

GDK 48 : 160.201 : 114.26 (497.12)

Prispelo / Arrived: 22. 2. 1997

Sprejeto / Accepted: 24. 3. 1997

PRESKRBLJENOST GOZDNEGA DREVJA Z MINERALNIMI HRANILI NA 16 X 16 KM MREŽI

Primož SIMONČIČ*

Izvleček:

V l. 1995 smo na 16 x 16 km mreži jemali foliarne vzorce gozdnega drevja (39 ploskev). Analizirali smo dušik, fosfor, kalij, kalcij, magnezij, žveplo in težke kovine. Ocena preskrbljenosti drevja s hranili v l. 1995 na 16 x 16 km mreži je pokazala razmeroma slabe razmere glede vsebnosti dušika, magnezija in fosforja, razmere glede kalija in kalcija pa so bile optimalne. Razmerja med posameznimi hranili v iglicah in listju kažejo na večinoma harmonično prehranjenost drevja, vzorčenega na mreži. Rezultati analiz skupnega žvepla v smrekovih iglicah v l. 1995 so pokazali, da se je glede na rezultate iz let 1991 in 1993 zmanjšalo število ploskev, kjer so povečane imisije žvepla (-33%), povečalo pa število ploskev, kjer so imisije zmerne (+26%), ter število ploskev v območjih z močno povečano imisijo SO₂ (+7%).

Ključne besede: mineralna prehrana, 16 x 16 km bioindikacijska mreža, Slovenija, gozdno drevje, vsebnost skupnega žvepla,

MINERAL NUTRITION STATE OF THE FOREST TREES IN THE 16 X 16 KM NET

Abstract

In 1995 foliar samples of forest trees were sampled in the 16 x 16 km net (39 plots). The analyses as to nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulphur, and heavy metals were performed. The estimate as to the nutrition state of forest trees in 1995 in the 16 x 16 km bioindication net showed relatively bad results as to nitrogen, magnesium and phosphorus state yet the conditions regarding potassium and calcium were optimal. The ratios between the individual nutrients in needles and leaves primarily indicated harmonious nutrition state in the trees sampled in the net. The results from 1991 and 1993, the number of plots where trees grew in the areas of increased sulphur emission was on the decrease (-33%) and the number of those where emissions were moderate and in the areas with extremely increased emission of SO₂ it had increased (+26% in the former case and 7% in the latter one).

Key words: mineral nutrition, 16 km x 16 km bioindication network, Slovenia, forest trees, total sulphur content

* Dr., dipl. inž. les., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, SLO

KAZALO

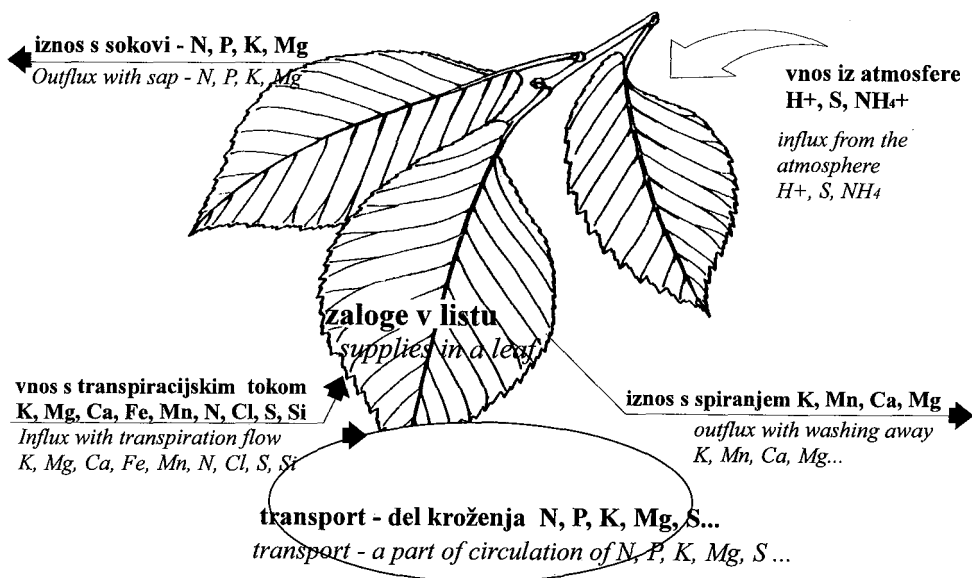
1	UVOD / INTRODUCTION	253
1.1	RAZISKAVE PRESKRBLJENOSTI GOZDNEGA DREVJA Z MINERALNIMI HRANILI / RESEARCH OF MINERAL NUTRITION STATE OF FOREST TREES.....	253
2	METODE DELA / WORKING METHODS	260
2.1	TERENSKO DELO / FIELD WORK.....	260
2.2	LABORATORIJSKO DELO / LABORATORY WORK.....	262
3	REZULTATI FOLIARNIH ANALIZ IN RAZPRAVA / RESULTS OF FOLIAR ANALYSES AND DISCUSSION	263
4	OCENA PRESKRBLJENOSTI GOZDNEGA DREVJA Z MINERALNIMI HRANILI / ESTIMATE OF MINERAL NUTRITION STATE OF FOREST TREES	270
5	POVZETEK	272
6	SUMMARY	274
7	VIRI / REFERENCES	275

1 UVOD

Raziskave preskrbljenosti drevja z mineralnimi hranili na 16 x 16 km mreži smo v l. 1995 izvedli zato, da bi spoznali prehranske razmere gozdnega drevja v Sloveniji. Želeli smo ugotoviti, ali je prišlo do sprememb v prehranskih razmerah za drevje glede na rezultate raziskav v obdobju 1987-1993. Poleg analiz vsebnosti dušika (N), fosforja (P), kalija (K), kalcija (Ca), magnezija (Mg) in žvepla (S) smo l. 1995 v raziskave vključili tudi analize težkih kovin (KALAN 1997) kot kazalce imisij onesnaženega zraka v gozdnem prostoru. Raziskave mineralne prehrane na 16 x 16 km mreži obsegajo več sklopov. Prvi predstavlja pomen raziskav mineralne prehrane, metodologijo vzorčenja ter rezultate analiz vzorcev, nabranih na mreži v l. 1995. V naslednjem prispevku, bomo primerjali rezultate foliarnih analiz (analize listja in iglic drevja) z rezultati talnih analiz in drugimi rezultati popisa propadanja gozdov 16 x 16 km mreže v l. 1995.

1.1 RAZISKAVE PRESKRBLJENOSTI GOZDNEGA DREVJA Z MINERALNIMI HRANILI

Hranila se v gozdnem ekosistemu kopičijo počasi z zelo nizkim vnosom (dotokom) iz ozračja in preperevanjem mineralov. Majhen dotok in odtok snovi v sistem povzročita počasno obračanje (*turnover*) snovi v sistemu - združbi. Hranila so v gozdnem ekosistemu porazdeljena na različnih nivojih: v tleh, v rastlinah, v posameznih rastlinskih organih - listih oz. iglicah in v organski plasti tal (po TARMANU 1992). Med nivoji poteka izmenjava hranil - vnos in iznos. Nivoja oz. podsistema neživega dela gozda, ki vsebujeta največ vezanih hranil, sta nerazkrojena organska snov in nepreperele kamnine. Poleg tega so hranila še v talni raztopini, adsorbirana na površini koloidnih delcev tal, v sestojnih padavinah itn. Stopnjo sproščanja elementov v tleh določa razpoložljivost hranil rastlinam. Dostopnost hranil uravnavajo interakcijski procesi, ki vplivajo na stopnjo obračanja snovi znotraj na in med nivoji. Ti so: mikroklima, kemična sestava in kemizem organske plasti tal ter mineralnega dela tal, aktivnosti pedofavne, sestava padavin itn. (BINKLEY 1986). Samo majhen del vseh hranil ekosistema kroži vsako leto (interni cikel hranil: razkroj organske snovi ⇒ sproščanje hranil v talno raztopino ⇒ sprejem skozi/preko korenin ⇒ poraba v rastlini ⇒ vračanje hranil v tla z opadom, ki ga lahko vključimo v izračun letne masne bilance).



Slika 1: Opis toka - kroženja nekaterih elementov v listu (prirejeno po ULRICH-u 1986).

Figure 1: Description of flow - circulation of some elements at the example of a leaf (modified after ULRICH 1986).

Raziskave mineralnih hranil delimo na:

- raziskave mineralnih hranil v tleh;
- raziskave, ki obravnavajo vsebnosti posameznih hranil v iglicah in listju drevoja;
- raziskave, ki povezujejo foliarne analize s tlemi - kemizmom tal, talnimi raztopinami, sestojnimi padavinami in so del ekosistemskih raziskav ter gojilni poskusi na prostem in v rastlinjakih.

