.

Koncentracija HF 1-12ppb inhibira sintezo klorofila a in b v listih fižola in paradižnika. Ko plinjenje preneha, poteka sinteza normalno (Weinstein 1961).

Termoelektrarna Šoštanj (TES) z instalirano močjo 745 MW, pred-

stavlja z ogromnimi količinami emitiranih polutantov snega in med glavnih onesnaževalcev zraka, tal in posredno tudi vode v Saški dolini. Za produkcijo električne energije uporablja velenjski lignit, ki vsebuje okoli 1,4% žvepla. Njeni trije dimniki, visoki 100, 150 in 230 m emitirajo letno 120 000 ton SO₂, 9 000 ton prahu, 12 000 ton dušikovih oksidov in še neznane količine fluoridov, ogljikovodikov in druge substance različne kemijske narave. Emisijske koncentracije na dimnikih variirajo od 3 do 8 g/m³ za SO₂, za NO_x pa od 0,2 do 0,6 g/m³. (Lešnjak M., Hrček D., Batič F., Solar., Kolar., Ferlin 1989)

V ta namen so bile narejene raziskave mikroklimе oziroma analiza stanja atmosfere, kateri je izpostavljena vegetacija v Zavodnjah, Velikem vrhu, Šoštanju in Velenju.

Raziskave so pokazale, da se največje emisijske koncentracije SO₂ in NO_x pojavljajo v Zavodnjah in Velikem vrhu v glavnem v času kurilne sezone. Poleg povečane emisije iz TEŠ k temu prispevajo še neugodne klimatske razmere kot so smer in hitrost vetra, relativna vlažnost zraka in pojav temperaturne inverzije v območju med 360 in 460 m ter 750 in 1000 m nadmorske višine (Hrček 1988). Pogoste in dalj časa trajajoče visoke koncentracije SO₂ so bile izmerjene v zimi 1986 in 1987 (največja polurna koncentracija SO₂ je bila 2.84 mg/m³ zraka in sicer 5. februarja 1987).

Prav tako so bile izmerjene visoke koncentracije ozona.

Od leta 1990 se koncentracije SO₂ intenzivnejše in kontinuirano merijo z avtomatskimi ANAS postajami na Velikem vrhu, Šoštanju, Velenju, Graški gori, Topolšici in Zavodnjah. V Topolšici in Zavodnjah pa se merita še O₃ in NO_x. Iz dnevnih biltenov v juliju in avgustu 1990 je razvidno, da so bile koncentracije ozona tudi do šestkrat večje (300 ppb) od naravnega ozadja.

Bioindikacija polutantov s testnimi rastlinami je dokazala prisotnost O₃, fluoridov in SO₂. Intenziteta in obseg poškodb, ki so nastale na listih pa kažejo, da so koncentracije polutantov močno presegale naravno ozadje. (Batič, Jurc, Ribarič Lasnik, 1988).

Močan vpliv emisije iz TES se manifestira na okolno vegetacijo v propadanju gozdov, ki je postal resen problem po približno 16-tih letih, ko je bil zgrajen 230 metrski dimnik.

Med najbolj poškodovanim gozdnim drevjem je smreka *Picea abies* /L./ Karsten, ki je bila intenzivno sajena na naravna rastišča listavcev (*Fagus sylvatica* L., *Quercus sessiliflora* Salisb., itd.). Na iglicah se pojavljajo kloroze, nekroze, iglice odpadajo, krošnje smrek postanejo presvetljene in v končni fazi drevo propade.

Na območju 300 ha Saleške doline je prizadeto 84 % gozda, v letu 1987 pa so se pojavili akutni ožigi (gass frost damage) poganjkov smreke (Kolar, 1989).

Raziskave vsebnosti žvepla v iglicah smreke so pokazale, da vsebujejo iglice smreke na območju Zavodenj in neposredni bližini TES največji % žvepla. Za normalno vsebnost žvepla v enoletnih iglicah se smatra do 0.08 % suhe teže iglic (Kalan 1989).

Indeks atmosferske čistosti, ki je narejen na osnovi popisa in ocenitve stanja lišajске vegetacije na smreki, kaže najnižje vrednosti okoli vira onesnaženja zraka. Stevilo lišajskih vrst je majhno, prav tako pokrovnost. Stanje je nekoliko boljše na višji nadmorski višini (Batič, 1989).

Propadanje smreke pa se kaže tudi v višjih nadmorskih višinah. Koncentracije fotosintetskih pigmentov z nadmorsko višino padajo (Lutz 1988; Batič F., Ribarič Lasnik C., 1990).

Citogenetske analize, opravljene na genetskem materialu smreke v Saleški dolini, so pokazale, da je genetski material smreke močno

prizadet (Druškovič 1987).

Škodljive vplive polutantov kot so: žveplov dioksid, dušikov oksidi, radioaktivne snovi itd. so v okolici termoelektrarne že raziskovali, vendar pa so bile raziskave fragmentarne in na osnovi njih ni mogoče določiti imisijskega vpliva. Še manj pa razložiti načina delovanja posameznih polutantov, vrste polutantov ter nastanka poškodb.

Popis propadanja gozdov in z njim povezane prirastoslovne študije so pokazale, kje so najbolj poškodovana področja, ki jih lahko pripišemo imisijam iz TEŠ. Vendar pa način nastanka poškodb s tem še ni dokazan.

Prav tako nam podatki o celokupni vsebnosti žvepla v iglicah ne povedo kaj to pomeni za rastlinski organizem.

Citogenejske raziskave dajejo prav tako le fragmentaren vpogled v rizosferi, še posebej zato, ker niso ovrednotene s pedološkimi raziskavami, in s standardnimi laboratorijskimi poskusi in mednarodno standardno klasifikacijo poškodb. Zato je potrebno vpliv iz TEŠ proučiti iz večih zornih kotov, to je po posameznih polutantih (SO_2 , NO_x , fluoridi itd.) in na več nivojih (ekosistem, populacija, individumi ter njihova funkcija in struktura), če hočemo ugotoviti dejanski obseg in stopnjo in kaj le te pomenijo za rastlinstvo.

Glede na to, da so klorofili in karotenoidi ena izmed prvih tarč intracelularnega delovanja polutantov bi lahko z njihovo analizo zasledovali imisijski vpliv, pri čemer bi lahko ugotovili delež žveplovega dioksida in ostalih polutantov. Takšna raziskava bo dopolnila analize vsebnosti žvepla v listih (iglicah) in v znatni meri pripomogla k pojasnitvi vzročnosti propadanja gozdov. Zaradi tega smo kot poskusno vrsto izbrali tudi smreko (*Picea abies* (L.)

Karsten), ki je na tem področju najbolj razširjena in tudi najbolj prizadeta.

Vzorčna mesta smo izbrali glede na že opravljene raziskave (popisi propadanja gozdov, meteorološke študije, analize vsebnosti žvepla v iglicah itd.).

V raziskavi želimo proučiti obremenjenost širšega področja z žveplovim dioksidom, kot najvažnejšim polutantom na osnovi analiz vsebnosti fotosintetskih barvil v iglicah, specifične električne prevodnosti in celokupne vsebnosti žvepla v iglicah smreke na izbranem profilu šaleške doline.

Naloga predstavlja osnovo na podlagi katere bomo lahko spremljali stanje gozdov, ko se bo zmanjšala emisija SO_2 in NO_x iz termoelektrarne Soštanj.

2. MATERIAL IN METODE

Material, ki smo ga proučevali so bile iglice smreke *Picea abies* (L.) Karsten. Vzorce smo pobrali na 21 lokacijah.

Pri proučevanju smo uporabljali naslednje metode: spektrofotometrična analiza, konduktometrična analiza in pH ter analiza žvepla.

2.1. Objekt raziskovanja

Za raziskovalni objekt smo si izbrali smreko *Picea abies* (L.) Karsten, ker je najpogosteje zastopana in se v povezavi z njenim propadanjem izvajajo številne analize.

2.2. Izbor vzorčnih mest

Za preliminarne rezultate smo izbrali 4 vzorčna mesta (prvo vzorčenje), pri drugem vzorčenju smo število lokacij povečali na 16 in pri četrtem vzorčenju na 21.

Pri izboru smo vključili lokacije na različnih nadmorskih višinah, različni oddaljenosti od elektrarne, v različni različni stopnji poškodovanosti gozdov in zajeli profil od elektrarne do Smrekovca.

Pri izboru smrek na lokacijah smo upoštevali gozdarsko metodologijo.

2.3. Osnovne značilnosti vzorčnih mest

Nadmorska višina posameznega vzorčnega mesta predstavlja relativno nadmorsko višino, pri čemer predstavlja nivo TEŠ 0 m.

Zračno oddaljenost od TEŠ smo določili s pomočjo meritev in meril na zemljevidu.

Stopnjo poškodovanosti gozdov smo povzeli po karti: Gozdovi v občini Velenje po stopnjah poškodovanosti v letu 1987, ki so jo

naredili na Gozdnem gospodarstvu Nazarje (Karta poškodovanosti gozdov, 1987).

- III. stopnja- močne poškodbe
- II. stopnja- znatne poškodbe
- I. stopnja- zaznavne poškodbe
- poškodbe niso vidne
- neugodne površine

Podatki o geološki podlagi so povzeti po geološki karti, ki jo je izdelal Mioč in sodelavci 1977.

Položaj vzorčnih mest prikazuje skica 1 (stran 21).

1. SMREKOVEC-VRH

Relativna nadmorska višina:	1217m
Ekspozicija:	NW (severozahodna)
Oddaljenost od TEŠ:	12750m
Stopnja poškodovanosti:	I. stopnja
Geološka podlaga:	andezitni tuf

2. KOPE

Relativna nadmorska višina:	1182m
Ekspozicija:	NE (severovzhodna)
Oddaljenost od TEŠ:	20200m
Stopnja poškodovanosti:	
Geološka podlaga:	filitoidni skrilavci

3. SMREKOVEC-KOČA

Relativna nadmorska višina:	1040m
Ekspozicija:	NW (severozahodna)
Oddaljenost od TEŠ:	12700m
Stopnja poškodovanosti:	I. stopnja
Geološka podlaga:	andezitni tuf

4. KOMISIJA

Relativna nadmorska višina:	940m
Ekspozicija:	NE (severovzhodna)
Oddaljenost od TEŠ:	21750m
Stopnja poškodovanosti:	
Geološka podlaga:	blestnik s prehodi v gnajs

5. KRAMARICA

Relativna nadmorska višina:	750m
Ekspozicija:	NW (severozahodna)
Oddaljenost od TEŠ:	12750m
Stopnja poškodovanosti:	I. stopnja
Geološka podlaga:	andezitni tuf

6. KOZJAK-SPIK
 Relativna nadmorska višina: 748m
 Ekspozicija: NE (severovzhodna)
 Oddaljenost od TES: 10500m
 Stopnja poškodovanosti: I.stopnja
 Geološka podlaga: dolomit
7. BRLOŠKA PLANOTA
 Relativna nadmorska višina: 510m
 Ekspozicija: NW(severozahodna)
 Oddaljenost od TES: 10250m
 Stopnja poškodovanosti: I.stopnja
 Geološka podlaga: skladoviti apnenc
8. SLANICA
 Relativna nadmorska višina: 460m
 Ekspozicija: NW (severozahodna)
 Oddaljenost od TES: 9500m
 Stopnja poškodovanosti: II.stopnja
 Geološka podlaga: tonalit
9. ZAVODNJE
 Relativna nadmorska višina: 420m
 Ekspozicija: NE (severozahodna)
 Oddaljenost od TES: 8250m
 Stopnja poškodovanosti: III.stopnja
 Geološka podlaga: tonalit
10. GRASKA GORA
 Relativna nadmorska višina: 380m
 Ekspozicija: NE (severovzhodna)
 Oddaljenost od TES: 7200m
 Stopnja poškodovanosti: I.stopnja
 Geološka podlaga: konglomerat
11. ZAVODNJE-POD
 Relativna nadmorska višina: 280m
 Ekspozicija: NE (severozahodna)
 Oddaljenost od TES: 6000m
 Stopnja poškodovanosti: I.stopnja
 Geološka podlaga: tonalit
12. VELIKI VRH
 Relativna nadmorska višina: 170m
 Ekspozicija: SE (jugovzhodna)
 Oddaljenost od TES: 2750m
 Stopnja poškodovanosti: II.stopnja
 Geološka podlaga: sljudnat lapor
13. MRAKOVNIK
 Relativna nadmorska višina: 160m
 Ekspozicija: NW(severozahodna)
 Oddaljenost od TES: 5000m

- Stopnja poškodovanosti:
Geološka podlaga: andezitni tuf
14. STANOVSEK
Relativna nadmorska višina: 150m
Ekspozicija: NW (severozahodna)
Oddaljenost od TEŠ: 4500m
Stopnja poškodovanosti: II. stopnja
Geološka podlaga: apnenec
15. LOKOVICA
Relativna nadmorska višina: 130m
Ekspozicija: SW (jugozahodna)
Oddaljenost od TEŠ: 500m
Stopnja poškodovanosti: I. stopnja
Geološka podlaga: sljudnat lapor
16. SMIKLAVZ
Relativna nadmorska višina: 125m
Ekspozicija: NE (severovzhodna)
Oddaljenost od TEŠ: 10500m
Stopnja poškodovanosti:
Geološka podlaga: peščena glina
17. PODGORJE
Relativna nadmorska višina: 80m
Ekspozicija: NE (severovzhodna)
Oddaljenost od TEŠ: 11000m
Stopnja poškodovanosti:
Geološka podlaga: konglomerat
18. LAZE
Relativna nadmorska višina: 80m
Ekspozicija: SE (jugovzhodna)
Oddaljenost od TEŠ: 9000m
Stopnja poškodovanosti: I. stopnja
Geološka podlaga: siv, peščen lapor
19. TOPOLSICA
Relativna nadmorska višina: 75m
Ekspozicija: NW (severozahodna)
Oddaljenost od TEŠ: 4250m
Stopnja poškodovanosti: I. stopnja
Geološka podlaga: peščena glina
20. LAJSE
Relativna nadmorska višina: 60m
Ekspozicija: NW (severozahodna)
Oddaljenost od TEŠ: 2000m
Stopnja poškodovanosti: II. stopnja
Geološka podlaga: peščena glina
21. ANDRAZ NAD POLZELO

Relativna nadmorska višina:	30m
Ekspozicija:	SE (jugovzhodna)
Oddaljenost od ILS:	6000m
Stopnja poškodovanosti:	
Geološka podlaga:	prod, pesek, lapor

2.4. Metoda vzorčenja

Na vsaki takšni raziskovalni ploskvi smo določili dve vitalni smreki, stari med 60 in 80 let.

Drevesi sta sorasli z dobro osvetjenim zgornjim delom krošnje.

Enoletne in dvoletne poganjke iglic smo odrezali od sedmega vretena (od vrha smreke navzdol), kot to določa mednarodna gozdarska metodologija.

2.5. Čas vzorčenja

Vzorci smo pobrali v vseh letnih časih v vegetacijski sezoni 1988/90 in 1989/90 in sicer vedno samo eno in dvoletne poganjke iglic.

DATUMI VZORČENJA:

STAROST IGLIC:

-jeseni 18.novembra 1988	dvoletne	enoletne
-spomladi 30.marec-8.aprila 1989	dvoletne	enoletne
-poleti 24-27.junija 1989	dvoletne	enoletne
-jeseni 25-31.oktobra 1989	dvoletne	enoletne
-pozimi 14-18.januarja 1990	dvoletne	enoletne
-spomladi 10-16 aprila 1990	dvoletne	enoletne

2.6. Spektrofotometrična analiza

Uporabili smo metodo, ki jo je opisal Lichtenthaler 1987, s to razliko, da smo ekstrakte centrifugirali. Preliminarni rezultati so namreč pokazali, da so vsebnosti pigmentov v centrifugiranih ekstraktih tudi do dvakrat večje v primerjavi z necentrifugiran-

imi.

2.6.1. Ekstrakcija pigmentov

Za analizo pigmentov smo vzeli 1g svežih iglic in jih trli v terilnici ob dodatku kremenčevega peska (okrog 1/3 volumna iglic) in malo magnezijevega hidrogenkarbonata $Mg(HCO_3)_2$ za stabilizacijo encimov in nevtralizacijo celičnega soka smrekovih iglic. Vzorce smo trli najprej na suho, nato v 100% acetonu, (hlajen na pod 4 stopinje Celzija) tako dolgo, da postanejo homogeni.

Ekstrakt smo nato prefiltrirali v merilni valj. Izpiranje ponavljamo tako dolgo, dokler se aceton obarva zeleno. Po končanem spiranju smo odčitali volumen ekstrakta v merilnem valju.

Določeno količino ekstrakta (20 ml) smo centrifugirali pri 4200 obratih 20 minut in ga nato odlili v ohlajene epruvete in shranili v zmrzovalnik.

2.6.2. Spektrofotometrične meritve

Absorbcije ekstraktov smo izmerili s spektrofotometrom MA 9524-SPEKOL 221 na Inštitutu za gozdno in lesno gospodarstvo pri naslednjih valovnih dolžinah:

661.6 nm

644.8 nm

470 nm,

po dodatku treh kapljic 25% HCl pa še pri:

653.4 nm

652.6 nm in 470 nm.

2.6.3. Formule za izračunavanje vsebnosti pigmentov

Vsebnost pigmentov smo izračunali po formulah, ki veljajo za ekstrakte narejene s 100%-tnim acetonom (Lichtenthaler, 1987).

Legenda:

Ca = klorofil a

Cb = klorofil b

C a+b = celokupni klorofili

C x+c = celokupni karotenoidi

A = absorbcija pri določeni valovni dolžini

Pha = feofitin a

Phb = feofitin b

Ph a+b = celokupni feofiti

Ph x+c = celokupni feofitin karotenoidi

FORMULE :

$$Ca = 11.24 * A_{661.6} - 2.04 * A_{644.8}$$

$$Cb = 20.13 * A_{644.8} - 4.19 * A_{661.6}$$

$$Ca+b = 7.05 * A_{661.6} + 18.09 * A_{644.8}$$

$$Cx+c = (1000 * A_{470} - 1.9 * Ca - 63.14 * Cb) / 214$$

$$Cph a = 516.7 * A_{653.4} - 501.2 * A_{652.6}$$

$$Cph b = 732.5 * A_{652.6} - 725.1 * A_{653.4}$$

$$Cph a+b = 321.3 * A_{652.6} - 208.4 * A_{653.4}$$

$$Cph x+c = (1000 * A_{470} - 2.02 * A_{653.4} - 5.97 * A_{652.6}) / 148$$

Za dobljene količine pigmentov moramo na koncu upoštevati še volumen ekstrakta in suho težo 1g glic, posušenih pri 100 stopinjah Celzija 24 ur.

$Ca, Cb, Ca+b, Cx+c = (C \text{ mg*ml ekstrakta}) / (\text{suha teža g*ml } 1000)$

Feofitine računamo po enakem postopku.

Rezultati so izraženi v mg na gram suhe teže iglic.

Za enoletne in dvoletne iglice smo naredili po štiri paralele. Na vsaki lokaciji sta dve smreki, kar pomeni da je rezultat za posamezno lokacijo povpreček štirih ekstraktov.

2.7. Konduktometrična analiza in pH

Uporabili smo metodo, ki jo je opisal Keller (1986).

Za merjenje specifične električne prevodnosti smo zatehtali 2g svežih iglic. Dve uri smo jih spirali v 35 ml destilirane vode, zaradi površinske kontaminacije. Po dveh urah smo s konduktometrom izmerili prevodnost. Nato smo zamenjali destilirano vodo in stresali 24 ur na stresalniku pri zmernem stresanju. Po končanem stresanju smo izmerili električno prevodnost in pH vode. Končni rezultat je povprečje štirih ponovitev (2X enoletne iglice X 2 smreki). Rezultati so podani v $\mu\text{S/cm}$ (mikrosimensih na centimeter).

2.8. Analiza vsebnosti celokupnega žvepla

Analize so bile opravljene na Inštitutu za gozdno in lesno gospodarstvo v Ljubljani. Za določanje uporabljajo aparaturo SULMHOMAT 12 ADG v kateri 0.1g suhe teže iglic sežgejo pri 1350 stopinjah Celzija. Ob dovajanju kisika žveplo oksidira do žveplovega dioksida. Ta se uvaja v vodno raztopino H_2SO_4 in H_2O_2 kjer spreminja prevodnost. Odčitana vrednost predstavlja % žvepla suhe teže iglic.

