

E 386

INŠTITUT ZA GOZDNO IN LESNO GOSPODARSTVO
PRI BIOTEHNIŠKI FAKULTETI V LJUBLJANI

MARJAN ZUPANČIČ

VPLIV IMISIJSKIH VNOSOV
NA KORENINE GOZDNIH DREVES

Raziskovalna naloga

Ljubljana 1990

7

Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo
pri Biotehniški fakulteti v Ljubljani

Marjan ZUPANČIČ

VPLIV IMISIJSKIH VNOSOV NA KORENINE GOZDNIH DREVES

Raziskovalna naloga

Ljubljana, 1990



GOZDARSKA KNJIŽNICA

GIS K E
386 2



12014000247

GIS BF · GOZD.

COBISS e

Izvleček

ZUPANČIČ, M.: VPLIV IMISIJSKIH VNOSOV NA KORENINE GOZDNIH DREVES

Več lončnih poskusov z vzorci tal iz imisijskih goljav iz bližine Celja in Mežiške doline ni moglo dokazati, da dolgoletni in močni imisijski vplivi povzročajo poslabšanje tal in s tem poslabšanje pogojev za razvoj korenin. Neugodni vplivi imisij na tla in korenine gotovo obstojajo, vendar pri sedanjem propadanju gozdov verjetno nimajo odločilnega pomena. Poudarjen je pomen nega gozdnih tal. Podan je obširen pregled literature o koreninah gozdnih dreves.

Ključne besede: korenine, gozdno drevje, gozdna tla, vitalnost korenin, poškodbe korenin, imisijski vplivi, propadanje gozdov.

Abstract

ZUPANČIČ, M.: IMPACTS OF HEAVY INDUSTRIAL POLLUTION ON FOREST SOIL AND ROOTS

Several trials with young forest plants growing in soil samples from heavily polluted areas of Celje and of Mežiška dolina (Slovenia) have shown, that heavy and longlasting pollution does not necessarily mean a considerable deterioration of forest soil and root damages. Impacts of pollution on soil and root do not seem to be of importance as the primary cause for the forest decline. In spite of this finding tending of forest soil by silvicultural measures is indispensable. A comprehensive review of literature is included.

Key words: roots forest trees, forest soil, root vitality, root damages, forest decline, pollution.

Kazalo vsebine:		Stran
1	PREGLED PROBLEMATIKE PO LITERATURI	1
1.1	Splošno o koreninah gozdnih dreves	2
1.1.1	Koreninski sistem	2
1.1.2	Mikoriza	3
1.1.3	Vpliv okolja na rast in oblikovanje koreninskega sistema	5
1.1.4	Razporeditev korenin v tleh	6
1.1.5	Količina koreninske biomase	7
1.1.6	Pomen koreninske biomase za preživetje gozda v primerih naravnih ujm uničevanja gozda po človeku	8
1.2	Hipoteza prof.B.Ulrich-a o vplivu imisijskih vnosov na gozdna tla in korenine	10
1.3	Obremenjenost koreninskega prostora s tki.težkimi kovinami	14
1.4	Znaki poškodovanosti korenin in njihova kvantitativna ocenitev	16
1.5	Mineralno gnojenje kot ukrep za izboljšanje koreninskega prostora v razmerah propadanja gozdov	18
2	DOLOČITEV PROBLEMA	21
3	OPIS RAZISKAV IN REZULTATI	22
3.1	Poskus v loncih v drevesnici	22
3.2	Poskus s topolovimi potanknjenci v rastlinjaku	37
3.2.2	Rezultati	39
3.3	Poskus z vzorci tal z ohranjenim profilom	41
3.4	Poskus s topolovimi potaknjenci v t.i.minirizotronih	46
4	RAZPRAVA O REZULTATIH	48
4.1	Škode na koreninah gozdnih dreves zaradi imisijskih vnosov v tla	48
4.2	Imisijski vnosi v koreninski prostor kot možni primarni vzrok sedanjega propadanja gozdov	50
4.3	Gozdarske možnosti za nego koreninskega prostora in korenin	54
4.3.1	Uvod	54
4.3.2	Gozdnogojitvene možnosti za nego korenin in tal	55
5	POVZETEK	58
6	ZUSAMMENFASSUNG	61
7	LITERATURA	63

1 PREGLED PROBLEMATIKE PO LITERATURI

Raziskovanje korenin prav gotovo ne obeta lahkih in hitrih uspehov. Ne moremo jih neposredno opazovati, izkopavanje korenin je zelo težavno delo in sploh vse raziskovalne metode nam dajejo o koreninah le zelo nepopolno sliko. Vendar so korenine temelj, na katerem se gradi cela rastlina oz. drevo. Poslabšanje ali uničenje tal, ki služijo koreninski prostor, je danes eden od najhujših problemov človeštva in njegovega obstoja (erozija, širjenje nerodovitnega sveta itn.). Propadanje rodovitnih tal je toliko bolj usodno, ker je prava surovinska in energetska in tudi prehrambena kriza oz. lakota pred nami, ne za nami. Zato je toliko bolj pomembno, da vemo več o koreninah in o njihovih možnostih, da prodirajo tudi v globje in neizrabljene plasti tal, in nam tako odpirajo prepotrebne rezerve rodovitnosti tal, in ne nazadnje, da nam varujejo tla.

Število publikacij o koreninah, čeprav je razmeroma skromno, gre danes že v tisoče. Tudi Slovenci smo nekaj k temu prispevali. Omenim naj samo raziskave inž. Jožeta Miklavžiča, ki jih je po njegovi smrti zaključil dr. Janez BOŽIČ (1972), raziskave dr. Sonje HORVAT-MAROLT (1967, 1984), magistrsko delo in doktorsko razpravo na Biotehniški fakulteti v Ljubljani ABDUL-HADI 1981, 1983, 1983, in v zvezi s tem še delo ABDUL-HADI 1984 in nazadnje ZUPANČIČ 1985 in 1986.

Pomembne so raziskave sedaj že pokojnega zagrebškega profesorja Josipa ŠAFAR-ja o zračanju korenin, ki jih opisuje tudi v svojem učbeniku gojenja gozdov (1963) in ki jih je predstavil v svojih predavanjih študentom v Ljubljani.

Raziskovanje, ki ga tukaj predstavljam, bo doseglo svoj namen le, če bo pripomoglo k boljši negi drevesnih korenin oz. gozdnih tal.

Seznam literature je zaradi preglednosti urejen po posameznih poglavjih in naj tako služi tudi kot bibliografija.

Za gozdarske potrebe dobro odgovorja sistematizacija in poimenovanje morfološko različnih korenin, kot ga podaja KÖSTLER et al. 1968. Tukaj skušajmo narediti razdelitev le na dolge korenine in kratke korenine. Te korenine imajo različne morfološke in anatomske značilnosti in tudi različne fiziološke funkcije. Za dolge korenine, glavne in stranske, je značilno, da je konec korenine koničast in ima izrazito koreninsko kapico. Te korenine navadno tvorijo stalni del koreninskega sistema, in dosežejo tudi znatne debeline. Navadno poganjajo iz bližine koreninskega vratu in rastejo naglo v dolžino. Tudi kratke korenine se po potrebi spremenijo v dolge. Dolge korenine poganjajo iz debelejših matičnih korenin.

Kratke korenine so znane tudi kot drobne korenine. So najaktivnejši del koreninskega sistema pri sprejemanju hranilnih snovi in vode iz tal, pri sintezi hormonov in drugih aktivnih snovi. V nasprotju z dolgimi koreninami imajo okrogle koreninske kapice in na njih se navadno naselijo mikorize. Dosegajo največ nekaj cm dolžine in manj kot 1 mm debeline. Rastejo počasi in imajo kratko življensko dobo, od nekaj dni do nekaj let. Čim tanjša so, tem krajša je njihova življenska doba. Vzrok odmiranja drobnih ni znan, najbrž je izčrpanje hranilnih snovi v neposredni okolici, pa tudi razporeditev asimilatov v okviru rastline. Odmrle kratke korenine predstavljajo zelo pomemben del obnavljanja humusne snovi v tleh.

Koreninski laski se navadno pojavijo v ozkem pasu takoj za aktivno rastočim koncem korenin. Navadno se ne razvejajo. Obilneje se pojavljajo tam, kjer ni mikorize. Imajo pomembno vlogo pri sprejemanju hranil, posebno fosfatov.

1.2 Mikoriza

Mikorizo definiramo kot sožitje in živega tkiva korenin. Za gozdno drevje je pomembna predvsem t.i. ektomikoriza, ki kot obloga obdaja kratke koreninice in s svojimi hifami prodira med celice koreninskega korteksa, in se tam kažejo kot t.i. Hartigova mreža. Drugi tip mikroze, to je endomikoriza, je manj opazen. Hife prodirajo pri tem v same celice koreninskega korteksa, ne samo v prostore med celicami.

Kroženje hranil v koreninah-z mikorizo in brez nje še ni dovolj pojasnjeno. S poskusi je bilo večkrat dokazano, da ektomikoriza pospešuje zbiranje ogljikovih hidratov v koreninah (HERMANN 1977). Sicer po splošnem prepričanju mikoriza daje vrsto prednosti: večja učinkovitost pri črpanju hranil, predvsem fosforja, pa tudi vode; mikoriza preprečuje napade patogenih organizmov s tem, da tvori fizično pregrado in da izloča antibiotike; ugodno vpliva na razvoj drobnih korenin in povečuje njihovo življenjsko dobo in zmožnost funkcioniranja; prestreza t.i. težke kovine, jih vgradi v svoje hife in jih tako vsaj za nekaj časa prepreči njihovo toksično delovanje (DONNER in HEYSER 1989). S svojo biomaso mikoriza celo znatno prispeva k organski snovi oz. humusu v tleh (FOGEL 1980).

Nas zanima predvsem, kako se razne motnje in vnosi v koreninskem prostoru poznajo na razvitosti in vitalnosti mikorize. Cela vrsta avtorjev vidi povezavo med slabim uspevanjem gozda in stanjem mikorize. Slabo vitalna mikoriza pomeni torej tudi slabo uspevanje gozda. (BLASCHKE 1986, AGERER et al. 1986, JAKUCS 1988, HASELWANDTER in BERRECK 1989, GLASER 1987, in drugi). GÖLBL 1988 vidi v razvitosti in vitalnosti mikorize kazalec za (indikator) za sodobno propadanje gozdov. Da stvari niso ravno preproste, naj opominja razprava KOTTKE in OBERWINKLER 1986. Tako lahko drevo v stresnih razmerah, npr. v suši, tvori veliko drobnih koreninic, na katerih ne manjka mikorize, kar daje lahko napačen vtis vitalnosti mikorize in celega drevesa. Razmerje med številom mikoriziranih drobnih koreninic in njihovo suho težo naj bi bilo primeren kazalec za stopnjo mikoriziranosti in s tem tudi za vitalnost drevesa, ne pa pogosto uporabljano število aktivnih koreninskih konic na 1 liter tal. Presojanje prizadetosti gozda po stanju mikorize je po ugotovitvah omenjenih avtorjev dovolj zapleteno in varovati se moramo pre nagljernih zaključkov. Kot ugotavlja LETGEB 1989, mineralno gnojenje ni vedno koristno za razvitost mikorize. Neko zmerno pomanjkanje hranil v tleh celo koristi mikorizi.

Zanimivo in pomembno je vprašanje obligatnosti mikorize. MEYER 1987 ugotavlja v zvezi z inventurami poškodovanosti gozda, da so manj poškodovane tiste vrste, ki so manj odvisne od prisotnosti in dobre razvitosti ektomikorize in ki lahko še razmeroma dobro uspevajo tudi brez nje npr. javor, jerebika, jelša, breza, topol, vrba. SCHÖPFER 1987 analizira rezultate inventur poškodovanosti gozda in ugotavlja, da je najmanj poškodovan javor,

najbolj pa hrast. Znano je, da razne vrste javorja nimajo obligatne ektomikorize, torej lahko dobro uspevajo tudi brez ektomikorize. Nasprotno je pa hrast zelo odvisen od prisotnosti in razvitosti ektomikorize.

Zaključek iz tega je jasen: prizadetost koreninskega prostora pomeni prizadetost mikorize. Drevesne vrste so toliko bolj prizadete, kolikor bolj so odvisne od mikorize. HEYSER et al. 1988 tudi spravlja poškodovanost drevesnih vrst zaradi novodobnih škod v zvezo z obligatnostjo ektomikorize in ugotavljajo, da je mikoriza pri tem ranljiva točka in čim manj je uspevanje neke vrste odvisno od razvitosti in vitalnosti mikorize, tem manj je ogrožena. Tako se dobro obnesejo botanični rodovi *Acer*, *Aesculus*, *Fraxinus*, *Populus*, *Salix*.

1.1.3 Vpliv okolja na rast in oblikovanje koreninskega sistema

Začetni razvoj koreninskega sistema je močno odvisen od genetskih faktorjev. Pri različnih proveniencah iste drevesne vrste se razlike v razvoju korenin kažejo le v prvih letih življenja, kasneje jih faktorji okolja popolnoma prekrijejo. Koreninski sistem se mora prilagoditi razmeram v tleh, konkurenci v koreninskem prostoru itn. Faktorji okolja, posebno če so ekstremni, tako sploh prekrijejo dedno pogojene značilnosti posameznih drevesnih vrst in ne samo provenienc.

Za gozdarsko prakso je pomembno vedeti, da je zmožnost korenin, da prodirajo v zbita tla, omejena (LEIBUNDGUT et al. 1963, LEIBUNDGUT in DAPHIS 1961, 1964). Pri gostoti tal $1,59 \text{ g/cm}^3$ rast korenin v globino preneha. Problem zbitosti tal je postal posebno pomemben zaradi uporabe težke mehanizacije v gozdu. (HILDEBRAND 1983).

Tudi temperature tal močno vplivajo na rast korenin. Optimalna temperatura tal je okoli 20°C . Take temperature se pri nas le redkeje pojavljajo. Sicer korenine rabijo vsaj $+2^\circ\text{C}$, da morejo rasti. Pri $+35^\circ\text{C}$ v tleh rast korenin preneha. Dolgotrajnejše visoke temperature tal povečajo respiracijo v koreninah in tako neugodno vplivajo na rast korenin in cele rastline.

Poseben stres predstavlja poletna izsušenost tal. Tako se navadno sredi poletja močno zmanjša aktivnost korenin kot posledica izsušenosti tal. Zmerna izsušenost še vzpodbuja rast drobnih kratkih korenin in s tem možnost sprejemanja vode. Močna izsušenost tal drobne kratke korenine tako oslabi, da se ne opomorejo več in odmro.

Na drugi strani preobilje vode v tleh tudi deluje neugodno, predvsem zaradi anaerobnih razmer v tleh. Anaerobnim razmeram se nekatere drevesne vrste razmeroma dobro prilagodijo (npr. črna jelša). Druge drevesne vrste s koreninami lahko dolgo vztrajajo v poplavni ali talni vodi, če je ta tekoča ali vsaj rahlo gibajoča se in ima tako v sebi vsaj nekaj razstopljenega zraka oz. kisika. Stoječa in stalno mirujoča voda v tleh pa pomeni nezdrave močvirne razmere, kjer drevesna rast ni možna.

Revnost in suhost tal terja intenzivnejši koreninski sistem, da lahko rastlina preživi. Rastlina mora torej večji del svojih moči investirati v koreninski sistem, zato jih manj ostane za nadzemni del. Temu primerno počasna je rast rastline in temu primerno je večji delež korenin pri celotni biomasi rastline. To spoznanje so potrdile že mnoge raziskave, npr. tudi ABDUL-HADI in ZUPANČIČ 1984.

1.1.4 Razporeditev korenin v tleh

Pri naših gozdnih drevesnih vrstah se korenine držijo v glavnem v globini do 50 cm v tleh. Globlje navadno dobimo le malo korenin. Kot navaja DECEL 1987, se 70% vseh drevesnih korenin nahaja v plasti tal do 40 cm globine, izpod 100 cm globine pa le 1 - 2% korenin, merjeno po njihovem volumnu.

