

GDK: 160.24 : 161.1 + 181.45 + 425.1

PRESKRBLJENOST GOZDNEGA DREVJA Z MINERALNIMI HRANILI NA 16 x 16km BIOINDIKACIJSKI MREŽI

Primož SIMONČIČ*

Izvleček

Pri proučevanju propadanja gozdnega drevja na območju Slovenije so sodelavci Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo začeli l. 1985 nabirati vzorce iglic smreke, črnega in rdečega bora na točkah 16 x 16km bioindikacijske mreže. Arhivirani rastlinski material smo uporabili za splošno oceno preskrbljenosti gozdnega drevja z mineralnimi hranili na točkah mreže za obdobje od 1987. do 1991. leta. V enoletnih iglicah smo poleg skupnih vsebnosti žvepla določili še vsebnosti glavnih rastlinskih hranil: dušika, magnezija, fosforja, kalija in kalcija. Ocena je pokazala slabo preskrbljenost gozdnega drevja z dušikom in s fosforjem. Vsebnosti magnezija so v petih letih nihale od dobre (preskrbljenosti na večini bioindikacijskih točk) do slabše preskrbljenosti, razmeroma ugodne pa so prehranske razmere glede vsebnosti Ca in K.

Ključne besede: propadanje gozda, bioindikacija, bioindikacijska mreža, mineralno hranilo, vsebnost mineralnih hranil, Picea abies, smreka, Slovenija

THE PROCUREMENT OF FOREST TREES WITH MINERAL NUTRIMENTS ON THE 16 X 16 KM BIOINDICATION NETWORK

Abstract

Within the study of the forest damage in Slovenia, in 1985 the collaborators of the Forest and Wood Economy Institute started to collect samples of spruce, Austrian pine and Scotch pine needles at the points of the 16 x 16 km bioindication network. The registered biological material was used for a general assessment of the procurement of forest trees with mineral nutrients at the points of the 16 x 16 km network in the period from 1987 to 1991. Beside the total sulphur content in current-year needles the content of the main plant nutrients have been determined: nitrogen, magnesium, phosphorus, potassium and calcium. The assessment of the procurement of forest trees with mineral nutrients showed a deficient procurement with nitrogen and phosphorus. The magnesium content varied in the five years from a good procurement on the majority at the bioindication points to worse procurement, while the nutrition conditions regarding the Foliar content of calcium and potassium have been relatively favourable.

Key words: forest decline, bioindication, bioindication net, mineral nutrition, spruce, Picea abies, Slovenia

* Mag., dipl. inž. les., Gozdarski inštitut Slovenije, 61000 Ljubljana, Večna pot 2, SLO

KAZALO

| | | |
|------------|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1 | UVOD | 119 |
| 2 | METODE PROUČEVANJA | 120 |
| 2.1 | NABIRANJE VZORCEV ZA ANALIZO | 120 |
| 2.2 | ANALIZA SMREKOVIH, BOROVIH IGLIC | 121 |
| 3 | REZULTATI FOLIARNIH ANALIZ | 122 |
| 4 | OCENA PRESKRBLJENOSTI GOZDNEGA DREVJA Z MINERALNIMI HRANILI | 126 |
| 5 | POVZETEK | 126 |
| 6 | SUMMARY | 128 |
| 7 | VIRI | 129 |

1 UVOD

Pri proučevanju propadanja gozdnega drevja na območju Slovenije so sodelavci Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo začeli l. 1985 nabirati vzorce iglic smreke, črnega in rdečega bora na točkah 16 x 16km bioindikacijske mreže. V enoletnih in dvoletnih iglicah so vsako leto določili skupno vsebnost žvepla, na podlagi katere lahko sklepamo o obremenjenosti gozda z žveplovimi spojinami (KALAN 1989, KALAN 1990). Arhivirani rastlinski material smo uporabili za splošno oceno preskrbljenosti gozdnega drevja z mineralnimi hranili na točkah 16 x 16km mreže od 1987 do 1991 leta.