● K o p e

● K o m i s i j a

● P o d g o r i c a

● Š m i k l a v ž

Slanica, II. Zavodnje, III.

● K r a m a r i c a, I.

● Z a v o d n j e - p o d, I.

● S m r e k o v e c - v r h, I.

● S t a n o v š e k, II.

● G r a š k a g o r a, I.

● S m r e k o v e c - k o č a, I.

● T o p o l š i c a, I.

● B r l o š k a p l a n o t a, I.

● L a j š e, II.

Mrakovnik

● T E Š O Š T A N J

● K o z j a k, I.

● L o k o v i c a, I.

● V e l i k i v r h, II.

● L a z e, I.

● A n d r a ž

Skica 1. Položaj vzorčnih mest
in stopnja poškodovanosti
gozdov: III.močne poškodbe, II.znatne
poškodbe, I.zaznavne poškodbe.

3. R E Z U L T A T I

Imisijske koncentracije žveplovega dioksida smo dobili od Hidrometeorološkega zavoda v Ljubljani. Koncentracije ozona, dušikovih oksidov za željeno obdobje nimamo

Legenda k tabelam:

- C a = klorofil a
- C b = klorofil b
- C a+b = celokupni klorofil , a in b
- C x+c = celokupni karotenoidi
- Ph a = feofitin a
- Ph b = feofitin b
- Ph a+b = celokupni feofitini, a in b
- Ph x+c = celokupni feofitin karotenoidi
- Ca / Cb = razmerje med klorofilom a in b
- Pa+b / Phx+c = razmerje med celokupnimi feofitini in karotenoidi

3.1. Vsebnost klorofilov in karotenoidov v enoletnih iglicah

TABELA 1. Vsebnost klorofilov in karotenoidov v mg/g v enoletnih iglicah.

Lokacija	Ca	Cb	Ca+b	Cx+c	Ca/Cb
jeseni 1988					
Smrekovec-vrh	1.80	0.59	2.37	0.29	2.81
Smrekovec-koča	1.89	0.54	2.43	0.31	2.90
Kramarica	1.89	0.63	2.48	0.37	2.81
Slanica	1.55	0.63	2.19	0.35	2.46
spomladi 1989					
Smrekovec-vrh	1.13	0.42	1.55	0.49	2.67
Kope	1.98	0.46	2.45	0.62	4.27
Smrekovec-koča	1.71	0.63	2.33	0.69	2.72
Komisija	1.89	0.77	2.66	0.67	2.46
Kramarica	1.35	0.55	2.05	0.61	2.45
Kozjak-Špik	1.21	0.51	1.72	0.47	2.40
Slanica	2.03	0.85	2.89	0.79	2.38
Zavodnje	1.85	0.79	2.64	0.70	2.35
Graška gora	1.61	0.60	2.21	0.60	2.68
Zavodnje-pod	1.96	0.79	2.75	0.68	2.49
Veliki vrh	1.96	0.70	2.66	0.64	2.79
Lokovica	2.39	0.91	3.30	0.88	2.64
Šmiklavž	1.73	0.65	2.38	0.62	2.68
Podgorica	1.50	0.58	2.09	0.55	2.57
Lajše	1.76	0.66	2.42	0.59	2.68
Andraž	2.26	0.86	3.12	0.84	2.62
poleti 1989					
Smrekovec-vrh	0.83	0.34	1.18	0.32	2.47
Kope	0.97	0.36	1.33	0.33	2.69
Smrekovec-koča	1.18	0.44	1.62	0.41	2.68
Komisija	1.12	0.41	1.53	0.37	2.70
Kramarica	1.25	0.55	1.80	0.46	2.28
Kozjak-Špik	1.02	0.53	1.39	0.27	1.92
Slanica	1.28	0.53	1.81	0.43	2.39
Zavodnje	2.75	1.08	3.83	0.94	2.54
Graška gora	1.07	0.53	1.60	0.39	2.03
Zavodnje-pod	1.54	0.60	2.13	0.54	2.58
Veliki vrh	1.96	0.79	2.74	0.80	2.49
Lokovica	3.55	1.30	4.85	1.10	2.73
Šmiklavž	1.43	0.62	2.05	0.50	2.31
Podgorica	1.84	0.93	2.77	0.86	1.98
Lajše	1.55	0.69	2.24	0.51	2.25
Andraž	2.25	0.77	3.02	0.72	2.91

jeseni 1989	Ca	Cb	Ca+b	Cx+c	Ca/Cb
Smrekovec-vrh	1.12	0.38	1.50	0.46	2.98
Kope	1.57	0.58	2.16	0.57	2.70
Smrekovec-koča	1.34	0.39	1.73	0.43	3.40
Komisija	1.48	0.55	2.02	0.53	2.71
Kramarica	1.57	0.54	2.11	0.44	2.92
Kozjak-Špik	2.01	0.73	2.74	0.61	2.76
Brloška planota	1.90	0.78	2.68	0.67	2.44
Slanica	1.48	0.48	1.96	0.46	3.07
Zavodnje	2.15	0.81	2.96	0.66	2.66
Graška gora	1.71	0.54	2.25	0.51	3.16
Zavodnje-pod	1.94	0.61	2.55	0.55	3.20
Veliki vrh	1.44	0.52	1.95	0.42	2.78
Mrakovnik	1.48	0.60	2.08	0.58	2.47
Stanovšek	1.61	0.58	2.19	0.64	2.75
Lokovica	1.83	0.71	2.54	0.61	2.58
Šmiklavž	1.68	0.57	2.25	0.59	2.96
Podgorica	1.72	0.53	2.25	0.51	3.23
Laze	1.23	0.49	1.72	0.43	2.49
Topolšica	1.51	0.62	2.14	0.53	2.42
Lajše	1.32	0.52	1.84	0.43	2.53
Andraž	1.68	0.60	2.28	0.54	2.80

požimi 1990

Smrekovec-vrh	1.02	0.34	1.36	0.52	3.00
Kope	1.21	0.43	1.64	0.58	2.81
Smrekovec-koča	0.91	0.28	1.19	0.52	3.25
Komisija	2.17	0.82	2.99	0.92	2.65
Kramarica	1.64	0.58	2.23	0.70	2.63
Kozjak-Špik	1.48	0.57	2.04	0.55	2.60
Brloška planota	1.28	0.60	1.88	0.35	2.13
Slanica	0.97	0.44	1.40	0.28	2.20
Zavodnje	1.68	0.77	2.45	0.45	2.18
Graška gora	1.43	0.59	2.01	0.62	2.42
Zavodnje-pod	1.14	0.50	1.64	0.44	2.28
Veliki vrh	1.02	0.40	1.42	0.40	2.55
Mrakovnik	1.34	0.46	1.81	0.62	2.91
Stanovšek	1.05	0.59	1.64	0.48	1.78
Lokovica	1.37	0.52	1.89	0.61	2.63
Šmiklavž	1.59	0.63	2.22	0.68	2.52
Podgorica	1.78	0.70	2.48	0.64	2.54
Laze	1.03	0.45	1.48	0.44	2.29
Topolšica	1.69	0.66	2.34	0.63	2.56
Lajše	1.11	0.40	1.50	0.52	2.78
Andraž	1.47	0.58	2.05	0.60	2.53

spomladi 1990	Ca	Cb	Ca+b	Cx+c	Ca/Cb
Smrekovec-vrh	0.91	0.28	1.09	0.43	3.25
Kope	1.09	0.40	1.49	0.43	2.73
Smrekovec-koča	1.72	0.71	2.43	0.62	2.42
Komisija	1.47	0.59	2.06	0.57	2.49
Kramarica	1.20	0.56	1.75	0.40	2.14
Kozjak-Špik	1.52	0.64	2.16	0.54	2.38
Brloška planota	1.60	0.66	2.26	0.55	2.42
Slanica	1.07	0.39	1.46	0.40	2.74
Zavodnje	1.22	0.45	1.67	0.49	2.71
Graška gors	1.25	0.46	1.71	0.48	2.72
Zavodnje-pod	0.94	0.37	1.30	0.44	2.54
Veliki vrh	1.29	0.45	1.74	0.47	2.87
Mrakovnik	1.39	0.52	1.91	0.55	2.67
Stanovšek	1.30	0.47	1.76	0.47	2.77
Lokovica	1.55	0.53	2.08	0.54	2.92
Šmiklavž	1.11	0.41	1.52	0.45	2.71
Podgorica	1.35	0.47	1.82	0.47	2.87
Laze	1.85	0.70	2.54	0.67	2.64
Topolšica	1.21	0.46	1.68	0.45	2.63
Lajše	2.11	0.78	2.88	0.71	2.71
Andraž	1.74	0.63	2.37	0.64	2.76

3.2. Vsebnost klorofilov in karotenoidov v dvoletnih iglicah

TABELA 2. Vsebnost klorofilov in karotenoidov v mg/g v dvoletnih iglicah.

Lokacija	Ca	Cb	Ca+b	Cx+c	Ca/Cb
jeseni 1988					
Smrekovec-vrh	2.05	0.74	2.80	0.48	2.77
Smrekovec-koča	2.50	0.90	3.41	0.49	2.78
Kramarice	2.53	0.95	3.48	0.41	2.66
Slanica	2.04	0.77	2.81	0.39	2.65
spomladi 1989					
Smrekovec-vrh	1.71	0.60	2.32	0.73	2.83
Kope	1.99	0.74	2.73	0.85	2.70
Smrekovec-koča	2.70	1.03	3.73	1.05	2.63
Komisija	2.48	0.97	3.45	0.91	2.56
Kramarica	2.47	0.92	3.39	0.85	2.69
Kozjak-Špik	1.97	0.76	2.74	0.72	2.60
Slanica	2.42	0.82	3.23	0.85	2.96
Zavodnje	2.55	1.05	3.61	0.94	2.43
Graška gora	1.96	0.73	2.70	0.72	2.68
Zavodnje-pod	1.52	0.49	2.02	0.51	3.08
Veliki vrh	1.86	0.65	2.50	0.66	2.88
Lokovica	1.76	0.57	2.33	0.69	3.10
Šmiklavž	1.59	0.60	2.19	0.61	2.66
Podgorica	1.71	0.78	2.99	0.75	2.19
Lajše	1.81	0.66	2.47	0.61	2.76
Andraž	2.42	2.97	5.39	0.90	0.81
poleti 1989					
Smrekovec-vrh	1.29	0.47	1.75	0.46	2.75
Kope	2.14	0.76	2.90	0.71	2.81
Smrekovec-koča	2.11	0.86	2.97	0.74	2.47
Komisija	2.08	0.69	2.77	0.67	3.02
Kramarica	3.59	1.32	4.91	1.20	2.72
Kozjak-Špik	1.85	0.70	2.54	0.66	2.64
Slanica	1.30	0.53	1.83	0.48	2.44
Zavodnje	2.54	1.30	3.84	0.88	1.95
Graška gora	1.19	0.65	1.85	0.38	1.82
Zavodnje-pod	1.79	0.66	2.45	0.63	2.70
Veliki vrh	2.17	1.05	3.23	0.75	2.07
Lokovica	2.58	0.95	3.53	0.90	2.72
Šmiklavž	1.55	0.71	2.26	0.53	2.17
Podgorica	2.02	0.84	2.86	0.72	2.41
Lajše	2.26	0.87	3.13	0.78	2.59
Andraž	2.22	0.88	3.10	0.75	2.53

jeseni 1989	Ca	Cb	Ca+b	Cx+c	Ca/Cb
Smrekovec-vrh	1.78	0.56	2.33	0.59	3.20
Kope	1.91	0.70	2.61	0.70	2.73
Smrekovec-koča	1.70	0.54	2.24	0.61	3.11
Komisija	1.95	0.69	2.65	0.77	2.81
Kramarice	2.31	0.78	3.09	0.70	2.95
Kozjak-Špik	2.50	0.89	3.39	0.84	2.80
Brloška planota	2.41	0.93	3.33	0.95	2.59
Slanica	1.82	0.61	2.42	0.63	3.00
Zavodnje	2.58	1.04	3.62	0.85	2.49
Graška gora	1.75	0.58	2.33	0.58	3.03
Zavodnje-pod	2.06	0.85	2.91	0.64	2.41
Veliki vrh	1.20	0.67	1.87	0.47	1.80
Mrakovnik	2.12	0.85	2.97	0.84	2.49
Stanovšek	1.85	0.69	2.53	0.74	2.68
Lokovica	2.67	1.01	3.69	0.94	2.64
Šmiklavž	1.68	0.58	2.26	0.62	2.88
Podgorica	2.02	0.64	2.66	0.68	3.17
Laze	1.91	0.72	2.63	0.73	2.66
Topolšica	1.67	0.68	2.35	0.63	2.46
Lajše	2.35	0.94	3.29	0.81	2.50
Andraž	2.49	0.93	3.41	0.92	2.67

pozimi 1990

Smrekovec-vrh	1.69	0.59	2.29	0.68	2.86
Kope	1.21	0.43	1.64	0.58	2.81
Smrekovec-koča	1.17	0.42	1.59	0.58	2.79
Komisija	2.17	0.82	2.99	0.92	2.65
Kramarica	2.08	0.77	2.85	0.86	2.70
Kozjak-Špik	1.48	0.57	2.04	0.55	2.60
Brloška planota	1.28	0.60	1.88	0.35	2.13
Slanica	0.98	0.46	1.44	0.28	2.13
Zavodnje	1.68	0.77	2.45	0.45	2.18
Graška gora	1.92	0.60	2.52	0.78	3.20
Zavodnje-pod	1.14	0.50	1.64	0.44	2.28
Veliki vrh	1.02	0.40	1.42	0.40	2.55
Mrakovnik	2.07	0.79	2.86	0.94	2.62
Stanovšek	1.05	0.59	1.64	0.48	1.78
Lokovica	1.37	0.52	1.89	0.61	2.63
Šmiklavž	1.43	0.59	2.02	0.64	2.42
Podgorica	1.78	0.70	2.48	0.64	2.54
Laze	1.03	0.45	1.48	0.44	2.29
Topolšica	1.69	0.66	2.34	0.63	2.56
Lajše	1.68	0.64	2.32	0.75	2.63
Andraž	1.47	0.59	2.07	0.61	2.49

spomladi 1990	Ca	Cb	Ca+b	Cx+c	Ca/Cb
Smrekovec-vrh	1.44	0.51	1.95	0.67	2.62
Kope	1.67	0.68	2.35	0.61	2.46
Smrekovec-koča	1.48	0.66	2.14	0.60	2.24
Komisija	1.54	0.59	2.13	0.57	2.61
Kramarica	1.21	0.49	1.70	0.46	2.47
Kozjak-Špik	2.03	0.80	2.83	0.73	2.54
Brloška planota	2.22	0.91	3.13	0.84	2.44
Slanica	1.15	0.46	1.61	0.44	2.50
Zavodnje	1.57	0.62	2.19	0.65	2.53
Graška gora	1.62	0.67	2.29	0.63	2.42
Zavodnje-pod	1.13	0.45	1.58	0.53	2.51
Veliki vrh	1.37	0.46	1.84	0.49	2.98
Mrakovnik	2.05	0.79	2.84	0.79	2.59
Stanovšek	0.89	0.46	1.35	0.40	1.93
Lokovica	1.66	0.63	2.29	0.64	2.63
Šmiklavž	1.06	0.41	1.47	0.47	2.59
Podgorica	1.78	0.67	2.45	0.66	2.66
Laze	1.84	0.68	2.52	0.64	2.71
Topolšica	1.79	0.69	2.48	0.69	2.59
Lajše	2.31	0.89	3.21	0.84	2.60
Andraž	2.24	0.84	3.08	0.83	2.67

3.3. Vsebnost feofitinov v enoletnih iglicah

TABELA 3. Vsebnost feofitinov v mg/g v enoletnih iglicah.

Lokacija	Pha	Phb	Pha+b	Phx+c	Pha+Phb/ Phx+c
jeseni 1988					
Smrekovec-vrh	0.84	1.78	11.71	0.80	14.57
Smrekovec-koča	2.58	0.27	10.57	0.54	19.61
Kramarice	0.80	2.15	13.03	0.55	23.60
Slanica	1.00	1.67	12.19	0.60	20.41
spomladi 1989					
Smrekovec-vrh	2.06	-3.36	7.81	0.61	12.85
Kope	1.37	1.09	11.78	0.74	15.83
Smrekovec-koča	3.23	-1.47	11.26	0.69	16.38
Komisija	4.20	-2.81	10.92	0.56	19.68
Kramarica	2.67	-1.51	8.07	0.61	13.27
Kozjak-Špik	2.82	-2.03	6.74	0.41	16.47
Slanica	4.21	-2.43	12.51	0.70	17.85
Zavodnje	1.92	0.85	13.72	0.70	19.57
Graška gora	3.42	-2.19	9.29	0.58	16.13
Zavodnje-pod	1.25	1.95	14.66	0.79	18.46
Veliki vrh	1.37	1.61	13.91	0.83	16.84
Lokovica	2.48	0.87	16.77	1.03	16.25
Šmiklavž	2.93	-1.21	10.65	0.54	19.68
Podgorica	3.10	-1.64	9.82	0.51	19.37
Lajše	0.49	2.27	11.93	0.64	18.73
Andraž	2.42	0.50	14.94	0.82	18.16
poleti 1989					
Smrekovec-vrh	3.85	-3.99	4.24	0.29	14.88
Kope	-3.43	6.74	9.25	0.28	32.69
Smrekovec-koča	1.34	0.13	7.67	0.31	24.50
Komisija	-1.25	3.65	8.26	0.33	25.20
Kramarica	9.93	-12.30	2.70	0.31	8.65
Kozjak-Špik	1.89	-0.40	8.46	0.21	40.24
Slanica	6.80	-7.83	4.29	0.33	13.03
Zavodnje	13.21	-13.63	14.76	1.33	11.13
Graška gora	0.96	-0.18	4.36	0.27	16.38
Zavodnje-pod	1.02	1.17	10.22	0.52	19.78
Veliki vrh	-3.53	7.81	13.11	0.60	21.86
Lokovica	-5.00	14.35	31.98	1.51	21.22
Šmiklavž	-0.50	2.05	5.71	0.29	20.05
Podgorica	-1.65	5.72	14.58	0.66	22.01
Lajše	1.11	1.12	10.52	0.44	23.89
Andraž	2.04	0.87	14.46	0.79	18.36

spomladi 1990

	Pha	Phb	Pha+b	Phx+c	Pha+b/ Phx+c
Smrekovec-vrh	0.58	0.44	4.88	0.44	11.09
Kope	0.28	1.27	6.72	0.36	18.67
Smrekovec-koča	2.15	-0.23	10.53	0.55	19.15
Komisija	0.53	1.71	9.83	0.48	20.48
Kramarica	1.35	0.06	7.46	0.36	20.72
Kozjak-Špik	1.14	0.81	9.40	0.43	21.86
Brlška planota	-1.39	4.90	12.62	0.56	22.54
Slanica	0.98	0.27	6.31	0.37	17.05
Zavodnje	1.84	-0.45	7.98	0.48	16.63
Šraška gora	1.38	0.26	8.42	0.48	17.54
Zavodnje-pod	1.41	-0.08	7.18	0.47	15.28
Veliki vrh	1.04	0.73	8.50	0.44	19.32
Trakovnik	2.52	-1.33	8.02	0.58	13.83
Stanovšek	0.50	1.48	8.73	0.58	15.05
Lokovica	0.17	2.44	10.86	0.47	23.11
Šmiklavž	0.60	1.09	7.63	0.46	16.59
Podgorica	1.86	-0.32	8.61	0.48	17.94
Čaze	2.17	0.17	12.26	0.62	19.77
Polšica	2.36	-1.02	8.40	0.42	20.00
Čajše	2.11	0.64	13.86	0.68	20.38
Čndraž	1.13	1.43	11.87	0.57	20.82

3.4. Vsebnost feofitinov v dvoletnih iglicah

TABELA 4. Vsebnost feofitinov v mg/g v dvoletnih iglicah.