Plitvo zakoreninjenje na sicer globokih tleh pomeni fiziološko plitvost tal in v takih primerih je zelo potrebna nega tal in pospeševanje drevesnih vrst, ki zmorejo kljub neugodnim razmeram tudi globlje koreniniti. Zelo energično prodiranje korenin v globino kaže jelka (*Abies alba*), ki pa je žal odpisana drevesna vrsta. Med vrste, ki s koreninami razmeroma dobro prodirajo v goste talne plasti, v neugodna psevdoglejena in oglejena tla spadajo med drugim jelše, in sploh vrste, ki jih dobimo med drugim v t. im. logih trdih listavcev oz. na neugodnih tleh z zastajajočo vodo (jesen, brest, hrast, lipa).

Največja globina, ki jo utegnejo doseči korenine naših drevesnih vrst, je okoli 6 m. Vendar so to le izjemni primeri na izredno ugodnih rahlih tleh. Na ravninah z rahlimi sedimentnimi tlemi drevesne korenine segajo največ 4 m globoko. Če k temu prištejemo še največ 1 m kapilarnega dviga vode, potem je talna voda, ki je globlje od 5 m v tleh, za drevesne korenine v vsakem primeru nedosegljiva. Sicer na naših navadnih gozdnih rastiščih drevesne korenine segajo največ 120 cm globoko (LEHNHARD in BRECHTEL 1980). Največjo globino drevje navadno doseže že okoli 30 leta življenja.

Širjenje korenin v horizontalni smeri gre navadno daleč čez projekcijo krošnje. Posebno daleč naokrog razrašča svoje korenine rdeči bor, tudi do 25 m. od debla. Za duglazijo je znano, da se s koreninami ne razrašča posebno daleč od debla. Ta zmožnost razraščanja korenin v horizontalni smeri s starostjo drevesa popušča. Lahko merljiva količina je gostota prekoreninjenosti tal. Najpogostejše so korenine v zgornjih 40 cm tal, nato se naglo zmanjša. Zmožnost gostega prekoreninjenja s starostjo dreves tudi popušča, sicer doseže svoj višek pri smreki pri 100 - 110 letih, pri boru pri 60 - 70 letih (HERMANN 1977).

1.1.5 Količina koreninske biomase

Ugotavljanje količine koreninske biomase je gotovo zelo težavna zadeva. Pobudo zanje so dale tudi ekspoziacijske težnje, po katerih naj bi iz gozdnih tal ruvali panje in jih uporabili kot lesno maso. Nad takim početjem se ne moremo navduševati, ker bi to pomenilo grobo pustošenje gozda, pa tudi sicer ne bi imelo gospodarskega smisla. Za ugotavljanje koreninske biomase in njenega deleža pri biomasi gozda uporabljajo raziskovalci vse mogoče dendrometrijske prijeme, enačbe, funkcije, regresivne modele itn. Problematično je že samo izkopavanje ali puljenje korenin, pri čemer predvsem drobnejše korenine ostanejo v tleh. Na splošno lahko smatramo, da pri odraslem drevesu koreninska biomasa predstavlja ca 20% vse drevesne biomase (ASSMANN 1961, DECEI 1987). Seveda je ta delež odvisen od drevesne vrste, starosti in tudi od rastišča. Na slabih rastiščih mora biti delež koreninske biomase večji, da lahko drevo preživi. Največji delež koreninske biomase je pri semenkah gozdnih dreves, približno 50%. Po tretjem letu starosti se ta delež začne zmanjševati in pri odraslih drevesih dosega vrednosti od 10 do 26%.

Ne smemo pozabiti tudi na prirastek koreninske biomase, ta znaša pri odraslih drevesih poprečno 10-15% vsega prirastka biomase. Pri tem moramo ločiti brutto in netto prirastek, pri čemer brutto prirastek obsega tudi odmrle korenine in izgubo biomase zaradi respiracije korenin. V teku ene rastne dobe imamo znatna nihanja netto koreninske biomase, ki nastaja zaradi odmiranja korenin in tvorbe novih. Na težavnejših rastiščih, kjer je priraščanje na sploh manjše, so tudi ta nihanja majhna. Kot navaja HERMANN 1977, je brutto prirastek koreninske biomase v bukovem sestoju v najboljšem primeru 2700 kg/ha suhe snovi. Od tega moramo odšteti 200 kg na račun odmrlih korenin in 900 kg na račun respiracije, tako da netto prirastek znaša 1600 kg/ha. Kot navaja isti avtor, se respiracijske izgube zmanjšujejo pri drevesih večjih dimenzij. To potrjuje staro spoznanje, da je gozd polnovreden le, če ima drevesa dovolj velikih dimenzij.

Znaten del drobnih korenin odmira in se ponovno obnavlja, tako da odmrla koreninska biomasa pomeni 30% do 50% vse odmrle biomase drevesa, kot so odpadle iglice, listi, suhe veje. Odmiranje drobnih korenin je znaten doprinos k tvorbi humusa v tleh in k rodovitnosti tal sploh. Temu primerna ekološka in seveda tudi gospodarska škoda nastaja, če gozd spremenimo v golosek ali celo goljavo.

1.1.6 Pomen koreninske biomase za preživetje gozda v primerih naravnih ujm in uničevanja gozda po človeku.

Pri tem mislimo predvsem na sposobnost drevesa, da pri večji ali manjši uničenosti nadzemnega dela požene poganjke iz panja ali plitvejših korenin. Tako drevo uporabi rezerve, ki jim ima v koreninski biomasi. Koreninska biomasa je skrita v tleh in tako razmeroma dobro zavarovana pred raznimi uničenji (ogenj, suša, paša, sekira). Sposobnost poganjanja iz panja oz. iz koreninske biomase imajo mnoge listavske vrste (glej literaturo ALIKALFIĆ 1971, LUST in MOHAMMEDI 1973), predvsem na ugodnejših, dovolj toplih in vlažnih rastiščih, pa tudi na neugodnih suhih rastiščih. Brez te zmožnosti vegetativne regeneracije bi bila vsa subaridna rastišča, ki so na svetu od vseh najbolj razširjena, danes še mnogo bolj gola in

pusta, kot že so. To velja tudi za naš jugoslovanski kras, in sploh za velik del Jugoslavije. Tako je bilo možno, da so v Jugoslaviji po prepo-
vedi paše koz l. 1953 obširni opustošeni bregovi z revnimi ostanki gozdne-
ga rastja spet lepo ozeleneli.

Hkrati je na srečo pojenjal tudi pritisk prebivalstva, ki je bil glavni
vzrok slabega stanja gozda. Danes imamo žal ponovno opraviti z nazado-
vanjem, črede koza spet spreminjajo ozelenele bregove v goljave.

Na problem vegetativne regeneracije iz koreninske biomase je opozoril
MLINŠEK 1980, pri nas so ga še obravnavali ABDUL-HADI 1983, ABDUL-HADI
in ZUPANČIČ 1984. Koreninska biomasa prodira globoko v tla, tudi v skalne
razpoke, na revnih rastiščih odpira nujno potrebne zaloge vlage in hranil
v tleh in povečuje dosegljivi volumen tal. Kjer iskra življenja v korenin-
ski biomasi še ni ugasnila in kjer je še možno poganjanje iz panja ali iz
plitvih korenin, tam se da gozd obnoviti naravno kljub težavnim razmeram.
Pogozdovanje je v subaridnih delih sveta, kjer navadno vlada še nerazvitost
in revščina, preveč drago; poleg tega manjkajo strokovni temelji, saditveni
material itn. Življenja sposobna koreninska biomasa, ki jo v takih razme-
rah še najdemo, predstavlja dragoceno investicijo narave, ki je nastajala
v dolgih desetletjih, katere ne smemo zanemariti ali celo uničiti.

Kako dobrodošlo je poganjanje iz panjev, pa tudi sicer obraščanje polomlje-
nih drevesnih krošenj, smo lahko videli po velikem žledolomu v Brkinih v
novembru 1980. Kljub velikemu razdejanju so se po nekaj letih rane že
lepo zacelile.

1.2 HIPOTEZA prof.B.ULRICH-a O VPLIVU IMISIJSKIH VNOSOV NA GOZDNA TLA IN KORENINE

V začetku osemdesetih let, ko se t.i. umiranje gozda vzbudilo veliko vznemirjenost, se je zelo uveljavila hipoteza prof. Ulrich-a iz Göttingena v Zahodni Nemčiji, ki vidi glavni vzrok sedanjega propadanja gozdov predvsem v kisljih imisijskih vnosih v gozdna tla in v posledicah teh vnosov na korenine in na ves gozd. To hipotezo naj tukaj na kratko predstavim. Obširneje jo predstavlja avtor sam v številnih publikacijah (glej seznam literature!).

Človek je s svojim vplivom že vedno povzročal degradacijo gozdnih tal in s tem njihovo zakisanje in osiromašenje. Krčenje gozdov, ki se je v Srednji Evropi posebno razmahnilo v zgodnjem srednjem veku, je že pomenilo tudi izpiranje in izgubo hranil iz gozdnih tal in s tem njihovo zakisanje. Zaradi kasnejše regeneracije gozda in umnejše izrabe tal posledice niso bile toliko tragične. Vendar z nastopom industrializacije pred približno 150 leti je nastopila tudi nova nevarnost, to je emisija prahu in plinov, ki v suhi obliki ali s padavinami pridejo v gozdni ekosistem, kjer delujejo kislje in povzročajo postopno zakisanje gozdnih tal. Neugodni vplivi teh vnosov v gozdni ekosistem se je dolgo čutil le v okolici velikih industrijskih središč in niso vzbujali splošne pozornosti. Po letu 1950 se je vpliv onesnaženja zraka s kisljimi delujočimi plini (SO_2 , NO_x itn.) skokovito povečeval in je dosegel katastrofalne razsežnosti v t.i. socialističnih državah. Pa tudi v najnaprednejših in najbolj razvitih evropskih državah ta problem danes nikakor ni rešen. T.i. kislji dež oz. kislji vnosi v tla so danes problem svetovnih razsežnosti (RHODE 1989). Raziskovanje v znanem projektu "Solling" v bližini Göttingena kažejo po navedbah prof. Ulricha, da vsi dosedanji kislji vnosi v gozdna tla od začetka industrializacije do danes pomenijo izpiranje in izgubo 1200 - 6800 kg kalcija in magnezija na hektar. Toliko teh bazičnih kemičnih elementov bi bilo potrebno, da bi nevtralizirali dosedanje kislinske vnose v gozdni ekosistem, ki nastajajo zaradi onesnaženja zraka oz. zaradi požiganja fosilnih goriv. Da se je zakisanost gozdnih tal v Srednji Evropi v zadnjih desetletjih povečala, kažejo številne raziskave (BERDEN et al. 1987, BUTZKE 1981, DÄSSLER in

RANFT 1989, EVERS 1983, GLATZEL 1985, 1989, HILDEBRAND 1986, PELIŠEK 1983, 1984, POKORNY 1985, TAMM in HÄLLBÄCKEN 1988, ULRICH in MEYER 1987 itn.).

Zakisanje, ki prodira vedno globje v tla, pomeni predvsem izpiranje bazičnih hranilnih elementov, predvsem izpiranje Ca, Mg, K. Na njihovem mestu se potem pojavljajo toksično delujoči aluminijevi ioni. Z nadaljnjim zakisanjem tal se uveljavljajo tudi železovi ioni in sploh t.im. težke kovine prehajajo v topno obliko. Vse to zelo neugodno vpliva na drevesne in druge korenine, ki se ne morejo več razvijati v zastrupljenih globjih plasteh tal, ampak le še v zgornjih bolj humoznih plasteh tal, kjer humus oz. organska snov v tleh ublažuje vplive kislih vnosov. Posledica tega je plitvejše zakoreninjenje gozdnih dreves, njihova slabša stojnost, njihova večja občutljivost na sušo, slabša olistanost drevesnih krošenj in sploh propadanje gozda.

Ta razvoj naj bi se po trditvah prof.Ulricha v nemških sredogorjih začel na velikih površinah že konec šestdesetih let. Odvisno od krajevnih razmer in imisijskih obremenitev je zaradi tega prišlo do večjega ali manjšega propadanja gozdov na velikih površinah. Ta proces degradacije tal se sicer ustavi pri zelo veliki kislosti tal, ko se vzpostavi neke vrste ravnotežje, ki ga vzdržujejo tudi bazični imisijski vnosi (alkalno delujoče prašne primesi zraka ipd.). V takih razmerah lahko v najboljšem primeru uspeva le zelo reven gozd. Zakisanje tal s škodami, ki mu sledijo, po avtorjevi hipotezi nastopa v sunkih. Položaj se sukovito poslabša v suhih in vročih poletjih, popravlja se v hladnih in vlažnih letih. Posebno kritična je pri tem preskrba gozdnega drevja s hranili, kot je Ca, Mg, K. Samo apnenje gozdnih tal je zato premalo, zato avtor priporoča gnojenje s karbonatnim ali silikatnim apnom, ki vsebuje tudi dovolj Mg in po možnosti tudi druge biogene elemente. Sicer od apnenja oz. od mineralnega gnojenja ne smemo pričakovati preveč, to naj bi bil le prvi korak k izboljšanju razmer v tleh in s tem naj bi pospešili globje prekoreninjenje tal.

Pomembni so tudi vnosi dušika v gozdna tla. Avtor ceni, da gozd v Srednji Evropi dobi letno 20-40 kg čistega dušika na hektar v obliki imisijskih vnosov, kar pomeni več, kot so potrebe gozda po dušiku. Višek dušika oz. nitratov v tleh utegne ogrožati tudi talno in pitno vodo.

Kot gozdarski ukrep proti posledicam postopnega zakisanja in siromašenja gozdnih tal avtor priporoča predvsem zelo skrbno nego gozdnega humusa. Mineralizacija humusa nikakor ne sme biti prehitra, kar pomeni, da mora biti sklep krošenj v gozdu primerno gost in sklenjen. Tudi redčenja naj bodo zato zelo zmerna in previdna. Celotno sicer nezaželeno talno florano je dobrodošla, da na nezasenčenih gozdnih tleh vgrajuje hranilne elemente vase in s tem preprečuje izgubo in izpiranje teh elementov. Avtor zato odločno odklanja uporabo kakršnih koli herbicidov proti talni flori. Odločno odklanja vsako grobo gospodarjenje z gozdom in tudi odločno odsvetuje vsako izrabo t.i. sečnih ostankov oz. drobne biomase, ki vsebuje v sebi razmeroma zelo veliko hranilnih elementov, ki morajo ostati v kroženju v gozdnem ekosistemu. Seveda je izredno škodljivo vsako steljarjenje ali podobno siromašenje gozda.

Prof. Ulrich je svojo hipotezo predstavil v mnogih publikacijah in je z njimi ustvaril vtis velike dramatičnosti položaja. To je bila vzpodbuda za mnoge raziskave, od katerih mnoge gotovo podpirajo hipotezo prof. Ulricha. Tako je HILDEBRAND s pomočjo arhiviranih vzorcev tal dokazal, da so v zadnjih 20 letih nastale v adsorpcijskem kompleksu tal neugodne spremembe, kot jih predvideva hipoteza prof. Ulricha. LEONARDI in FLÜCKIGER 1988 sta v laboratorijskem poskusu dokazala, da t.i. kislota megla, kjer vodne kaplice nosijo s seboj kislo sestavino onesnaženega zraka podobno kot je to pri kislem dežju, izpira bazične hranilne elemente iz listov dreves oz. rastlin. Drevo je tako prisiljeno, da črpa več bazičnih hranilnih elementov iz tal, v zameno pa korenine izločajo kisloto delujoče vodikove ione v tla. Tako onesnaženje zraka posredno prispeva k zakisanju tal. Mnogi avtorji iz imisijsko opustošenih vzhodnih delov Evrope (Poljska, Čehoslovaška, Vzhodna Nemčija, Madžarska itn.) tudi zaupajo Ulrichovi hipotezi, npr. JAKUCS 1988.