Hranila v listju in iglicah drevoja so po Landmanu (LANDMAN / BONNEAU 1995) kazalec kemičnega stresa, npr. pomanjkanja hranil, toksičnega vpliva prisotnega Al oz. Mn v koreninah drevoja, akumulacije žvepla, klorida in fluora antropogenega izvora v listju in iglicah drevoja, idr. Velike vsebnosti elementov v listih in iglicah (žveplo, svinec, kadmij itn.) ali pomanjkanje nekaterih (magnezija) so lahko dobri kazalci njihove imisije v gozd (LANDOLT *et al.* 1989, ANON. 1993). Rezultati

foliarnih analiz kažejo v primeru povečanih vsebnosti nekaterih elementov (S) na neposredni vnos (npr. SO₂) v iglice in listje oz. na kopičenje na površini listja in iglic drevja (težke kovine, prah). V primeru vnosa kislih odločin v gozd ali pa naravnega procesa zakisovanja so lahko prehranske razmere drevja zaradi spiranja hranil v gozdnih tleh (Ca, Mg) v določenem obdobju boljše, kakor bi bile v primeru t.i. normalnih razmer.

Poleg vsebnosti hranil v iglicah in listju drevja sta pomembni tudi njihova medsebojna uravnoteženost in optimalna koncentracija (SCHULZE *et al.* 1989, HÜTTL 1991, HÜTTL 1992).

Interpretacija rezultatov talnih analiz je po Landmanu (LANDMAN / BONNEAU 1995) na splošno zahtevnejša kot interpretacija analiz listja in iglic drevja. V študijah, v katerih so obravnavali povezave med talnimi in foliarnimi analizami, so raziskovalci našli malo značilnih zvez med analiznimi rezultati tal, listja in iglic drevja, čeprav se praviloma kaže vpliv matične kamnine. Probleme pri povezovanju rezultatov talnih in foliarnih analiz lahko razlagamo z raznovrstnostjo tal in koreninskega sistema, uporabo različnih ekstrakcijskih sredstev pri analizi tal, s katerimi simuliramo procese v rizosferi idr. Zaradi takšnih in podobnih vzrokov so v preteklosti za ugotavljanje preskrbljenosti drevja s hranili uporabljali predvsem foliarne analize. Kadar so spremljali procese zakisovanja gozdnih tal, so pogosteje našli grobe korelacijske povezave med razmerji izmenljivih kationov v tleh in odgovarjajočimi elementi v listju in iglicah drevja (LANDMAN / BONNEAU 1995). Analize talne raztopine naj bi omogočile dodatna spoznanja o hranilih v tleh. Takšen pristop k proučevanju mineralne prehrane gozdnega drevja pa je mogoč le na omejenem številu raziskovalnih ploskev s potrebno raziskovalno opremo (gravitacijski lizimetri in lizimetri s podtlakom) in je običajen v okviru ekosistemskih monitoringov (SMOLEJ *et al.* 1996, SIMONČIČ 1996).

Na osnovi številnih izkušenj raziskovalcev mineralne prehrane gozdnega drevja prevladuje mnenje, da predstavljajo analize hranil v listju in iglicah drevja primerno metodo za oceno rastiščnih razmer glede preskrbljenosti drevja s hranili in tudi za ugotavljanje obremenjenosti gozda z onesnaženim zrakom (LANDMAN / BONNEAU 1995). Pri vzorčenju in interpretaciji foliarnih analiznih rezultatov je potrebno vedeti, da različni abiotiski in biotski dejavniki (geološko-petrografske in podnebne razmere, voda, toplota, svetloba, biološka aktivnost, zračnost tal itn.) ter antropogeni dejavniki (imisije odpadnih plinov) moteče

vplivajo na preskrbljenost gozdnega drevja s hranili. Po Hüttlu (HÜTTL 1991) in metodologiji vzorčenja ter analiziranja listja in iglic (ANON. 1993) gozdnega drevja imajo na vsebnost hranil velik vpliv način, mesto, čas vzorčenja, izbira dreves (npr. poškodovanost gozdnega drevja), mesto odvzema vzorca na posameznem drevesu in socialni položaj drevesa v sestoji (potreba po standardni metodologiji vzorčenja - REEMTSMA 1964, KNABE 1984). Na rezultate foliarnih analiz vpliva tudi količina padavin pred vzorčenjem iglic in listja gozdnega drevja. Za natančnejše ocene preskrbljenosti drevja s hranili pa bi morali poleg foliarnih in talnih raziskav opravljati še dedrometrijske meritve. Za raziskave so primerni tudi gnojilni poskusi, kjer v kontroliranih razmerah (rastlinjak) ali pa v naravnem okolju spremljamo odzive rastlin na vnose dušika, kalija, fosforja in drugih hranil (BAULE / FRICKER 1978).

Na Gozdarskem inštitutu Slovenije smo v preteklosti namenili posebno pozornost letnemu poteku vsebnosti hranil v smrekovih iglicah v bolj in manj onesnaženem okolju z dvoletnim mesečnim vzorčenjem. Na osnovi analiznih izsledkov smo ugotovili, da se vsebnosti dušika, fosforja, kalija, kalcija, magnezija in žvepla v iglicah tekočega letnika zmanjšujejo in povečujejo glede na rast mladih iglic. Vsebnosti hranil so velike spomladi, nato padejo, v avgustu naraščajo (velja za dušik, fosfor in žveplo, ne velja za kalcij) (HÖHNE 1964). V času mirovanja vegetacije pa so vsebnosti hranil ustaljene, zato je takrat najustreznejši čas za jemanje foliarnih vzorcev. Vpliv onesnaženega zraka (prisotnost SO_2 in NO_x) smo zaznali predvsem zaradi izrazito povečanih vsebnosti žvepla v smrekovih iglicah (SIMONČIČ / KALAN 1996). Poseben problem za vzorčenje in vrednotenje rezultatov foliarnih vzorcev predstavljajo velike razlike v vsebnostih hranil, zlasti kalija in kalcija, v iglicah in listih drevja, ki so bili nabrani na rastiščno homogenih ploskvah (preglednica 1, SIMONČIČ 1996, str. 64). Po Gussonu (1964) naj bi odvzeli foliarne vzorce z najmanj osmih do petnajstih dreves, kar pa je v monitoringu na 16 x 16 km mreži Slovenije preobširno in predrago. Mednarodna metodologija ekspertne skupine za foliarne analize ICP-ECE Forests predvideva vzorčenje z najmanj treh dreves oz. vzorčenje s petih do osmih dreves ter nato združitev vzorcev v mešani vzorec za kemijsko analizo (ANON. 1994a).

Preglednica 1: Vsebnosti hranil v bukovem listju in iglicah smrek ter koeficienti variacije v odstotkih (KV%), vzorci so bili nabrani na Prednjem vrhu in Osankarici (povprečne vrednosti, $n = 5$) jeseni 1994 (SIMONČIČ 1996).

Table 1: Content of nutrient in beech leaves and current year spruce needles and % of correlation coefficients, samples are from Prednji vrh and Osankarica (average, $n = 5$), autumn 1994.

Kraj vzorč.	Dr. vrsta	Teža 1000 ig.	N	P	K	Ca	Mg	S
Samp. plot	Tree spec.	(mg)	(mg/g)	(mg/g)	(mg/g)	(mg/g)	(mg/g)	(mg/g)
Prednji vrh, pl. B	bukev / beech		14.8	0.89	7.98	8.71	1.44	2.59
KV %			18	7	9	28	23	7
Prednji vrh, pl. A	smreka / spruce	4.384	11.1	1.40	3.90	4.09	1.54	2.4
KV %			16	19	38	29	10	21
Osankarica	smreka / spruce	3.820	9.3	1.12	2.89	2.99	1.25	1.00
KV %			9	12	28	16	13	13

Domače raziskave mineralne prehrane gozdnega drevja

V Sloveniji je bilo v preteklosti izvedenih le nekaj foliarnih analiz za preučevanje prehranskih razmer sadik gozdnega drevja v gozdnih drevesnicah (KALAN 1980) in nekaj študij mineralne sestave smrekovih iglic v odraslih sestojih (KALAN 1980, KRAIGHER 1991, URBANČIČ 1993). V zadnjih desetih letih so potekale predvsem raziskave onesnaženosti gozdov z žveplom v asimilacijskih delih gozdnega drevja na 16 x 16 km bioindikacijski mreži Slovenije (KALAN 1990, KALAN 1991, KALAN *et al.* 1995). Z vpeljano metodologijo so v različnih raziskavah za oceno obremenjenosti gozdov z žveplom dioksidom analizirali iglice glede na skupno vsebnost žvepla (KALAN *et al.* 1989). V tem času so analizirali makrohranila pri preučevanju prehranskih razmer gozdnega drevja z bioindikacijske mreže in v posameznih ekosistemskih oz. problemskih študijah v povezavi z onesnaženim zrakom ter njegovim vplivom na gozdna tla (SIMONČIČ 1992, KALAN / SIMONČIČ 1994, SMOLEJ *et al.* 1996, JURC *et al.* 1996, SIMONČIČ 1996).