Različni abiotski in biotski dejavniki (geološko-petrografske, podnebne razmere, voda, toplota, svetloba, biološka aktivnost, zračnost tal itn.) in antropogeni dejavniki (imisije odpadnih plinov) lahko vplivajo na motnje pri preskrbljenosti gozdnega drevja s hranili. Po Huettlu (HUETTEL 1991) in metodologiji vzorčenja in analiziranja listja oz. iglic (Foliar Analysis Expert Pannel 1993) gozdnega drevja imajo na vsebnost hranil velik vpliv tudi način, mesto, čas vzorčenja, izbira dreves (npr. poškodovanost gozdnega drevja), mesto odvzema vzorca na posameznem drevesu in socialni položaj dreves v sestoji.

Slabše prehranske razmere se zrcalijo v slabši kondiciji gozdnega drevja. Nekatere teorije o propadanju gozdnega drevja so povezane z zakisovanjem gozdnih tal ter s spiranjem hranil iz njih, kar se zrcali v vsebnosti hranil v listju in iglicah (magnezij, kalcij). Ugodne prehranske razmere za gozdno drevje niso odvisne le od dobre preskrbljenosti in ustreznih visokih vsebnosti posameznih hranil. Pomembnejša sta optimalna koncentracija in uravnoteženost hranil v iglicah (harmonične prehranske razmere, BAULE 1964, SCHULZE 1989, HUETTEL 1991, HUETTEL 1992).

Trenutne prehranske razmere gozdnega drevja je mogoče natančneje oceniti z foliarnimi kot talnimi analizami (HUETTEL 1991). Foliarne analize so tudi sestavni del raziskav kroženja snovi v gozdnih ekosistemih (MEIWEIS 1984, TARMAN 1992, RAPP 1992). Ob standardiziranem načinu vzorčenja in analiz

lahko z foliarnimi analizami spremljamo prehranske razmere gozdnega drevja npr. na stalnih raziskovalnih ploskvah, v našem primeru na točkah 16 x 16km bioindikacijske mreže. Cilj takšnih meritev in ovrednotenja rezultatov ni samo ugotovitev stanja, temveč tudi iskanje povezav med vzroki in posledicami neharmoničnih prehranskih razmer gozdnega drevja.

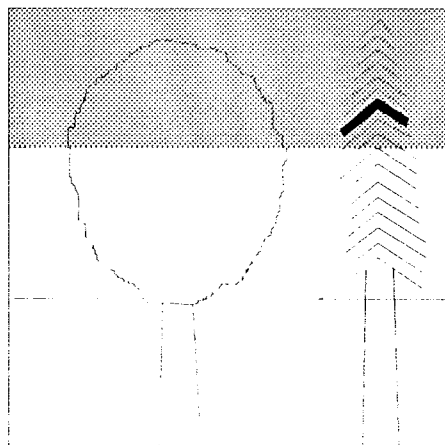
Visoke koncentracije elementov v listih in iglicah (žveplo, svinec) ali pomanjkanje nekaterih hranil (npr. magnezija) pa so lahko dobri kazalci imisije onesnaženega zraka v gozdnih ekosistemih (Air Pollution studies 1992, Foliar Analysis Expert Pannel 1993).

2 METODE PROUČEVANJA

2.1 NABIRANJE VZORCEV ZA ANALIZO

Nabiranje vzorcev iglic je v Sloveniji potekalo od l. 1985. Bioindikacijska drevesa so večinoma smreke (*Picea abies* (L.) Karst., 77 točk), nekaj pa je črnega (*Pinus nigra* Arnold, 8 točk) in rdečega bora (*Pinus silvestris* L., 2 točki). Vzorci so bili nabrani z vitalnih, nadraslih ali vsaj soraslih dreves, ki imajo dobro osvetljen zgornji del krošnje (Slika 1). Na vsaki bioindikacijski točki so vzeli vzorce z dveh dreves, in sicer z vej sedmega drevesnega vretena (KNABE 1984, KALAN 1989).

V enoletnih iglicah smrek, črnega in rdečega bora s točk 16 x 16km bioindikacijske mreže smo arhiviranemu rastlinskemu materialu poleg že določenih skupnih vsebnosti žvepla (kazalec obremenjenosti gozda z žveplovimi spojinami; KALAN 1989) določili še vsebnosti glavnih rastlinskih hranil: dušika, magnezija, fosforja, kalija in kalcija.