Da kisli imisijski vnosi z vso svojo škodljivostjo v resnici obstojajo, se lahko prepričamo s pomočjo t.i. odtoka po deblu (nem. Stammabfluss, ang. Stemflow). Znano je namreč, da gozd kot filter nalovi v svojih krošnjah veliko sestavin onesnaženega zraka. S tem sicer čisti zrak, toda pri tem žal propada. Kar se odlaga v krošnjah oz. na listih in iglicah, dež izpira v gozdna tla. Pri bukvi in tudi pri drugih listavskih drevesnih vrstah krošnja s svojo arhitekturo deluje kot lijak, ki zbira padavinsko vodo

z vsem, kar voda nosi s seboj. Tako zbrana voda potem po deblu v večjih količinah odteka v tla neposredno ob deblu drevesa. Tla ob drevesnih deblih, ki so obremenjena s takim odtokom, kažejo zato navadno močno povečano obremenitev s kislimi vnosi in tudi s t.im. težkimi kovinami in drugimi sestavinami imisij, ki jih s seboj prinesejo padavine in ki jih padavine izperejo iz drevesnih krošenj. Tako lahko pride celo do umiranja talne flore ob drevesnih deblih. Za taka opazovanja posebno primerna drevesna vrsta je bukev, ki s svojo krošnjo navadno zelo dobro lovi padavine in ki ima gladko skorjo, po kateri zbrana voda dobro odteka. O tem obstoja že obširna literatura (GLATZEL et al. 1983, GLATZEL in KAZDA 1985, GLAVAČ et al. 1985, HÜTTERMANN et al. 1982, HÜTTERMANN 1983, JOCHHEIM in SCHÄFER 1988, LINDEBNER 1989, PAPRITZ 1987, SCHULTE in SPITELLER 1987, HOFSTETTER et al. 1990 itn.).

Kljub vsemu, kar govori za Ulrichovo hipotezo, si z njo le ne moremo zadovoljivo pojasniti t.i. umiranja gozdov. Npr. gozd propada tudi na izrazito bazični oz. apnenčasti kameninski podlagi, kjer kakšnega omembe vrednega zakisanja tal sploh ni. Torej glavni vzrok propadanja gozdov ne more ležati v imisijski obremenjenosti tal z vsemi posledicami, pač pa preje v neposrednem delovanju onesnaženega zraka in kisljih padavin na liste in iglice drevesnih krošenj. Kritično obravnava Ulrichovo hipotezo REHFUESS 1989, ki vidi vzroke propadanja gozdov v skupnem delovanju onesnaženja zraka in neugodnih vremenskih dogajanj (hude poletne suše, hudi zimski mrazi, nenadni močni padci temperature v zimskem času itn.). O vplivu neugodnega vremena na gozd, ki je že oslabjen zaradi imisij, razpravljajo tudi DÄSSLER in RAUF 1986, BOSCH in REHFUESS 1988, PRIMAULT in FRANKHAUSER 1988, PFISTER et al. 1988, MAYER et al. 1988.

1.3 OBREMENJENOST KORENINSKEGA PROSTORA S TKI. TEŽKIMI KOVINAMI

Mnogi avtorji, ki se ukvarjajo s tki. propadanjem gozdov, govorijo stalno o kislih vnosih v gozdna tla. Malo je govora o drugih imisijskih vnosih v gozdna tla, ki niso nujno kisli. Industrija in drugi onesnaževalci ne spuščajo v zrak samo kisle delujočih SO_2 in NO_x , pač pa tudi prašne delce zelo različne sestave in kemičnih lastnosti. Med kemičnimi elementi v teh prašnih delcih najdemo zelo dobro zastopane t.i. sledovne elemente, ki jih sicer najdemo v naravi v neznatnih, komaj ugotovljivih količinah. Med te spadajo predvsem t.i. težke kovine. Tako razne topilnice cinka, svinca, bakra itn. pošiljajo v zrak prah z znatnimi količinami Zn, Cd, Cu, Pb, Ni, Fe. V zraku industrijskih mest lahko pričakujemo še V, Mn, Cr, Ni, Co, Li, Na, As, Br, Cl, Hg, Sb, Sl. Od teh se Br, Cl in Hg tudi vplinjajo. Vir teh sledovnih elementov in težkih kovin je lahko tudi naraven (raznašanje prahu s površine zemlje, raznašanje soli z obale morja, vulkanizem itn.). Vendar omembe vredni viri so industrijski dimniki, industrijska odlagališča (npr. pepel termoelektrarn, avtomobilski izpuhi, obraba avtomobilskih delovin gum, vsa kurišča na premog ali nafto, termoelektrarne, vsi izgorevalni procesi pri visokih temperaturah, metalurški obrati itn. Sledovni elementi in težke kovine nastopajo v različnih kombinacijah, pogosto skupaj z SO_2 . Tako prihaja tudi do tvorbe sulfatov in sploh topnih snovi v aerosolih. Zelo strupeni Cd je reden spremljevalec cinka in verjetno tudi svinca. Celo s pesticidi, umetnimi gnojili, laki in barvami, spravljamo v tla in rastline, Pb, Cd, Hg.

Analize ekosistemov kažejo, da se mnogi od teh sledovnih elementov oz. težkih kovin nabirajo v tleh, predvsem Pb, As, Cd (ORMROD 1984, VESELY 1987, THORMANN 1986, ZÖTTL 1987, GRODZINSKI et al. 1984). Na in Mn kažeta večjo nagnjenost k izpiranju iz tal.

Da onesnaževanje s sledovnimi elementi oz. s težkimi kovinami ni ravno malenkostno, kažejo tudi analize deževnice, ki odteka po drevesnih deblih. (glej poglavje 1.1.7). To je tudi dober način, da vnose težkih kovin odkrijemo in dokažemo. Sicer se omenjeni sledovni elementi oz. težke ko-

vine nahajajo predvsem v zgornjih plasteh tal in ne kažejo posebne nagnjenosti k izpiranju v globino, razen v razmerah močne zakisanosti tal, ko prehajajo t.i. težke kovine, predvsem Fe, v topno in za rastline toksično obliko. V rastline prehajajo predvsem preko tal in korenin, manj neposredno skozi liste. Rastline jih skušajo imobilizirati že z vgraditvijo v celične stene koreninskega tkiva. Koncentrirajo se tudi v mikoriznih hifah, vežejo se tudi humus v tleh in na sorpcijskih kompleks tal (ORMROD 1984). Pomembno je, da teh nezaželenih kemičnih elementov v glavnem ne najdemo v plodovih, kar je pomembno za uporabnost plodov. Več jih je v listih in še več seveda v koreninah. Sicer se sledovni elementi oz. težke kovine kopičijo v končnih členih prehranjevalnih verig in tako ogrožajo tudi človeka. V prevelikih koncentracijah delujejo na rastline toksično s tem, da ovirajo fotosintezo, zmanjšujejo rast, motijo delovanje listnih rež, povečujejo prepustnost celičnih membran itn. Izrazitih simptomov zastrupljenja s težkimi kovinami oz. sledovnimi elementi v glavnem ne poznamo, ker ne nastopajo kot dobro spoznavne kloroze ipd., poleg tega jih navadno prekrivajo simptomi drugih imisijskih škod. Možne so poškodbe na koreninah (pospešeno odmiranje drobnih korenin, motnje pri razvoju mikorize ipd.). Možni so sinergistični učinki, recimo med Pb in Cd, razni antagonistični učinki v tleh in s tem motnje pri prehrani rastlin (ORMROD 1984).

Težke kovine in sledovni elementi postanejo problem zlasti, če uporabljamo v kompost predelane hišne odpadke (Müllkompost) kot gnojilo v gozdu, ali če gnojimo s kanalizacijskim blatom (Klärschlamm). Ti odpadki civilizacije sicer vsebujejo veliko dragocenih hranil in organske snovi, toda žal so preveč zmešani z odpadki, ki vsebujejo težke kovine in druge nezaželjene primesi. (glej GRÜNEKLEE et al. 1989, KAHLE et al. 1989). Sicer so težke kovine in sledovni elementi nevarni predvsem v kmetijstvu pri pridelavi hrane. Tudi če njihova fitotoksičnost ni opazna, prehajajo v rastlinsko tkivo, ki je tako neuporabno za živinsko krmo in za prehrano sploh. Zaradi imisij težkih kovin je pri nas močno prizadeto kmetijstvo in rodovitna tla v okolici Celja (glej raziskave prof.dr.F.Lobnika).

Vzorci, ki smo jih uporabljali pri naših raziskavah, so z njimi nedvomno z njimi močno obremenjeni, kot je to pričakovati v bližini zastarele in umazane metalurške inudstrije v izrazitih imisijskih območjih. Zahtevnih in dragih kemičnih analiz glede vsebnosti težkih kovin in sledovnih elementov pa žal nismo mogli izvesti.

1.4 ZNAKI POŠKODOVANOSTI KORENIN IN NJIHOVA KVANTITATIVNA OCENITEV

Prof. Ulrich v svoji hipotezi vidi glavne vzroke za propadanje gozdov v koreninskem prostoru. Neugodne posledice zakisanja tal naj bi se tako poznale na drevesnih koreninah: korenine naj bi ne prodirale globje v mineralne horizonte oz. odmirale, če se tam nahajajo. Sicer naj bi se prizadetost gozda kazala v razmeroma skromnem številu aktivnih in rastočih koreninskih konic, v slabši razvitosti in hitrejšem odmiranju drobnih koreninic, v slabši razvitosti mikorize. Spremenjena naj bi bila tudi kemična sestava koreninskega tkiva, manjši naj bi bil delež bazičnih hranilnih elementov (Ca, Mg, K, Mn) in na večji delež Al. Vse to naj bi zmanjševalo sposobnost korenin za črpanje vode in mineralnih snovi iz tal, in tako odpornost dreves na sušo. (ULRICH 1986).

Ta opažanja prof. Ulricha vsaj delno potrjujejo mnogi raziskovalci iz Srednje Evrope in tudi iz Skandinavije (PUHE et al. 1986, ASCHE in FLÜCKIGER 1987, MEYER 1985, 1987, MURACH 1983, BLASIUS et al. 1985, HÜTTERMANN 1983 GÄRTNER et al. 1989, HÜTTERMANN et al. 1982).

Samo po sebi umevno je, da drevo s poškodovanimi koreninami slabše uspeva kot drevo z zdravimi koreninami. Vendar ni lahko najti korelacije (soodnosnost) med stanjem korenin in splošnim uspevanjem drevesa, pa čeprav skoraj ne moremo dvomiti o obstoju te korelacije (prim. BOŽIČ 1972). To kaže na vso zapletenost raziskovanj v gozdu, kjer se talne razmere spreminjajo takorekoč na vsakem koraku, kjer vsako drevo kaže svoje posebnosti.

Za ugotavljanje zdravja in vitalnosti korenin uporabljamo tudi kemične analize rastlinskega tkiva (STIENEN 1986, MURACH 1983). Poleg analize vsebnosti Ca, Mg, K, Mn, Zn, Al in še kakšnega kemičnega elementa so zanimive tudi analize vsebnosti škroba in drugih organskih snovi (npr. ASCHE in FLÜCKIGER 1987). Bolj dostopna so morfološka opažanja na koreninah. Posebno pozornost zaslužijo drobne korenine pod 2 mm debeline, tako dolge kot kratke. Drobne korenine sprejemajo vodo in hranila iz tal in tako odločilno vplivajo na uspevanje drevesa. Pomembne so aktivne koreninske konice, ki rastejo in v katerih poteka sinteza nekaterih pomembnih snovi. Te rastoče koreninske konice spoznamo po svetli barvi, torej niso suberizirane.

Število rastočih turgescentnih koreninskih konic na 1 g sveže teže drobnih korenin kot merilo za prizadetost koreninskega prostora predlagajo EICHHORN et al. 1988. Stanju drobnih korenin pripisujejo velik pomen tudi MURACH 1983, 1984, BLASIUS et al. 1985. MEYER 1987 pripisujejo velik pomen razvejanosti drobnih korenin, kar skuša zajeti z "indeksom razvejanosti". Sicer se razvejanost korenin v teku rastne dobe močno menja, kar seveda povzroča negotovosti. Manjša razvejanost pomeni manj ugodne razmere v koreninskem prostoru.

Kot predlagajo BLASIUS et al. 1985, pri presojanju prizadetosti korenin upoštevamo sledeče; suha teža korenin in primerjava z nadzemno biomaso; število in dolžina korenin, ločeno na glavne in stranske, kratke in dolge korenine; razvitost in vitalnost mikorize; število mrtvih koreninskih konic; razvejanost korenin. Vrednosti teh znakov ugotavljajo z ozirom na enoto volumna tal (npr. 1 liter) ali na površino tal (npr. 1 m²), ali drugače. Te vrednosti se močno spreminjajo v teku ene rastne dobe, so poleg odvisni od izrednih vremenskih razmer, ki od časa do časa nastopajo (npr. hude suše, obilen dež). Poleg tega se še močno spreminjajo od sestoja do sestoja. Pri teh znakih nekih splošno uporabnih števil oz. razmejitev med bolj ali manj prizadetimi koreninami ne moremo postaviti; Velike so tudi težave s subjektivnostjo ocenjevanja. Z vsemi temi prijemi lahko zajamemo le dovolj velike razlike v zdravju in razvitosti korenin.

V primerljivih razmerah slabša razvitost drobnih korenin in večji delež odmrlih drobnih korenin pomeni poškodovanost koreninskega sistema in prizadetost rizosfere (MEYER 1987). Pri močnejši prizadetosti odmiranje korenin zajame tudi debelejšše korenine. Zmeren delež odmrlih drobnih korenin je sicer normalen tudi v razmerah, ko koreninski prostor ni prizadet. Nadaljnji pomembni znak zdravja korenin je razvitost mikorize. Kvantitativno določevanje tega je zelo problematično (BLASIUS et al. 1985). Laboratorijsko gojenje drevesc v loncih je za tanamen manj primerno in bolje je, da ugotavljamo stanje mikorize na vzorcih, ki so vzeti neposredno iz gozda. Za kakršnokoli ocenjevanje in razpoznavanje mikorize rabimo najmanj binokular in koreninice moramo zelo previdno izluščiti iz tal, da jih pri tem ne poškodujemo. V primerljivih razmerah manjši delež mikoriziranih korenin, slabotna mikoriziranost, nenavadna oblika mikorize pomeni prizadetost rizosfera. Mikoriza je do neke mere kazalec škod, čeprav seveda še zdaleč ne popolnoma zanesljiv. O ocenjevanju razvitosti in kakovosti mikorize glej GÖLBL 1988, BLASCHKE 1986.

1.5 MINERALNO GNOJENJE KOT UKREP ZA IZBOLJŠANJE KORENINSKEGA PROSTORA V RAZMERAH PROPADANJA GOZDOV

Na mineralno gnojenje kot na možnost za popraviljanje škod, ki jih kisli dež oz. imisijski vnosi povzročajo v koreninskem prostoru, opozarja ULRICH 1986, 1988 (glej poglavje 1.2). V skladu s svojo hipotezo vidi predvsem potrebno po dodajanju bazičnih hranilnih elementov, predvsem Ca in Mg. Avtor se zaveda, da je kemična terapija tal nevaren ukrep, ki lahko povzroči več škode kot koristi. Tako priporoča apnenje in mineralno gnojenje v manjših odmerkih v več zaporednih letih, da se tako izognemo prehitri mineralizaciji humusa, izpiranju nitratov in drugim zelo nezaželenim posledicam. Nikakor ne smemo ostati pri enostranskem apnenju, moramo dodajati tudi potrebne količine Mg, P, K in drugih hranil, ki so potrebna za uravnovešeno prehrano gozda. Upoštevati moramo tudi antagonistično delovanje nekaterih ionov. Tako npr. obilna prisotnost Ca v tleh ovira sprejemanje K in v takih primerih je potrebno dodajanje K. Po avtorjevem mišljenju od mineralnega gnojenja ne smemo pričakovati preveč, je le prvi korak k popraviljanju škode. Uspehi mineralnega gnojenja se pokažejo šele po pet in več letih. Sicer vidi rešitev le v negi gozdnih tal oz. gozdne- ga humusa ter seveda v prenehanju onesnaževanja zraka.