Obravnavana mineralna hranila

Več kot 95 % biomase sestavljajo ogljik, kisik in vodik. Ostanek predstavljajo ostali bistveni elementi: dušik, fosfor, žveplo, kalij, kalcij in magnezij (makrohranila) ter elementi, prisotni v manjših količinah: mangan, železo, klor, baker, cink pa tudi bor in molibden (BINKLEY 1986).

Pomen obravnavanih elementov (BINKLEY 1986, BOHN / McNEAL / O'CONNOR 1985, TEIZ / ZEIGER 1991).

Dušik

Osnovni vir dušika (N) za rastline kopenskih ekosistemov so amonijevi (NH_4^+) in nitratni (NO_3^-) ioni, raztopljeni v padavinah, in biološka fiksacija dušika. Dušik v reducirani obliki je sestavni del aminokislin, beljakovin, nukleinskih kislin, organskih baz in številnih sekundarnih snovi. Značilna vsebnost N v listih drevja je 0.9 - 2.0 %.

Po Bredemeierju (BREDEMEIER 1992) povzročajo veliki vnosi dušika v gozdne ekosisteme motnje v prehrani gozdnega drevja in zakisovanje tal. V Nemčiji in na Nizozemskem so letni vnosi dušika z mokrimi in suhimi usedlinami ponekod večji kot 100 kg/ha, v neobremenjenem okolju naj bi bil vnos dušika nižji kot 5 kg/ha.

Fosfor

Fosfor (P) se v ekosistemih nahaja kot fosfatni ion (PO_4^{3-}). V rastlinah je vezan na sladkorje, ATP, fosfolipide, nukleinske kisline.

Kalij

Kalij (K) je prisoten v matični podlagi, s preperevanjem kamnine pa postane dostopen rastlinam, ki ga sprejmejo kot kation K^+ . Nujen je pri osmoregulaciji in pri encimskih reakcijah kot kofaktor. Koncentracija kalija v foliarnem delu rastlin je ponavadi 50 - 75 % koncentracije dušika.

Kalcij

Kalcij (Ca) je eden najpomembnejših elementov v kamninah. Njegova oblika v ekosistemu je Ca^{2+} . Vezan je na organsko snov in na kationsko izmenjalnih mestih v tleh. Kot sestavni del celičnih sten (npr. protopektina) je torej pomemben za njihovo strukturo. V obliki organskih soli je prisoten tudi v vakuolah. Koncentracije Ca v rastlinskih celicah so običajno nižje kot koncentracije kalija. V tleh, ki so se razvila na kamninah z visokim razmerjem Mg : Ca (serpentin, $\text{Mg}_3\text{Si}_3\text{O}_5(\text{OH})_4$), manjka kalcija in drugih kationov zaradi delovanja magnezija.

Magnezij

Magnezija (Mg) je v kamninah ponavadi polovico vsebnosti kalcija, tudi v rastlinah je razmerje podobno. Je sestavni del klorofila in osrednje lamele celične stene ter koencim nekaterih encimov.

Žveplo

V ekosistemu se žveplo (S) nahaja v železovem sulfidu in vodikovem sulfidu. Večina organskega žvepla se nahaja v treh aminokislinah: cistein, cistin in metionin, nekaj pa v sulfolipidih in drugih žveplovih spojinah. Žveplo je esencialno hranilo, če pa presega potrebe rastline, se kopiči v listih in iglicah. Rastline sprejemajo žveplo skozi korenine v obliki sulfatnih ionov SO_4^{2-} , v obliki SO_2 skozi liste (FIEDLER 1985) ali pa se v obliki različnih soli useda ter veže na površino rastlin. Velike koncentracije SO_2 v zraku vplivajo na manjšanje fotosinteze, preprečujejo nastajanje ATP itn.

Akutne poškodbe naj bi se pojavile, če je nekajurna koncentracija SO_2 v zraku večja kot 0.5 mg m^{-3} ali če so koncentracije za daljše obdobje večje kot $0.15 \text{ mg SO}_2 \text{ m}^{-3}$. Žveplo vsebujoče aminokisliline predstavljajo le 2 - 3 % aminokislin v rastlinah, tako da je število S atomov približno 3 % od števila dušikovih. Glede na razliko v masi predstavlja koncentracija žvepla v foliarnem delu rastlin 7 - 10 % koncentracije dušika (SCHULZE *et al.* 1989).

2 METODE

V obdobju 1985-1993 smo odvzeli vzorce iglic (predvsem smrek) na 86 točkah 16 x 16 km bioindikacijske mreže Slovenije. V iglicah tekočega letnika in enoletnih iglicah smo za potrebe bioindikacije onesnaženosti gozdov z žveplom analizirali skupne vsebnosti žvepla (KALAN *et al.* 1995). V vzorcih iz let 1987-1991, smo analizirali hranila dušik, fosfor, kalij, kalcij in magnezij. V l. 1994 smo devetletno nabiranje foliarnih vzorcev in njihovo analizo (skupna vsebnost žvepla) zaradi različnih vzrokov prekinili (neusklajen način vzorčenja, ukinjeno financiranje). Leto kasneje je stekel usklajen popis poškodovanosti drevja ter gozdnih tal na 43 vzorčnih mestih 16 x 16 km mreže (URBANČIČ 1997, KALAN 1997) in mineralne prehrane drevja na 39 vzorčnih mestih (od 43) 16 x 16 km mreže Slovenije (KALAN 1997). Celotno metodologijo smo uskladili z zahtevami monitoringa gozdov Mednarodnega programa sodelovanja za oceno in sledenje učinkov onesnaženega zraka na gozdove (International Co-operative programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests, ICP Forest, ANON. 1994a), tako da obstaja možnost primerjave naših in tujih rezultatov.

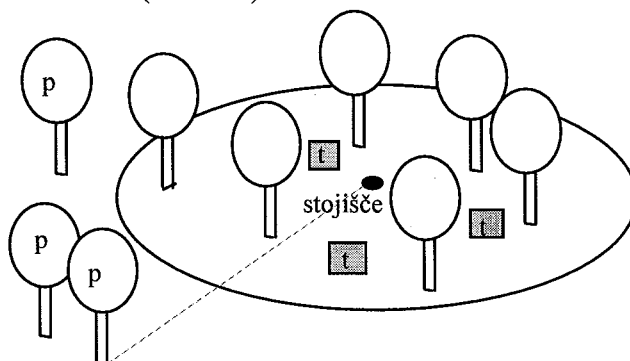
2.1 TERENSKO DELO

Nabiranje foliarnih vzorcev

V bližini mesta vzorčenja tal na eni od ploskev na ogliščih trakta (slika 2) 16 x 16 km mreže, na kateri so popisali poškodovanost drevja, smo v bližini ploskve poiskali tri drevesa tiste vrste, ki prevladuje na izbrani ploskvi. Izurjen plezalec je vzorčil z zgornje tretjine krošenj vzorce iglic (sedmo vreteno) oz. listja (slika 3). S takšnim načinom jemanja vzorcev smo se izognili drevesom, ki so že vključena v popis poškodovanosti in tistim, ki bodo lahko v popis vključena v prihodnjih snemanjih.

t: mesto odvzema talnih vzorcev (3 vzorčna mesta)

p: mesto odvzema foliarnih vzorcev (3 drevesa)



Slika 2: Prikaz dreves (p), s katerih smo vzorčili veje - foliarne vzorce ob ploskvi na izbranem oglišču trakta mreže.

Figure 2: Presentation of trees (p) from which branches were sampled - foliar samples in the selected vertices of the 16 x 16 km network tracts.

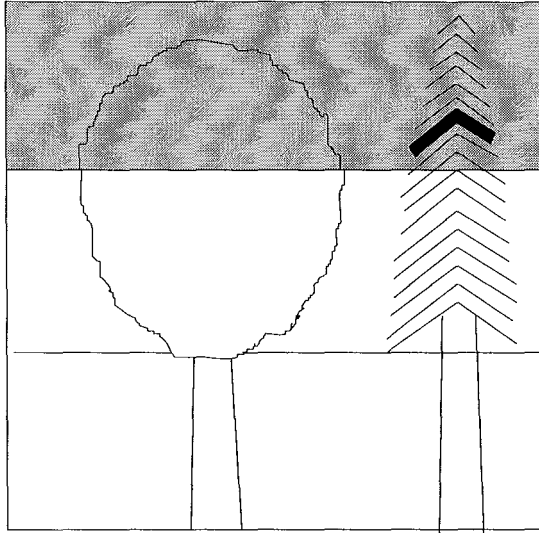
Izbira dreves

Drevesa, s katerih odvezamemo vzorce naj bi bila reprezentativna za povprečne ekološke pogoje, v kakršnih so bili izvedeni popisi poškodovanosti gozdnega drevja. Pri izbiri dreves upoštevamo naslednje kriterije:

- v sestojih izberemo drevesa vladajočega oz. sovladajočega socialnega položaja ;
- vzorčna drevesa morajo biti reprezentativna za izbrano ploskev glede na osutost in tudi zdravstveno stanje (insekti, glive).