Lokacija	Pha	Phb	Pha+b	Phx+c	Pha+b/ Phx+c
jeseni 1988					
Smrekovec-vrh	0.65	2.86	15.14	0.83	18.33
Smrekovec-koča	0.05	4.61	18.73	0.83	22.48
Kramarice	1.08	3.15	18.61	0.76	24.58
Slanica	0.97	2.43	15.13	0.71	21.21
spomladi 1989					
Smrekovec-vrh	3.22	-1.97	9.13	0.77	11.94
Kope	1.48	1.54	14.21	1.00	14.17
Smrekovec-koča	3.26	-0.84	18.41	0.99	18.65
Komisija	5.11	-3.54	12.79	0.77	16.55
Kramarica	5.09	-3.34	13.50	0.78	17.33
Kozjak-Špik	5.33	-4.43	10.33	0.63	16.37
Slanica	4.28	-2.56	12.37	0.74	16.78
Zavodnje	1.72	2.53	19.49	0.96	20.34
Graška gora	4.36	-2.81	11.73	0.67	17.61
Zavodnje-pod	-0.49	3.20	10.49	0.54	19.49
Veliki vrh	0.75	2.33	13.55	0.77	17.59
Lokovica	1.01	1.50	11.52	0.91	12.63
Šmiklavž	3.36	-2.31	8.48	0.53	16.05
Podgorica	7.51	-6.99	11.50	0.70	16.38
Lajše	-0.89	4.31	12.87	0.64	20.17
Andraž	2.43	1.16	17.69	1.01	17.48
poleti 1989					
Smrekovec-vrh	-0.32	1.74	10.00	0.61	16.52
Kope	1.98	0.26	11.63	0.77	15.15
Smrekovec-koča	1.81	0.91	13.34	0.59	22.72
Komisija	0.11	2.52	8.26	0.33	25.20
Kramarica	12.48	-13.23	12.48	1.02	12.23
Kozjak-Špik	1.46	0.13	8.30	0.47	17.50
Slanica	6.54	-7.23	5.29	0.40	13.33
Zavodnje	0.32	3.38	15.52	0.78	19.87
Graška gora	-8.17	13.46	11.52	0.31	37.32
Zavodnje-pod	0.56	2.37	12.70	0.68	18.63
Veliki vrh	-0.94	4.67	14.07	0.76	18.40
Lokovica	-0.04	-7.35	20.06	1.13	17.68
Šmiklavž	1.06	0.15	6.25	0.37	16.91
Podgorica	0.38	3.31	7.26	0.34	21.60
Lajše	-7.11	14.27	20.40	0.75	27.12
Andraž	-0.17	4.31	16.71	0.76	21.86

jeseni 1989

	Pha	Phb•	Pha+b	Phx+c	Pha+b/ Phx+c
Smrekovec-vrh	2.74	-1.33	9.16	0.69	13.27
Kope	2.56	-0.91	9.92	0.63	15.70
Smrekovec-koča	2.11	-0.33	9.89	0.54	18.36
Komisija	3.56	-2.76	7.74	0.70	10.99
Kramarice	3.32	-0.95	13.81	0.55	25.11
Kozjak-Špik	3.74	-1.71	12.98	0.72	17.96
Brloška planota	4.21	-2.12	13.78	0.90	15.24
Slanica	1.83	0.25	10.79	0.53	20.37
Zavodnje	2.36	0.43	14.37	0.73	19.80
Graška gora	2.71	-1.29	9.19	0.54	16.97
Zavodnje-pod	1.82	0.56	12.01	0.55	21.89
Veliki vrh	0.86	1.06	8.93	0.44	20.17
Mrakovnik	4.41	-2.87	11.78	0.79	14.92
Stanovšek	3.49	-1.95	10.64	0.76	13.94
Lokovica	4.68	-2.61	14.28	0.81	17.72
Šmiklavž	1.47	0.32	9.18	0.55	16.73
Podgorica	3.80	-2.51	9.99	0.61	16.40
Laze	3.52	-1.72	11.76	0.76	15.45
Topolšica	3.03	-1.53	9.89	0.59	16.67
Lajše	0.85	2.41	14.36	0.74	19.46
Andraž	3.15	-0.75	13.71	0.80	17.19

pozimi 1990

Smrekovec-vrh	0.98	1.41	11.00	0.93	11.83
Kope	1.04	2.21	14.60	0.92	15.87
Smrekovec-koča	0.61	1.12	7.84	0.57	13.75
Komisija	2.66	-1.12	9.62	0.94	10.23
Kramarica	1.80	0.93	13.40	0.84	15.95
Kozjak-Špik	1.27	1.65	13.50	0.85	15.88
Brloška planota	2.26	0.30	13.29	0.33	40.27
Slanica	0.45	1.11	6.97	0.19	36.68
Zavodnje	2.03	-0.10	10.41	0.32	32.53
Graška gora	2.53	-0.52	11.35	0.72	15.76
Zavodnje-pod	0.65	0.91	7.16	0.51	14.04
Veliki vrh	1.21	-0.05	6.26	0.48	13.04
Mrakovnik	1.50	1.30	13.30	0.92	14.46
Stanovšek	1.86	-0.51	7.87	0.66	11.92
Lokovica	2.87	-1.80	7.93	0.63	12.59
Šmiklavž	0.44	1.69	9.24	0.66	14.00
Podgorica	1.02	1.67	12.25	0.82	14.94
Laze	3.22	-2.10	8.56	0.70	12.23
Topolšica	1.20	0.98	10.43	0.54	19.31
Lajše	1.97	-0.10	10.12	0.70	14.46
Andraž	1.17	0.67	8.99	0.61	14.74

spomladi 1990

	Pha	Phb	Pha+b	Phx+c	Pha+b/ Phx+c
Smrekovec-vrh	0.46	1.71	9.41	0.64	14.70
Kope	0.20	2.40	10.86	0.49	22.16
Smrekovec-koča	1.50	0.41	9.66	0.51	18.94
Komisija	0.84	1.23	9.49	0.47	20.19
Kramarica	1.87	-0.78	6.78	0.41	16.54
Kozjak-Špik	1.46	1.07	12.15	0.61	19.92
Brloška planota	4.54	-2.75	12.96	0.88	14.73
Slanica	1.56	-0.37	6.81	0.40	17.03
Zavodnje	3.02	-1.49	10.03	0.64	15.67
Graška gora	15.37	-18.64	5.78	0.58	9.97
Zavodnje-pod	1.56	0.08	8.66	0.55	15.75
Veliki vrh	1.16	0.75	9.27	0.44	21.07
Mrakovnik	4.34	-2.87	11.44	0.73	15.67
Stanovšek	1.45	-0.40	6.10	0.43	14.19
Lokovica	0.90	1.60	11.37	0.60	18.95
Šmiklavž	0.92	0.68	7.70	0.51	15.10
Podgorica	1.47	0.97	11.81	0.64	18.45
Laze	1.33	1.33	12.52	0.64	19.56
Topolšica	2.90	-0.97	11.50	0.62	18.55
Lajše	3.95	-1.62	14.40	0.74	19.46
Andraž	1.78	1.40	15.23	0.79	19.28

3.5. Specifična električna prevodnost in pH v enoletnih iglicah

TABELA 5. Specifična električna prevodnost v $\mu\text{S}/\text{cm}$ in pH v enoletnih iglicah.

Lokacija	po 2-urah	po 24-urah	po 24-ura pH
jeseni 1988			
Smrekovec-vrh	59.00	120.00	4.20
Smrekovec-koča	78.00	180.00	4.40
Kramarica	125.00	250.00	4.10
Slanica	90.00	190.00	4.05
spomladi 1989			
Smrekovec-vrh	25.00	135.00	4.20
Kope	65.00	300.00	4.40
Smrekovec-koča		230.00	4.40
Komisija		330.00	4.20
Kramarica		260.00	4.00
Kozjak-Špik		270.00	4.20
Slanica		320.00	4.30
Zavodnje	70.00	205.00	3.90
Graška gora		320.00	4.40
Zavodnje-pod	55.00	235.00	3.80
Veliki vrh	60.00	285.00	3.90
Lokovica	70.00	350.00	3.70
Šniklavž		420.00	4.10
Podgorica		310.00	4.10
Lajše	55.00	500.00	3.50
Andraž	40.00	140.00	5.10
poleti 1989			
Smrekovec-vrh	102.50	288.75	4.40
Kope	73.75	287.50	4.19
Smrekovec-koča	120.00	300.00	4.54
Komisija	97.50	262.50	3.98
Kramarica	107.65	309.15	3.54
Kozjak-Špik	120.00	275.00	4.04
Slanica	94.50	251.65	3.58
Zavodnje	92.30	238.15	3.78
Graška gora	119.95	352.45	3.98
Zavodnje-pod	85.80	247.45	3.67
Veliki vrh	130.65	299.95	3.54
Lokovica	113.75	333.75	4.65
Šniklavž	128.30	213.30	3.80
Podgorica	91.60	295.60	3.67
Lajše	137.50	350.80	3.55
Andraž	103.45	245.80	3.98

jeseni 1989

po 2h

po 24h

pH po 24h

Smrekovec-vrh	21.00	106.25	4.01
Kope	14.63	66.00	4.14
Smrekovec-koča	11.25	51.50	3.52
Komisija	19.88	96.25	3.90
Kramarica	13.50	85.75	3.69
Kozjak-Špik	32.75	108.00	3.50
Brloška planota	20.75	125.00	3.75
Slanica	21.50	201.25	3.38
Zavodnje	13.00	71.70	3.70
Graška gora	90.00	145.00	4.30
Zavodnje-pod	36.00	136.25	3.90
Veliki vrh	41.00	227.50	3.68
Mrakovnik	16.87	132.25	3.67
Stanovšek	19.00	96.50	3.60
Lokovica	57.25	258.75	3.73
Šmiklavž	60.00	268.30	3.71
Podgorica	62.50	172.50	3.95
Laze	21.13	94.25	3.69
Topolšica	22.75	151.25	3.59
Lajše	44.00	167.50	3.50
Andraž	85.25	480.00	3.82

pozimi 1990

Smrekovec-vrh	14.62	17.50	4.46
Kope	18.00	16.87	4.73
Smrekovec-koča	17.50	35.25	4.12
Komisija	11.62	18.75	4.49
Kramarica	16.87	19.75	4.39
Kozjak-Špik	16.12	93.50	4.72
Brloška planota	17.87	116.00	4.82
Slanica	13.62	57.62	3.93
Zavodnje	15.50	68.25	5.37
Graška gora	20.62	46.87	5.52
Zavodnje-pod	20.00	147.25	4.48
Veliki vrh	18.37	167.25	4.91
Mrakovnik	27.62	31.25	4.73
Stanovšek	17.37	31.25	5.65
Lokovica	26.50	25.12	6.03
Šmiklavž	11.37	16.00	5.78
Podgorica	18.87	28.62	5.89
Laze	22.50	28.62	5.89
Topolšica	16.12	34.50	5.31
Lajše	13.25	111.00	4.87
Andraž	21.00	46.87	5.51

spomladi 1990

	po 2h	po 24h	pH po 24h
Smrekovec-vrh	18.87	117.25	3.91
Kope	18.37	81.75	4.70
Smrekovec-koča	18.37	167.50	3.82
Komišija	16.62	34.25	4.38
Kramarica	13.87	153.50	3.99
Kozjak-Špik	22.12	147.50	4.23
Brloška planota	26.00	166.00	4.14
Slanica	19.25	146.25	4.06
Zavodnje	19.87	117.00	3.92
Graška gora	35.00	151.50	4.16
Zavodnje-pod	29.75	213.50	3.96
Veliki vrh	28.12	190.00	4.14
Mrakovnik	21.87	166.25	3.79
Stanovšek	20.12	197.50	3.86
Lokovica	35.25	162.50	4.27
Šmiklavž	22.25	158.75	4.03
Podgorica	16.50	143.75	3.88
Laze	17.25	162.50	3.99
Topolšica	60.00	550.00	3.85
Lajše	19.25	357.50	3.83
Andraž	30.00	214.50	4.01

3.6. Specifična električna prevodnost in pH v dvoletnih iglicah

TABELA 6. Specifična električna prevodnost v μScm^{-1} in pH v dvoletnih iglicah.

Lokačija	po 2h	po 24h	pH po 24h
jeseni 1988			
			pH
Smrekovec-vrh	55.00	95.00	4.50
Smrekovec-koča	65.00	195.00	4.30
Kramarice	90.00	300.00	4.20
Slanica	80.00	180.00	4.05
spomladi 1989			
Smrekovec-vrh	40.00	230.00	3.80
Kope	50.00	190.00	4.60
Smrekovec-koča		275.00	4.30
Komisija		225.00	4.60
Kramarica		273.00	4.20
Kozjak-Špik		235.00	4.20
Slanica		330.00	4.20
Zavodnje	65.00	320.00	4.00
Graška gora		245.00	5.10
Zavodnje-pod	45.00	300.00	3.50
Veliki vrh	35.00	210.00	4.00
Lokovica	50.00	205.00	4.20
Šmiklavž		430.00	4.20
Podgorica		310.00	4.30
Lajše	55.00	530.00	3.40
Andraž	40.00	255.00	5.00
poleti 1989			
Smrekovec-vrh	76.25	181.25	4.75
Kope	65.00	302.50	4.41
Smrekovec-koča	76.25	180.00	4.79
Komisija	71.25	270.00	4.29
Kramarica	89.30	256.95	3.86
Kozjak-Špik	78.75	230.00	4.19
Slanica	73.65	256.50	3.64
Zavodnje	92.50	278.95	3.78
Graška gora	101.65	219.15	4.93
Zavodnje-pod	63.30	175.23	3.66
Veliki vrh	100.50	327.50	3.69
Lokovica	106.25	312.50	4.80
Šmiklavž	81.65	224.50	4.13
Podgorica	78.30	286.60	4.03
Lajše	113.65	503.30	3.65
Andraž	76.30	350.80	4.07

jeseni 1989

	po 2h	po 24h	pH po 24h
Smrekovec-vrh	14.25	181.25	3.78
Kope	19.88	106.50	3.81
Smrekovec-koča	18.00	125.00	3.84
Komisija	17.75	73.75	4.10
Kramarice	15.75	107.00	3.76
Kozjak-Špik	44.75	186.25	3.50
Brloška planota	16.75	143.75	3.78
Slanica	17.25	141.75	3.50
Zavodnje	13.80	100.50	3.80
Graška gora	108.75	176.25	4.40
Zavodnje-pod	35.75	190.00	4.00
Veliki vrh	28.75	326.25	4.00
Mrakovnik	13.37	72.25	3.96
Stanovšek	15.70	48.50	4.10
Lokovica	25.00	326.25	3.90
Šmiklavž	74.00	290.00	3.96
Podgorica	75.00	194.00	4.00
Laze	33.25	167.50	4.00
Topolšica	18.87	152.50	3.76
Lajše	37.00	180.00	3.80
Andraž	45.50	180.00	4.30

pozimi 1990

Smrekovec-vrh	11.27	16.62	4.44
Kope	16.25	14.50	4.71
Smrekovec-koča	18.12	52.87	4.18
Komisija	14.75	24.00	4.78
Kramarica	20.62	22.25	4.60
Kozjak-Špik	24.00	88.50	5.14
Brloška planota	17.75	86.50	5.05
Slanica	14.75	43.50	4.21
Zavodnje	14.50	20.12	5.46
Graška gora	22.12	52.62	5.61
Zavodnje-pod	21.50	108.00	4.77
Veliki vrh	21.00	196.25	5.02
Mrakovnik	23.12	24.50	4.71
Stanovšek	20.75	28.87	5.81
Lokovica	27.00	28.87	6.11
Šmiklavž	12.12	13.62	5.80
Podgorica	16.37	21.75	5.49
Laze	18.87	26.75	6.02
Topolšica	17.37	61.00	5.32
Lajše	12.87	193.25	4.73
Andraž	22.25	53.12	5.60

spomladi 1990

	po 2h	po 24h	pH po 24h
Smrekovec-vrh	19.87	120.00	3.81
Kope	16.25	110.50	4.70
Smrekovec-koča	21.50	255.00	3.81
Komisija	18.12	43.00	4.60
Kramarica	17.37	141.25	3.97
Kozjak-Špik	19.87	182.50	4.11
Brloška planota	16.37	127.25	4.04
Slanica	18.62	138.75	4.14
Zavodnje	20.87	120.50	3.92
Graška gora	31.00	280.75	4.12
Zavodnje-pod	28.37	264.50	3.94
Veliki vrh	30.25	248.75	4.04
Hrakovnik	25.75	137.50	3.95
Stanovšek	20.00	215.00	3.97
Lokovica	33.00	195.00	4.25
Šmiklavž	21.87	158.25	4.28
Podgorica	15.87	142.50	4.12
Laze	17.50	165.00	4.05
Topolšica	27.25	425.00	3.98
Lajše	20.87	356.25	3.97
Andraž	28.62	270.75	3.92

3.7. Vsebnost celokupnega žvepla v enoletnih iglicah

TABELA 7. Vsebnost celokupnega žvepla v % suhe teže v enoletnih iglicah

Lokacija	jeseni 1. 1988	jeseni 1. 1989	pozimi 1. 1990	spomladi 1. 1990
Smrekovec-vrh	0.14	0.10	0.18	0.12
Kope		0.11	0.13	0.12
Smrekovec-koca	0.13	0.11	0.11	0.15
Komisija		0.13	0.14	0.14
Kramarica	0.18	0.11	0.15	0.17
Kozjak-Špik		0.15	0.16	0.15
Brloška planota		0.21	0.15	0.17
Slanica	0.21	0.18	0.18	0.18
Zavodnje		0.24	0.21	0.22
Graška gora		0.15	0.16	0.15
Zavodnje-pod		0.16	0.19	0.22
Veliki vrh		0.25	0.26	0.26
Mrakovnik		0.15	0.14	0.16
Stanovšek		0.19	0.20	0.20
Lokovica		0.25	0.25	0.20
Šniklavž		0.14	0.17	0.13
Podgorica		0.14	0.14	0.17
Laze		0.12	0.10	0.11
Topolšica		0.19	0.21	0.21
Lajše		0.23	0.24	0.23
Andraž		0.15	0.15	0.14

3.8. Vsebnost celokupnega žvepla v dvoletnih iglicah

TABELA 8. Vsebnost celokupnega žvepla v % suhe teže v dvoletnih iglicah.

Lokacija	jesen 1. 1988	jeseni 1. 1989	pozimi 1. 1990	spomladi 1. 1990
Smrekovec-vrh	0.16	0.13	0.15	0.15
Kope		0.12	0.15	0.12
Smrekovec-koča	0.15	0.13	0.12	0.17
Komisija		0.14	0.14	0.16
Kramarica	0.22	0.17	0.17	0.17
Kozjak-Špik		0.17	0.17	0.15
Brloška planota		0.24	0.16	0.19
Slanica	0.27	0.21	0.20	0.25
Zavodnje		0.31	0.26	0.26
Graška gora		0.17	0.23	0.17
Zavodnje-pod		0.23	0.23	0.26
Veliki vrh		0.29	0.31	0.30
Mrakovnik		0.24	0.18	0.17
Stanovšek		0.26	0.26	0.23
Lokovica		0.17	0.29	0.24
Šniklavž		0.16	0.19	0.18
Podgorica		0.25	0.15	0.16
Laze		0.18	0.11	0.13
Topolšica		0.31	0.17	0.26
Lajše		0.20	0.26	0.24
Andraž		0.15	0.18	0.15

3.9. Poprečne mesečne in maksimalne 24-urne koncentracije SO₂

TABELA 9. Poprečne mesečne in maksimalne 24-urne koncentracije SO₂ v mg m⁻³ zraka.