Podobno obravnavajo problem tudi mnogi drugi avtorji. FIEDLER in THAKUR 1985 opozarjata, da je zelo težko najti mineralna gnojila brez nezaželenih kislinskih sestavin, kot so sulfatni, kloridni, nitratni ioni. Prednost moramo dajati karbonatnim in fosfatnim mineralnim gnojilom. Kisle sestavine gnojil na dovolj zakisanih tleh gotovo ne morejo biti koristne. Avtorja poudarjata, da moramo pred vsako večjo gnojilno akcijo narediti obširne diagnostične analize, to je analize imisij, foliarne analize, talne analize.

Le malo avtorjev lahko poroča o tem, da so z mineralnim gnojenjem vidno in razmeroma hitro izboljšali vitalnost gozda. O tem poročajo ZÖTTL (referat na kongresu IUFRO 1986 v Ljubljani) HÜTTL in FINK 1988. Gnojenje s poudarkom

na Mg je odpravilo klorotičnost smreke v Schwarzwald in dalo gozdu spet zdrav videz. Mg je bil očitno tisti kritični element, katerega je bilo v tleh že sicer razmeroma malo, poleg tega so ga kisli vnosi izpirali iz tal. Dodajanje Mg z mineralnim gnojenjem je potem vidno izboljšalo vitalnost gozda.

Veliko je razprav o apnenju kot zdravilu proti sedanjemu propadanju gozdov. O tem pišejo ALDINGER 1983, GLATZEL 1987, FIEDLER et al. 1988, MURACH in SCHÜNEMANN 1985, PEŘINA in PODRAZSKY 1988, WENTZEL in ULRICH 1988 in drugi. Če od njih povzamem glavne ugotovitve, lahko rečemo, da je učinek apnenja v glavnem zelo skromen, se pokaže šele po pet in več letih. V najugodnejših primerih z apnenjem blažimo kloroze smrekovih in jelovih iglic. Apno počasi prodira v tla in še poveča koncentriranje korenin v zgornjih plasteh tal. Sicer nestrokovno apnenje lahko povzroči vrsto slabih posledic, kot je prenegla mineralizacija humusa z močnim izpiranjem nitratov in drugih hranil ter tako še poslabševanje razmer.

Tako je HILDEBRAND 1989 laboratorijskem poskusu ugotovil, da z apnenjem lahko poženemo organske kisline iz humusnega horizonta in zmanjšamo njegovo kislost. Toda te kisline potem pristanejo v globjih talnih plasteh in tam še povečajo nezaželeno kislost. Torej tudi čisto navadno apnenje lahko povzroči marsikaj nepredvidenega in nezaželenega. To velja seveda tudi za druge vrste mineralnega gnojenja. O tem pišejo še GLATZEL 1987, HILDEBRAND 1988, ISERMANN 1987, KRAUPENJOHANN in ZECH 1989, MATERNA 1987, itn.

Apnenje in sploh mineralno gnojenje kot možnost za popraviljanje imisijskih škod v gozdnih tleh ima gotovo vsaj nekaj upravičenosti v severnejšem delu Nemčije in v nemških sredogorjih, kjer imamo nedvomno opraviti z veliko občutljivostjo tal na imisijske vnose, pa tudi z dolgoletnim delovanjem imisij.

Kakšne so možnosti mineralnega gnojenja kot kemične terapije gozda v Sloveniji? Najprej so naravne razmere pri nas le nekoliko drugačne, kot v severnejšem delu Nemčije in v nemških sredogorjih in njihovih nadaljevanjih proti vzhodu. Izrazita kislost in izpranost tal je pri nas le redek pojav. Seveda moramo računati z imisijskimi vnosi, ki nam tla stalno kisajo. S tem morajo računati tudi drugod v Evropi, pa čeprav živijo v mnogo

v mnogo čistejšem okolju in čistejšem zraku, kot mi (prim. SCHLAEPFER in HAEMMERLI 1990). Za prihodnost lahko računamo, da bo to zakisovanje tal še napredovalo. Poseben problem predstavljajo nekdanji (in sedanji) steljarjeni gozdovi na nekaj bogatih, toda sedaj močno zakisanih in zelo osiromašenih tleh, kjer pri nadaljnjem zakisanju tal lahko pričakujemo zelo slabe posledice. Kljub temu pa vsaj danes ne moremo govoriti o degradacijah tal na večjih površinah, kjer bi bila upravičena melioracija tal z apnenjem oz. z mineralnim gnojenjem. Vsako mineralno gnojenje, če hočemo, da je strokovno, gospodarsko in ekološko sprejemljivo, predpostavlja temeljite analize rastišča. To so talne in foliarne analize oz. ugotavljanje prehranjenosti gozda, in tudi analize imisijske obremenjenosti (FIEDLER in THAKUR 1985). Pri vsej pestrosti rastišč, kot jih imamo v Sloveniji, kjer se rastiščne in tudi sestojne razmere spreminjajo že na majhnih površinah, je izvedba vseh potrebnih analiz in samega gnojenja v praksi skoraj nemogoča. Kot zaključek lahko rečemo, da mineralno gnojenje v Sloveniji kot melioracija imisijsko obremenjenih tal oz. koreninskega prostora vsaj zaenkrat ni potrebno in koristno, razen morda v posameznih izjemnih primerih. Ker mineralna gnojila niso ravno poceni in ker je tudi preskrba z njimi navadno negotova, je pač najpametneje, da gozd rešujemo z obzirnim sonaravnim negovalnim gospodarjenjem in brez problematičnih kemičnih injekcij.

2 DOLOČITEV PROBLEMA

Pobudo za naša raziskovanja je dalo razpravljanje o primarnih vzrokih t.i. umiranja gozdov, pri katerih ima hipoteza prof. Ulricha velik pomen. Publikacije prof. Ulricha predstavljajo položaj zelo dramatično ali morda celo strašljivo. Tako se vprašamo, ali kisel dež in sploh imisijski vnosi odločilno vplivajo na koreninski prostor gozda, kot to pravi hipoteza prof. Ulricha.

To vprašanje zaposluje velike in odlično opremljene raziskovalne institute v zahodni Evropi že dolga leta in jasnega odgovora nanj še vedno ni. Kljub temu ni odveč, če se lotimo tega problema tudi v naših slovenskih razmerah. Navsezadnje je vsaka srednjeevropska regija oz. dežela nekaj posebnega in svojevrstnega. Pri vsej zahtevnosti raziskovanj v koreninskem prostoru gozda so za nas gotovo velik problem raziskovalna oprema, kadri, financiranje itn. Temu smo morali raziskovanja prilagoditi. Problem raziskave smo določili s sledečimi vprašanji:

- ali močni in dolgotrajni imisijski vnosi v gozdna tla občutno poslabšajo razmere v koreninskem prostoru gozda,
- ali imisijske vnose v gozdna tla in s tem poškodbe korenin lahko smatramo kot glavni vzrok t.i. umiranja gozdov,
- kakšne so gozdarske možnosti za nego koreninskega prostora v razmerah imisijskih vnosov v gozdni ekosistem in gozdna tla?

3 OPIS RAZISKAV IN REZULTATI

3.1 Poskus v loncih v drevesnici

Cilj poskusa: ugotoviti vpliv izrazite imisijske obremenjenosti tal na razvoj korenin.

Metoda in material

Poskus smo izvedli v 10 litrskih lončenih loncih, ki smo jih napolnili z dvema vzorca imisijsko obremenjenih tal iz dveh izrazitih imisijskih območij in z enim vzorcem imisijsko neobremenjenih tal kot primerjava. Poskus smo izvedlo v parku instituta, za katerega predpostavljamo, da predstavlja imisijsko malo obremenjeno rastišče. S tem smo hoteli dobiti samo vpliv imisijsko obremenjenih tal in izločiti močnejšo imisijsko obremenjenost ozračja.

V lonce smo nato posadili sadike 5 drevesnih vrst. Pri smreki smo uporabili 2-letne semenke, sicer pa enoletne semenke. Razporeditev drevesnih vrst po loncih oz. poskusne variante so bile:

1. črni bor
2. smreka
3. macesen
4. javor in smreka (po ena sadika v loncu)
5. breza in smreka
6. javor

Varianti javor in smreka ter breza in smreka sta bili zamišljeni kot možnost za ugotavljanje vpliva ene vrste na drugo. Zaradi premajhnega števila ponovitev in zaradi težke dokazljivosti teh vplivov smo se morali temu kasneje odreči. Skupaj smo imeli 6 variant z drevesnimi vrstami na 3 različnih vrstah tal ter s 4 ponovitvami. To pomeni skupno 72 loncev. Lonci so bili zakopani do zgornjega roba v zemlji v parku instituta in ograjeni z 1,5 m visoko ograjo, kar je bilo potrebno kot zaščita proti srnjadi.

Vzorci tal smo vzeli na terenu iz globine 0 do 40 cm, odstranili nerazkrojeno vrhnjo plast stelje in nato vzorec temeljito premešali. Talni horizonti se na način niso ohranili, in so prešli v enoten vzorec. Kot imisijsko obremenjena tla smo uporabili dva vzorca in sicer enega iz najbolj prizadetega dela celjskega imisijskega območja v bližini Cinkarne in železarne Štore, ter drugega iz travnate in delno z slabotnimi drevesi porasle imisijske goljave v "Dolini smrti", oz. pri Žerjavu v Mežiški dolini. Primerjalni vzorec imisijsko neobremenjenih tal smo vzeli na svernem delu Pohorja, na Repiškem nad Radljami. Sledi pedološki opis teh treh vzorcev tal. Analize tal so bile narejene v pedološkem laboratoriju IGLG.

a/ Vzorec tal iz celjskega imisijskega območja

Lokacija: pod Jožefovim hribom, 1,5 km južno od cinkarne Celje, 290 m n.m.

Relief: gladko, strmo (30°), nekoliko valovito pobočje, lega: N.

Matična podlaga: paleozojski skriljavci in peščenjaki.

Vegetacija: imisijsko vidno prizadeta površina s posameznimi slabo uspeva-jočimi gradni, brezami, rdečimi bori, kostanji, gorskimi javorji, robinijami. Tla so močno zatrpljena (*Mollinia altissima*, *Deschampsia flexuosa*), nekaj je orlove praproti (*Pteridium aquilinum*), borovnice (*Vaccinium myrtillus*). potencialna vegetacija bi bila mešan listavski gozd kolinske stopnje (*Quercus carpinetum*, *Blechno-Fagetum*):

Talni tip: Distrični kambisol, tipični, srednje globok.

Tla so drobljive agregatne strukture, melastoilovnate teksture, skeletoidna. Z globini skelet postaja večji in obilnejši. Sicer so tla prhlinasta, dobro odcedna, dobro humozna. Reakcija tal je zmerno kisla do zelo kisla (v horizontu 0, 5-6 cm globine, pH (H₂O) = 4.9, pH (KCl) = 3.8). Slaba do srednje je založenost z rastlinam dostopnim fosforjem, podobno tudi z magnezijem, s kalijem je založenost dobra. Stopnja nasičenosti z bazami je nizka (V= 7% do 13%), nizka je tudi vrednost kationske izmenjave. Za gozd so tla srednje rodovitna.

Imisijska obremenjenost. Analiz imisij žal nimamo. Domnevamo močno obremenjenost s kislimi vnosi v mokri obliki (dež, rosa itn.), pa tudi v suhi obliki (plini, prašni delci). Zaradi bližine tehnološko zastarelih metalurških obratov, ki delujejo že najmanj nekaj desetletij, pričakujemo močno obremenjenost s t.im.težkimi kovinami, predvsem z Pb, Cd, Fe, Zn, itn.

b/ Vzorec tal iz imisijskega območja "Dolina smrti" v Mežiški dolini.

Lokacija : okoli 500 m jugozahodno od dimnika topilnice svinca pod vrhom Ostrinjaka, 800 m n.m.

Relief: strmo (30 do 45) gladko pobočje (30-45°), lega: NNE.

Matična podlaga: dolomitni grušč

Vegetacija: močna zatravljenost (*Calamagrostis varia*, *Sesleria varia*, *Dactylis glomerata*), nekaj gorskih javorjev v grmasti obliki.

Potencialna vegetacija: *Ostryo-Fagetum*, M.Wraber 1958.

Talni tip: prhlinasta rendzina, plitva, skeletoidna.

Mehka in drobljiva tla s slabo izraženo strukturo, melasto ilovnata, močno prekoreninjena, zelo odcedna, prhlinasta in zelo humozna. Reakcija tal je slabo kislá. Preskrbljenost z rastlinam dostopnim fosforjem in kalijem je srednja. Dobra zasičenost z bazami, predvsem z kalcijem in magnezijem. Zaradi plitvosti, močne odcednosti so tla slabše rodovitnosti.

Imisijska obremenjenost: domnevamo močne kisle vnose, ki pa zaradi obilne prisotnosti magnezija in kalcija ne le malo vplivajo na pH vrednost, vendar morejo drugače vplivati na ionsko bilanco tal. Sicer domnevamo močno obremenitev s t.im. težkimi kovinami, predvsem z Pb, Zn, Cd.

Oba vzorca sta vzeta na imsijsko izrazito obremenjenih tleh.

c/ Vzorec tal iz imisijsko neobremenjenega področja kot primerjalni oz. kontrolni vzorec

Lokacija: Repiško na Pohorju nad Radljami, 780 m n.m.

Relief: hrbet pobočja, nagib 30°, lega: WNW

Matična podlaga: amfiboliti, kamenitost 5%

Vegetacija: rastlinska združba: *Luzulo-Abieti-Fagetosum praealpinum*, var.geogr.*Dentaria trifolia* - *Dryopterido-Abietum hieracietosum*.

Vegetacija na profilu: *Deschampsia flexuosa*, *Vaccinium myrtillus*, *Luzula albida*, *Oxalis acetosela*, *Hieracium sylvaticum*. Pokrovnost 70%.

Gozdni sestoj: raznodoben mešan debeljak smreke in jelke s posameznimi bukvami in plemenitimi listavci. Sklep krošenj je 0,8. Dobro se pomlaja smreka in jelka.

Talni tip: distrični kambisol, tipični, dvoslojni, globok. Sveža do vlažna ilovnata do melastoilovnata, zmerno gosta tla. Agregatna struktura je drobljiva. Zgoraj skeletoidna in spodaj skeletna tla, s prhlino in sprsteno v A horizontu, do globine 30/35 cm nanešena tla. V prekitem A_b horizontu so drobcji oglja (požar, oglarjenje?). So dobro prekoreninjena, zmerno odcedna, zmerno do zelo kislá, tako je v A_h/O_h horizontu v globini 0 do 10/11 cm vrednost pH (H₂O)=3.92 in pH (KCl) = 3.35, sicer pa do največ 1.07 pH enote višja. Preskrbljenost z dostopnim fosforjem je slaba, s kalijem srednje dobra. V zgornjem delu je humoznost zelo visoka, spodaj je mnogo manjša. Nasičenost z bazami je nizka (11%). Pri kationski izmenjavi imajo največji delež protoni in sicer 89%.

Ta primerjalni vzorec predstavlja tla z ugodnimi fizikalnimi lastnosti in z manj ugodnimi kemičnimi lastnostmi. Predstavljajo poprečno ugodna tla, za katera lahko predpostavljamo, da so imisijsko le malo obremenjena.

V naših loncih smo imeli premešane vzorce teh tal, torej vzorce brez ločitve na talne horizonte. Kemična analiza teh vzorcev v loncih je potrdila značilnosti, ki so bile ugotovljene na talnih profilih na terenu. Tukaj podajam nekaj podatkov teh analiz.