Slika 1: Mesto vzorčenja listov oz. iglic (zgornja tretjina krošnje)

Fig. 1: Sampled leaves or needles (upper third of crown)

2.2 ANALIZA SMREKOVIH, BOROVIH IGLIC

V kemijskem laboratoriju na Gozdarskem inštitutu Slovenije (GIS) so posušili iglice in jim odstranili primesi. Zračno suhe vzorce enoletnih iglic so zmleli in jih presejali skozi sito z odprtiniami 0.5mm. Zmlete in homogenizirane vzorce so shranili v plastične prahovke. Tako pripravljenim vzorcem so določili:

- dušik z aparaturo VAPODEST (Gerhardt) po mikro-Kjelhdahlu;
- fosfor kolorimetrično z metodo molibden modro in s fotospektrometrom, kalij s plamenskim fotometrom, kalcij in magnezij z atomsko absorpcijsko spektrometrijo (BF, oddelek za agronomijo); ekstrakt v katerem smo določili fosfor, kalij, kalcij in magnezij smo dobili tako, da smo vzorce sežgali po mokrem postopku z raztopino dušikove (V) in perklorne kisline.

3 REZULTATI FOLIARNIH ANALIZ

Na preglednici 1 so prikazane povprečne vrednosti hranil (N, K, P, Ca, Mg) v enoletnih smrekovih in borovih (črni, rdeči bor) iglicah na točkah 16 x 16km bioindikacijske mreže.

Preglednica 1: povprečne vsebnosti hranil (v % na suho težo snovi) v enoletnih smrekovih in borovih iglicah za obdobje 1987--91 na točkah 16x16 km bioindikacijske mreže

Table 1: average mineral nutrition contents (% of dry matter) in current spruce and pine needles for period 1987-91 on points of 16 x16 km bioindication net

| leto vzor. sampl. y. | drev. vrsta | štev. vzor. | N % | K % | P % | Ca % | Mg % |
|-------------------------|----------------|----------------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1987 | r.bor | 2 | 1.25 | 0.59 | 0.15 | 0.42 | 0.09 |
| | sm | 76 | 1.12 | 0.64 | 0.14 | 0.50 | 0.11 |
| | č.bor | 7 | 1.21 | 0.51 | 0.09 | 0.35 | 0.13 |
| 1988 | sm | 76 | 1.00 | 0.60 | 0.13 | 0.60 | 0.13 |
| | r.bor | 2 | 1.29 | 0.61 | 0.17 | 0.87 | 0.12 |
| 1989 | sm | 77 | 1.03 | 0.65 | 0.15 | 0.66 | 0.14 |
| | č.bor | 7 | 1.09 | 0.47 | 0.10 | 0.46 | 0.16 |
| 1990 | r.bor | 2 | 1.41 | 0.59 | 0.16 | 0.73 | 0.14 |
| | sm | 62 | 1.20 | 0.62 | 0.14 | 0.79 | 0.15 |
| | č.bor | 8 | 1.16 | 0.49 | 0.09 | 0.41 | 0.17 |
| 1991 | r.bor | 2 | 1.04 | 0.61 | 0.16 | 0.32 | 0.10 |
| | sm | 76 | 1.31 | 0.60 | 0.14 | 0.59 | 0.11 |
| | č.bor | 8 | 1.15 | 0.45 | 0.09 | 0.36 | 0.14 |

Legend: r.bor - Scots pine (*Pinus sylvestris* L.),
 sm - Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.),
 č.bor - Austrian pine (*Pinus nigra* Arn.)

Vsebnosti mineralnih hranil (N, Ca, Mg, K, P) v enoletnih iglicah bioindikacijskih dreves (preglednica 1) smo primerjali z mejnimi vrednostmi za foliarne analize smrekovih in borovih (rdeči, črni bor) iglic. Na preglednicah 2a in 2b so prikazani prilagojeni razredi preskrbljenosti s hranili glede na foliarne analize smrekovih in borovih iglic (GUSSONE 1964, STEFAN 1991, HUETTEL 1991, SIMONČIČ 1992, Expert Panel on Foliar Analysis 1994).