Pri vzorčenju iglic in listja (foliarni vzorci) smo se ravnali po že vpeljani metodologiji za vzorčenj smrekovih vej za potrebe določevanja žvepla v iglicah smrek in bora na 16 x 16 km bioindikacijski mreži Slovenije (KALAN 1990, KALAN 1991) in po mednarodni metodologiji, ki jo priporoča Strokovna skupina za mineralno prehrano (ANON. 1994a, ANON. 1994b). Pomembno je, da so listje in iglice s tistega dela zgornje tretjine drevesnih krošenj, ki je najbolj osvetljen. Za presojo stopnje vsebnosti hranil v gozdnem drevju so najprimernejše enoletne iglice in listje. Za nekatere elemente pa je zanimiva primerjava koncentracij starejših in enoletnih oz. listja in iglic tekočega leta (S). Listavce smo vzorčili pred

rumenenjem (hrast, bukev, javor, gaber - konec avgusta, začetek septembra), iglavce oktobra in novembra 1995, ko vegetacija miruje (REEMTSMA 1964, KNABE 1984, ANON. 1994a).



Slika 3 : Mesto vzorčenja iglic in listja.

Figure 3 :Place of needle and leaf sampling.

2.2 LABORATORIJSKE ANALIZE

Veje z iglicami smo razrezali, ločili enoletne in dvoletne iglice, jih posušili na zraku in jim odstranili primesi. Pri listavcih smo odstranili liste z vejic in jih sušili na zraku. Posušene iglice in listje smo zmleli in presejali. Homogenizirane vzorce smo shranili v plastičnih prahovkah.

Tako pripravljenim vzorcem določamo:

- maso 1000 iglic oz. 100 listov,
- vsebnost skupnega dušika (N) po modificirani kjeldahlovi metodi z aparaturo VAPODEST-5,
- vsebnost skupnega žvepla (S) konduktometrično z aparaturo SULMHOMAT 12-ADG,

vsebnosti fosforja (P) kolorimetrično z metodo molibden modro in s spektrofotometrom, kalija (K) s plamenskim fotometrom, kalcija (Ca), magnezija (Mg) z atomsko absorpcijsko spektrometrijo (AAS); 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.

Uporabljene metode ustrezajo metodologiji, ki jo priporočata strokovna skupina za mineralno prehrano gozdnega drevja mednarodnega programa ICP-ECE Forests (Forest Foliar Expert Panel in Forest Foliar Co-ordinating Centre) ter IUFRO skupine za mineralno prehrano gozdnega drevja (ANON. 1994a).

Kakovost izvedbe analiz smo spremljali z vključevanjem testnih vzorcev v serijske analize, občasnim preverjanjem dela z analizo standardnih referenčnih materialov (BCR) ter z rednim sodelovanjem v mednarodnih krožnih analizah (ICP-ECE in IUFRO).

3 REZULTATI FOLIARNIH ANALIZ IN RAZPRAVA

Preglednica 2 predstavlja rezultate vzorčenj v l. 1987 in 1991 na bioindikacijski mreži (85 vzorčnih mest) in rezultate vzorčenja na 16 x 16 km mreži v l. 1995 (39 vzorčnih mest). V obdobju 1991-1995 je prišlo do sprememb v metodologiji vzorčenja. V prvih dveh letih smo vzorčili z dveh dreves, v l. 1995 pa s treh. V l. 1995 je bilo vzorčenje prvič izvedeno tako, da je možno povezovati popis stanja drevja z mineralno prehrano in tudi z rezultati talnih analiz na izbranih ogliščih popisnih traktov mreže. V preteklosti smo uporabili kot bioindikacijska drevesa smreko ter črni in rdeči bor. Zaradi upoštevanja predpisane metodologije in želje po povezovanju rezultatov pa smo morali v l. 1995 nabirati vzorce drevesnih vrst, ki prevladujejo na ploskvah in ne ob popisnih mestih oz. v njihovi bližini (več deset metrov od ploskev na ogliščih traktov). V preteklosti je bila narejena velika večina raziskav ter ocen preskrbljenosti drevja s hranili predvsem za smreko (Nemčija, Avstrija, Švedska, Finska, Slovenija, Hrvaška), zato so nastali problemi pri vrednotenju analiznih rezultatov zlasti za listavce.

Preglednica 2: Povprečne vsebnosti makrohranil v iglicah tekočega letnika in listju. Vzorci so bili nabrani v l. 1987, 1991 in 1995 na točkah bioindikacijske oz. osnovne 16 x 16 km mreže Slovenije.

Table 2: Average content of mineral nutrition in needles and leaves from y. 1987, 1991, 1995 from bioindication network or. basic 16 km x 16 km Slovenian net.

Leto vzorčenja Sampling year	Drev. vrsta/ Tree species	Štev. plosk. Sampl. plots	N mg/g	P mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	S mg/g
1987	smreka	76	11.2	1.40	6.40	5.00	1.10	1.13
	č.bor	7	12.1	0.90	5.10	3.50	1.30	
	r. bor	2	12.5	1.50	5.90	4.20	0.90	
1991	smreka	76	13.1	1.40	6.00	5.90	1.10	1.22
	č. bor	7	11.5	0.90	4.50	3.60	1.40	1.10
	r. bor	2	10.4	1.60	6.10	3.20	1.00	1.49
1995	smreka	30	12.71	1.26	6.55	6.18	1.11	1.23
	č. bor	1	15.30	0.98	6.73	1.72	1.96	1.07
	maces.	1	21.60	0.98	7.84	3.58	1.18	1.59
	bukev	3	20.09	0.86	6.56	15.92	1.59	1.43
	graden	2	21.2	1.62	10.19	10.89	2.80	1.60
	hrast*	11	24.6	1.85	8.65	8.99	1.97	1.61
	b.gaber	1	23.8	1.05	7.69	11.84	1.83	1.70
javor	1	19.4	0.65	7.89	5.26	0.89	2.30	

legenda / legend: smreka - *Picea abies* Karst, č. bor - *Pinus nigra*, r. bor - *Pinus sylvestris*, macesen - *Larix decidua*, graden - *Quercus petrea*, g. Gaber - *Carpinus betulis*, javor - *Acer pseudoplatanus*

* hrastovo listje, vzorčeno na ploskvah projekta Propadanje hrasta (9 : *Quercus robur*, *Q. petrea*, *Q. cerris*)

* oak leaves were sampled on slovenian Oak decline research plots (9 : *Quercus robur*, *Q. petrea*, *Q. cerris*)

Povprečne vsebnosti hranil v smrekovih iglicah tekočega letnika. Med povprečnimi vsebnostmi posameznih hranil v smrekovih iglicah tekočega letnika (na preglednici so označene s sivo barvo) ni večjih razlik med vzorčenji v letih 1987, 1991 in 1995.

Za ugotavljanje zadostne oz. pomanjkljive preskrbljenosti gozdnega drevja s hranili uporabljamo mejne vrednosti za foliarne analize smrekovih in borovih (rdeči in črni bor) iglic (GUSSONE 1964, STEFAN 1991, HÜTTL 1991). Preglednica 3 so prikazuje razrede preskrbljenosti s hranili glede na foliarne analize smrekovih in borovih iglic (GUSSONE 1964, ANON. 1994b, SIMONČIČ 1995).

Preglednica 3: Mejne vrednosti za preskrbljenost s hranili za smreko (vsebnosti elementov v iglicah tekočega letnika, iglice so posušene pri 60°C, SIMONČIČ 1996).

Table 3: *Limit values as to nutrition state of spruce (element content in current-year spruce needles, needles have been dried at 60° C).*

preskrba s hranili <i>nutrition status</i>	razred <i>class</i>	N mg / g	P mg / g	K mg / g	Ca mg / g	Mg mg / g
pomanjkljiva*	1	13.0	1.30	4.20	3.60	1.10
zadostna**	2					

legend : * deficiency, ** adequate

Kot pomoč pri vrednotenju analiznih rezultatov iglic in listja gozdnega drevja je strokovna skupina FFCC (Forest Foliar Co-ordinating Centre) predlagala razrede vsebnosti hranil v iglicah smrek in bukovem listju (preglednica 4) (ANON. 1995). V preglednico so vključene mejne vsebnosti hranil različnih avtorjev. Za klasifikacijo rezultatov foliarnih analiz smo uporabili vrednosti iz literature tistih raziskovalcev, ki so preučevali večinoma smreko v Avstriji, Nemčiji in Franciji. Poleg takšnih mejnih vrednosti smo upoštevali tudi tiste, ki jih je za Evropo predlagal FFC center.