Tabela št. 1

Vzorec	Vrednost pH		Organska snov %	Al K ₂ O meq	Al P ₂ O ₅ meq
	v H ₂ O	v KCL			
1. Celje	4.66	4.66	8.62	23	1
2. Mežiška dol.	7.12	7.12	15.52	13	4
3. Pohorje	4.56	4.56	9.83	22	0

Poskus smo nato zasledovali tri vegetacijske dobe (1987, 88, 89). V pozni jeseni 1989 smo sadike vzeli iz loncev in jih zelo previdno izluščili iz tal in izprali korenine. Analizirali smo jih po metodi, ki se je uporabljala tudi pri nalogi "Mineralna prehrana in mikoriziranost smreke", (nosilka Hojka Kraigher).. Po tej metodi smo iz vsake sadike vzeli po tri dolge tanke korenine tretjega reda dolžine ca. 10 cm. Do analize smo vzorce hranili v vodi in hladilniku, da so korenine ostale sveže. Pri analizah pod binokularjem smo ugotavljali sledeče:

- število koreninskih konic kratkih drobnih korenin, preračunano na 1 cm dolžine dolge drobne korenine
- koliko teh drobnih koreninskih konic ima razvito mikorizo, izraženo v %.

Poleg tega smo pregledali in opisali koreninske vzorce glede morebitnih patoloških pojavov na njih in glede njihove morfologije.

Rezultati:

Vitalnost posajenk v loncih. Kljub dobro pripravljenim tal za saditev in kljub izbranim najboljšim sadikam se je v prvih dveh letih poznal dosti močan presaditveni šok. Zaradi tega šoka in tako slabše vitalnosti sadik vpliv različnih tal ni prišel do izraza. V letu 1987 je poleg presaditvenega šoka sadike močno prizadela poletna suša. Tudi v naslednjem letu sadike še niso dobro zaživele, na javorjih in delno na brezah so se pokazale glivične bolezni na listih, eden od macesnov na vzorcu tal "Mežiška dolina" se je posušil. Tako smo morali sadike pustiti rasti še tretje leto, ko so šele normalno zaživele. Od bolezenskih znakov so bili izraziti le na vzorcu tal "Mežiške dolina" in sicer kloroza listov, pri brezah, ki se je začela ob listnih žilah in potem več ali manj zajela list. Ta kloroza je bila posebno močna v prvem letu po hudi poletni suši, manj se je pojavljala v drugem letu in skoraj nič v tretjem. Barva smrekovih iglic je bila na vseh poskusnih variantah oz. vzorcih tal v prvem letu precej rumenkasta, zlasti na vzorcu tal "Mežiška dolina". Kasneje se je povsod polagoma popravila v bolj ali manj svetlo zeleno. Omembe vrednih razlik v barvi smrekovih iglic v tretjem letu ni bilo.

V jeseni 1989 (11. novembra) smo vzeli vzorec za t.i. foliarno analizo. Kot vzorec smo vzeli smrekove iglice, ki se navadno uporabljajo za to analizo. Od vseh smrek na vseh treh vzorcih tal smo vzeli po en najmlajši stranski poganjek iz prvega, oz. vrhnjega vretena vej. Pregled rezultatov je podan v tabeli 2.

Tabela št.2 Rezultati foliarnih analiz

Označba vzorca tal oz. jemanje vzorca	Vrednost hranil v smrekovih iglicah v % suhe teže						
	C %	N %	P %	Ca %	Mg %	K %	Na %
Mežiška dolina	54,00	0,57	0,15	0,69	0,25	0,35	0,09
Celje	59,00	0,80	0,10	0,80	0,16	0,45	0,16
Pohorje	59,00	0,63	0,10	0,52	0,11	0,50	0,06

Slaba je preskrbljenost z dušikom pri vseh treh vzorcih tal. Podobno velja za preskrbljenost s fosforjem. Glede Ca, Mg, in tudi K je preskrbljenost pri vseh vzorcih v glavnem zadovoljiva, kar ne govori za osiromašenost tal s temi elementi. Sicer se rezultati foliarnih analiz vsaj delno skladajo z rezultati analize tal, ki so opisani spredaj in podani v tab.1.

Rezultati analize korenin so prikazani v tab. št. 3. Kot omenjeno, statistično značilnih razlik ni. Imisijsko neobremenjen vzorec tal "Pohorje" kaže ugodnejši delež mikoriziranosti, vendar le pri poskusnih sadikah macesna in črnega bora. Tudi sicer v tabeli ne moremo spoznati kakršnih koli oprijemljivih povezav.

Tabela št. 3: Število kratkih drobnih korenin na 1 cm dolžine koreninskega vzorca in delež mikoriziranosti teh korenin v %

Drev. vrsta	Vzorec tal	SMREKA		ČRNI BOR		MACESEN		JAVOR		BREZA	
		K/cm	%M	K/cm	%M	K/cm	%M	K/cm	%M	K/cm	%M
Mežiška dolina	n	36	36	12	12	9	9	24		12	12
	\bar{x}	3.5	36.7	1.6	12.9	2.0	4.1	3.1		2.2	1.2
	S \pm	1.17	32.8	0.85	20.7	0.69	11.6	1.3		0.74	3.9
Pohorje	n	60	60	12	12	12	12	24		12	12
	\bar{x}	3.1	29.1	1.3	22.0	2.3	53.9	2.0		1.7	0
	S \pm	1.5	30.0	0.8	29.0	0.86	28.1	0.97		0.67	0
Celje	n	36	36	12	12	12	12	24		12	0
	\bar{x}	4.0	15.6	2.2	3.6	3.6	11.6	2.7		2.6	0
	S \pm	1.35	24.5	1.1	11.8	1.4	17.2	0.8		1.00	0

- K/cm = število kratkih drobnih korenin na 1 cm dolžine koreninskega vzorca
- $\% M$ = delež mikoriziranih kratkih drobnih korenin v $\%$
- h = število analiziranih vzorcev korenin
- \bar{x} = srednja vrednost
- s = standardni odklon

Te analize smo morali nujno dopolniti z metodo, ki je sicer subjektivna, toda zajame tisto, kar z raznimi meritvami ne moremo. S pregledom korenin pod binokularjem smo ocenili vitalnost korenin in sicer v treh stopnjah (dobra, srednja, slaba) ter po sledečih merilih:

Smreka

1. Dobra vitalnost korenin: dobra razvejanost korenin, tako debelejših, kot drobnejših. Koreninska skorja je svetlejšje barve, svetla je tudi barva drobnih korenin. Temnih drobnih korenin, ki nakazujejo nekroze, je malo ali nič. Mikorizna obloga drobnih koreninic je dobro razvita, pokriva velik del drobnih koreninic. Patoloških znakov na koreninah ni opaziti.
2. Srednja vitalnost korenin. Skromnejše se pojavljajo drobne korenine, čeprav te utegnejo biti še zelo razvejane. Korenine so temnejše barve. Več je temnih ali celo črnih drobnih koreninic, kar nakazuje nekroze. Drobne kratke koreninice so še precej pokrite z mikorizno oblogo, toda ta je slabotnejša, in le delno prekriva drobne kratke koreninice. Pojavljajo se patološki znaki, čeprav v neznatni meri in sicer nagnjenost koreninskega korteksa odstopanja od osrednjega dela korenin.
3. Slaba vitalnost korenin. Drobni korenin je malo, čeprav utegnejo biti še precej razvejane. Sicer je razvejanost vseh korenin skromna. Pogostejša je barva, posebno na drobnih kratkih koreninah. Kažejo se tudi očitne nekroze drobnih kratkih korenin. Mikoriza utegne biti dosti pogosta na drobnih kratkih koreninicah, toda je očitno slabe vitalnosti, prekriva drobne koreninice. Odstopanje koreninskega korteksa od osrednjega dela korenine je izrazitejše, ponekod so prazne tudi vzdolžne razpoke v koreninskem korteksu.

Črni bor

1. Dobra vitalnost korenin. Pri črnem boru so razlike v vitalnosti težje opazne. Za dobro vitalnost je sicer značilna svetla zdrava barva korenin brez temnejših tonov, malo nekrotičnih pojavov na drobnih kratkih koreninah, velika pogostnost in dobra razvitost mikorize. Nekakšno guljenje koreninskega korteksa je pri borih sicer precej normalen pojav.

2. Srednja vitalnost korenin. Zaradi manjše izrazitosti znakov vitalnosti pri borih lahko opišemo srednjo vitalnost kot nekaj vmesnega med dobro in slabo vitalnostjo.

3. Slaba vitalnost. Opazno je močno snemanje koreninskega korteksa od osrednjega dela korenin. Opazna je tudi temna barva koreninske skorje. Mikoriziranost na drobnih kratkih koreninah je manj pogosta, mikorizna obloga je slabotno razvita.

Macesen

Velja zelo podobno kot za črni bor (glej zgoraj).

Javor

1. Dobra vitalnost korenin. Dobra razvitost najtanjših koreninic, ki dosežejo precejšnje dolžine. Barva korenin je svetla. Ni opaziti odstopanje koreninske skorje. Mikoriza je pri javorju težko opazna in določljiva.

2. Srednja vitalnost korenin. Tanke korenine dosegaajo nekoliko skromnejše dolžine. Opazna je neka preščipnjenost ali kolenčavost drobnih koreninic. Opazno je odstopanje koreninske skorje, kar je morda posledica izpiranja korenin iz tal in ne toliko patološki pojav. Barva korenin je še vedno svetla.

3. Skromnejša razvejanost in manjša dolžina najtanjših korenin. Opazni so patološki pojavi: snemanje koreninske skorje z drobnejših korenin oz. načetost na debelejših koreninah, odmrli konci korenin, ki jih nadomestijo novi stranski poganjki, odlomljeni konci koreninic, eden ali več. Zelo opazna je nekakšna kolenčavost, ki prehaja v pravo preščinjenost korenin.

Breza

1. Dobra vitalnost korenin. Razlike v vitalnosti niso tako izrazite kot pri javorju. Vitalne korenine kažejo znatno razvejanost na drobne korenine. Patoloških znakov ni opaziti. Tudi ni dobro razpoznavne mikroze.

2. Srednja vitalnost korenin. Razvejanost drobnih koreninic je nekoliko skromnejša. Koreninska skorja je ponekod precej potemnela.

3. Slaba vitalnost korenin. Skromna razvejanost drobnih koreninic. Potemnelost koreninske skorje je bolj izrazita, prav tako tudi snemanje koreninske skorje od osrednjega dela korenin.

Ocenitev vitalnosti korenin je predstavljena v sledeči tabeli:

Tab. 4 Stopnja vitalnosti korenin pri poskusu v loncih
(1 = dobra, 2 = srednja, 3 = slaba)

Vzorec tal	Drevesna vrsta				
	smreka	črni bor	macesen	javor	breza
"Mežiška dolina"	2 - 3	2 - 3	3	3	3
"Pohorje" kontrolna varianta	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1	1
"Celje"	2	2	2	2	2

Drugače kot pri tab.št. 1 so tukaj razlike dobro opazne. Najbolj vitalne korenine so na imisijsko neobremenjenem talnem vzorcu "Pohorje", najslabše pa pri vzorcu "Mežiška dolina". Za znanstveni dokaz pa taka analiza žal ne zadostuje.

Zaključek

Tla, ki so bila pod vplivom dolgoletnih in močnih imisijskih vnosov, zelo verjetno pomenijo slabše pogoje za razvoj korenin, kot enaka tla brez imisijskih obremenitev. V našem primeru slabšega razvoja korenin v imisijsko obremenjenih tleh nismo mogli dokazati. Iz tega lahko sklepamo le, da v našem primeru imisijski vnosi v tla ne pomenijo bistvenega poslabšanja tal in poslabšanja možnosti za razvoj korenin.



Vzorec tal: "Celje"



"Pohorje" - neobremenjena tla -
kot primerjava



"Dolina smrti"

Sl.1 : Koreninski vzorci - breza (naravna velikost)



Vzorec tal: "Celje"

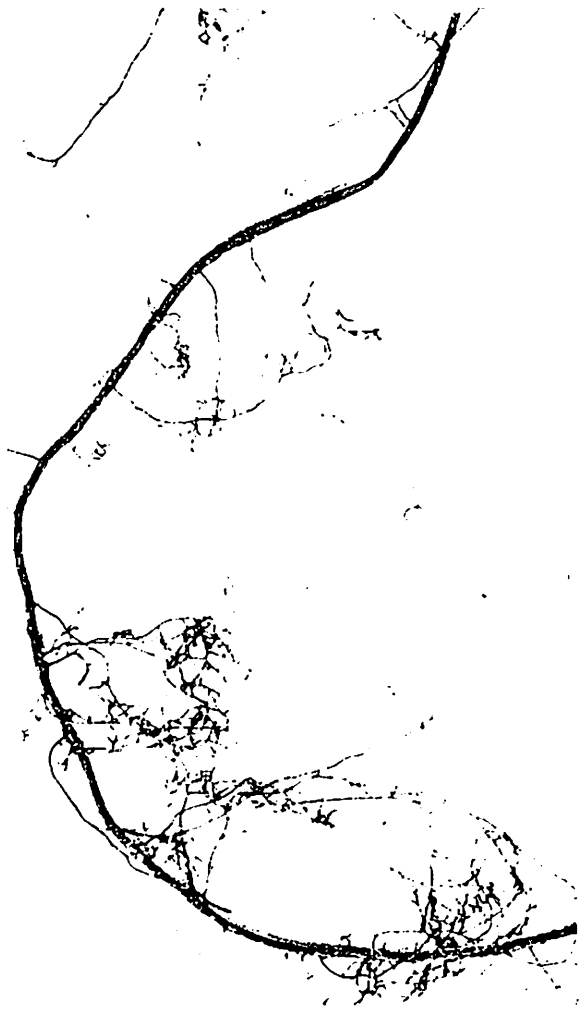


"Pohorje" neobremenjena tla kot primerjava

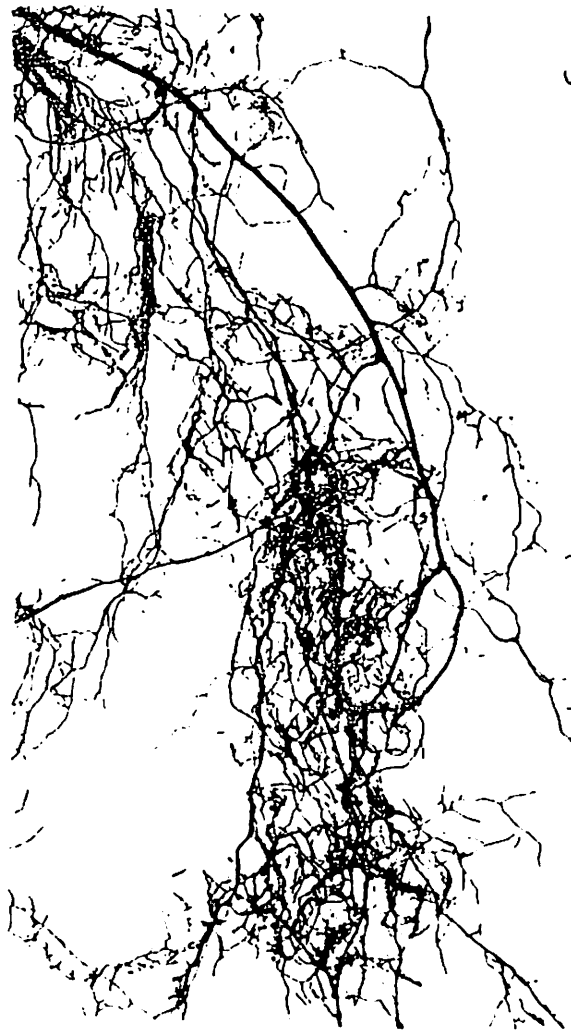


"Dolina smrti"