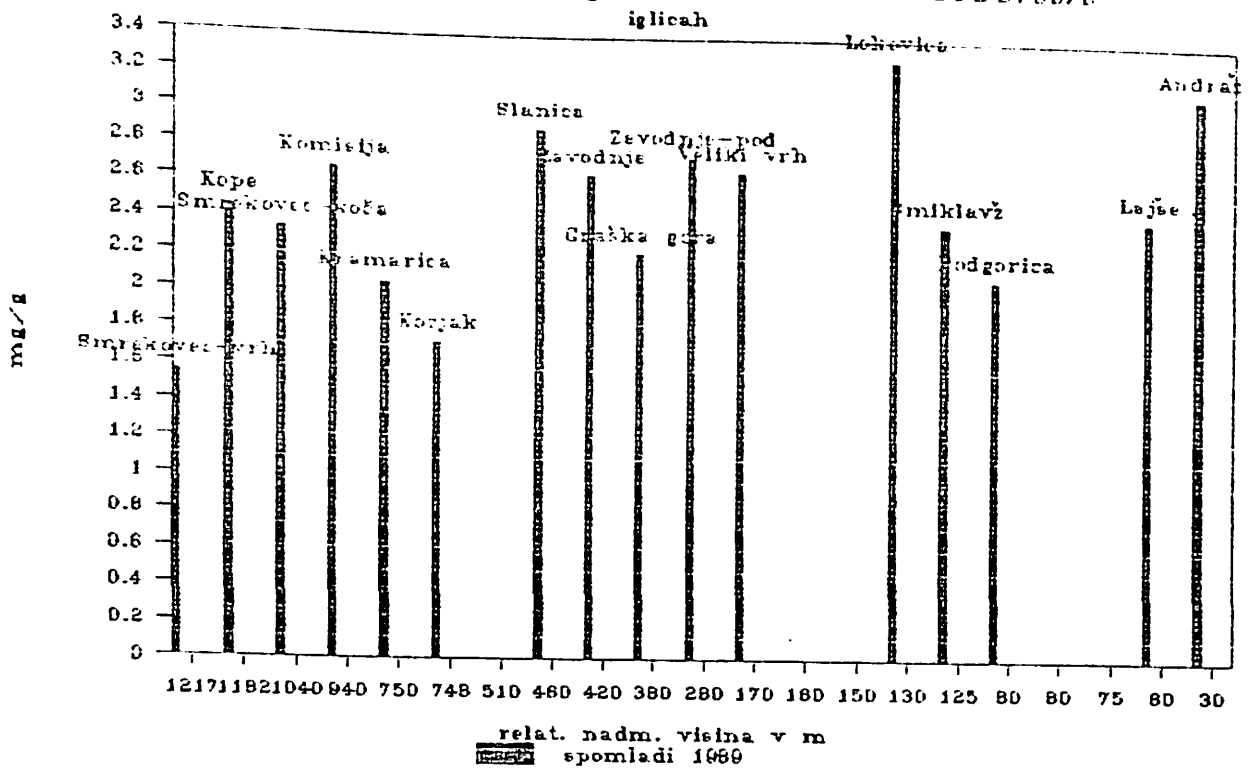
leto 1988.	Sostanjil		Zavodnje		Graška gora	
	mesečne	max.	mesečne	max.	mesečne	max.
januar	0.05	0.10				
februar	0.04	0.11				
marec	0.04	0.09				
april	0.04	0.11				
maj	0.02	0.07				
junij	0.03	0.10				
julij	0.03	0.07				
avgust	0.03	0.07	0.04	0.13		
september	0.02	0.06	0.04	0.13		
oktober	0.03	0.08	0.05	0.22		
november	0.06	0.10	0.08	0.36		
december	0.06	0.15	0.11	0.45		
leto 1989						
januar	0.11	0.36	0.19	0.55	0.13	0.62
februar	0.07	0.15	0.13	0.40	0.09	0.32
marec	0.04	0.09	0.06	0.19	0.06	0.29
april	0.02	0.06	0.01	0.04	0.04	0.13
maj	0.02	0.06	0.02	0.05	0.03	0.14
junij	0.03	0.09	0.02	0.06	0.01	0.04
julij	0.03	0.05	0.02	0.05		0.02
avgust	0.02	0.05	0.08	0.04		
september	0.01	0.05	0.03	0.15		0.04
oktober	0.02	0.01	0.06	0.19		
november	0.01	0.04	0.03	0.10		
december	0.02	0.09	0.06	0.23		
leto 1990						
januar	0.08	0.29	0.14	1.16		
februar	0.04	0.15	0.06	0.26		
marec	0.03	0.14	0.08	0.28		

10. Poprečne mesečne in maksimalne 24-urne koncentracije dima

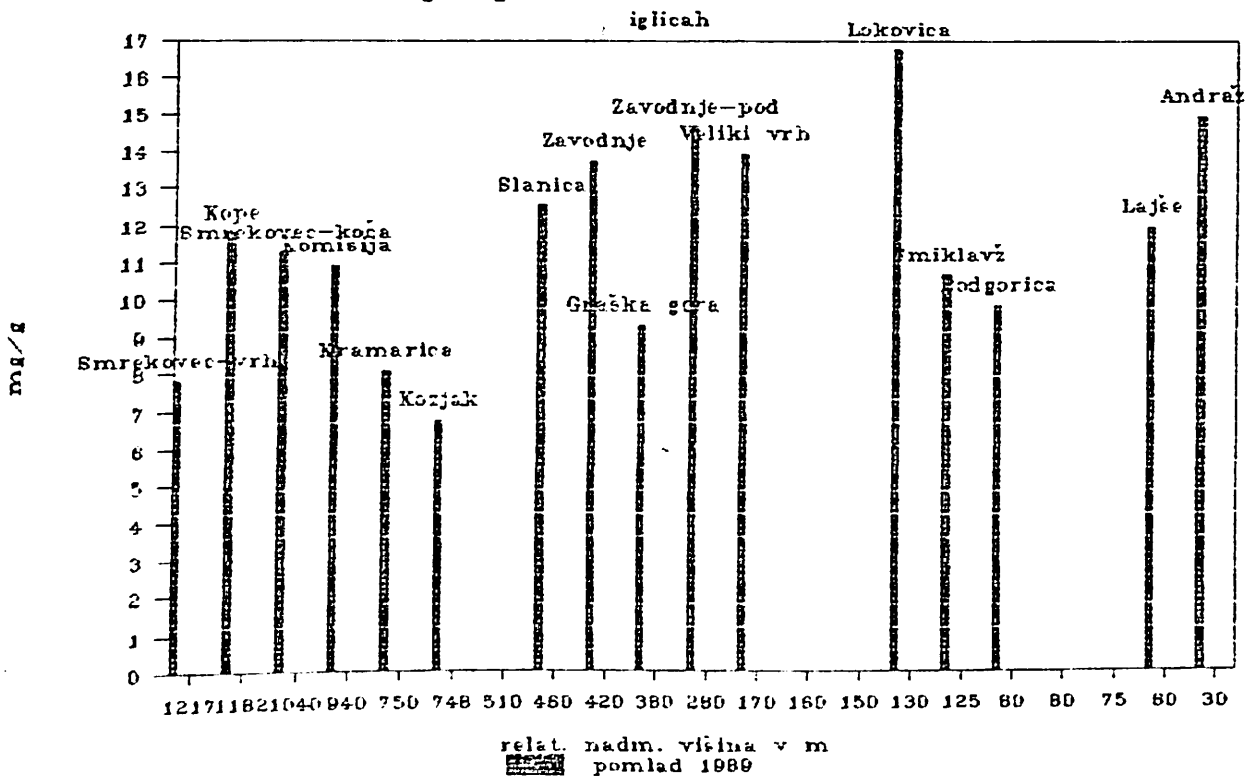
TABELA 10. Poprečne mesečne in maksimalne koncentracije dima v $\mu\text{g m}^{-3}$ zraka.

Leto 1989	Sostanjli		Zavodnje		Graška gora	
	mes	max	mes	max	mes	max
Januar	0.02	0.04	0.01	0.02	0.01	0.02
Februar	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
Marec	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
April	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
Maj	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02
Junij	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Julij	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02
Agust	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02
September	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
Oktober	0.02	0.04	0.01	0.02		
November	0.02	0.04	0.01	0.02		
December	0.02	0.06	0.01	0.03		

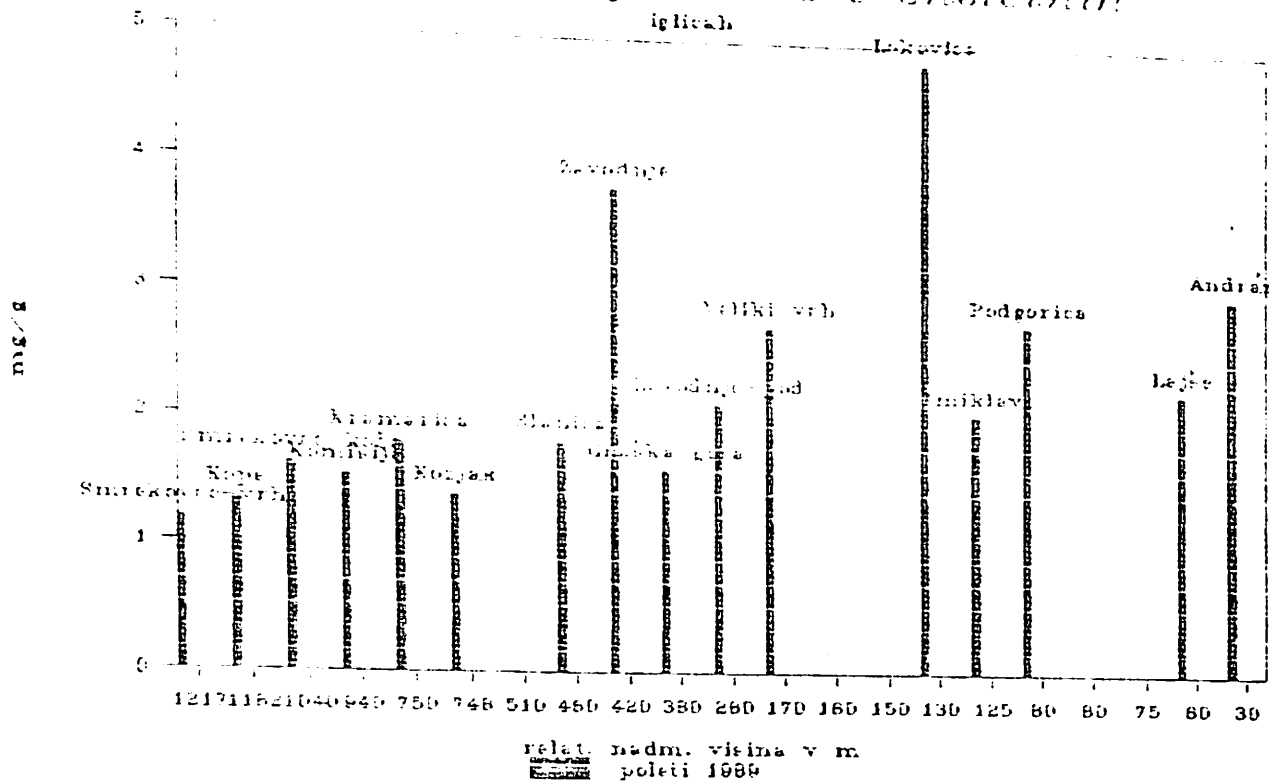
Graf 1. Vsebnost klorofila a+b v enoletnih iglicah



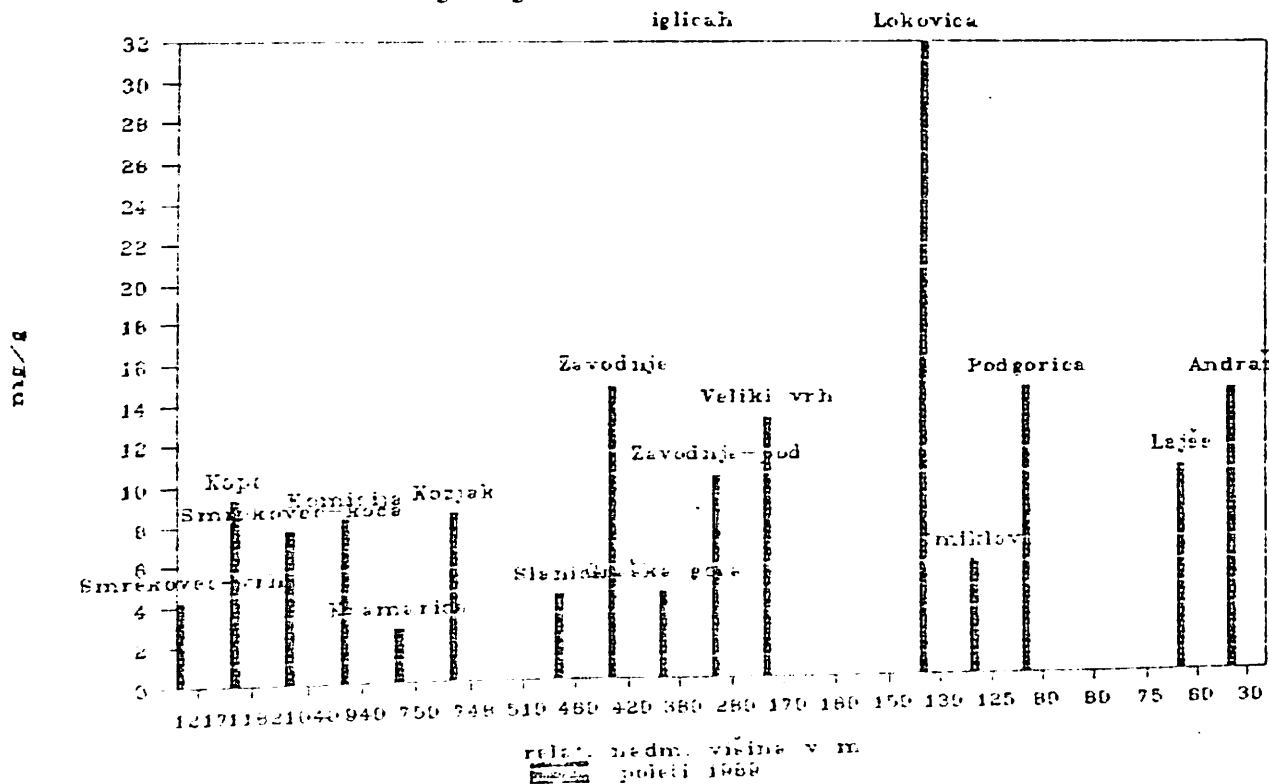
Graf 2. Vsebnost feofitinov Pha+b v enoletnih iglicah



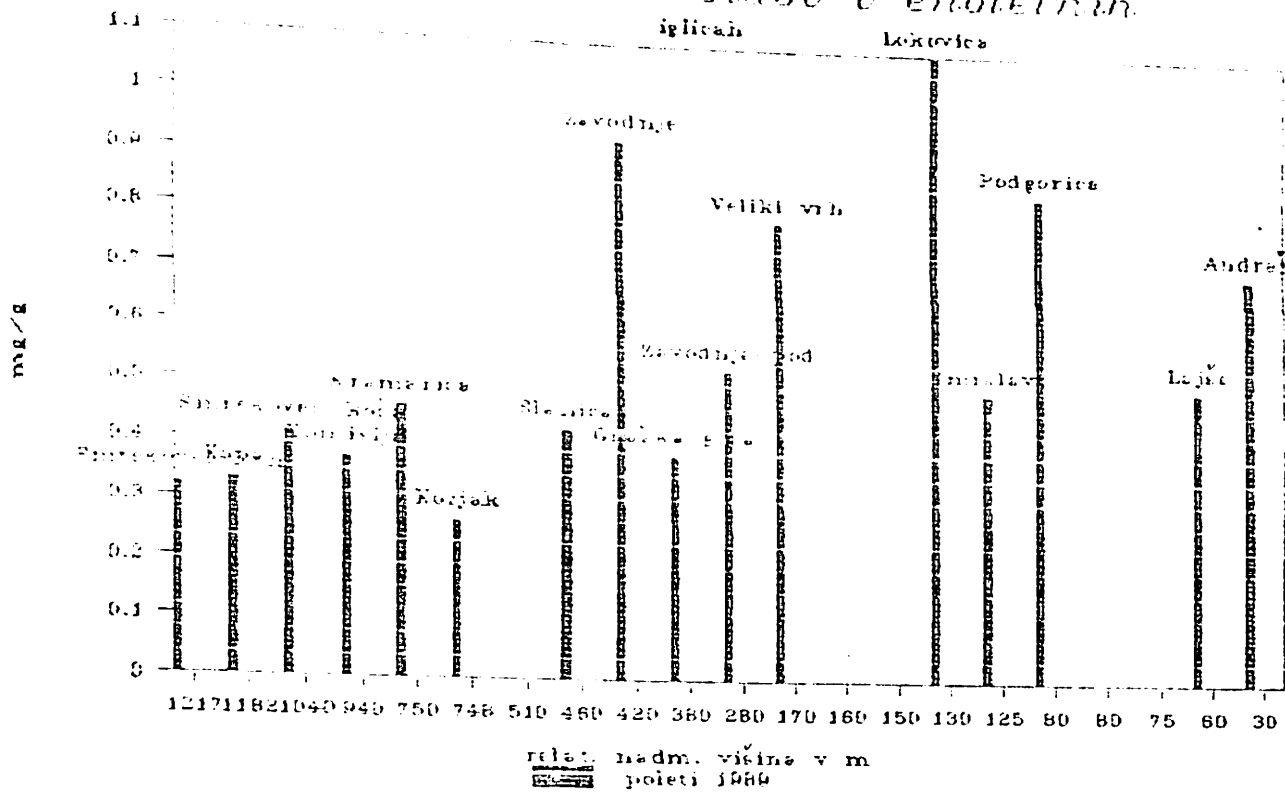
Graf 3. Vsebnost klorofila a+b v enoletnih iglicah



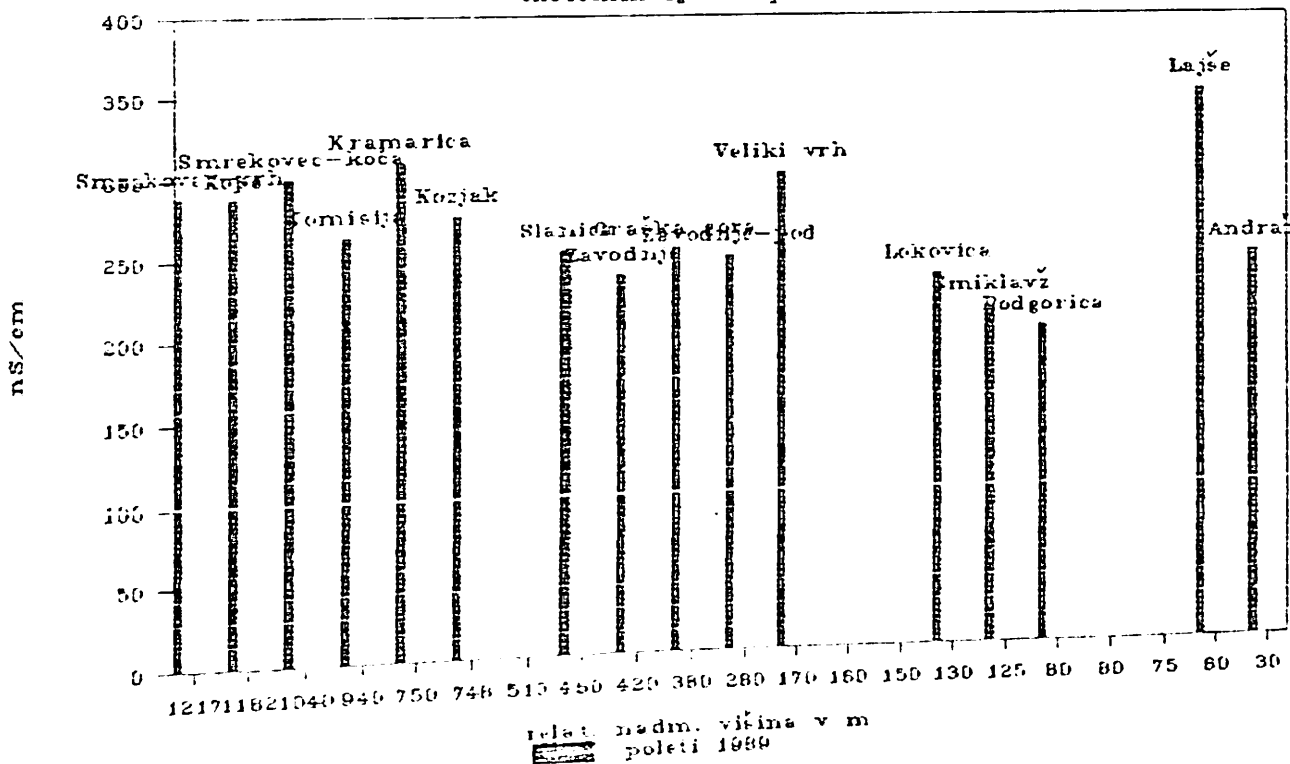
Graf 4. Vsebnost feofitinov Pha+b v enoletnih iglicah