Preglednica 4: Vsebnosti hranil v smrekovih iglicah tekočega letnika, v bukovem in hrastovem listju za razvrščanje analiznih rezultatov v vsebnostne razrede glede na prehranjenost drevja nekaterih avtorjev in FFC centra.

Table 4: Nutrient content in spruce needles of a current year, in beech and oak leaves for the classification of analysis results into content classes as to tree nutrition status by some authors and the FFC Center.

Element	Vsebnost hranil	Ingestad	Hüttl	Bonneau	FFCC		
Element	Nutrient content	1959*	1986*	1988*	**		
(mg/g)		smreka spruce			bukev beech	hrast oak	
N	pomankljiva / deficient		< 12-13	< <u>10</u> -13	12.0	18.0	14.0
	zadostna / adequate		13-15	13-15			19.0
	optimalna / optimum	15-23	> 15	15-19	17.0	25.0	24.0
P	pomankljiva / deficient		< 1.1-1.2	< 1.1-1.5	<u>1.0</u>	1.0	1.2
	zadostna / adequate		1.2-1.5	1.5-1.9			1.8
	optimalna / optimum	1.1-3.0	> 1,5	1.9-2.5	2.0	1.7	2.4
K	pomankljiva / deficient		< 4.0-4.5	< <u>3.0</u> -4.0	3.5	5.0	4.8
	zadostna / adequate		4.5-6.0	4.0-6.0			7.2
	optimalna / optimum	5.0-13.0	> 6.0	> 6.0	9.0	10.0	9.6
Ca	pomankljiva / deficient	< 0.2	< 1.0-2.0	< 0.5-1.0	<u>1.5</u>	4.0	1.4
	zadostna / adequate		2.0-3.0	1.0-3.0			3.1
	optimalna / optimum		> 3.0	>3.0-5.0	6.0	8.0	4.8
Mg	pomankljiva / deficient	0.2-0.7	< 0.7-0.8	< <u>0.6</u>	0.6	1.0	0.8
	zadostna / adequate		0.8-1.0	0.7-1.0			1.5
	optimalna / optimum	0.9-1.7	> 1.0	>1.0-1.4	1.5	1.5	1.9

poudarjene in podčrtane so vrednosti, ki naj bi predstavljale kritične vsebnosti hranil za smreko v tekočem letniku iglic /

* vir - LANDMANN / BONNEAU 1995

** vir- ANON. 1994b, ANON. 1995 (te vsebnosti ne predstavljajo mejnih vrednosti za pomanjkljivo, zadostno in optimalno vsebnost hranil, so namenjene predvsem v pomoč pri razvrščanju analiznih rezultatov)

Preglednica 5: Odstotni deleži odvzemnih mest na 16 x 16 km mreži, na katerih v smrekovih iglicah primanjkuje hranil in odstotni deleži mest, kjer so vsebnosti hranil pod kritično vsebnostjo hranil (v letih 1987, 1991 in 1995 je število vzorčnih ploskev za smreko 30).

Table 5: *The share of the sampling spots in the 16 x 16 km net where the nutrition status in spruce needles of a current year is deficient and the share of spots where nutrition content is below the critical limit value.*

leto vzorčenja <i>sampling year</i>	št. vzor. <i>samp.n.</i>	vsebnost hranil <i>nutrient content</i>	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
1987	30	pomanjkljiva / deficient kritična / critical	87 23	37 13	7 3	17 0	47 3
1991	30	pomanjkljiva / deficient kritična / critical	59 9	50 18	2 0	5 0	55 0
1995	30	pomanjkljiva / deficient kritična / critical	63 0	57 13	10 0	17 0	70 0

Preglednica 5 prikazuje rezultate samo za tista odvzemna mesta na mreži (smrekove iglice), ki so bila vključena v raziskave v vzorčenjih l. 1987, 1991 in 1995. Glede na vzorčenja v l. 1987 in 1991 so se razmere poslabšale pri vsebnosti fosforja, kalija, magnezija, v obdobju 1991-1995 pa tudi pri vsebnosti dušika. Odstotek ploskev, na katerih imajo drevesa nižje vsebnosti hranil, kot je kritična meja, opozarja predvsem na slabo preskrbljenost smrek s fosforjem (slaba petina ploskev mreže). Drevje je slabo preskrbljeno tudi s dušikom (63 %) in magnezijem (70 %), stanje glede preskrbljenosti drevja s kalijem in kalcijem pa je optimalno oz. zadovoljivo.

Pri analizi in vrednotenju rezultatov foliarnih analiz je pomembno poznati razmerja med hranili v iglicah in listju drevja. Nekatere teorije o propadanju gozdov se navezujejo prav na porušena razmerja med hranili, ko prihaja do neharmoničnih razmerij zaradi različnih antagonističnih procesov pri sprejemu hranil v rastline ali zaradi vnosa hranil skozi iglice oz. listje (SO₂). Na preglednici 6 lahko vidimo razlike med razmerji N/P za smreko in bore ter listavce. Po Hüttlu (1991) naj bi bilo harmonično razmerje N/P za smreko med 6 in 12. V takšnem razmerju se nahajata povprečna vrednost N/P za smreko na mreži ter večina rezultatov za posamezne ploskve mreže (97 %). Za druge drevesne vrste pa takšno razmerje ne velja. Za nas so pomembni rezultati razmerja N/S, ki naj bi bili po Zechu (HÜTTEL 1991) za smrekove iglice večji od 8. To razmerje pa je v Sloveniji porušeno za smreko in bukev predvsem v bližini velikih emitentov SO₂, npr. na Prednjem vrhu v okolici TE Šoštanj (N/S_{sm} » 5, N/S_{bu} < 6, SIMONČIČ 1996). Razmerja med vsebnostmi dušika in kalija ter dušika in magnezija so v večini

primerov znotraj tistih vrednosti, ki naj bi nakazovale harmonične prehranske razmere za smreko (N : K » 1-3, N : Ca » 2-20, N : Mg » 8 - 30, HÜTTEL 1991).

Preglednica 6 : Povprečna razmerja med vsebnostmi makrohranil v iglicah tekočega letnika oz. listju v l.1995 na osnovni 16 x 16 km mreže Slovenije.

Table 6 : Mean ratios between macro-nutrient content in the needles of a current year or leaves in 1995 on the basic 16 x 16 km Slovenian net.

Leto vzorčenja Sampling year	Drev. vrsta/ Tree species	Štev. plosk. / Sampl. plots	N / P	N / K	N / Mg	P / Mg	Ca / K	N / S
1995	smreka	30	10.5	2.1	12.1	1.2	1.0	10.5
	č. bor	1	14.4	2.3	13.2	0.9	0.3	14.5
	maces.	1	24.9	3.3	21.7	0.8	0.5	13.4
	graden	2	14.6	2.1	14.5	1.1	1.1	13.5
	hrast*	9	12.9	2.9				14.9
	bukev	3	24.4	3.1	13.9	0.6	2.4	13.8
	b.gaber	1	22.7	3.2	13.2	0.6	1.6	14.2
	javor	1	29.9	2.5	22.3	0.8	0.7	8.4

legenda / legend : smreka - *Picea abies* Karst, č. bor - *Pinus nigra*, macesen - *Larix decidua*, graden - *Quercus petraea*, g. Gaber - *Carpinus betulis*, javor - *Acer pseudoplatanus*

* hrastovo listje vzorčeno na ploskvah projekta Propadanje hrasta (9: *Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. cerris*)

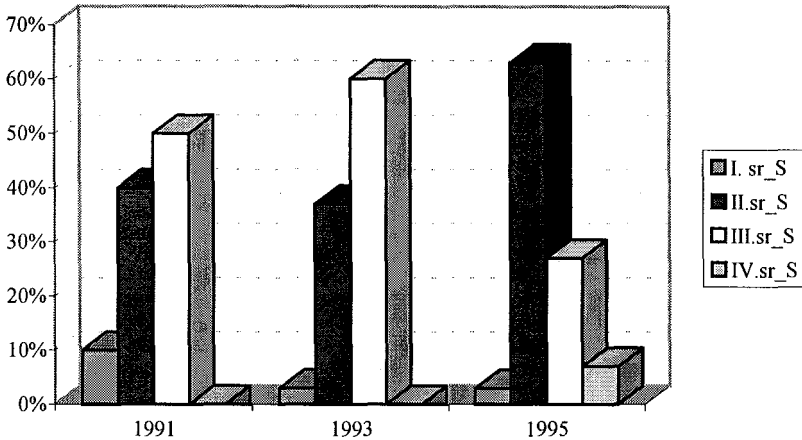
* oak leaves were sampled on slovenian Oak decline research plots (9 : *Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. cerris*)