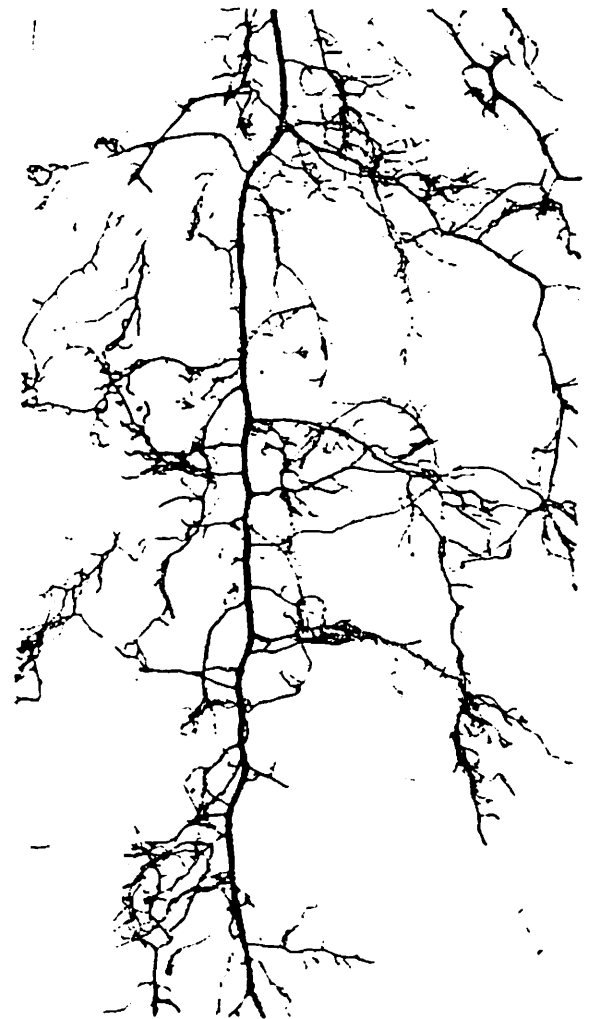
Sl. 2: Koreninski vzorci-macesen (naravna velikost)



Vzorec tal: "Celje"



"Pohorje" - neobremenjena tla
kot primerjava

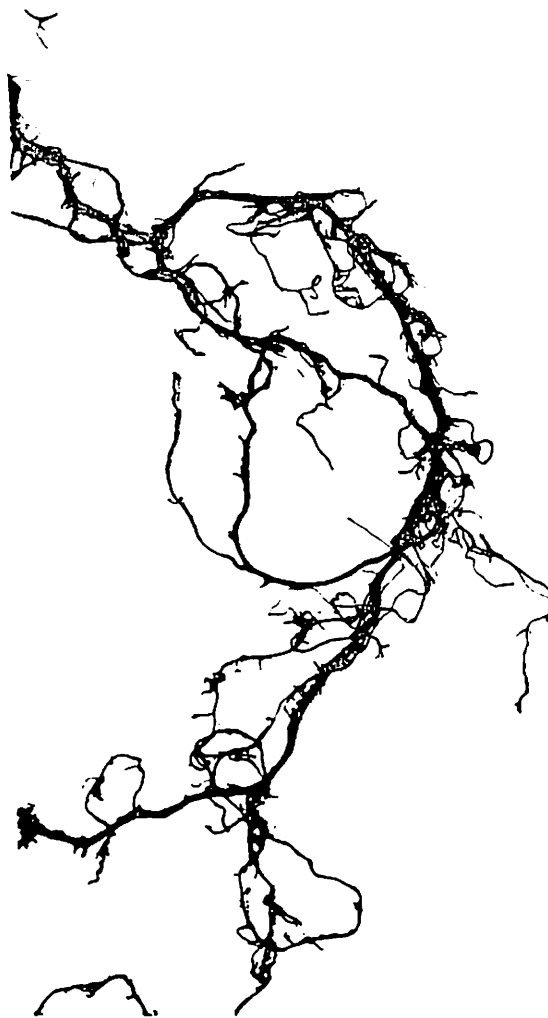


"Dolina smrti"

Sl. 3: Koreninski vzorci - javor (naravna velikost)



Vzorec tal: "Celje"



"Pohorje" neobremenjena tla kot primerjava



"Dolina smrti"

Sl. 4: Koreninski vzorci - smreka (naravna velikost)



Vzorec tal: "Celje"



"Pohorje" - neobremenjena tla kot primerjava



"Dolina smrti"

Sl. 5 Koreninski vzorci - črni bor (naravna velikost)

3.2 Poskus s topolovimi potaknjenci v rastlinjaku

Cilj poskusa: dokazati vpliv imisijskih vnosov na gozdna tla na razvoj korenin.

Metodika poskusa: Uporabili smo skupaj štiri različne vzorce tal. Od tega dva vzorca obsegata imisijsko obremenjena tla, in k vsakemu od njih smo poizkali čim bolj podoben vzorec tal, toda tako, da predstavlja imisijsko neobremenjena tla.

Vzorce tal smo na terenu vzeli tako, da smo zajeli tla enakomerno do globine 35 cm, toda brez plasti nerazkrojene organske snovi. Nato smo talni vzorec premešali oz. homogenizirali. S tanko premešanim talnim vzorcem smo nato napolnili emajlirane posode (Vegetationsgefässe) zahodno nemške proizvodnje s prostornino 10 l.

Na dnu posode je bil plastičen in perforiran vložek v obliki po dolgem prerezane cevi, ki smo ga položili v 2 cm debelo plast kremenčevega peska. Ob zalivanju se je tako lahko voda nabirala na dnu posode, ker te posode odtoka oz. odprtine na dnu nimajo. Preverjanje višine vode v posodah je možno skozi dve steklene cevi, ki sta segali skozi ves vzorec tal do dna posode. Poskusne rastline smo zalivali z demineralizirano vodo, ki je bila na razpolago v rastlinjaku instituta. Posode žal niso bile najbolj primerne za naš poskus prav zaradi pomanjkanja odprtine na dnu in zaradi nevarnosti zastajanja vode.

V te posode, napolnjene z vzorci poskusnih tal, smo nato dali topolove potaknjence, ki imajo to dobro lastnost, da se genetsko homogeni, da hitro tvorijo koreninski sistem in da tudi sicer v rastlinjaku hitro rastejo.

Poskus se je začel spomladi 1988 in končal jeseni istega leta. Ob zaključku poskusa smo po odpadanju listja izmerili prirastek suhe teže, in sicer težo koreninske biomase in mladike. Hkrati smo opisali in fotografirali morfologijo korenin.

Vzorci tal

Izbrali smo si dva tipa tal, ki se močno razlikujeta med seboj. Za vsak tip tal smo nato izbrali dva vzorca tal, enega iz imisijsko močno obremenjenega območja in drugega, ki naj bi bil imisijsko čim manj obremenjen. Ko smo iskali te pare tal, je bilo seveda zelo težko dobiti med seboj kolikor toliko podobna tla in nam ni v celoti uspelo.

Kot prvi tip tal oz. prvi par tal smo si izbrali redzino, in sicer vzorec v neposredni bližini topilnice svinca v Žerjavu v Mežiški dolini kot primer izrazito imisijsko obremenjenih tal, ter vzorec s Šmarne gore pri Ljubljani kot primer imisijsko neobremenjenih tal. Analiza vzorcev je bila opravljena v pedološkem laboratoriju IGLG.

Glavne značilnosti obeh vzorcev so:

	Vrednost pH	Delež organske snovi %	Razmerje ogljik dušik	Delež dušika v tleh %	Tekstura
vzorec "Žerjav"	6,31	10,69	15,1	0,41	peščeno ilovnata
vzorec "Šmarna gora"	6,85	23,7	42,2	0,32	peščeno ilovnata

Oba vzorca tal imata ugodno pH vrednost, dovolj dušika, in organske snovi. Vzorec "Žerjav" je kazal izrazito nestrukturnost.

Kot drugi tip oz. par tal smo izbrali distrična srednjegloboka rjava tla kot nasprotje prvemu talnemu tipu. Vzorec "Štore" v neposredni bližini železarne Štore predstavlja imisijsko obremenjena tla, vzorec "Košnica", ki smo ga vzeli v bližini vasi Košnica pri Celju, pa predstavlja imisijsko neobremenjena tla.

Glavne značilnosti obeh vzorcev so:

	pH vrednost	Delež organske snovi %	Razmerje ogljik-dušik	Delež dušika v tleh %	Tekstura
vzorec "Štore"	3,95	2,93	13,1	0,13	meljasto ilovnata
vzorec "Košnica"	3,85	5,69	23,6	0,14	ilovnata

Za oba vzorca je značilna nizka pH vrednost, še dobra preskrbljenost z dušikom, skromen delež organske snovi. Zaradi kislosti lahko pričakujemo pri obeh vzorcih slabo preskrbljenost s hranili.

Prvi par vzorcev lahko velja kot ugoden za rast topolov, drugi je pa manj primeren za topole.

Saditveni material:

Uporabili smo topolove potaknjence:

1. klon Mühle-Larsen in
2. klon R-15 (regenerata)

in sicer vsakih polovico v vsaki poskusni varianti. Imeli smo torej 4 krat 18 posod z vzorci tal in v vsaki posodi smo imeli po en potaknjeneč.

Razlike med enim in drugim klonom so se pokazale kot nepomembne, zato v rezultatu obravnavamo oba klona skupaj.

3.2.2 Rezultati

Poprečne suhe teže korenin in mladik, ki so zrasli iz potaknjence, ter standardni odkloni od poprečja, so prikazani v tabeli št. 4

Tabela št. 4

Vzorec	Suha teža korenin g	Suha teža mladike g
"Žerjav"	2,1 ± 0,59	5,2 ± 1,3
"Šmarna gora"	4,67 ± 0,81	10,3 ± 1,2
Štore"	2,5 ± 0,60	2,6 ± 0,6
"Košnica"	3,2 ± 0,90	3,16 ± 1,2

Prvi par vzorcev glede rasti topolov kaže razločno razliko med enim in drugim vzorcem. Razlike so tudi statistično visoko značilne.

Pri drugem paru vzorcev so razlike mnogo manjše in statistična razlika med njimi ni značilna.

Zanimivejši kot ti rezultati je morfologija korenin. Pri vzorcu "Žerjav" (rendzina, imisijsko močno obremenjena) opazamo skromnejše razvite drobne korenine, skromnejše razvejanje korenin in sploh slabše razvit koreninski sistem kot pri vzorcu "Šmarna gora", ki služi kot primerjava. Pri vzorcu "Žerjav" se obilneje pojavljajo tudi slabo vitalne in odmrle drobne korenine. Pri izpiranju korenin so se te odmrle drobne korenine z lahkoto odtrgale in v veliki meri odplaknile in jih zato nismo mogli posebej zajeti. Nasprotno pa vzorec "Šmarna gora", ki predstavlja neobremenjene razmere, kaže dobro razvitost in razvejanost drobnih korenin in delež odmrlih drobnih korenin je tukaj očitno zanemarljiv.

Pri drugem paru vzorcev je razlika med obema vzorcema mnogo manjša.

Pri vzorcu "Štore" tudi opazamo odmrle drobne korenine, ki jih z našimi metodami izpiranja korenin žal nismo mogli zajeti. Na splošno so korenine pri vzorcu "Štore" nekoliko slabše razvite, kakor pri primerjalnem vzorcu "Košnica". Tako pri enem kot pri drugem paru vzorcev pa sicer izrazitih razlik v morfologiji ni bilo opaziti.

Zaključek

Kot se sicer kaže slabša razvitost in vitalnost korenin na imisijsko obremenjenih vzorcih tal, pa vendar izrazitih razlik med enim in drugimi vzorci ni bilo. Hitrejšo ali počasnejšo rast topolovih potaknjencev pa ne moremo jemati kot merilo imisijskih vplivov na tla, pač pa preje kot naključne vplive. Kljub vsem prizadevanjem nismo mogli dobiti dovolj primerljivih parov vzorcev tal, kjer naj bi bil en vzorec imisijsko obremenjen, drugi pa neobremenjen. Neugodna okoliščina so tudi emajlirane posode (Vegetationsgefässe), v katerih smo gojili potaknjence. Ker te posode nimajo odtoka, z nekoliko preobilnim zalivanjem hitro povzročimo močvirske razmere v njih, kar seveda slabo vpliva na vrednost poskusa. Tako nam žal poskus ni dal dovolj jasnih rezultatov, iz katerih bi mogli narediti zanesljive zaključke.

3.3 Poskus z vzorci tal z ohranjenim profilom

Cilj poskusa je enak kot pri prej opisanih poskusih, to je dokazovanje vplivov imisijskih vnosov na gozdna tla in na razvoj korenin.

Metoda in material:

Pri prej opisanih poskusih smo vzorce tal vedno homogenizirali, torej nismo ohranili talnih plasti v njihovem naravnem položaju, pač pa smo jih premešali v enoten vzorec. To sicer poenostavlja poskuse, vendar moramo računati, da s tem vsaj nekoliko spremenimo lastnosti tal, izboljšamo njihovo rahlost in zračnost in verjetno ublažimo neugodne lastnosti, ki so nastale zaradi imisijskih obremenitev. Zdrobitev talnih agregatov in s tem povečanje površine agregatov, premešanje bolj obremenjenih plasti tal z manj obremenjenimi tudi verjetno izboljša pogoje za razvoj korenin v primerjavi s tlemi "in situ". Tako smo spravili vzorce tal v plastične gajbe, ki se sicer uporabljajo pri trgatvi grozdja, in sicer tako, da smo v gajbe spravili talni profil do globine 40 cm, ne da bi pri tem spremenili naravno lego talnih plasti. Vzorec tal je torej segal 40 cm v globino, 30 cm v dolžino in je bil ca 20 cm širok. Vzorci so seveda morali ostati v gajbah, da se ne bi razsuli. V tem smo dobili v vodoravno lego prevrnjene navpične talne profile, kjer je bila na enem koncu gajbe vrhnja talna plast, na drugem koncu pa talna plast iz globine 40 cm. Talni profili so bili tako dobro dostopni. V vsak tak talni vzorec smo v pomladi 1989 posadili štiri vrste po štiri sadike in smo tako površino profila enakomerno zajeli.

Za saditev smo uporabili enoletne semenke gorskega javorja in evropskega macesna. S kovinskim cilindrom smo napravili saditvene jamice s premerom 6 cm. S talnim materialom, ki smo ga v cilindru dvignili iz jamice, smo jamico ob saditvi tudi zapolnili.

Vzorce tal smo vzeli skoraj na istih mestih, kot pri prej opisanem poskusu. (Poskus s topolovimi potaknjenci v rastlinjaku), vendar tako, da niso bili moteni zaradi prejšnjih jemanj vzorcev oz. razkopavanj tal. Le namesto prejšnjega vzorca "Šmarna gora" smo skušali dobiti za vzorec tal "Žerjav" primernejši primerljiv vzorec in sicer pod vrhom Goljek v Polhograjskih

dolomitih. Tako smo tudi pri tem poskusu imeli dva para vzorcev, pri čemer je en vzorec v paru imisijsko obremenjen, drugi pa čimbolj podoben temu, vendar imisijsko neobremenjen. Imeli smo torej sledeče vzorce: "Žerjav v Mežiški dolini" ter kot neobremenjena primerjava "Goljek", "Štore" in kot neobremenjena primerjava "Krošnica".

Opis talnih profilov oz. lastnosti tal.

Vzorec "Žerjav" - rendzina na dolomitu

Horizont A_h , globina 0 - 10 cm, prašnata in drobnozrnata struktura, humus sprsteninaste oblike z gosto prekoreninjenostjo, pH vrednosti v 0.1 n $CaCl_2$ 7,01, H_2O 7,50 in nKCl 6,61.

Horizont $(B)_{v1}$, globina 10 - 25 cm, drobnozrnata struktura, ilovnat melj, humus sprsteninaste oblike s srednje gosto prekoreninjenostjo, pH vrednost v 0.1n Cl_2 , v H_2O in v nKCl : 7,14, 7,59, 6,80.

Horizont $(B)_{v2}$, globina 25 - 40 cm, drobnozrnata struktura, ilovnat melj, sprsteninasta oblika humusa z malo prekoreninjenosti, pH vrednosti po vrstnem redu kot zgoraj: 7.19, 7,62, 6,95.