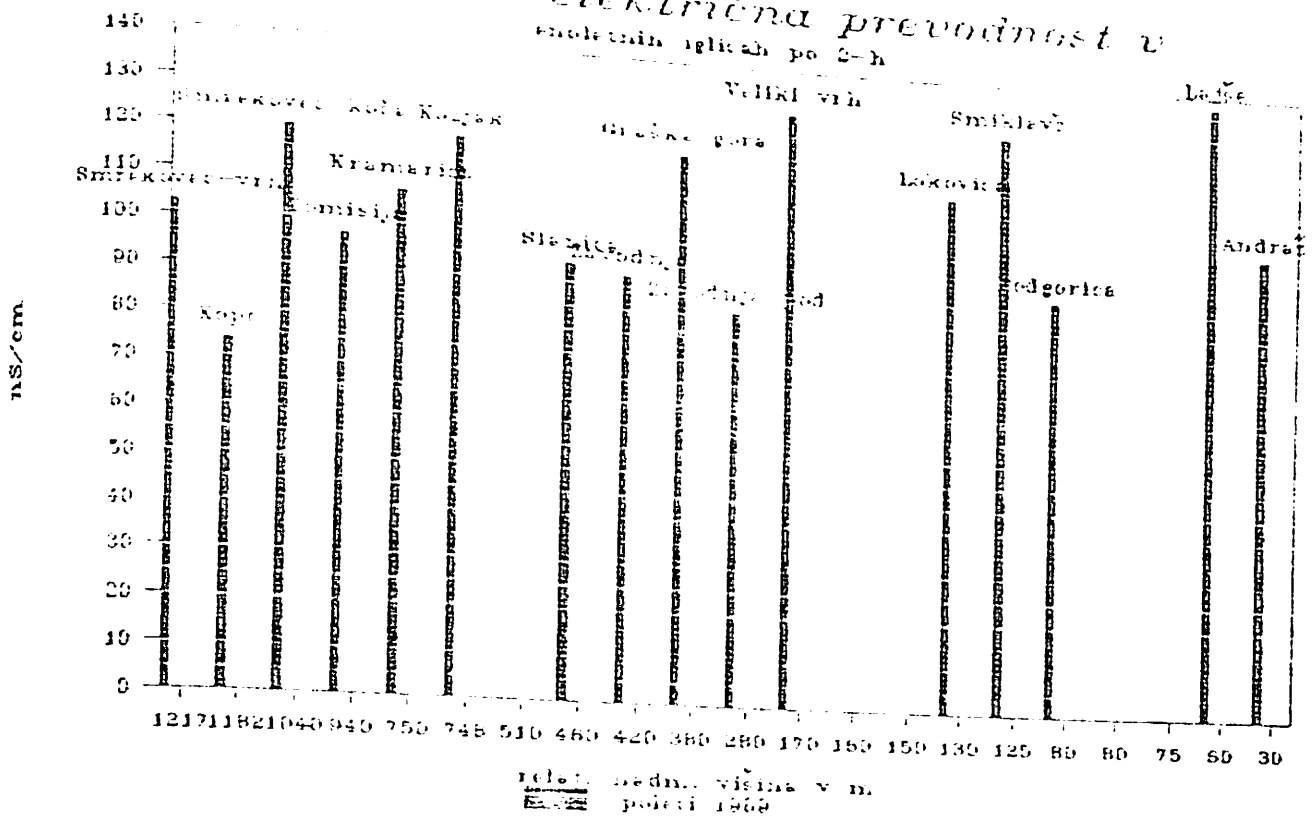
Graf 5. *Vsebnost karotenoidov v enoletnih iglicah*



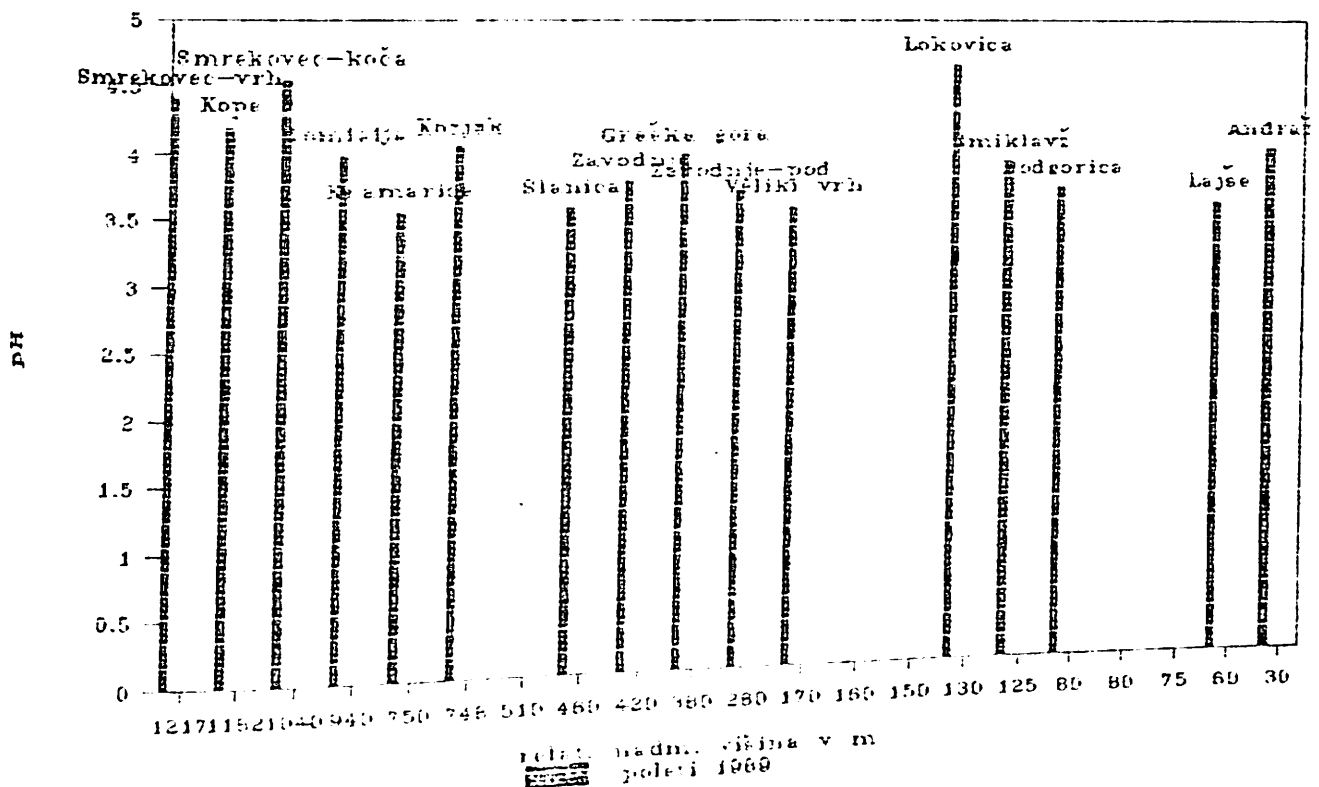
Graf 6. *Specifična električna prevodnost v enoletnih iglicah po 24-h*



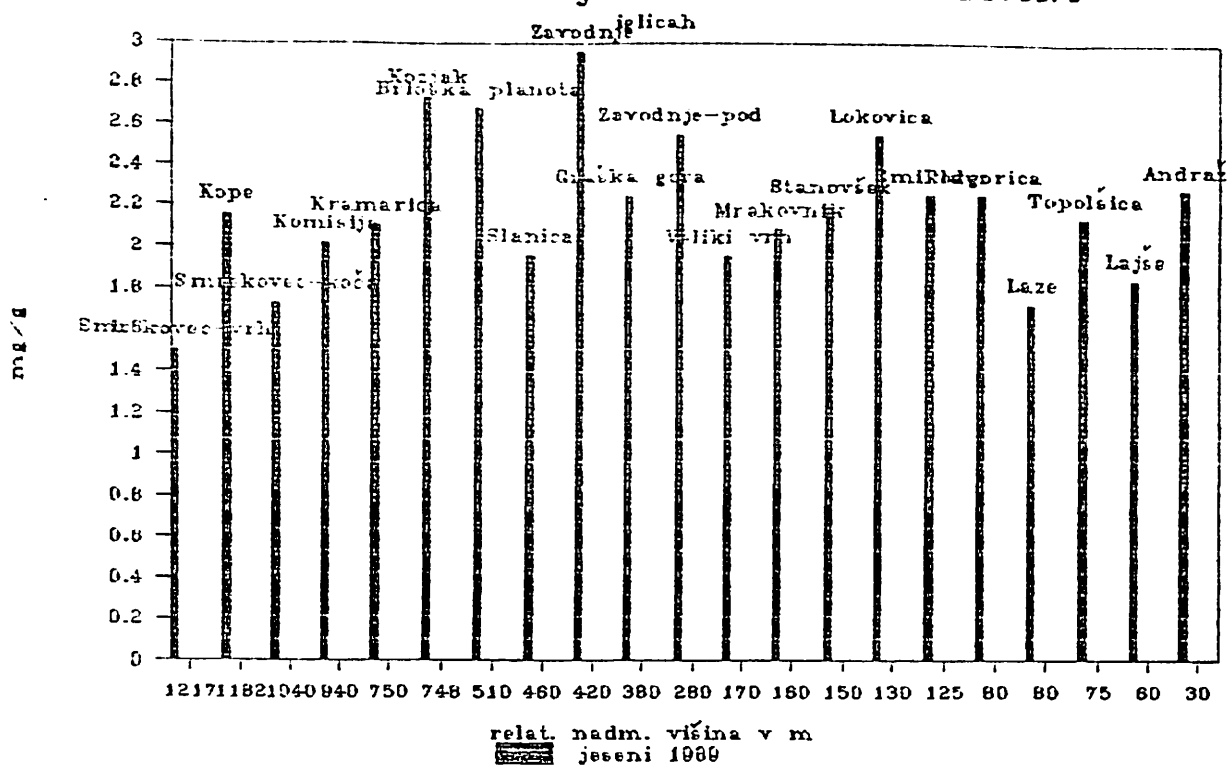
Graf 7. Specifična električna prevodnost v enoletnih iglicah po 2-h



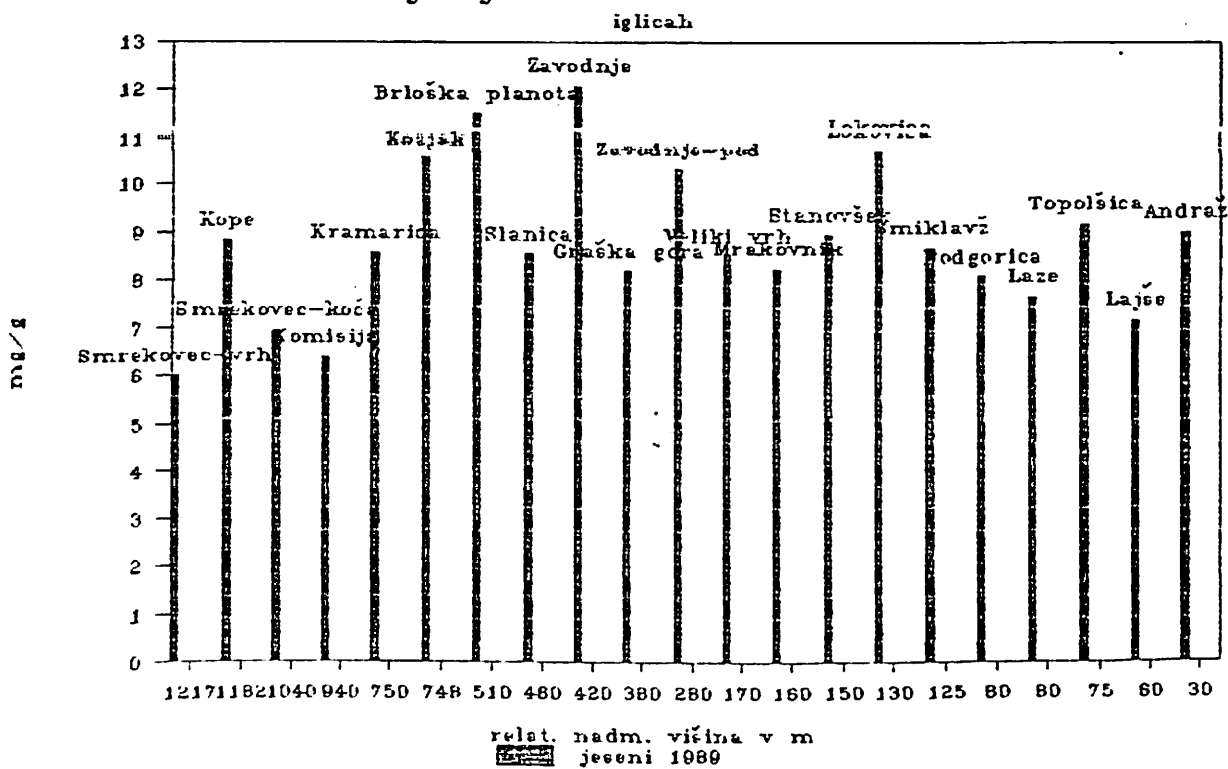
Graf 8. pH vrednost v enoletnih iglicah



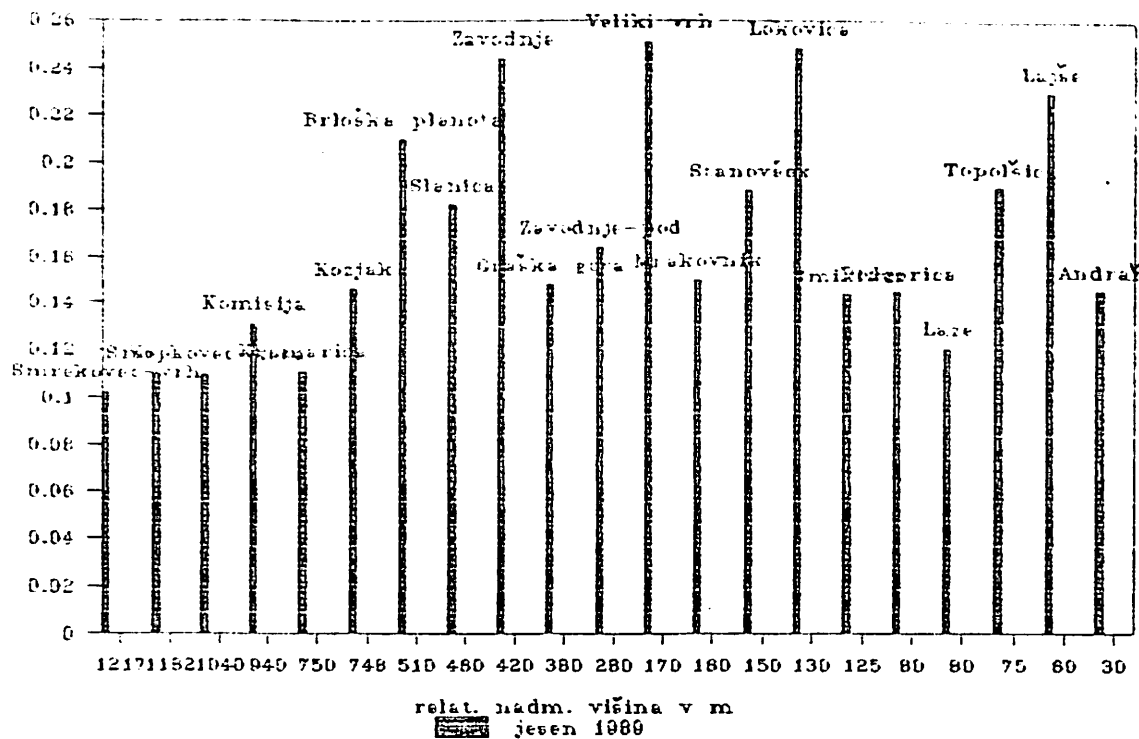
Graf 9. Vsebnost klorofila a+b v enoletnih



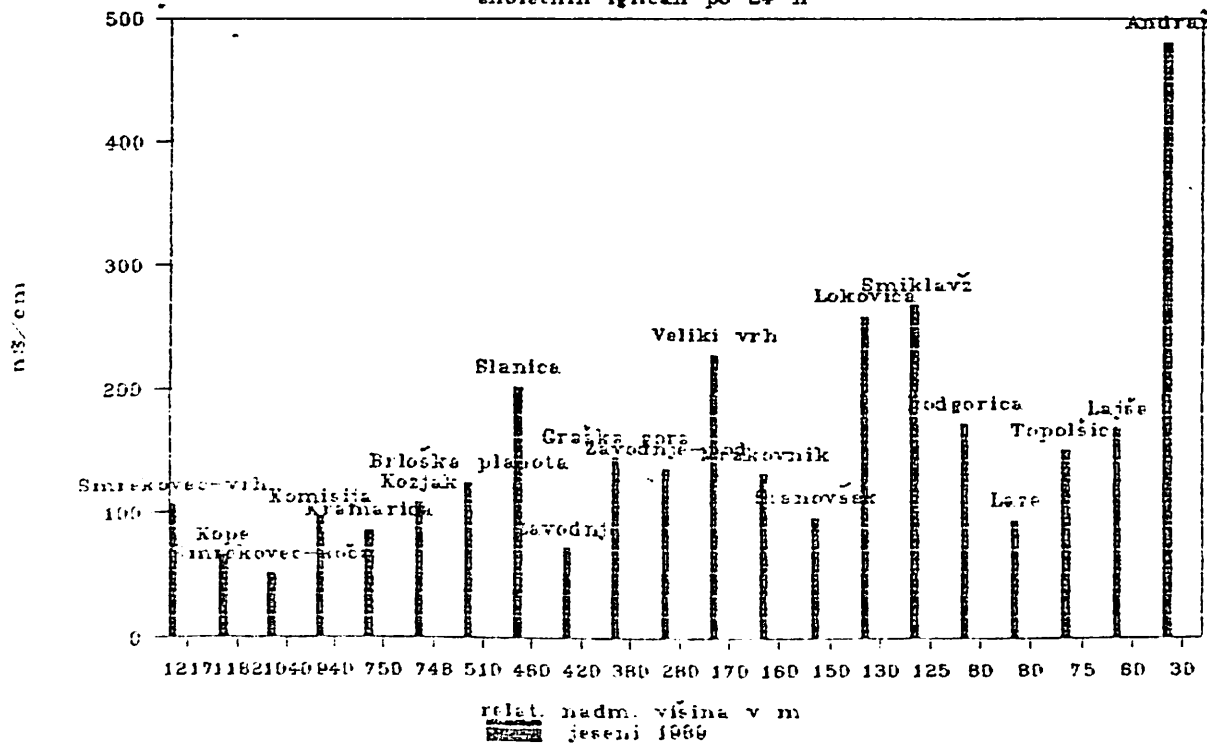
Graf 10. Vsebnost feofitinov Pha+b v enoletnih



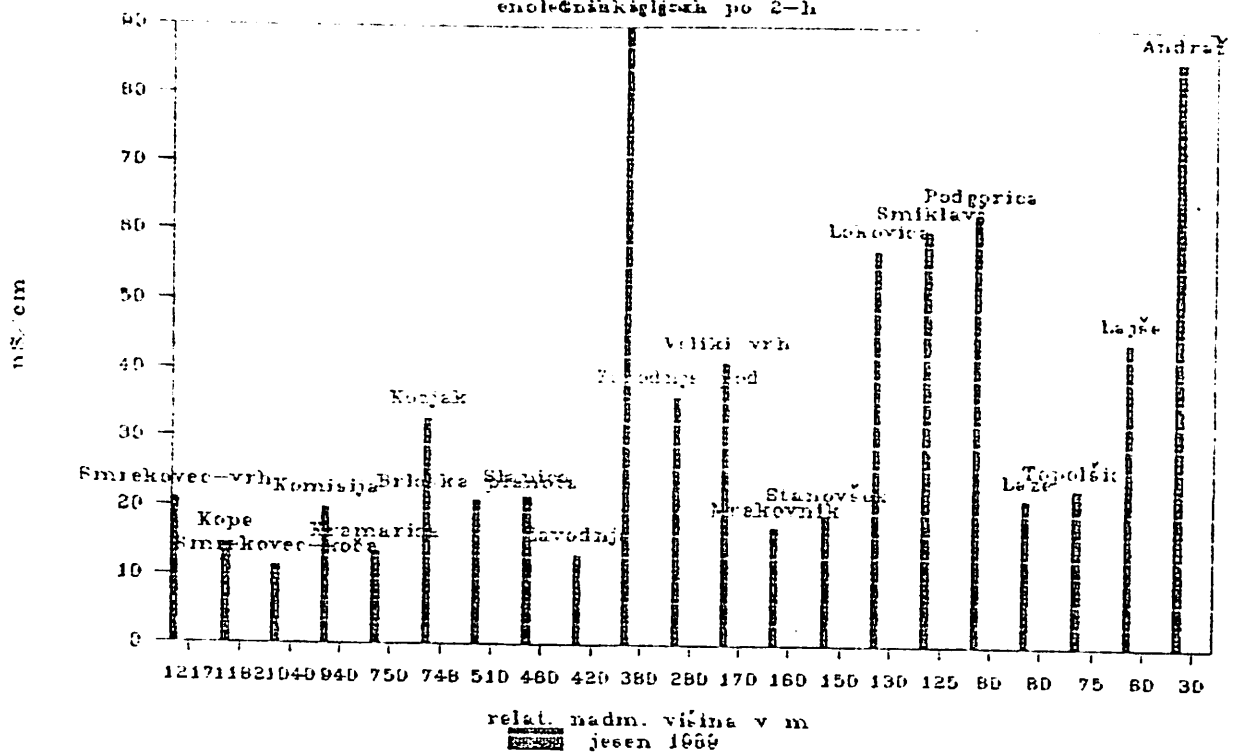
Graf 11. Vsebnost žvepla v enoletnih iglicah