Vsebnosti žvepla so prikazane na preglednici 7 hkrati s skupnimi razredi vsebnosti žvepla v smrekovih iglicah za l. 1991, 1993 in 1995 za tista odvzemna mesta na mreži, na katerih je bilo vzorčenje izvedeno kljub spremembam metodologije. Povprečne vsebnosti skupnega žvepla v iglicah tekočega letnika in enoletnih smrekovih iglic so v obravnavanem obdobju podobne. Iz skupnih vsebnosti žvepla lahko izračunamo skupne razrede žvepla. Uporabljamo jih za oceno imisij žvepla v gozdove: I. razred pomeni najmanjše imisije, IV. pa največje imisije žvepla v gozdu (KALAN *et al.* 1995). Pri primerjavi deležev ploskev mreže glede na skupne razrede žvepla v smrekovih iglicah vidimo, da so razmerja med razredi v l. 1991 in 1993 podobna (grafikon 1), v l. 1995 pa ne. Zmanjšalo se je število ploskev, kjer raste drevje v območju povečane imisije žvepla, povečalo pa število ploskev, kjer raste drevje v območju zmernih imisij žvepla (+ 26 %), ter število ploskev, kjer so močno povečane imisije žvepla in zato poškodbe zaradi žvepla pogostejše (+ 7 %). Če pogledamo posamezne ploskve, vidimo, da so razmere slabše na ploskvah Lubnik, Kavšak in Gruškovje, izrazito pa so se izboljšale na ploskvah Remšnik, Svetina in Kolačno pri Ločah.

Preglednica 7: Vsebnosti skupnega žvepla v smrekovih iglicah tekočega letnika in enoletnih iglicah smrek v l. 1991, 1993 in 1995 na bioindikacijski oz. osnovni 16 x 16 km mreži Slovenije s skupnimi razredi vsebnosti žvepla.

Table 7: Total sulphur content in spruce needles of a current year and one-year spruce needles in 1991, 1993 and 1995 in bioindication points or the basic 16 x 16 km Slovenian net with the common sulphur content classes.

Z.št. No.	Mesto vzorčenja Sampling plot	1991			1993			1995		
		S_91 mg/g	S_90 mg/g	svr_S	S_93 mg/g	S_92 mg/g	svr_S	S_95 mg/g	S_94 mg/g	svr_S
1	Martuljek	1.08	1.13	2	1.12	1.33	2	1.13	1.24	2
2	Fužinske pl.	1.05	1.07	2	1.31	1.29	3	1.18	1.02	2
3	Gor.trebuša	1.12	1.11	2	1.19	1.07	2	1.39	1.11	2
4	Zajama	0.96	1.08	1	1.13	1.35	2	1.07	1.21	2
5	Ljub.na Gor.	1.20	1.27	2	1.34	1.34	3	1.05	1.35	2
6	Lubnik	1.03	1.03	2	1.09	1.17	2	1.25	2.08	4
7	Ravnik	1.10	1.09	2	1.16	1.10	2	1.36	1.18	3
8	Rakitna	1.06	1.09	1	1.04	1.11	2	1.20	0.84	2
9	Križna jama	1.18	1.21	2	1.37	1.26	3	1.29	1.05	2
10	Snežnik	1.28	1.25	3	1.18	1.15	2	1.31	0.99	2
11	Podvolovjek	1.00	1.11	2	1.13	1.14	2	1.35	1.36	3
12	Rafoľce	1.19	1.17	2	1.37	1.21	3	1.13	1.06	2
13	Kavšak	1.30	1.44	3	1.38	1.30	3	1.41	1.98	4
14	Okonina	1.21	1.40	2	1.21	1.26	2	1.08	1.14	2
15	Trojane	1.33	1.63	3	1.29	1.41	3	1.15	1.29	2
16	Jelša	1.26	1.24	3	1.32	1.19	3	1.16	1.16	2
17	S.p.Šumberku	1.42	1.64	3	1.51	1.45	3	1.25	1.35	3
18	Stojna	1.06	1.11	2	1.07	1.20	2	1.20	1.04	2
19	Gortina	1.55	1.60	3	1.46	1.64	3	1.46	1.92	3
20	Andraž	1.39	1.52	3	1.29	1.36	3	1.59	1.28	3
21	Čeče	1.42	1.64	3	1.32	1.62	3	1.32	1.31	3
22	Gradišče	1.30	1.37	3	1.31	1.32	3	1.28	0.93	2
23	Drag.sela	0.88	0.94	1	1.29	1.21	3	1.18	1.12	2
24	Remšnik	1.37	1.38	3	1.49	1.61	3	1.10	1.14	2
25	Komisija	1.42	1.45	3	1.53	1.52	3	1.13	1.40	2
26	Svetina	1.31	1.40	3	1.41	1.58	3	1.02	1.38	2
27	Ledina	1.37	1.47	3	1.20	1.16	2	0.94	1.04	1
28	K.p.Ločah	1.54	1.79	3	1.52	1.56	3	1.28	0.99	2
29	Drav.dvor	1.39	1.32	3	1.37	1.21	3	1.46	1.20	3
30	Gruškovlje	1.03	1.08	2	0.90	0.95	1	1.65	1.23	3
Povprečje / Average		1.22	1.29	2	1.27	1.30	3	1.24	1.25	3



Grafikon 1: Grafični prikaz odstotnega deleža ploskev mreže s I., II., III., in IV. skupnim razredom vsebnosti žvepla v iglicah tekočega letnika in enoletnih smrekovih iglicah za obdobje 1991 - 1993 - 1995 (I.sr_S - prvi skupni razred vsebnosti žvepla, .., KALAN *et all.* 1995).

Graph 1: Graphical presentation of net plot share with the first, second, third and fourth common class of sulphur content in needles of a current year and one-year spruce needles in 1991, 1993 and 1995 in 16 x 16 km Slovenian net with the common sulphur content classes.

4 OCENA PRESKRBLJENOSTI GOZDNEGA DREVJA Z MINERALNIMI HRANILI - UGOTOVITVE

Ocena preskrbljenosti drevja v l. 1995 na 16 x 16 km mreži je ob uporabi mejnih vrednosti, prikazanih v preglednici 3, pokazala razmeroma slabe prehranske razmere glede vsebnosti dušika, magnezija in fosforja, razmere glede kalija in kalcija pa so optimalne. Primerjave foliarnih analiznih rezultatov iz l. 1995 z rezultati iz obdobja 1987-1991 na bioindikacijski mreži so zaradi različnih metodologij vzorčenja otežene. Preglednica 5 predstavlja rezultate raziskav v l. 1987, 1991 in 1995. Kaže, da so razmere glede preskrbljenosti drevja (smreka - število ploskev je 30) s kalijem in kalcijem v preučevanem obdobju podobne, le malo je primerov, da so vsebnosti hranil kritične (za K na treh ploskvah v l. 1987). Razmere glede dušika so v l. 1991 in 1995 podobne, najslabše so bile l. 1987, ko je kar na 87 % ploskev primanjkovalo dušika, na 23 % pa so bile vsebnosti nižje od kritičnih vsebnosti. Našteti podatki veljajo za ploskve 16 x 16 km mreže, kjer

smo vzorčili smrekove iglice. Rezultati analiz listja drevja (na 7 ploskvah) in iglic bora (1 ploskev) ter macesna (1 ploskev) pa se v l. 1995 nahajajo v območju, ki kaže zadovoljivo prehranjenost drevja.

Za oceno preskrbljenosti drevja smo uporabili mejne vrednosti, s katerimi opredelimo le dva razreda. Prvi razred predstavlja slabo preskrbo drevja s hranili, drugi razred pa optimalno. Zato smo v rezultate vključili tudi kritične vsebnosti hranil (preglednica 5), ki naj bi glede na podatke iz literature kazale na izrazito pomanjkanje. Pri uporabi kritičnih mejnih vrednosti vidimo, da je drevje na mreži v l. 1995 kritično preskrbljeno le s fosforjem (smreka). Pri oceni prehranskih razmer smo uporabili tudi razmerja med posameznimi hranili v iglicah in listju. Ugotovili smo, da so kljub nizkim vsebnostim posameznih hranil njihova medsebojna razmerja v večini primerov ugodna in kažejo na harmonične prehranske razmere gozdnega drevja (preglednica 6).

Skupne vsebnosti žvepla v smrekovih iglicah tekočega letnika in enoletnih iglicah na točkah 16 x 16 km bioindikacijske mreže (1985-1993; 86 odvzemnih mest) smo uporabljali za spremljanje imisij SO_2 v slovenske gozdove. Povprečne vsebnosti žvepla v smrekovih iglicah tekočega letnika in enoletnih iglicah drevja na mreži so v obdobju 1991 - 1993 - 1995 podobne (1.22/1.29 mg/g \bar{T} 1.27/1.30 mg/g \bar{T} 1.24/1.25 mg/g). Rezultati analiz iz l. 1995 so pokazali, da se zmanjšuje število ploskev, kjer raste drevje v območju povečane imisije žvepla (- 33 %). Povečalo se je število ploskev, kjer so imisije zmerne (+ 26 %), ter število ploskev v območjih z močno povečano imisijo SO_2 (+ 7 %). Za ostale drevesne vrste (macesen, listavci) nimamo delitve na razrede vsebnosti žvepla. Zaradi tega ne moremo oceniti imisij za vse ploske na 16 x 16 km mreži.