Splošna označba: močno odcedna, karbonatna, skeletoidna, srednjegloboka tla, slabo založena z rastlinam dostopnim fosforjem, dobro založena z rastlinam dostopnim kalijem in magnezijem. Pričakujemo lahko močno obremenjenost s težkimi kovinami (Pb, Cd itn.).

Vzorec "Goljek" - rendzina na dolomitu

Horizont A_h , globina 0 - 10 cm, struktura prašnata do zrnata, ilovnata tekstura, posamezno kamenje, prhlinast humus, dobro prekoreninjen, pH vrednosti 0,1n $CaCl_2$, v H_2O in v KCl: 7.13 , 7,50, 6,71.

Horizont A_h/C , globina 10 - 25 cm, zrnata struktura, ilovnata tekstura, 20 do 30% skeleta, gosta prekoreninjenost, sprsteninast humus pH vrednosti 7,14, 7,44, 6,76.

Horizont CA_h , globina 25 - 40 cm, zrnata struktura, ostrorobi debel pesek 40-60%, ilovnata tekstura, sprsprsteninast humus, srednje gosto prekoreninjeno, pH vrednosti: 7,11, 7,37, 6,67.

Splošna oznaka: skeletna in močno odcedna tla, skromna preskrbljenost z dušikom in fosforjem.

Vzorec "Štore" - distrična rjava tla, tipična, na paleozojskih skladih

Horizont A_h , globina 0-7 cm, prašnata in drobnazrnata struktura, sprsteninast humus, gosto prekoreninjeno. pH vrednosti (v 0,1 n $CaCl_2$, v H_2O in v nKCl): 4,20, 4,73, 3,71.

Horizont $(B)_v$, globina 7-25 cm, drobnazrnata struktura, melasto ilovnata tekstura, posamezni kosi skeleta, sprsteninast humus, srednje gosta prekoreninjenost, pH vrednosti: 3,83, 4,53, 3,73.

Horizont $(B)_{v2}$, globina 25 do 40 cm, drobnazrnata struktura, melasto ilovnata tekstura, posamezni kosi skeleta, sprsteninast humus, srednjegosto prekoreninjeno, pH vrednosti: 4,05, 4,73, 3,74.

Splošna oznaka: dobro odcedna in dobro humozna tla, močno kislila v nižjih plasteh, skromno založena z rastlinam dostopnim fosforjem in magnezijem, dobro založena so s kalijem. Nizka nasičenost z bazami in nizke vrednosti kationske izmenjave.

Vzorec "Košnica" - distrična rjava tla, tipična, na paleozojski skladih

Horizont A_h , globina 0-10 cm, prašnata in drobnazrnata struktura, posamezno kamenje, prhlinasta sprstenina, gosto prekoreninjena, pH vrednosti (v 0,1n $CaCl_2$, v H_2O in v n KCl) : 4,35, 4,84, 3,98.

Horizont $(B)_v$, globina 10 - 25, zrnata struktura, ilovnata tekstura, skeleta okrog 20%, sprstenina pH vrednosti: 4,22, 4,63, 3,89.

Horizont (B)_vC, globina 25 - 40 cm, zrnata struktura, ilovnata tekstura, skeleta 40-60%, sprsteninast humus, malo prekoreninjeno, pH vrednosti: 4,51, 4,92, 4,03.

Splošna oznaka: dobro odcedna in dobro humozna tla z znatno zakisanostjo. Slaba založenost z rastlinam dostopnim dušikom, fosforjem, magnezijem, nizke vrednosti za nasičenost z bazami in za vrednosti kationske izmenjave.

Natančnejši podatki o analizah tal so navedeni v ekspertizi URBANČIČ, Mihej: Lastnosti tal in njihov vpliv na biosubstanco v rizisferi gozda IGLG, Ljubljana 1990, tipkopis, 31 strani. Avtorju se za njegov prispevek k raziskovalni nalogi iskreno zahvaljujem.

Rezultati

Poskus smo obdelali po dveh rastnih dobah. Vzorce korenin smo vzeli iz vsakega vzorca talnega tipa oz. iz vodoravno postavljenega profila tal. Pri tem smo uporabili kovinski cilindričnega premera 6 cm, ki smo ga zabodli v tla 10 cm globoko in tako dobili potrebne vzorce korenin. Take vzorce smo vzeli iz globine talnega profila 5, 20 in 35 cm in sicer iz vsake globine po dva vzorca. Pri tem smo vedno zajeli le prostor med sadikami, ki je pri saditvi ostal nedotaknjen. Od korenin, ki smo jih tako zajeli pri vsakem vbodu cilindra, smo izbrali tri najmočnejše kot vzorec za analizo. Analiza pod binokularjem je sledila kot je opisano v poglavju 3.1.

Rezultati so predstavljeni v sledeči tabeli:

Vzorec	Število kratkih drobnih korenin na 1 cm dolžine koreninskega vzorca (število vzorcev n=18)	Delež mikoriziranih kratkih drobnih korenin v %

srednja vrednost in standardni odklon		

Javor - "Košnica"	6,7 ± 3,7	
"-" "Štore"	6,3 ± 2,6	
"-" "Goljek"	9,1 ± 5,8	
"-" "Žerjav"	6,9 ± 3,7	

1	2	3
Macesen - "Košnica"	3,5 ± 1,6	11,7 ± 12,1
-"- "Štore"	5,8 ± 2,8	15,7 ± 17,0
Macesen "Goljek"	3,6 ± 1,5	4,6 ± 10,7
-"- "Žerjav"	5,3 ± 3,0	14,5 ± 13,3

V tabeli primerjamo le vzorce v parih, torej vzorec "Košnica" z vzorcem "Štore" in vzorec "Goljek" z vzorcem "Žerjav". Pregled tabele hitro pokaže, da so vrednosti za javorjeve sadike nekoliko ugodnejše na primerjalnih, torej imisijsko neobremenjenih tleh, vendar razlika je majhna in statistično neznačilna. Vrednosti za delež mikoriziranosti pri javorju nismo ugotavljali, ker se na javorju pojavlja le težko določljiva endomikoriza. Pri macesnovih sadikah pa imisijsko obremenjena tla kažejo celo nekoliko ugodnejše vrednosti, vendar razlike še zdaleč niso statistično značilne.

Ugotavljeno ponovno isto, kot pri prej opisanih poskusih. Povezave in soodnosnosti med izmerjenimi parametri niso razpoznavne in jih tudi ni možno podpreti s statističnimi izračuni. Pričakovane razlike med koreninami na imisijsko obremenjenih in neobremenjenih tleh smo skušali preveriti s pregledom korenin pod binokularjem, in po znakih, ki so opisani v poglavju 3.1. Neposredna primerjava koreninskih vzorcev pa ni mogla pokazati nobenih omembe vrednih in razpoznavnih razlik za imisijsko obremenjena in neobremenjena tla. Tudi se ni pokazala nobena omembe vredna razlika med stanjem korenin v posameznih globinah tal (5, 20 in 35 cm).

Zaključek

Zaključek je enak, kot pri prej opisanih poskusih, to je, da med stanjem korenin na imisijsko obremenjenih in na primerljivih neobremenjenih tleh ni možno dokazati nobene razlike.

3.4 POSKUS S TOPOLOVIMI POTAKNJENCI V T.I. MINI-RIZOTRONIH

Cilj poskusa je bil kot pri že prej opisanih dokazati vpliv imisijskih vnosov na gozdna tla in na razvoj korenin.

Metoda in material poskusa

Mini-rizotron je bil v našem primeru preprost lesen zaboj dimenzij 30 x 30 x 15 cm. Ena od obeh kvadratnih ploskev zaboja je steklena. Zaboj napolnimo z zemljo, ga nagnemo tako da je steklena ploskev nagnjena poševno pod kotom ca 45° proti tlem. V odprtino zaboja, ki se nahaja seveda zgoraj, posadimo poskusne sadike oz. potaknjence. V tej legi zaboj ostane ves čas poskusa. Stekleno ploskev pokrijemo tako, da svetloba ne pride do nje, da je rast korenin tako nemotena. Zaradi geotropne rasti se korenine razvijajo predvsem ob stekleni ploskvi in tako lahko vidimo razvitost korenin skozi steklo.

Tak poskus s skupno štirimi rizotroni smo opravili v rastni dobi 1990. Kot vzorce tal smo uporabili tiste, ki so opisani v prejšnjem poglavju (3.3 Poskus z vzorci tal z ohranjenim profilom), vendar tako, da smo vsak posamezen vzorec tal zdrobili in premešali v enoten vzorec. V tem primeru pač nismo mogli ohraniti naravno lego talnih plasti. Imeli smo torej dva para vzorcev: "Žerjav" in "Goljek" - oboje skeletna rendzina na dolomitu, prvi je vzet iz imisijskega območja, drugi pa iz imisijsko neobremenjenega nahajališča, ter drugi tak par vzorcev "Štore" in "Košnica" - oboje distrična rjava tla. Opis tal glej v poglavju 3.3.

Vsak od štirih rizotronov je tako imel pet topolovih potaknjencev klona Mühle-Larsen. Pustili smo jih rasti najprej v rastlinjaku, od konca maja naprej pa na prostem. Potaknjenci so hitro rasli in dosegli poprečno 70 cm višine. Za nas je bila pomembna samo medsebojna primerjava vzorcev v vsakem od dveh parov vzorcev.

Rezultati. Potaknjenci na talnih vzorcih "Žerjav" in Goljek" (oboje skeletna rendzina) sta rasla nekoliko hitreje od drugega para "Štore" in "Košnica". Sicer pa v uspevanju in rasti ni bilo bistvenih razlik na obremenjenih in na neobremenjenih tleh, torej med vzorci v posameznih parih. Manjše razlike, ki so se pojavljale, lahko pripišemo naključnim vplivom in te razlike so gotovo premajhne, da bi jim lahko iskali soodnosnost z imisijsko obremenjenostjo tal. Enako velja za koreninski pletež, kot ga je možno videti skozi steklo. Tudi tukaj v okviru parov ni bistvenih razlik, iz katerih bi lahko naredili zanesljive zaključke. Ugotavljanje kakšnih parametrov in njihova statistična obdelava v našem primeru ni bila možna in smiselna. Zaključek je enak, kot pri prej opisanih poskusih.

4 RAZPRAVA O REZULTATIH

4.1 ŠKODE NA KORENINAH GOZDNIH DREVES ZARADI IMISIJSKIH VNOSOV V TLA

Kot že omenjeno, je raziskava med drugim hotela ugotoviti, kako dolgoletni in močni imisijski vnosi vplivajo na vitalnost in morfologijo korenin v tleh. S poskusi smo simulirali razmere nenadnega prenehanja dolgotrajnih močnih imisijskih vnosov, ko se postavlja vprašanje obremenjenosti in poškodovanosti tal zaradi nekdanjih imisijskih vnosov.

Pričakovanega izrazitega poslabšanja razvitosti in vitalnosti korenin z našimi poskusi nismo mogli ugotoviti. Seveda pa ne more biti dvoma, da je prišlo kljub temu do degradacije tal oz. koreninskega prostora zaradi povečane kislosti tal, vnosa t.i. težkih kovin, pa tudi čisto preprosto zaradi izpostavljenosti tal na bolj ali manj goli površini.

V tej zvezi lahko postavimo vprašanje, kakšne so izkušnje z obnavljanjem in uspevanjem gozda na imisijskih goljavah po prenehanju neposrednih močnih imisij. Tako tudi skušamo najti vsaj nekaj odgovora na vprašanje, koliko kronična, splošno razširjena in težko dokazljiva onesnaženost zraka s svojimi imisijami škoduje koreninam in koreninskemu prostoru gozda. Obširne imisijske goljave in sploh z akutnimi imisijami opustošeni gozdovi se nahajajo v vzhodnem delu srednje Evrope in seveda okrog naših šoštanjev, Trbovelj, Dolin smrti itn. Uničevanje vsega živega z imisijami tukaj žal še zdaleč ni prenehalo. Tako regeneracije gozda po prenehanju neposrednih močnih imisij ne moremo opazovati. Kjer so se imisije lokalno le zmanjšale, npr. ponekod v Mežiški dolini, lahko opazamo vzpodbudno naravno obnovo uničenega gozda, seveda z nižjimi stopnjami rastlinske sukcesije. Sicer pa poročil o obnavljanju uničenega gozda po prenehanju akutnih imisijskih vplivov v literaturi žal nisem mogel zaslediti. Izgleda, da v zahodni Evropi taki problemi nikoli niso bili posebno aktualni in da so že zadovoljivo rešeni. V vzhodni Evropi pa o kakšni regeneraciji gozda po prenehanju akutnih imisij še ne more biti govora.

Iz rezultatov naših poskusov lahko naredimo zaključek, da dolgotajni in močni imisijski vplivi sicer opustošijo ali celo uničijo gozdni sestoj, toda v tleh oz. v koreninskem prostoru kakšnega izrazitega vpliva imisijskih vnosov ni mogoče dokazati. Ta zaključek pa seveda ne velja prav v vsakem primeru. Pri nepregledni različnosti talnih tipov ter rastiščnih, sestojnih in drugih razmer, ki jih v našem gozdu srečujemo, najdemo tudi degradirana ali kakorkoli za imisijske vplive bolj občutljiva in ranljiva tla.

Za onesnaženost zraka z žveplom in drugimi polutanti imamo neke mejne vrednosti njihovih koncentracij, pri katerih naj bi bile škode na gozdu še nekako znosne. O kakšnih mejnih vrednostih za imisijsko onesnaženost tal pa ne more biti govora, razen morda pri vsebnosti t.i. težkih kovin. O imisijskih vnosih v tleh lahko nekaj sklepamo le posredno iz pH vrednosti posameznih horizontav tal, iz količine izmenljivih kationov v absorpcijskem kompleksu, iz vsebnosti rastlinam dostopnih biogenih elementov in iz drugih rezultatov kemične analize tal. Precej grob kazalec razmer v tleh je tudi stanje drevesnih korenin (vitalnost, razvitost v posameznih horizontih tal, razvejanost, poškodovanost, mikoriziranost itn.). Pri tem ne moremo točneje ugotoviti, kaj je posledica imisijskih vnosov in kaj bi utegnilo biti posledica drugih škodljivih človekovih vplivov (steljarjenje, paša, goloseki itn.). Tako nimamo nobenih oprijemljivih meril, s katerimi bi zanesljivo določili stopnjo imisijske poškodovanosti tal. Pomagamo si sicer lahko s simuliranjem imisijske obremenjenosti v laboratorijskih poskusih, kar ima seveda le omejeno vrednost laboratorijskega poskusa. Sicer nam le ostaja dolgoročno opazovanje stanja tal, ki ga spremljajo redne in vsakoletne analize kemičnih in drugih lastnosti tal, analize talne flore itn. Po najmanj desetletnem takem opazovanju oz. monitoringu stanja tal lahko šele nekaj sklepamo o ugodnih ali neugodnih premikih v stanju tal, o posledicah imisijskih vnosov.

Če izvzamemo kakšne drastične imisijske obremenitve, katerim se nobeno drevo ne more upirati, imamo v praksi opraviti z zelo neenakomernim propadanjem gozda. Tako najdemo v gozdu normalna in zdrava drevesa, takoj poleg njih pa močno prizadeta ali celo odmirajoča. Očitno se posamezna drevesa različno upirajo propadanju zaradi različnih genetskih kvalit, sestojnega položaja in ne nazadnje tudi zaradi neenakomernosti razmer v koreninskem prostoru. Lastnosti tal se morejo že na majhnih razdaljah

občutno spremeniti, posebno še v močno razgibanem svetu, kar lahko opazimo pri jemanju reprezentativnih vzorcev tal. Pri vsej tej zapletenosti položaja se ne moremo zadovoljiti z drobnimi posamičnimi raziskavami, kot so pri nas v navadi. Brez velikopoteznejših raziskav lahko razikovalno delo postane hudo jalovo. Za zgled si lahko vzamemo raziskave imisijsko obremenjenih gozdnih ekosistemov na južnem Poljskem, ki so urejeni obliki objavljene v zborniku GRODZINSKI et al. 1984. Pri tem je sodelovala cela vrsta poljskih in ameriških avtorjev. Seveda so naše pozornosti vredni tudi UNESCO-vi oz. MABovi projekti, kot npr. znani projekt "Solling" v Zahodni Nemčiji in drugi podobni projekti.