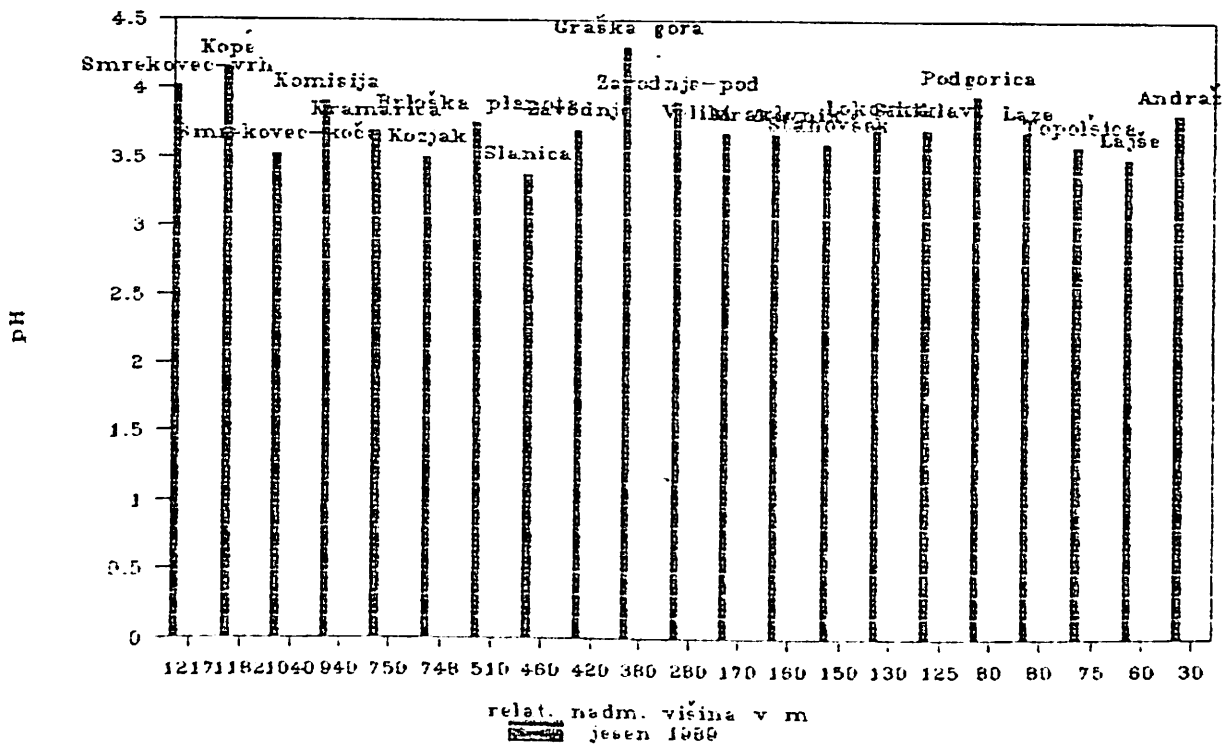
Graf 12. Specifična električna prevodnost v enoletnih iglicah po 24-h



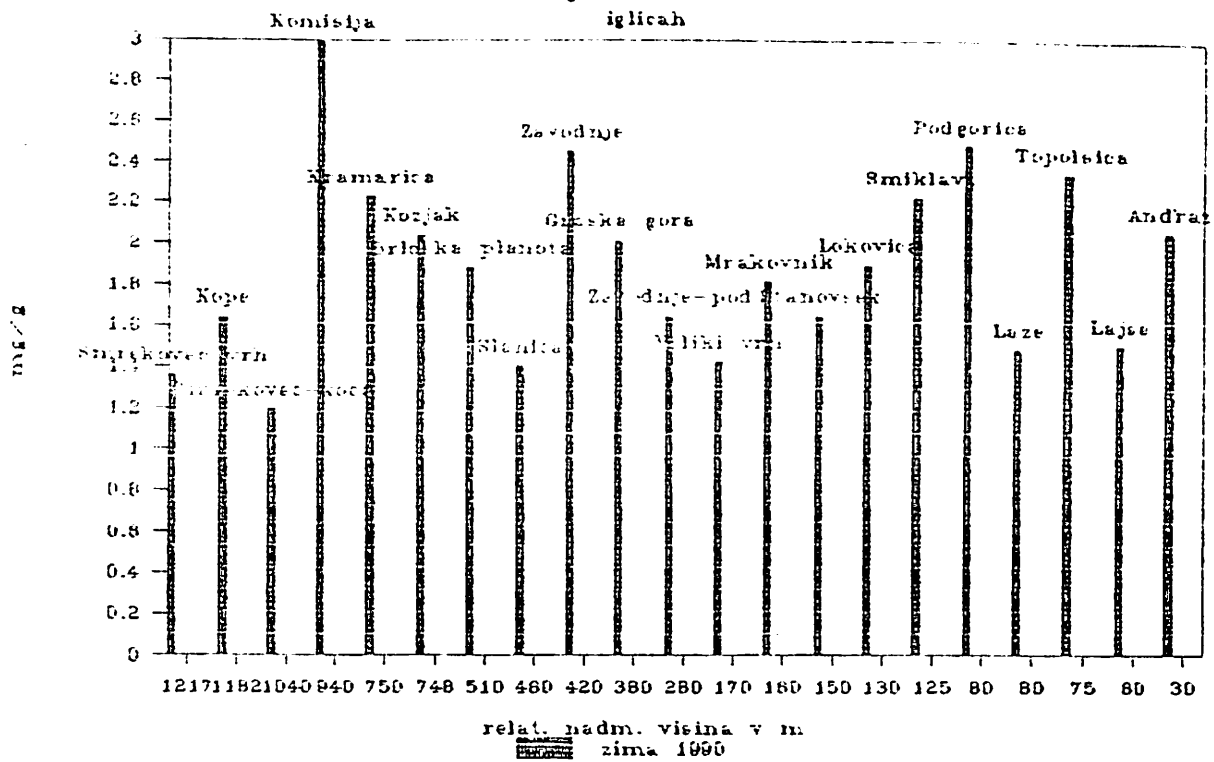
Graf 13. *Specifična električna prevodnost v enoletnih iglicah po 2-h*



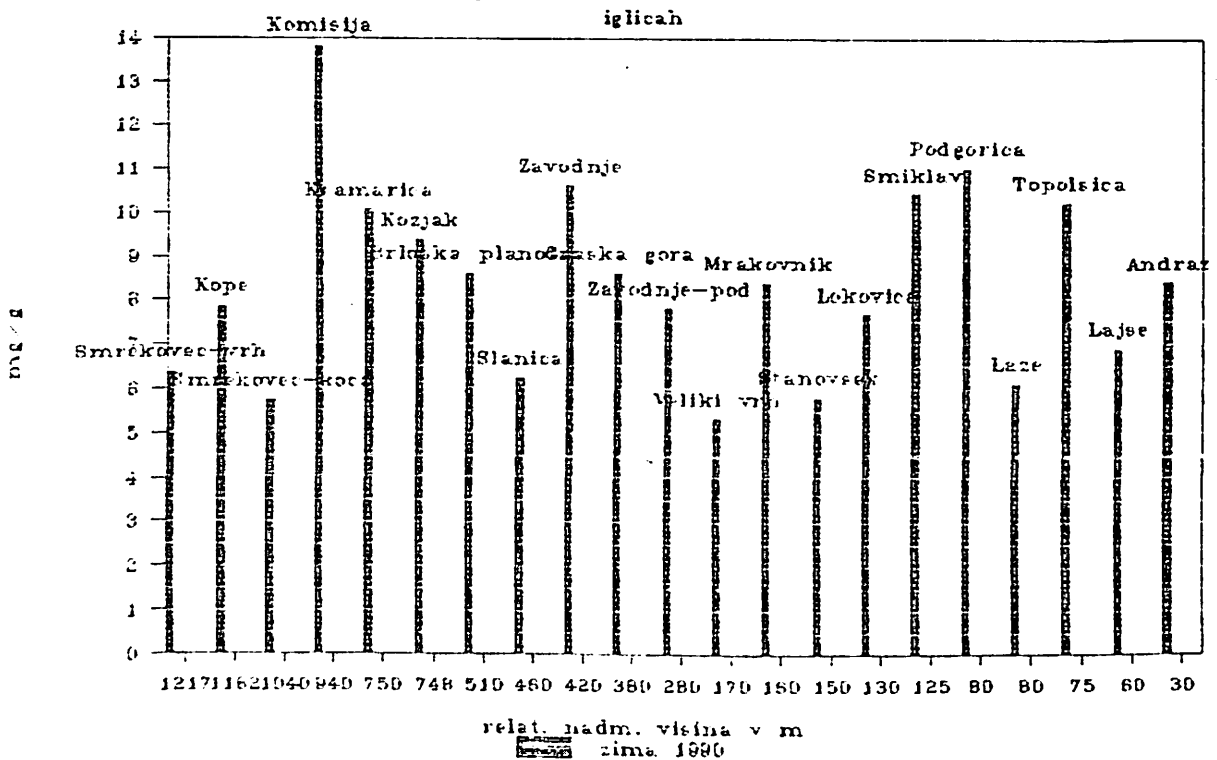
Graf 14. *pH vrednost v enoletnih iglicah*



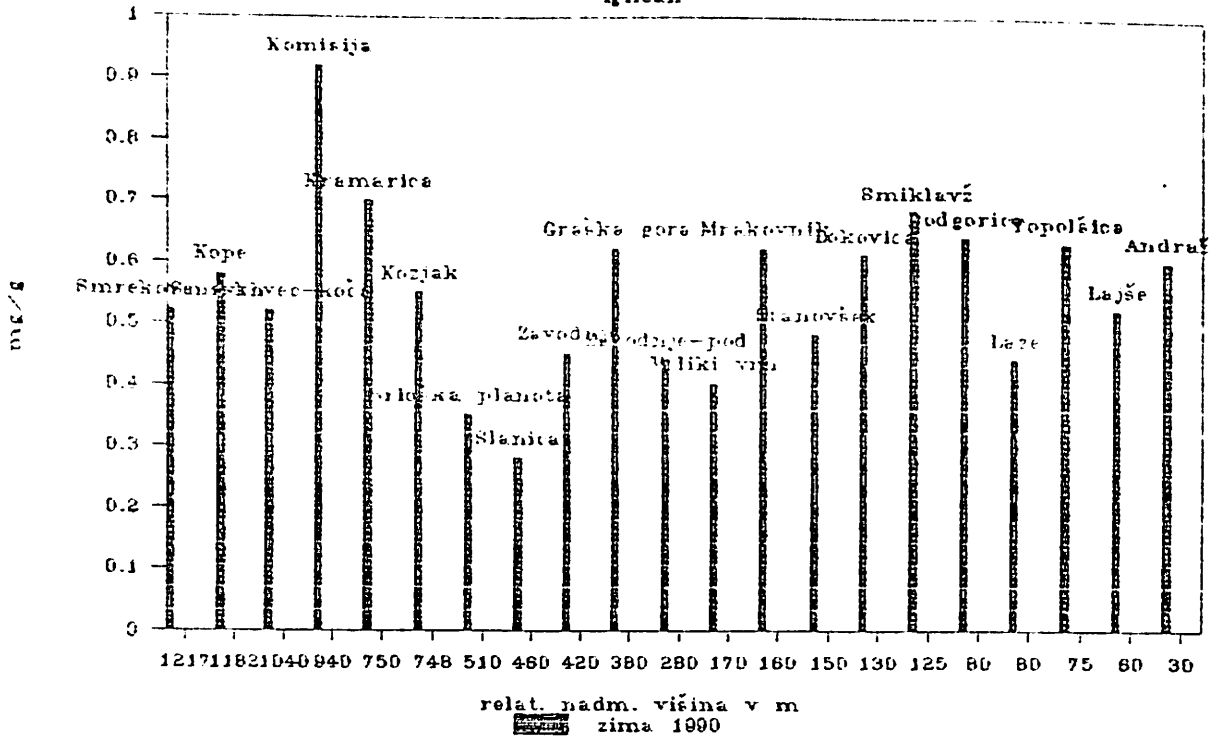
Graf 15. Vsebnost klorofila a+b v enoletnih



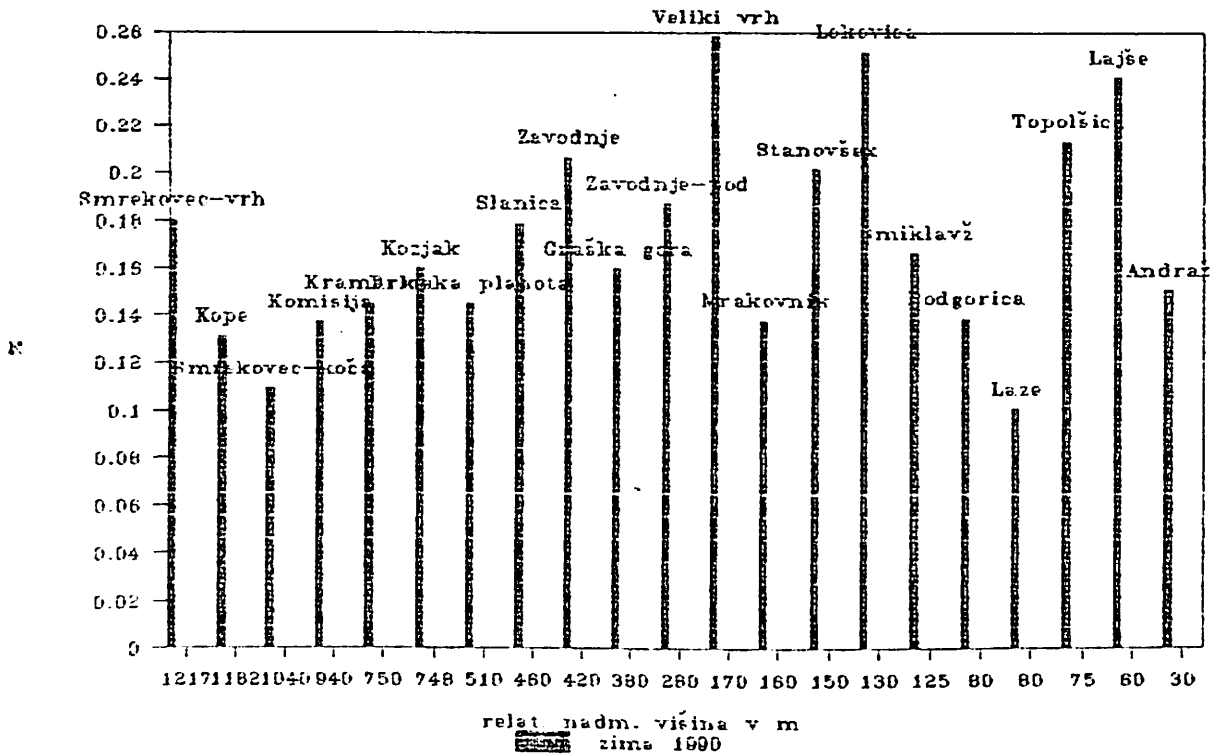
Graf 16. Vsebnost feofitinov Pha+b v enoletnih



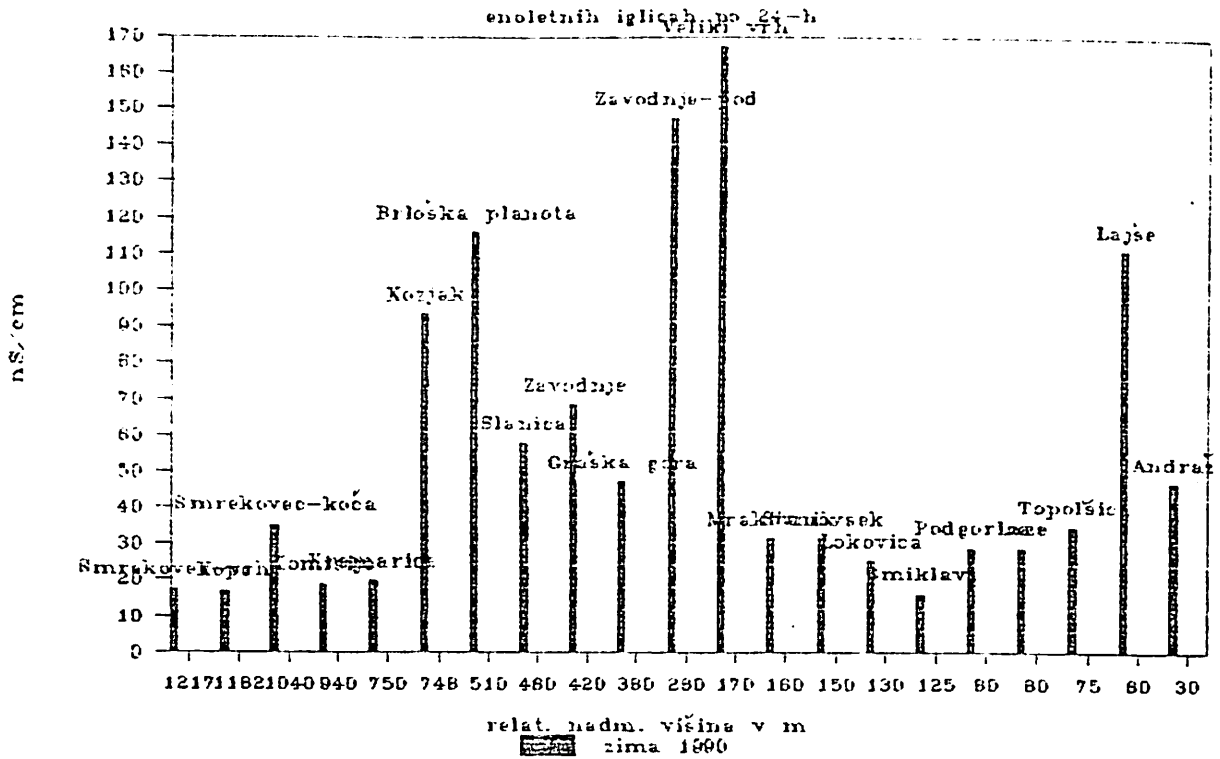
Graf 17. Vsebnost karotenoidov v enoletnih iglicah