Preglednica 2a: Razredi preskrbljenosti s hranili za smreko (vsebnosti elementov v enoletnih iglicah)

Table 2a: *Mineral nutrition classes for spruce (element contents for current year spruce needles)*

| preskrba s hranili | razred preskrbljenosti content classes | N % | Ca % | Mg % | K % | P % |
|---------------------------|-------------------------------------------|--------|---------|---------|--------|--------|
| pomanjkljiva deficient | 1 | 1.3 | 0.36 | 0.11 | 0.42 | 0.13 |
| zadostna sufficient | 2 | (1.5) | | | | |

Preglednica 2b: Razredi preskrbljenosti s hranili za bor (vsebnosti elementov v enoletnih iglicah)

Table 2b: *Mineral nutrition classes for pinus (element contents for current year pinus needles)*

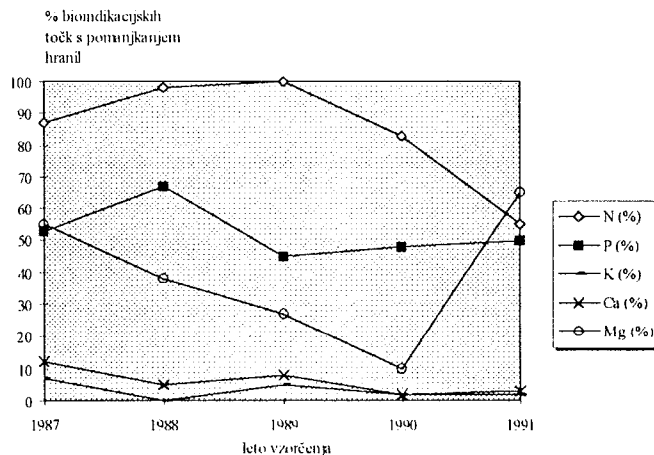
| preskrba s hranili | razred preskrbljenosti content classes | N % | Ca % | Mg % | K % | P % |
|---------------------------|-------------------------------------------|--------|---------|---------|--------|--------|
| pomanjkljiva deficient | 1 | 1.2 | 0.29 | 0.06 | 0.50 | 0.13 |
| zadostna sufficient | 2 | (1.6) | | | | |

S pomočjo mejnih vrednosti (preglednici 2a in 2b) smo ovrednotili rezultate foliarnih analiz na preglednici 3 in sliki 1 samo za tiste točke mreže, na katerih so bioindikacijska drevesa smreke in kjer so bili vzorci v obdobju 1987--91 pobrani vsako leto. Prikazani so odstotni deleži bioindikacijskih točk, na katerih je gozdno drevje pomanjkljivo preskrbljeno s hranili.

Preglednica 3: Delež bioindikacijskih točk (smreka), na katerih primanjkuje hranil

Table 3: Percent of bioindication points with mineral deficient content (spruce)

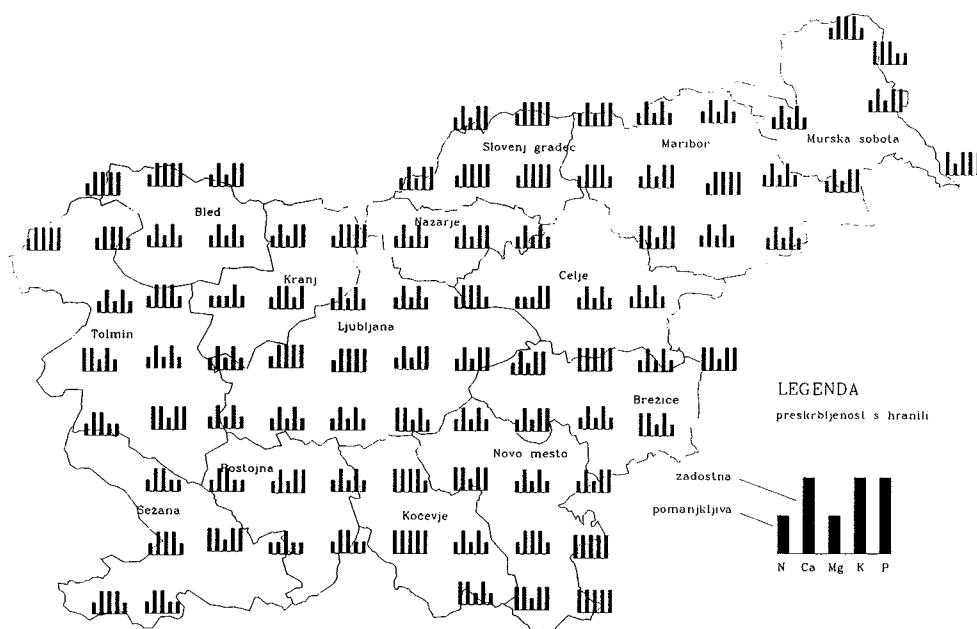
| leto vzorčenja sampling year | štev. vzorcev samples n. | N % | P % | K % | Ca % | Mg % |
|---------------------------------|-----------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 1987 | 60 | 87 | 53 | 7 | 12 | 55 |
| 1988 | 60 | 98 | 67 | 0 | 5 | 38 |
| 1989 | 60 | 100 | 45 | 5 | 8 | 27 |
| 1990 | 60 | 83 | 48 | 2 | 2 | 10 |
| 1991 | 60 | 55 | 50 | 2 | 3 | 65 |