Preglednica 8 predstavlja nekatere rezultate analiz smrekovih iglic drevja evropske 16 x 16 km mreže, predvsem v državah srednje Evrope. Prikazana so povprečja in minimalne ter maksimalne vsebnosti hranil. Rezultati kažejo, da so prehranske razmere v Sloveniji zelo raznolike, saj so območja foliarnih vsebnosti največja za fosfor, kalij, kalcij in žveplo. Smrekove iglice z drevja na 16 x 16 km mreži Slovenije imajo največje povprečne vsebnosti kalija, kalcija ter žvepla. Podobno velike vsebnosti žvepla imajo tudi foliarni vzorci na Slovaškem, kjer pa so vzorčili predvsem bukovo listje ter druge listavce, tako da njihovih rezultatov nismo mogli vključiti v preglednico 8.

Preglednica 8: Minimalne in maksimalne ter povprečne vsebnosti makrohranil v smrekovih iglicah tekočega letnika 16 x 16 km mreže Slovenije (primerjava z nekaterimi srednjeevropskimi državami), vzorčenih l. 1995 (STEFAN / FÜRST / HACKER 1997).

Table 8: *The minimum, maximum and average content of macro-nutrients in spruce needles of a current year in the 16 x 16 km Slovenian net (comparison with some results of countries of Central Europe) sampled in 1995 (STEFAN / FÜRST / HACKER 1997).*

Država Country	n	N (mg / g)	P (mg / g)	K (mg / g)	Ca (mg / g)	Mg (mg / g)	S (mg / g)
Slovenija	30	9.40 - 16.00 12.71	0.57 - 2.65 1.26	2.83 - 10.30 6.55	2.20 - 15.53 6.18	0.75 - 2.30 1.11	0.79 - 1.67 1.23
Avstrija	72	11.32 - 17.04 13.60	0.96 - 2.44 1.53	2.63 - 9.68 6.33	1.69 - 10.61 4.93	0.77 - 2.49 1.36	0.78 - 1.45 0.98
Češka	34	11.45 - 18.43 15.17	1.30 - 2.18 1.60	2.89 - 9.44 6.27	2.29 - 7.30 4.23	0.57 - 1.51 0.99	0.75 - 1.53 1.04

5 POVZETEK

V obdobju 1985-1993 smo odvzeli vzorce iglic (predvsem smrek) na 86 točkah 16 x 16 km bioindikacijske mreže Slovenije. V iglicah tekočega letnika in enoletnih iglicah smo za potrebe bioindikacije onesnaženosti gozdov z žveplom določili skupne vsebnosti žvepla. V foliarnih vzorcih, zbranih v l. 1987-1991, so bile narejene še analize hranil: dušika, fosforja, kalija, kalcija in magnezija. L. 1994 smo devetletno foliarno vzorčenje prekinili. Leto kasneje je stekel usklajen popis poškodovanosti drevja, gozdnih tal na 43 ploskvah 16 x 16 km mreže (KOVAČ 1997, URBANČIČ 1997) in mineralne prehrane drevja ter folarnih vsebnosti težkih kovin (KALAN 1997) na 39 vzorčnih mestih (od 43) ob izbranih ploskvah na ogliščih traktov 16 x 16 km mreže Slovenije. Celotno metodologijo smo uskladili z zahtevami monitoringa gozdov Mednarodnega programa sodelovanja za oceno in sledenje učinkov onesnaženega zraka na gozdove (ANON. 1994a).

Ocena preskrbljenosti drevja v l. 1995 na 16 x 16 km mreži je pokazala razmeroma slabe prehranske razmere glede vsebnosti dušika, magnezija in fosforja, razmere glede kalija in kalcija pa so optimalne. Rezultati raziskave mineralne prehrane gozdnega drevja v l. 1987, 1991 in 1995 kažejo, da so razmere glede preskrbljenosti drevja (smreka; število odvzemnih mest je 30) s

kalijem in kalcijem v preučevanem obdobju podobne in optimalne. Razmere glede dušika so bile za drevje v l. 1991 in 1995 podobne. Najslabše so bile l. 1987, ko je bilo kar na 87 % ploskev bioindikacijske mreže prisotno pomanjkanje dušika, na 23 % pa so bile vsebnosti nižje od kritičnih vsebnosti hranila. Rezultati analiz listja drevja in iglic bora ter macesna na mreži v l. 1995 pa se razlikujejo od rezultatov za smreko in se nahajajo v območjih, ki kažejo zadovoljivo prehranjenost drevja z makrohranili.

Pri oceni prehranskih razmer smo uporabili tudi razmerja med posameznimi hranili v iglicah in listju. Ugotovili smo, da so kljub nizkim vsebnostim posameznih hranil njihova medsebojna razmerja za drevje v večini primerov ugodna in kažejo na harmonične prehranske razmere.

Skupne vsebnosti žvepla v smrekovih iglicah tekočega letnika in enoletnih iglicah vzorčenega drevja na 16 x 16 km bioindikacijski mreži smo v obdobju 1985 -1993 uporabljali za spremljanje imisij SO₂ v slovenskih gozdovih. V obdobju 1991 - 1993 - 1995 so povprečne vsebnosti žvepla v smrekovih iglicah tekočega letnika in enoletnih iglicah drevja podobne. Rezultati analiz iz l. 1995 pa so pokazali, da se zmanjšuje število ploskev, kjer raste drevje v območju povečane imisije žvepla. Povečalo se je tudi število ploskev, kjer so imisije zmerne, ter število ploskev v območjih z močno povečano imisijo SO₂.

Če rezultate raziskav mineralne prehrane v Sloveniji primerjamo z rezultati podobnih raziskav v srednji Evropi, vidimo, da so prehranske razmere v Sloveniji zelo raznolike. Območja foliarnih vsebnosti so v primerjavi z npr. avstrijskimi in češkimi največja za fosfor, kalij, kalcij in žveplo. Tudi povprečne vsebnosti hranil kalija, kalcija ter žvepla so večje kot v sosednjih državah.

Raziskave mineralne prehrane na 16 x 16 km mreži bomo združiti z ostalimi raziskavami, ki smo jih izvedli v l. 1995. V pripravi je primerjava rezultatov makrohranil v foliarnih (listje, iglice drevja) in talnih vzorcih z drugimi talnimi lastnostmi, primerjava z vsebnostmi težkih kovin v tleh in foliarnih vzorcih ter rezultati popisa propadanja gozdov 16 x 16 km mreže v l. 1995. Takšno sintezno delo naj bi dalo skupaj s tujimi ugotovitvami nekatere nove poglede na povezavo med vzroki in posledicami stanja gozdov ter izhodišča za razmislek o bodočem monitoringu gozda na 16 x 16 km mreži Slovenije.

6 SUMMARY

In the period from 1985 to 1993 samples of needles (primarily spruce ones) were taken in 86 points of the 16 x 16 km Slovenian bioindication net. For the purpose of bioindication of forest pollution by sulphur, total sulphur content was established in the needles of a current year and one-year needles. Additionally, nutrient analyses of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium were performed in foliar samples sampled in the period 1987-1991. In 1994 the nine-year foliar sampling continuity was interrupted. The next year a co-ordinated inventory of tree damage, forest soil in 43 sample spots of the 16 x 16 km network (KOVAČ 1997, URBANČIČ 1997) and tree mineral nutrition and heavy metals (KALAN 1997) status was started in 39 sample spots (out of 43) of the 16 x 16 km network. The entire methodology has been co-ordinated with the standards regarding forest monitoring by the International Program of co-operation for the estimate and assessment of air pollution's impact on forests.

The estimate as to tree nutrition status from 1995 gave relatively bad nutrition status as to nitrogen, magnesium and phosphorous in the 16 x 16 km net; the status as to potassium and calcium were optimal. Forest tree mineral nutrition analysis results from 1987, 1991 and 1995 showed that tree nutrition state (spruce; 30 plots) as to potassium and calcium were similar and optimal in the period investigated. The status as to nitrogen was in 1991 and 1995 similar. The worst status was established in 1987, when in 87% of plots of the bioindication net deficiency of nitrogen could be established and in 23% the content was below the critical nutrition content. The results of foliar analyses, the analyses of pine and larch needles from the net in 1995 differed from those for the spruce and moved within the range of sufficient tree macro-nutrient status.

In the estimate of nutrition status the ratios between individual nutrients in needles and leaves were also applied. It was established that in most cases - despite a low content of individual nutrients - the relations between them were favourable for trees and indicated a harmonious nutrition state.