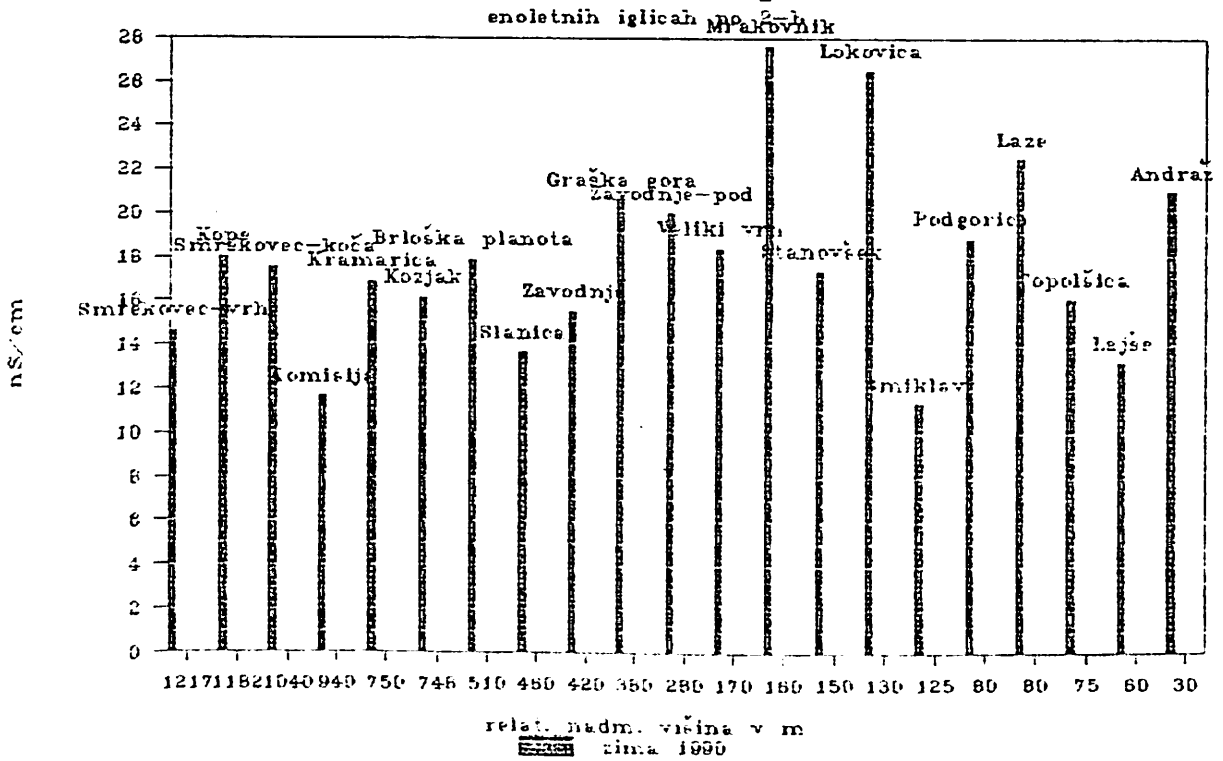
Graf 18. Vsebnost žvepla v enoletnih iglicah



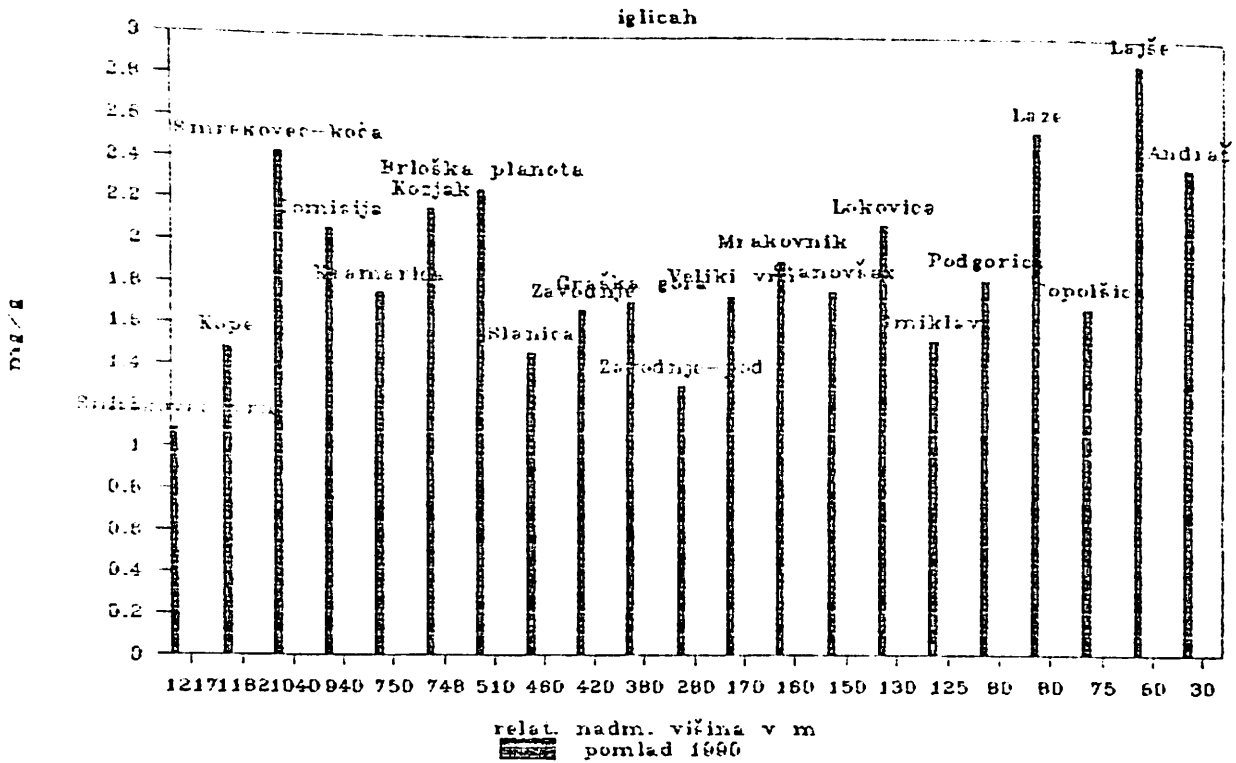
Graf 19. *Specifična električna prevodnost v*



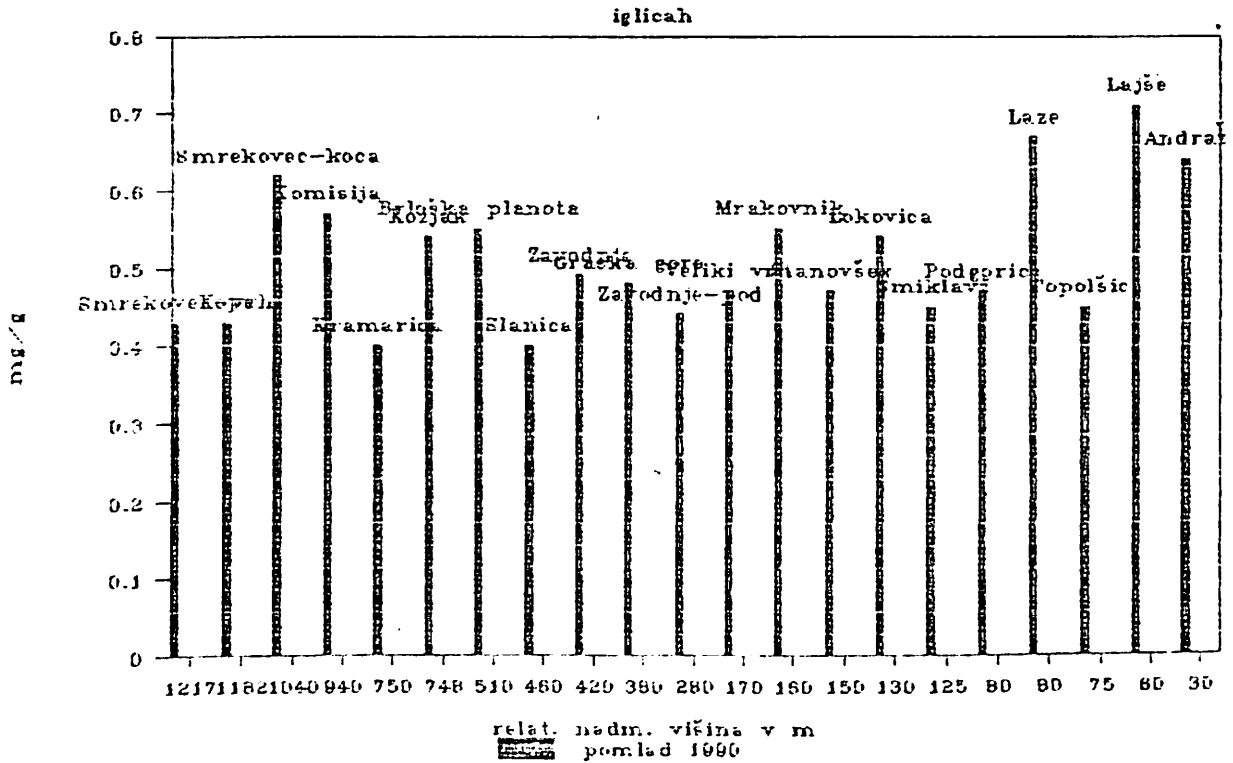
Graf 20. *Specifična električna prevodnost v*



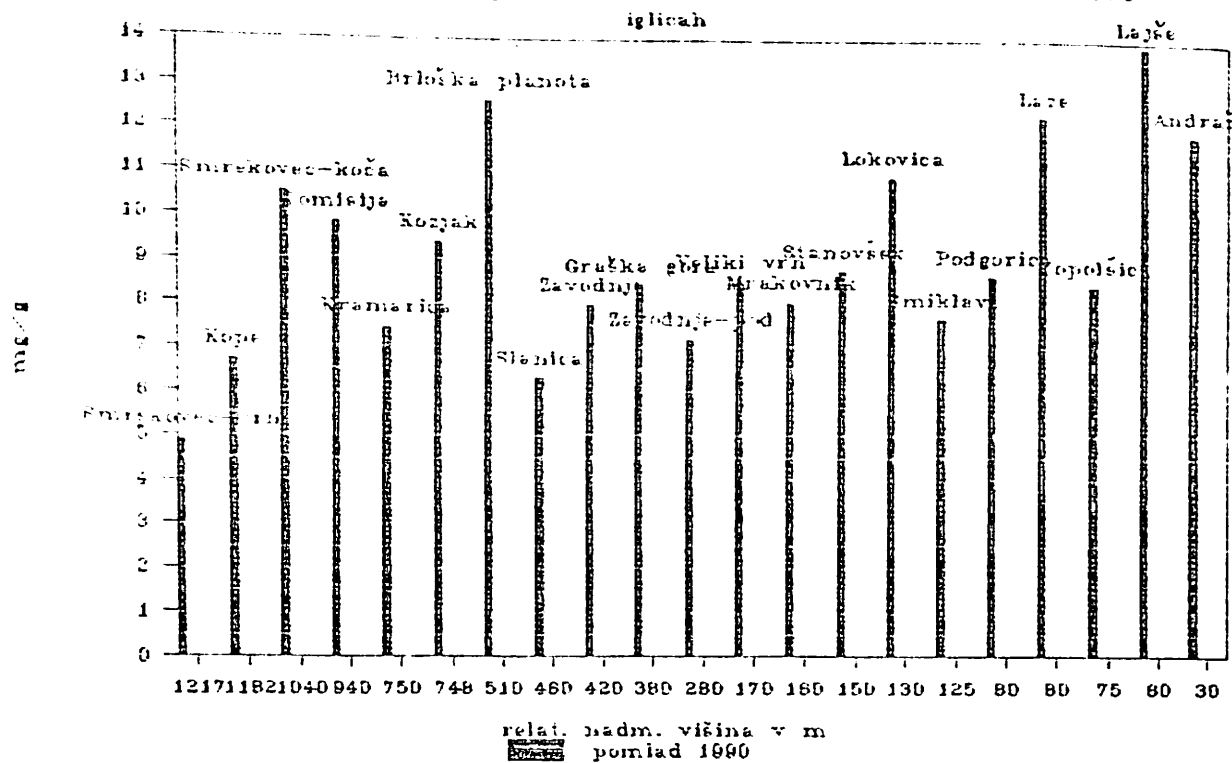
Graf 22. Vsebnost klorofila a+b v enoletnih iglicah



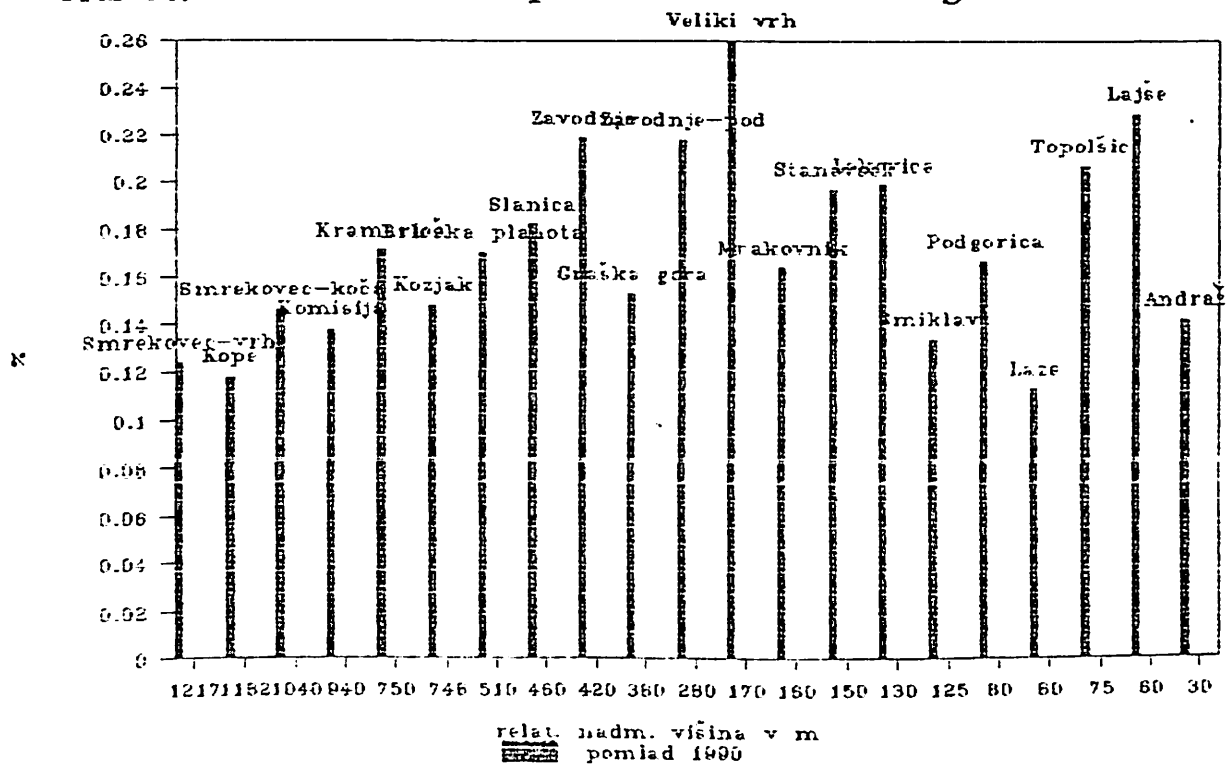
Graf 23. Vsebnost karotenoidov v enoletnih iglicah



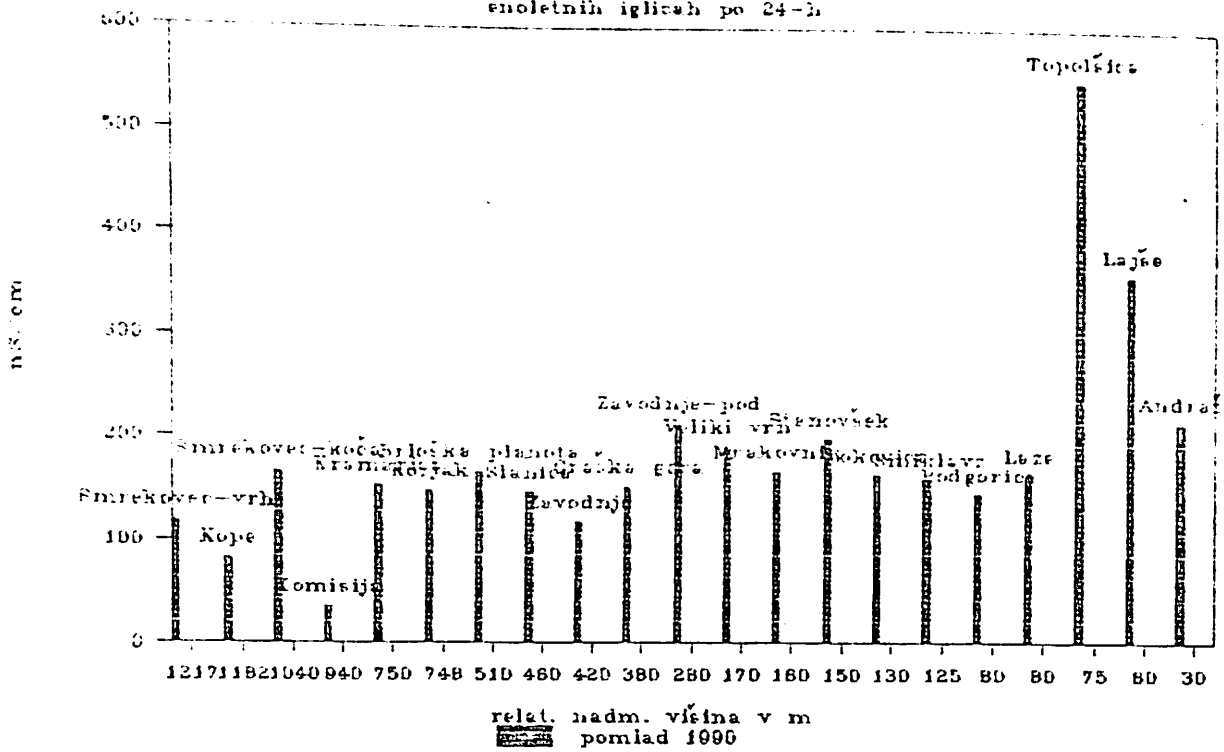
Graf 24. Vsebnost jeofitinov Pha+b v enoletnih



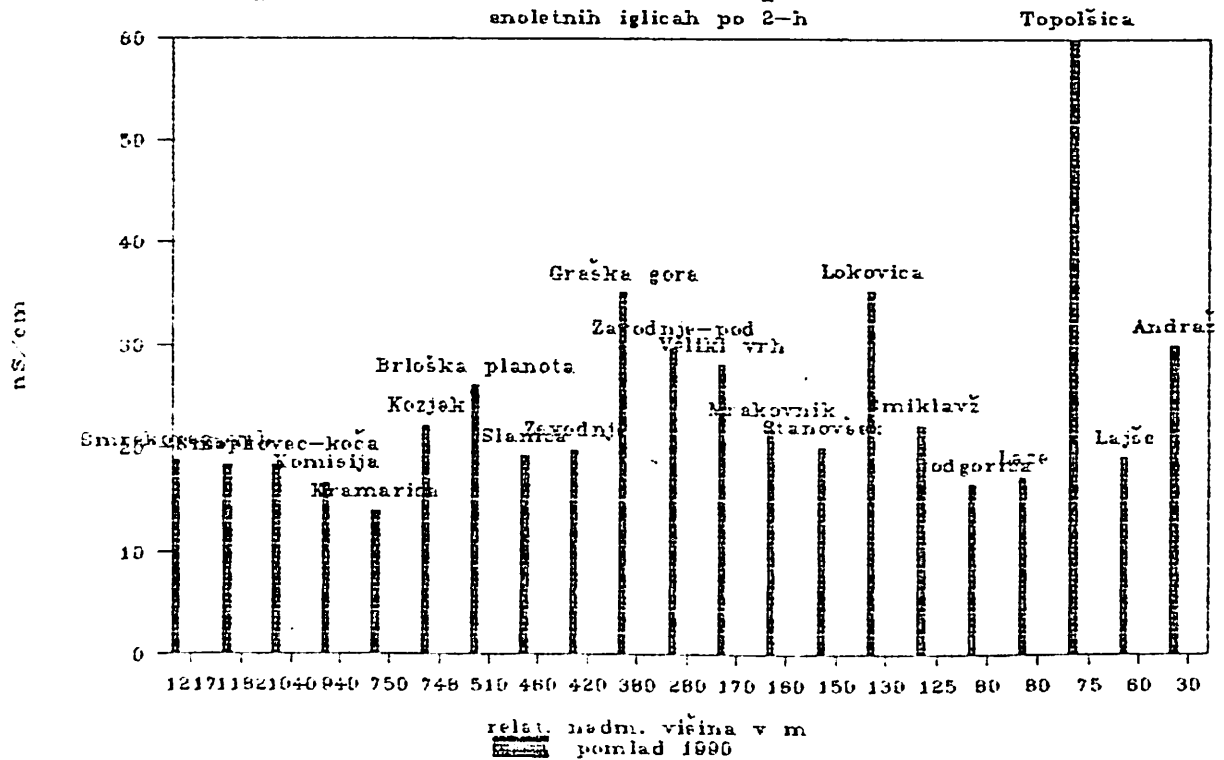
Graf 25. Vsebnost žvepla v enoletnih iglicah



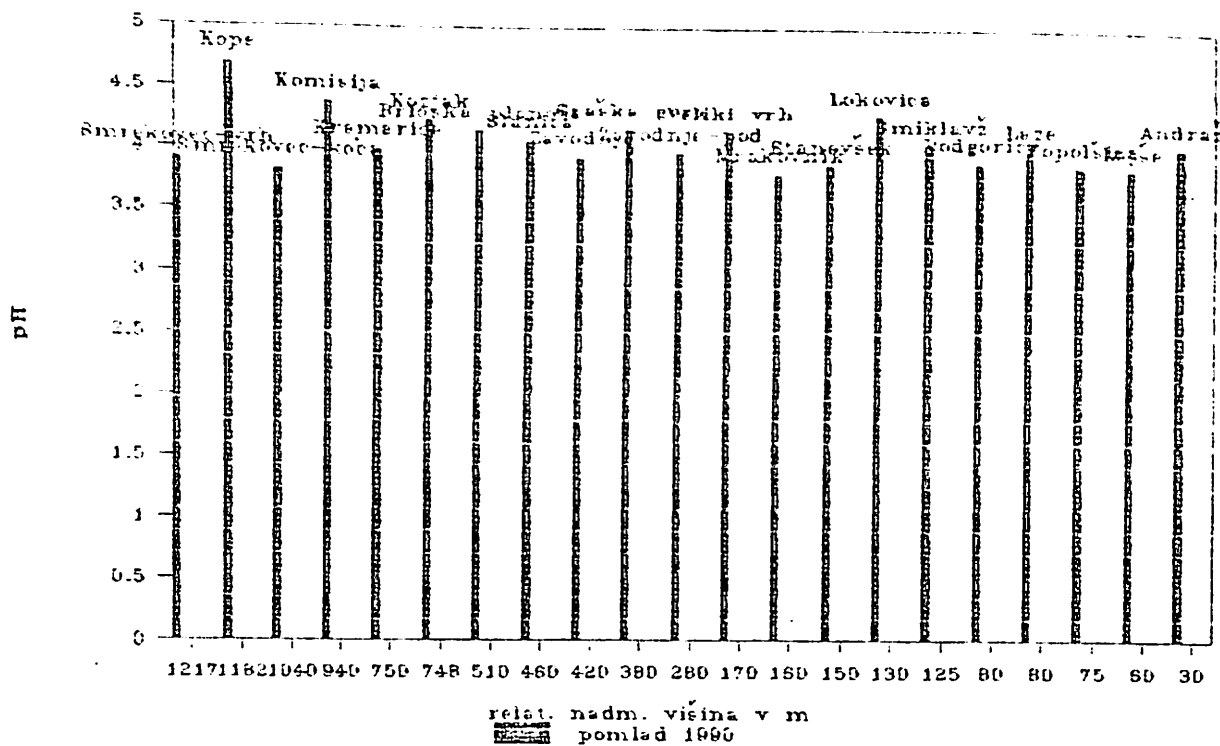
Graf 26. *Specifična električna prevodnost v*
 enoletnih iglicah po 24-h



Graf 27. *Specifična električna prevodnost v*
 enoletnih iglicah po 2-h



Graf 28. pH vrednost v enoletnih iglicah



4. D I S K U S I J A

Fotosinteza je osnoven življenjski proces zelenih rastlin, v katerem se pretvarja svetlobna energija v kemično.