Slika 2: Prehranske razmere za gozdno drevje (za smreko) na bioindikacijskih točkah (60) za obdobje 1987--1991

Fig. 2: Nutritional conditions for Forest trees (spruce) on bioindication points (60) for 1987--1991 period

Na sliki 3 smo za prikaz prehranskih razmer gozdnega drevja v l. 1991 na točkah 16 x 16km bioindikacijske mreže uporabili dva razreda preskrbljenosti s hranili (preglednici 2a in 2b) glede na foliarne analize smrekovih iglic in iglic rdečega ter črnega bora.



Slika 3: Razmere mineralne prehrane za drevje na točkah 16 x 16 km bioindikacijske mreže l. 1991 (86 točk, smreka, r. in č. bor)

Figure 3: Mineral nutrition conditions for trees on points of 16 x 16 km bioindication net in 1991 (86 points, spruce, austrian and Scots pine)

4 OCENA PRESKRBLJENOSTI GOZDNEGA DREVJA Z MINERALNIMI HRANILI

Rezultati analiz na tistih bioindikacijskih točkah, na katerih so v obdobju 1987/91 vzorčili vsako leto, kažejo na nezadostno preskrbljenost drevja z dušikom na večini točk mreže (1987--1990, 83--100% točk s pomanjkanjem N), v zadnjem letu pa se je stanje nekoliko izboljšalo (slika 2, preglednica 3, s 83% na 55% točk s pomanjkljivo preskrbljenostjo z N). Preskrbljenost s Ca in K je na večini točk zadostna (2--12% in od 0--7% točk s pomanjkanjem Ca oz. K), preskrbljenost z Mg pa se je od l. 1987 do 1990 izboljševala (s 55% na 10% točk s pomanjkanjem Mg), v zadnjem letu pa močno poslabšala (65% točk s pomanjkanjem Mg). Preskrbljenost drevja s P je nezadostna na več kot polovici bioindikacijskih točk (45--67% točk s pomanjkanjem P).

Da bi ocenili vpliv imisij žveplovih oksidov in s tem vpliv ene izmed najpomembnejših sestavin onesnaženega zraka v Sloveniji (TE Šoštanj, TE TO Ljubljana, Te Trbovlje itn, HRČEK 1992) na vsebnosti hranil v iglicah bioindikacijskih dreves, smo iskali korelacijske povezave med vsebnostmi hranil in žvepla za smrekova bioindikacijska drevesa. Pri primerjavah vsebnosti žvepla z vsebnostmi dušika, kalija, fosforja, kalcija in magnezija v iglicah bioindikacijskih dreves v obdobju od l. 1988 do 1991 nismo našli pozitivnih ali negativnih korelacijskih odnosov. Rezultate analize smo primerjali tudi z rezultati foliarnih analiz avstrijske bioindikacijske mreže "Netz 83" za leto 1988 (STEFAN 1991). Izsledki foliarnih analiz smrek so precej podobni izsledkom na avstrijskem Koroškem.

5 POVZETEK

Pri proučevanju propadanja gozdnega drevja na območju Slovenije so sodelavci Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo začeli l. 1985 nabirati vzorce iglic smreke, črnega in rdečega bora na točkah 16 x 16km bioindikacijske mreže. Arhiviran rastlinski material je služil za splošno oceno preskrbljenosti gozdnega

drevja z mineralnimi hranili na točkah te mreže za obdobje od 1987. do 1991. leta.