In the period 1985-1993 total sulphur values in spruce needles of a current year and one-year needles of the 16 x 16 km bioindication net were employed to assess the SO₂ emissions in Slovenian forests (KALAN *et al.* 1995). In the period 1991-1993-1995 the average sulphur content in spruce needles of a

current year and in one-year needles of the trees of the net was similar. Based on the analyses from 1995 it was established that the number of plots where trees grew in an area of increased sulphur emission was on the decrease. The number of lots where emissions were moderate and those in the areas of extremely increased SO₂ emission increased.

If the results of mineral nutrition in Slovenia are compared with those of similar investigations in Central Europe, it can be established that nutrition status greatly varies in Slovenia. The areas of foliar content are - compared with Czech and Austrian ones- the highest for phosphorous, potassium, calcium and sulphur. The average potassium, calcium and sulphur content values are also higher than in the neighbouring countries.

The investigations of mineral nutrition status in the 16 x 16 km bioindication net will be combined with other investigations carried out in 1995. A comparison of the results of macro-nutrients in foliar (tree leaves, needles) and soil samples as well as with other properties, a comparison with heavy metals' content in soils and foliar samples and results of forest decline inventory in the 16 x 16 km net in 1995 are in preparation. Such synthetic endeavours, together with foreign establishments, should open new aspects as to the relation between the causes and consequences of forest status and offer the concepts regarding the future implementing of forest monitoring in the 16 x 16 km Slovenian net.

7 VIRI

- ANON., 1993. Foliar Analysis Expert Pannel. Bruxelles, 12-13. Januar 1993, ICP - Forests.
- ANON., 1994a. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest.- PCC WEST, BFH, Hamburg, PCCe East, Jiloviste-Strnady, 177 s.
- ANON., 1994b. Foliar Analysis Expert Pannel.- As, March 6-7. 1994, ICP-Forests.
- ANON., 1995. Minutes of the 3rd Meeting of the Foliar Expert Panel Vienna, 7-8th November 1995, 6 s.
- ANON., 1996. 4th Meeting of the Foliar Expert's Panel, Meeting Document, 2nd Interlaboratory Test. LUA, Nordrhein-Westfalen, 36 s.

- BAULE, H. / FRICKER, C., 1978. *Đubrenje šumskog drveća*.- Beograd, Jugoslovenski poljoprivredno-šumarski centar, služba šumske proizvodnje, 223 s.
- BINKLEY, D., 1986. *Forest Nutrition Management*.- New York, John Wiley & Sons, 290 s.
- BOHN, L. H. / MCNEAL, B. L. / O'CONNOR, G.A., 1985. *Soil Chemistry*.- Second Edition, New York, John Wiley & Sons, 341 s.
- BREDEMEIR, M. / ULRICH, B. 1992. *Input/output -Analysis of Ions in Forests Ecosystems. Response of Forest Ecosystems to environmental changes*.- Proceedings of the First European Symposium on Terrestrial Ecosystems: Forest and woodlands. Florence, Italy, 20-24 may 1991. Elsevier Science Publishers LTD, Oxford, s. 229-243.
- FIEDLER, H.J. / THAKUR, S.D., 1985. *Wirkungen von Schwefeldioxid und Sauren Niederschlägen auf Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung in Waldökosystemen*.- Beiträge für die Forstwirtschaft 19,1, s. 25-34.
- GUSSONE, H.A., 1964. *Faustzahlen für Düngung im Walde*.- München, BLV Bayerischer Landwirtschaftsverlag, 98 s.
- HÖHNE, H., 1964. *Untersuchungen über die jahreszeitlichen Veränderungen des Gewichtes und Elementgehaltes von Fichtennadeln in jüngeren Beständen des Osterzgebirge*. Archiv für Forstwesen, 13, 7, s. 747-774.
- HÜTTL, R.F., 1991. *Die Blattanalyse als Monitoring - Instrument im Waldökosystem*. 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.
- HÜTTL, R.F., 1992. *Die Blattanalyse als diagnose- und Monitoringinstrument in waldökosystemen*.- Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, heft 30. Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre, Universität Freiburg, Freiburg im Breisgau, s. 31-59.
- JURC, M. / JURC, D. / GOGALA, N. / SIMONČIČ, P., 1996. *Air Pollution and Fungal Endophytes in Needles of Austrian pine*.- *Phyton* 36 (3), s. 111-114.
- 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. *et al.*, 1989. *Vpliv TE Šoštanj na tla in vegetacijo, I. Faza*.- Ljubljana, IGLG, 57 s.
- KALAN, J., 1990. *Obremenjenost gozdov z žveplom leta 1989*.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 36, s. 183-198.

- KALAN, J., 1991. Imisija žvepla leta 1990 na točkah 16 x 16 km bioindikacijske mreže Slovenije.- Ljubljana, GV, L XLIX, 5, s. 240-247.
- KALAN, J. / SIMONČIČ, P., 1994. Vpliv onesnaženega zraka na gozdna tla.- Zbornik s posvetovanja Varstvo zraka. Stanje in ukrepi za izboljšanje stanja v Sloveniji. Bled, 28.- 30. 3. 1994 ZTI - Zavod za tehnično izobraževanje Ljubljana, s. 14/1-14/13.
- KALAN, J. / KALAN, P. / SIMONČIČ, P., 1995. Bioindikacija onesnaženosti gozdov z žveplom na osnovi vsebnosti žvepla v asimilacijski delih gozdnega drevja.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 47, s. 85-116.
- KALAN, P., 1997. Vsebnost kovin v gozdnih tleh ter iglicah in listju gozdnega drevja na ploskvah 16 x 16 km mreže v Sloveniji. Ljubljana.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 52, s. 351-364.
- KNABE, W., 1984. Merkblatt zur Entnahme von Blatt- und Nadelproben für chemische Analysen. Allgem. Forst Zeitschr. 33/34, s. 847-848.
- KRAIGHER, H., 1991. Mineralna prehrana mikoriznih smrek na Pohorju.- Magistrsko delo, Biotehniška fakulteta, Oddelek za Biologijo, Ljubljana, 126 s.
- KOVAČ, M., 1997. Dosedanji koncept popisa propadanja gozdov in razvoj celostnega ekološkega monitoringa.- Ljubljana, Zbornik gozdarstva in lesarstva, 52, s. 23-52.
- 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.155-67.
- LANDMAN, G. / BONNEAU, M., 1995. Forest Decline and Atmospheric Deposition Effects in the Frech Mountains.- Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 461 s.
- REEMTSMA, B., 1964. Untersuchungen an Fichte und anderen Nadelbaumarten über den Nährstoffgehalt der lebenden Nadeljahrgänge und Streu. Göttingen, Hann. Münden.
- SCHULZE, E.D. / LANGE, O.L. / OREN, R., 1989. Forest Decline and Air Pollution.- Berlin, Springer-Verlag, 475 s.
- SIMONČIČ, P., 1995. Preskrbljenost gozdnega drevja z mineralnimi hranili na 16 km x 16 km bioindikacijski mreži.- Ljubljana, Zbornik gozdarstva in lesarstva 47, s. 117-130.
- SIMONČIČ, P., 1996. Odziv gozdnega ekosistema na vplive kislih odložin s poudarkom na preučevanju prehranskih razmer za smreko (*Picea abies* (L.) Karst.) in bukev (*Fagus sylvatica* L.) v vplivnem območju TE Šoštanj.-

Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo, Ljubljana, 156 s.

- SIMONČIČ, P. / KALAN, P., 1996. Annual Pattern of Sulphur Content in Spruce Needles from Heavily and Less Polluted Areas.- *Phyton* (Horn, Austria) 36 (3), s. 81-84.
- SMOLEJ I. / KUTNAR, L. / URBANČIČ, M., 1996. Izbor in priprava predela za celostni monitoring vplivov onesnaženega zraka na ekosisteme v Sloveniji.- Ljubljana, Zbornik gozdarstva in lesarstva, 49, s. 161-186.
- STEFAN, K., 1991. Hinweise zur Ernährungssituation der Fichte in Österreich. Zusammenfassende darstellungder Waldzustand-inventur Waldzustandsinventur Mitteilungen der Forstlichen FBVA.- Wien, FBVA, 166, s. 225-249.
- STEFAN, K. / FÜRST, A. / HACKER, R., 1997. Forest Foliar Condition Report, Survey 1995/1996, Proposal of draft report.- Vienna, FFCC, 144 s.
- TARMAN, K., 1992. Osnove ekologije in ekologije živali. Ljubljana, DZS, 547 s.
- ULRICH, B., 1986. Stoffhaushalt von wald-ökosystemen bioelement-haushalt.- Göttingen, Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen, 343 s.
- URBANČIČ, M., 1997. Temeljni izsledki pregleda gozdnih tal na Slovenski 16 x 16 kilometrski bioindikacijski mreži.- Ljubljana, Zbornik gozdarstva in lesarstva, 52, s. 223-250.