Poteka v kloroplastih, ki so v glavnem v listih oziroma iglicah.

V kloroplastih se nahajajo fotosintetsko aktivni pigmenti, ki absorbirajo svetlobno energijo. Glavni receptor svetlobe (rdeče in modre) je zeleni pigment klorofil a. Sestavlja ga porfirinsko jedro (magnezijev atom in štirje pirolovi obroči) in alkohol fitol. Karotenoidi in drugi pomožni pigmenti absorbirajo svetlobo drugih valovnih dolžin in jo posredujejo molekulam klorofila a.

Absorpcija ogljikovega dioksida, vode in fotosintetsko aktivnega dela svetlobnega spektra vodi preko številnih reakcij do nastanka kisika in sinteze organskih substanc. Te so potrebne za rast in razvoj rastlin.

Spremembo produktov fotosinteze pa lahko povzroča nenormalen potek fotosinteze (motnje encimskega sistema, ionske sestave itd.) in spremenjena vsebnost fotosintetskih pigmentov.

Zmanjšanje vsebnosti pigmentov lahko naprimer povzroča pomanjkanje magnezija v tleh. Prav tako pa se lahko zmanjša njihova vsebnost zaradi delovanja polutantov kot so SO_2 , O_3 , NO_x .

Najbolj poznan fitotoksični učinek SO_2 je razgradnja klorofilov in nastanek feofitinov. Magnezij klorofilne molekule se nadomesti z H^+ ionom. Proces poteka v kislem mediju, takrat pa prevladuje tudi koncentracija sulfitnega iona HSO_3^- v primerjavi s koncentracijo bisulfitnega iona SO_3^{2-} . Kjer je onesnaženost ozračja z SO_2 kronična, se razpad klorofilov ne ustavi pri feofitinih, ampak poteka razgradnja naprej do feoforbidov in v končni fazi povzroči razgradnjo pirolovega obroča (Rabe, 1980).

O bioindikaciji SO_2 na osnovi vsebnosti klorofilov in feofitinov so poročali mnogi avtorji (Lütz, 1988; Grill, 1973; Rabe, 1990;

Sestak, 1971, Batič, 1988). Ugotovili so zmanjšanje vsebnosti pigmentov okoli emisijskih virov SO₂ in v območjih inverzne plasti zraka. Prav tako so ugotovili, da vsebnosti klorofilov z nadmorsko višino padajo, povečuje pa se vsebnost karotenoidov. Ti naj bi predstavljali zaščito klorofilov pred fotooksidanti.

Mnenja raziskovalcev o uporabi feofitinov kot bioindikatorjev so sicer deljena. Pri tem je potrebno poudariti, da so bile raziskave omejene le na feofitin a in feofitin b, niso pa merili vsebnosti celokupnih feofitinov.

Večina reprezentativnih rezultatov, ki smo jih izmerili v vzorcih enoletnih iglic, smo prikazali tudi grafično. Rezultati v dvoletnih iglicah so podobni, le vrednosti so višje.

V grafih od 1 - 2 so rezultati analiz pomladanskih vzorcev (1989),

od 3 - 8 so rezultati analiz poletnih vzorcev (1989),

od 9 - 14 so rezultati analiz jesenskih vzorcev (1989),

od 15 - 21 so rezultati analiz zimskih vzorcev (1990) in

od 22 - 28 so rezultati analiz pomladanskih vzorcev (1990).

Vsebnosti klorofila a+b so prikazane z grafi 1, 3, 9, 15 in 22, vsebnosti karotenoidov pa z grafi 5, 17 in 23.

Iz njih je razvidno, da naši rezultati upadanja klorofilov in naraščanja karotenoidov z nadmorsko višino niso v celoti potrdili. Analize namreč kažejo, da se vsebnost vseh pigmentov (klorofilov in karotenoidov) z nadmorsko višino zmanjšuje. Zanimivo je, da so najvišje vrednosti klorofilov in karotenoidov v vzorcih, ki so pobrani v območju inverzijske plasti (np. Zavodnje) in mestih, ki so najbližje TE Šoštanj (Lokovica, Veliki vrh, Lajše, Topolšica). Glede na relativno nadmorsko višino je to v območju med 0 in 100 m in približno med 380 in 650 m.

Prav tako je bil izmerjen najvišji procent celokupnega žvepla v

vzorcih pobranih v inverzni plasti in v bližini TES (graf 11, 18 in 25). Vsebnost celokupnega žvepla je v vseh vzorcih povečana v primerjavi z normalno vsebnostjo (za enoletne iglice je 0,08% suhe teže). Vsebnost žvepla se v jesenskih, zimskih in spomladanskih vzorcih bistveno ne spreminja (tabela 7, 8). Za samo analizo bioindikacije žvepla v iglicah je dovolj vzorčiti enkrat na leto (jeseni ali začetku spomladi), ko je proces asimilacije najmanjši.

Če primerjamo rezultate vsebnosti žvepla in fotosintetskih pigmentov vidimo, da je večja vsebnost žvepla v vzorcih, kjer je več fotosintetskih pigmentov. Ker je vsebnost klorofila a, klorofila b, klorofila a+b in karotenoidov (x+c) hkrati povečana ali zmanjšana je dovolj, da se omejimo le na rezultate celokupnih klorofilov (Tabela 1, 2).

Iz literature je znano, da se pridelek nekaterih rastlin, ki rastejo na tleh, ki so revna z žveplom, močno poveča po plinjenju z SO₂. Žveplo je pomemben element v aminokislinah cisteinu in metioninu in ni proteina brez žvepla. Žveplo pa lahko rastlina dobi iz zemlje in zraka (Lentzian, Unsworth, 1983).

Omenili smo že, da SO₂ povzroča razgradnjo klorofilov in nastanek feofitinov. Izmerjene vrednosti feofitina a in feofitina b so se tudi v našem primeru izkazale za neuporabne, saj iz njih ni možno narediti nobenih zaključkov. Nikakor pa to ne velja za celokupne feofitine Pha+b. Največje vrednosti so izmerjene ravno v vzorcih, kjer je največja vsebnost klorofilov, karotenoidov in celokupnega žvepla (graf 2, 4, 10, 16, 24). To pomeni, da je v teh vzorcih razgradnja klorofilov in karotenoidov največja. Ker pa je v teh vzorcih tudi največ žvepla, lahko sklepamo, da ima dominantno vlogo pri razgradnji klorofilov. Prav tako smo v večini teh vzorcev izmerili povečano električno prevodnost po 24-urah (graf

6, 12, 19, 25). Ta je posledica uhajanja ionov iz celic zaradi spremenjene propustnosti membran. Električna prevodnost, ki smo jo izmerili po 2-urah odraža površinsko kontaminacijo, ki pa v nekaterih vzorcih ni signifikantna, v nekaterih pa se ujema z ostalimi parametri. Prav tako pH vrednost ni med najpomembnejšimi indikatorji. Pričakovali smo zmanjšanje kislosti v vzorcih, kjer je povečana električna prevodnost (graf 13 in 14 in grafi 19, 20, 21).

Vsak organizem ima kompenzacijske mehanizme s katerimi poskuša ohranjati svojo homeostazo in omogočiti normalno delovanje. Ti mehanizmi pa delujejo le do določene meje. Ko organizem ni sposoben več kompenzirati stresne situacije, se pojavijo vidni znaki, ki vodijo v propadanje organizma. Povečane koncentracije plinastih polutantov prav gotovo pomenijo stresno situacijo za rastline, na katero različno reagirajo. Najprej se pojavijo spremembe na biokemičnem in fiziološkem nivoju.

Tako lahko razložimo tudi povečano koncentracijo fotosintetskih pigmentov, ki je kompenzacija na povečano razgradnjo klorofilov. Kot dokaz je povečana vsebnost feofitinov. Postavi se seveda vprašanje, kje je meja, do katere rastlina - v našem primeru smreka - še lahko kompenzira negativne vplive okolja. V tabeli 9 lahko vidimo, kakšne so bile izmerjene koncentracije SO₂ na nekaterih lokacijah v primerjavi z naravnim ozadjem 2ppb (0,005mg/m³). Prav tako pa je bioindikacija ozona s testerji zabeležila povečane koncentracije ozona nad 50 ppb (0,1 mg/m³).

Pri tem je treba povedati še, da smo vzorčili v času, ko je bila temperaturna inverzija redka, pozimi ni bilo nizkih temperatur in snega. Proizvodnja električne energije je bila manjša, s tem pa tudi emisija polutantov iz TEŠ.

5. ZAKLJUČKI

Glede na rezultate lahko zaključimo, da so fotosintetski pigmenti in biomembrane najbolj poškodovane v bližini termoelektrarne in znotraj inverzne plasti, ter na lokaciji, kjer je stopnja poškodovanosti gozdov največja. Fotosintetski pigmenti so uporabni za bioindikacijo onesnaženega zraka na fiziološkem nivoju.

Za zaneslivejšo interpretacijo rezultatov je smiselno analizirati hkrati več biokemijskih in fizioloških parametrov.

Za sledenje trenda razgradnje pigmentov bi bilo dobro analizirati več različnih letnikov iglic in daljše časovno obdobje.

Feofitin a in feofitin b se kot bioindikatorja onesnaženega zraka nista izkazala kot uporabna. Celokupni feofitini pa zelo lepo dopolnjujejo klorofile in karotenoide.

Rezultati so pokazali, da bioindikacija onesnaženega zraka na fiziološkem nivoju smiselno dopolnjuje analizo žvepla v iglicah.

Rezultati veljajo za meteorološke pogoje zadnjih dveh zim in jih je potrebno ponoviti, kajti na fiziološko stanje rastlin (smreke) vplivajo vsi na določenem področju možni abiotski in biotski dejavniki. Zato bi posploševanje, na osnovi rezultatov vzorčenj v zadnjih dveh letih (mile, brezsnežne zime, manjše obratovanje TEŠ), lahko privedlo do napačnih interpretacij.

Naloga je prvi celovitejši biomonitoring za ugotavljanje vpliva onesnaženega zraka na gozdove v Šaleški dolini na fiziološkem nivoju.

Na osnovi rezultatov bomo lahko spremljali trende stanja gozdov v korelaciji z obratovanjem termoelektrarne Šoštanj, drugih virov emisij, ter biotskih in abiotskih vplivov.

To je eden pomembnih pogojev za planiranje nadaljnjega razvoja industrije v Šaleški dolini.

L I T E R A T U R A

ALSCHER R., AMTHOR J. 1988. The physiology of free-radical scavenging: Maintenance and repair process. 2nd International Symposium on Air and Plant Metabolism, Munich, FRG, 1987.

BATIČ F., KRALJ T., RIBARIČ LASNIK C., KOLAR J. 1988. Pflanzenschaden in der Nahe des Kraftwerks Šoštanj (Slowenien). Internationales Symposium-Verteilung und Wirkung von Photooxidantien im Alpenraum. Garmisch-Partenkirchen, Deutschland.

BATIČ F. 1988. Ekofiziološke raziskave - Analiza klorofilov v iglicah smreke. Črna knjiga o propadanju gozdov v Sloveniji leta 1987-nadaljevanje. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo. Ljubljana.

BATIČ F., KRALJ T. 1989. Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitsko lišajsko vegetacijo pri inventurah propadanja gozdov. Zbornik gozdarstva in lesarstva 34:51-70.

BATIČ F., JURČ D., RIBARIČ LASNIK C., 1988. Ugotavljanje onesnaženosti ozračja s testnimi rastlinami. IV Kongres ekologija Jugoslavije. Ohrid, Jugoslavija.

BATIČ F., RIBARIČ LASNIK C., 1990. Vsebnost fotosintetskih pigmentov in aktivnost fotosinteze kot indikatorja stresa v iglicah smreke (*Picea abies* /L./ Karsten). IX. Simpozij Jugoslovanskega društva za fiziologijo rastlin. Gozd Martuljek, Jugoslavija.

BLACK VJ, UNSWORTH MH, 1980. Stomatal response to sulphur dioxide and vapour pressure deficit. J Exp Bot 31:667-677.

BLACK V. J., 1982. Effects of sulphur dioxide on physiological

processes in plants In: UNSWORTH H.M., URMROD D.P. (eds) Effects of gaseous air pollution in agriculture and horticulture. Butterworth, London.

CHUI TE-HOSTEDE S., DARRALL M.D., BLANK W.L., WELLBURN R.A. 1988. Proceedings of the 2nd International Symposium on Air and Plant Metabolism, held in Munich, FRG, on 6-9 April 1987.

DARRALL M.N. 1989. The effect of air pollutants on physiological processes in plants. *Plant, Cell and Environment* 12: 1-30.

DRUSKOVIC B. 1989. Citogenetski efekt polutantov v industrijsko obremenjenem predelu. *Biol. vestnik* 35(1): 17-28.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1976. Diagnosing vegetation injury caused by air pollution. EPA 68-02-1344, EPA Res Triangle Park, North Carolina.

GRILL D, ESTERBAUER H, 1973. Quantitative Bestimmung Wasserlöslicher Sulphydrilverbindungen in gesunden und SO₂-geschädigten Nadeln von *Picea abies*. *Phyton* 15:87-101.

GRILL D. KERN T., JAGER H.J. 1988. Physiologische Reaktionen von Fichten in Inversionszonen. Internationales Simposium-Verteilung und Wirkung von Photooxidantien im Alpenraum. Garmisch-Partenkirchen, Deutschland.

GRILL D. 1990. The role of thiols in stress physiology. IX Simpozij Jugoslovanskega društva za fiziologijo rastlin. Gozd Martuljek, Jugoslavija.

GUDERIAN R. 1985. Air pollution by photochemical oxidants. Formation, Transport and Effect on Plants.- *Ecological studies* 52.

Springer-Verlag, Berlin. pp 34-60. ISBN 3-540-13966-4.

HOLLOPAINEN H.T., 1984. Cellular injuries in epiphytic lichens transplanted to air polluted areas. Nord J Bot 4(3):393-408.

HRCEK D. in soavtorji 1988. Proučitev mezoklimatskih razmer v občini Velenje. Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana.

KALAN J. 1989. Obremenjenost gozdov z žveplom. Zbornik gozdarstva in lesarstva 34:99-120.

KANDLER U., ULLRICH H., 1964. Detection of NO₂ damage to leaves. Naturwissenschaften 51:518.

KARTA POŠKODOVANOSTI GOZDOV, 1987. Gozdovi v občini Velenje po stopnjah poškodovanosti. Gozdno gospodarstvo Nazarje.

KELLER T. 1986. The electrical conductivity of Norway spruce diffuse as affected by certain air pollutants. Tree Physiology 94: 85-94.

KOLAR I. 1989. Umiranje smreke v gozdovih Šaleške doline. Zbornik gozdarstva in lesarstva 34:121-198.

LASNIK C. 1987. Citomorfološke spremembe pri epifitskem lišaju *Hypogymnia physodes* (L.) kot posledica delovanja onesnaženega zraka. Diplomsko delo. Biotehniška fakulteta, Ljubljana.

LENTZIAN K.J., UNSWORTH M.H., 1983. Ecophysiological effects of atmospheric pollutants In: Encyclopedia of Plant Physiology vol. 12 D. Springer Verlag, Berlin.

LEŠNJAK M., HRCEK D., BATIC F., SOLAR M., KOLAR M., FERLIN F. 1989. Air pollution and damage on vegetation near TE-Šoštanj thermal power plant Slovenia (Yugoslavia). Proceedings of the 8th

World Clean Air Congress 1989, vol. 2, held at The Hague, Netherlands, on 11-15 September 1989.

LICHTENTHALER H. K. 1987. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. Methods in Enzymology vol. 148.

LÜTZ C. 1988. Photosynthetische Pigmente aus Nadelbäumen unterschiedlicher Höhenstufen des Otztals. Internationales Symposium: Verteilung und Wirkung von Photooxidantien im Alpenraum. Garmisch-Partenkirchen, Deutschland.

MIOC P., ZNIDARČIČ M., JERŠE Z. 1977. Osnovna geološka karta SFRJ L33-54 in L33-55. Geološki zavod Ljubljana.

MITTERHUBER E., PFANZ H. and KAISER M. W. 1989. Leaching of solutes by the action of acidic rain: a comparison of efflux from twigs and single needles of *Picea abies* (L. Karst.). Plant Cell and Environment 12: 93-100.

MUDD JB, 1982. Effects of oxidants on metabolic function. In: Unsworth MH, Ormrod DP (eds) Effects of gaseous air pollutants in agriculture and horticulture. Butterworth, London.

RABE R., KREEB K.H. 1990. Bioindication of air pollution by chlorophyll destruction in plant leaves. Dikos 34: 163-167.

SESTAK L., CAISKY & JARVIS P. 1971. Determination of chlorophyll a and b. Plant Photosynthetic Material of Methods. Dr. W. Jank N. V. Publieshes, The Gaague, Neederland.

TAYLOR JS, REID DM, PHARIS RP, 1981. Mutual antagonism of sulphur dioxide and abscisic acid in their effect on stomatal aperture in broad bean (*Vicia faba* L) epidermal strips. Plant physiology 68:1504-1507.

UNSWORTH MH, 1982. Exposure to gaseous pollutant and uptake by plants. In: Unsworth MH, Ormrod DP (eds) Effects of gaseous air pollution in agriculture and horticulture. Butterworth, London.

WEINSTEIN LH (1961). Effects of atmospheric fluoride on metabolic constituents of tomato and bean leaves. Contribut. Boyce Thompson Inst 21:215-231.

WEINSTEIN LH, ALSCHER-HERMAN 1982. Physiological responses of plants to fluorine. In: Effects of gaseous air pollution in agriculture and horticulture. Unsworth MH, and DP Ormrod eds. Butterworth, London.