Ocena je pokazala slabo preskrbljenost z dušikom, ki se je v zadnjem letu opravljenih meritev (l. 1991) nekoliko izboljšala, in s fosforjem, katerega vsebnosti v iglicah smrek so dokaj stalne (45--55% bioindikacijskih točk s pomanjkanjem P). Pri preskrbljenosti drevja s fosforjem odstopajo vrednosti iz l. 1988 (65% točk s pomanjkanjem P). Preskrbljenost z magnezijem je v petih letih nihala od dobre (na večini bioindikacijskih točk dobre preskrbljenosti -- 1990, $N_{pop.} = 0.15\%$, 10% točk s pomanjkanjem Mg), do slabše preskrbljenosti (1991 65% točk s pomanjkanjem Mg). Razmeroma ugodne so prehranske razmere glede foliarnih vsebnosti Ca in K. V obdobju od 1988. do 1991. leta nismo našli korelacijskih povezav med vsebnostjo skupnega žvepla kot kazalca žveplovih spojin v onesnaženem zraku in vsebnostjo mineralnih hranil v enoletnih smrekovih iglicah. Na podlagi prikazanih izsledkov je ocena preskrbljenosti gozdnega drevja razmeroma neugodna zaradi nizkih vsebnosti dušika in tudi fosforja. Za celovitejšo oceno vpliva imisij onesnaženega zraka na prehranske razmere gozdnega drevja pa bi morali natančneje nadzorovati vzorčenje in opraviti nekatere dodatne foliarne analize (LANDOLT 1989), ki so kazalci imisij škodljivih snovi v zraku (npr vsebnosti Pb, Mo, Cd kot posledica cestnega prometa in industrije).

Z vključevanjem Slovenije v Mednarodni program sodelovanja za oceno in spremljanje vpliva onesnaženega zraka na gozdove (ICP Forests) in v delo strokovne skupine za foliarne analize (Expert Panel on Foliar Analysis) smo se obvezali, da bomo na GIS v obdobju 1995/96 izvedli vzorčenje ter analize iglic oz. listje gozdnega drevja. Vzorčenje bo potekalo po mednarodni metodologiji na mreži 16 x 16km, na kateri poteka popis poškodovanosti gozdnega drevja. Poleg raziskav preskrbljenosti dreves hranili (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cd, Pb itn.) bodo izvedene tudi pedološke raziskave. Pri vrednotenju izsledkov popisa poškodovanosti gozdnega drevja za l. 1995 bomo tako lahko uporabljali tudi rezultate foliarnih analiz in analiz gozdnih tal.

6 SUMMARY

Within the study of the forest damage in Slovenia, in 1985 the collaborators of the Slovenian Forestry Institute started to collect samples of spruce, Austrian pine and Scotch pine needles at the points of a 16 x 16 km bioindication network. The registered biological material has served for a general assessment of the procurement of forest trees with mineral nutrients at the points of the 16 x 16 km network in the period from 1987 to 1991.

The assessment of the procurement of forest trees with mineral nutrients at the points of the 16 x 16 km bioindication network in Slovenia evidenced bad procurement with N (nitrogen), which improved in the last year of the performed measurements (1991) to some extent, and with P (phosphorus), contained in spruce needles at a rather constant level (from 45 to 55 percent of the bioindication points with the deficiency of P). Regarding the procurement of trees with P, the values obtained in 1988 diverge from the rest (65 percent of the points with the deficiency of P). The content of Mg (magnesium) varied in the five years from good procurement at the majority of the points (1990 - $N_{aver} = 0.15\%$, 10 percent of the points with the deficiency of Mg) to worse procurement (1991 - 65 percent of the points with the deficiency of Mg). Relatively favourable are nutrition conditions regarding the Foliar content of Ca (calcium) and K (potassium). In the period 1988 - 1991 no correlative connection between the total content of S (sulphur) - as the indicator of sulphur compounds in the polluted air - and the content of mineral nutrients in current year spruce needles was found. On the basis of the presented results, the assessment of the procurement of forest trees at the 16 x 16 km bioindication network is relatively unfavourable because of the low content of N as well as P. For a more accurate assessment of the influence of emissions of the polluted air on the nutrition conditions of forest trees we would have to perform a more precise examination of sampling and also carry out some additional Foliar analyses (LANDOLT 1989) which indicate the emissions of air pollution (e.g. high contents of Pb, Mo, Cd as a consequence of road traffic and industry).

With the inclusion of Slovenia into the International Co-operation Programme for Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests) and into the work of the Expert Panel on Foliar Analysis, we have pledged ourselves to perform the sampling and analyses of needles and leaves of forest trees in 1995-1996. The sampling will be performed according to the international methodology on the 16 x 16 km network where the registration of forest damage is taking place. Beside the research of the procurement of trees with mineral nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cd, Pb etc.), we will perform pedological researches, which will enable us to use the results of the Foliar analyses and analyses of forest ground in the assessment of the results obtained with the registration of forest damage (for year 1995).

7 VIRI

- ANON., 1993. Foliar Analysis Expert Panel. Brussels, 12--13. January 1993, ICP- Forests.
- ANON., 1994. Foliar Analysis Expert Panel. As, march 6--7, ICP-Forests.
- ANON., 1994. Manual on methods and criteria for harmonised sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest. PCC WEST, BFH, Hamburg, PCCe East, Jiloviste-Srnady, 177 s.
- BAULE, H., FRICKER, C. 1978. Đubrenje šumskog drveća. Beograd, Jugoslovenski poljoprivredno-šumarski centar, služba šumske proizvodnje, 223 s.
- GUSSONE, H.A. 1964. Faustzahlen fur Dungung im Walde. Munchen, BLV Bayerischer Landwirtschaftsverlag, 98 s.
- HRČEK S SOD., 1989. Proučitev mezoklimatskih razmer v občini Velenje. Ljubljana, Raziskovalna naloga občinske raziskovalne skupnosti Velenje, HMZ RS.
- HRČEK S SOD., 1992. Onesnaženost zraka v Sloveniji, april 1991 - marec 1992, MVOUP HMZ RSmaj 1992, Ljubljana, s. 124.
- HUETTL, R.F., 1991. Die Blattanalyse als Monitoring - Instrument im Waldoekosystem. IUFRO and ICP-Forests workshop on monitoring,

Prachatice, CSFR.

IMPACTS OF LONG-RANGE TRANSBOUNDARY AIR POLLUTION, 1992.

Geneva, EC, Air Pollution Studies, 8, s. 47--52.

KALAN, J. 1980. Foliarna vsebnost hranil smreke na nekaterih najbolj razširjenih rastiščih v Sloveniji na različnih geološko-petrografskih podlagah. Ljubljana, IGLG, 38 s.

KALAN, J. 1989a. Obremenjenost slovenskih gozdov z žveplom. Univerza E Kardelja v Ljubljani, BF, Zbornik gozdarstva in lesarstva 34, s. 51.--70.

KALAN, J. 1989b. Obremenjenost gozdov z žveplom. Univerza E. Kardelja v Ljubljani, BF, Zbornik gozdarstva in lesarstva 34, s. 99--120.

KALAN, J. 1990. Obremenjenost gozdov z žveplom leta 1989. Univerza E. Kardelja v Ljubljani, BF, Zbornik gozdarstva in lesarstva 36, s. 183--198.

KNABE, W. 1984. Merkblatt zur Entnahme von Blatt- und Nadelproben fuer chemische Analysen. Allgem. Forst Zeitschr. 33/34, s. 847--848.

LANDOLT W./GUECHEVA M./BUCHER B., 1989. The spatial Distribution of Different Elements in and on the Foliage of Norway Spruce Growing in Switzerland. Environmental Pollution 56 (1989) s.155--167.

MEIWEIS, K.J., KOENIG, N., KHANA, P.K., PRENZEL, J., ULRICH, B. 1984. Die Erfassung des Stoffkreislaufs in Waldoekosystemen, Konzept und Methodik. Goettingen, Institut fuer Bodenkunde und Waldernaehrung, s. 70--140.

RAPP, M. 1991. Nutrient cycling in Forest Ecosystems. Plenary session IV: Processes in ecosystems. First European Symposium on Terrestrial Ecosystems: Forest and woodlands. Florence, Italy, 20-24 may 1991.

SIMONČIČ, P. 1992. Razmere mineralne prehrane za smreko na distričnih rjavih tleh na tonalitu v vplivnem območju TE Šoštanj. Magistrsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, 134 s.

STEFAN, K. 1991. Hinweise zur Ernahrungssituation der Fichte in Osterreich. Zusammenfassende darstellungder Waldzustand- inventur Waldzustandsinventur Mitteilungen der Forstlichen FBVA. Wien, FBVA, 166, s. 225--249.

TARMAN K., 1992. Osnove ekologije in ekologije živali. Ljubljana, DZS, 547 s.