V zvezi z ogroženostjo koreninskega prostora gozda je pač treba premisliti, kakšne raziskave so v naših razmerah sploh priporočljive in izvedljive. Verjetno je to predvsem t.i. monitoring stanja gozda, ki bi vključeval tudi sistematična opazovanja in analize tal ter korenin. Pri tem lahko uporabimo posredno ugotavljanje imisijske obremenjenosti gozda s pomočjo t.i. odtoka po deblu (nem. Stammabfluss, glej poglavje 1.2). V tej zvezi naj omenim disertacijo SELETKOVIĆ 1990, ki uporablja to metodo za ocenitev imisijske obremenjenosti bukovih in hrastovih gozdov v Slavonskem gorju.

4.2 IMISIJSKI VNOSI V KOPENINSKI PROSTOR KOT MOŽNI PRIMARNI VZROK SEDANJEGA PROPADANJA GOZDOV

Po znani in uveljavljeni hipotezi prof. Ulrich je glavni vzrok sedanjega propadanja gozdov v srednji Evropi vnos kislih imisij v gozdna tla, predvsem v obliki kislega dežja. Posledice so po prof. Ulrichu napredujoče zakisanje tal, ki je ponekod že doseglo tisto mejo, pri kateri aluminij, ki je kot kemični element v tleh dobro zastopan, prehaja v toksično topno obliko. To pomeni poškodbe korenin, degradiranje tal in seveda propadanje gozda (glej poglavje 1.2).

Hipoteza je mišljena kot razlaga propadanja gozdov na velikih površinah, kjer zrak velja kot razmeroma čist in kjer kakšnih neposrednih imisijskih škod ni. V našem primeru imamo opraviti z neposrednim imisijskim opustošenjem gozda. Močne in akutne imisije so uničevalno delovale predvsem na tako občutljive in izpostavljene organe drevesa, kot so listi oz. iglice. V skladu s hipotezo prof. Ulricha pa pri vsej drastičnosti imisijskih

vnosov lahko računamo tudi z različnimi škodami v tleh oz. na koreninah. Žal nam točnejša analiza imisij v naših dveh primerih (Celje in Mežiška dolina) manjka in ta analiza bi terjala dodatne in zelo zahtevne raziskave, katerih si gotovo ne bi mogli dovoliti. Lahko predpostavljamo, da je bil v zadnjih desetletjih zelo močen vpliv kislih imisijskih vnosov. Tudi ni manjkalo prašnih vnosov, ki so vsebovali med drugim t.im. težke kovine. Ti prašni imisijski vnosi kljub svoji morebitni alkalnosti vpliva kislih vnosov verjetno niso mogli bistveno ublažiti. Tako je bilo čisto logično pričakovanje, da se mora pravilnost hipoteze prof. Ulricha še najprej izkazati na imisijskih goljavah oz. v imisijsko močno opustošenem gozdu, kjer ne manjka obilnih in dolgotrajnih imisijskih vnosov in s tem občutnega zakisanja tal.

Ta sicer logično postavljena pričakovanja se niso izpolnila. Jasnih in dokazljivih poškodb na imisijsko obremenjenih tleh v primerjavi s podobnimi, toda imisijsko neobremenjenimi, nismo mogli ugotoviti. Da hipoteza prof. Ulricha ne prestane vedno kritične preskušnje lahko razberemo tudi iz članka REHFUESS 1989. Nekatera raziskovanja razvoja talne flore v gozdu v zadnjih desetletjih in raziskovanja mikoflore v tleh ne govore za odločilen vpliv imisijskih vnosov v tleh (npr. WILMANN 1988, LETTL 1988).

Hipotezi prof. Ulricha moramo vendar priznati, da v nekaterih primerih prepričljivo razlaga sedanje propadanje gozda. To velja za znaten del Zahodne Nemčije in predvsem za zahodnonemška sredogorja, kjer propadanje gozda povzroča velike skrbi (Erzgebirge, Harz, Fichtelgebirge, Schwarzwald itn.). Verjetno so podobne naravne razmere tudi v sredogorjih vzhodnega dela srednje Evrope, kjer pa nastopa še poseben problem katastrofalnega "socialističnega smoga", podobno kot okrog naših šoštanjev, Trbovelj, Kidričevih, Dolin smrti itn. (primerjaj tudi poročilo REBELE 1988). Na kratko lahko rečemo, da imamo v teh primerih opraviti z neke vrste ekstremnimi tlemi, ki svojo neugodnost pokažejo pod antropogenimi vplivi, kot je npr. gloseki, steljarjenje in še bolj pod vplivom kislih imisijskih vnosov. To so predvsem gozdna območja in tla na neugodnih in kislih matičnih kameninah, kjer je kritični faktor v minimumu preskrbljenost tal z bazičnimi biogenimi elementi, kot so Ca, Mg, K, Mn. Na takih tleh lahko

hitro sprožimo degradacijske procese, kot je zakisanje z vsemi slabimi posledicami, antropogeno podzoliranje itn. V takih razmerah lahko že zmerni imisijski kisli vnosi povzročijo izpiranje in izginevanje omenjenih biogenih elementov iz tal, kar povzroči motnje v prehrani gozda in s tem propadanje gozda s simptomi, kot je rumenenje, rjavenje in odpadanje listov oz. iglic ipd. (HÜTTL in FINK 1988, SCHULZE et al. 1989). Za območja takih občutljivih tal je značilna močna kislost tal z vsemi neugodnimi posledicami, kar skušajo zdraviti z apnenjem oz. z mineralnim gnojenjem (glej poglavje 1.5). Iz takih območij tudi prihajajo tožbe o preveliki kislosti pitne vode, ki se seveda zbira v gozdu, in sploh o preveliki zakisanosti voda v potokih, izvirih, jezerih, ribnikih (o tem glej posebno številko Allg.Forstz., 1989 München, No. 35-36). Da močna kislost in osiromašenost tal neugodno vpliva tudi na stanje in razvoj korenin je razumljivo.

Kot zaključek lahko rečemo, da vzroke za sedanje propadanje gozdov lahko najprej iščemo v neposrednem delovanju onesnaženja zraka in kislilnih padavin na liste oz. iglice. Več kot dovolj je možnosti, da kisle in druge imisije razjedajo povrhnjice listov, izpiranje bazične katione (Ca, Mg, K itn.) iz njih povzročajo fiziološke motnje itn. Potem razjedeni in prizadeti listi podležejo izsuševanju, glivičnim infekcijam itn., kot ugotavljajo mnogi avtorji, npr. GLATZEL et al. 1987, HAHN 1990, FRITSCH 1990. Vpliv imisijskih vnosov na tla in korenine pa je, razen v posebnih primerih, manj odločilnega pomena.

Ne smemo prezreti, da nas hipoteza prof. Ulricha opozarja na nevarnost, ki dejansko obstoja, pa čeprav zaenkrat morda še ne pomeni katastrofe, to je postopno zakisanje tal z vsemi posledicami. Raziskovanja o premikih pH vrednosti tal v srednji Evropi v zadnjih desetletjih, kolikor jih je bilo, so dale zelo vznemirljive rezultate (glej poglavje 1.2). Gotovo bi bilo zelo pomembno vedeti kaj več o tem, kako se je stanje gozdnih tal spremenilo v zadnjih desetletjih. Nekdanje analize tal in morebitni arhivirani vzorci tal so za primerjavo današnjega stanja z nekdanjim neuporabni, razen v redkih izjemnih primerih, kot so npr. ponavljajoče se analize tal na poskusnih ploskvah skozi dolga desetletja. Kot že omenjeno imajo naša raziskovanja na področju gozdne ekologije po mojem mišljenju še največ izgledov, če se koncentrirajo na t.i. monitoring stanja gozda vključno s

stanjem tal in korenin. Sem spada poleg rednih inventur poškodovanosti oz. propadanja gozda tudi sistematično opazovanje razvoja talne flore, merjenje imisijskih vnosov, foliarne analize, razne analize tal in korenin itn. To je edini način, da zanesljivo ugotovimo nevarne ekološke sprembe v gozdnem okolju. Pri vseh grozečih ozonskih luknjah in učinkih tople grede ter pri drugih nepredvidljivih naglih premikih v globalnem in lokalnem ekološkem ravnotežju, se taka ekološka budnost gotovo izplača, tudi ne glede na hipotezo prof. Ulricha. Tak "monitoring" mora trajati vsaj kakšno desetletje, da dobi svojo pravo vrednost. Tako se izplača z njim čimprej začeti.

V tej zvezi naj spomnim na pomen dolgoročnih sistematičnih opazovanj v gozdu. Pri vseh dolgoročnosti razvoja gozda rabimo cela desetletja, da se jasno pokažejo premiki v stanju gozda, posledice dobrega ali slabega dela, obremenitev okolja in da se nekaj lahko naučimo iz tega. Dragoceni so podatki iz gozdnih kronik, pa čeprav morda pomenijo bolj subjektivna in naključna opazanja. Žal teh kronik ne vodimo več. Ne zavedamo se, da utegnejo biti današna opažanja v gozdu dragocena za naše naslednike čez nekaj desetletij.

Z "monitoringom" tal so v Zahodni Evropi že začeli (DAHLHÄUSER in SCHUBERT 1989, EVERS 1989). Z raziskavami te vrste bi se tudi mi lahko vključili v mednarodna prizadevanja in zanje bi še naprej imeli mednarodno podporo. Kot so npr. naše inventure poškodovanosti gozdov zanimive vsaj za sosednje države in verjetno tudi za širšo mednarodno skupnost, tako je tudi z "monitoringom" gozdnih tal. Zaradi katastrofalnih posledic zgrešenega povojnega razvoja tudi na znanstvenem področju imamo zelo malo možnosti za znanstveno delo, ki bi dohajalo dosežke v svetu in opravičevalo vložena sredstva. "Monitoring" gozdnih tal je verjetno ena od takih redkih možnosti.

4.3 GOZDARSKE MOŽNOSTI ZA NEGO KORENINSKEGA PROSTORAIN KORENIN GOZDNEGA DREVJA

4.3.1 Uvod

Imisijski vnosi niso edini vzrok slabše vitalnosti korenin z vsemi posledicami. Pomembno vlogo pri poslabševanju razmer v koreninskem prostoru ima danes težka gozdna mehanizacija, ki tlači in poškoduje tla in korenine, pospešuje erozijo in sploh škoduje koreninskemu prostoru. S primerno tehniko v gozdu se je možno temu izogniti (traktorske pnevmatike z nizkim pristiskom; primeren način dela - traktor ostane le na utrjeni vlakci, lesa ne spravljamo takrat, ko so tla najbolj razmočena in mehka itn.). O tem je bilo že nekaj napisanega v literaturi (ROTARU 1985, BECKER et al. 1986, BECKER 1989, HESSE 1990, HETSCH et al. 1990, HOFMANN et al. 1990 itn.).

Velike škode na koreninah povzroča malomarna saditev, pri čemer korenine sadik stlačimo v premajhno saditveno jamico in jih spravimo v zelo nena- ravno lego. Posledica je deformiranost koreninskega sistema drevesa, samo v nekajletnih nasadih, ampak tudi pri odraslih sestojih, kar gotovo pomeni njihovo slabo zakoreninjenost in slabo stojnost. (STROHSCHNEIDER 1987).

Ne vplivajo samo tla na korenine, ampak tudi korenine presenetljivo močno vplivajo na tla. To je med drugim ugodnem vpliv korenin na strukturo, rahlost in humoznost tal, pa tudi dvigovanje vrhnje plasti tal, ki ga lahko opazamo celo kot dvigovanje asfalta nad posameznimi drevesnimi koreninami na mestnih pločnikih. Več o tem glej pri HAGER 1989.

Imisijski vnosi veljajo v znatnem delu srednje Evrope kot problem gozdnih tal in korenin. Ta problem je rešljiv edino s prenehanjem imisij in onesnaževanja zraka in okolja sploh. Vsi drugi ukrepi za ublaževanje imisijskih vplivov v gozdnih tleh ne obetajo večjih uspehov, pomenijo bolj zdravljenje simptomov kot same bolezni. Med take ukrepe lahko štejemo predvsem mineralno gnojenje gozdnih tal (glej poglavje 1.5).

Razen takih bolj ali manj agrotehničnih ukrepov nam ostane le še intenzivna in skrbna nega gozda in s tem tudi gozdnih tal. Ne glede na imisijske vnose, kisel.dež, umiranje gozdov itn. je nega gozda nekaj, kar nujno spada k dolžnosti gozdarskega poklica. To velja še toliko bolj v kritičnih razmerah, kot jih imamo sedaj.

4.3.2 Gozdnogojitvene možnosti za nego korenin in tal

Po hipotezi prof. Ulricha kisli vnosi povzročajo nenaravno in razmeroma naglo napredujočo podzolizacijo tal, kar pomeni poslabšanje in osiromašnost tal ter vrsto motenj v gozdnem ekosistemu in tako tudi propadanje gozda. Avtor v skoraj vseh svojih člankih (npr. ULRICH 1986, 1989) kot najboljši gozdnogojitveni ukrep proti takemu razvoju priporoča čisto preprosto nego tal. To pomeni predvsem nego gozdnega humusa, vzdrževanje primerne sestojne klime, obzirno izrabo gozda in sploh negovalno gospodarjenje.

Poslabšanje in osiromašnost gozdnih tal zaradi vplivov človeka znatno prispeva k sedanji ogroženosti gozda, tudi če odmislimo hipotezo prof. Ulricha, kisel.dež itn. Nekdanje krčenje gozdov, pa čeprav so izkrčene površine že stoletja ponovno pod gozdom, je verjetno marsikje trajno osiromašilo gozdno rastišče. Še bolj velja to za gozdno poljsko gospodarjenje in požigalništvo, kot je bilo pred sto leti še v navadi npr. na Pohorju. Smrekove monokulture na rastiščih mešanega ali listavskega gozda tudi siromašijo tla. Srednjeveški način izrabe gozda, kot je gozdna paša, povzročajo škode tudi na gozdnih tleh, da ne govorimo o steljarjenju, ki je v teku stoletij do nespoznavnosti osiromašilo nekdanja bogata gozdna rastišča v vsem našem gričevnatem in nižje ležečem svetu. Tudi današnja nenaravna raztrganost gozda s cestami, vlakami, daljnovodi, s številnimi pomlajevalnimi površinami in sploh številne vrzeli v gozdu, pretrgan sklep krošenj, škode zaradi divjadi itn. - vse to slabi življensko moč gozda, posredno ali neposredno siromaši gozdna tla.

Že stara gozdarska izkušnja pravi, da po stanju humusa prepoznamo stanje celotnega gozda, kar lahko na kratko izrazimo kot "Gospodarjenje z gozdom je gospodarjenje s humusom" (Waldwirtschaft = Humuswirtschaft). Na pomen gozdnega humusa opozarja KRAPPENBAUER in GASCH 1989. Negovalno gospodarnjenje, kakršnega si želimo, pomeni najboljšo nego tal oz. humusa, pa čeprav le posredno. Organska snov v tleh zaradi svojih velikih zmožnosti za tovrbo kompleksnih snovi in za vezanje škodljivih snovi deluje blažilno in izravnalno na razna kemična nesorazmerja, ki se utegnejo pojavljati v tleh. To je še posebno pomembno v času kislega dežja in imisijskih vnosov. HÜTTERMANN et al. 1982 navaja primer tal, ki so izredno obremenjena s kislimi in drugimi imisijskimi vnosi, zaradi t.im. odtoka pod deblu. Bukovo mladje na teh tleh korenini samo v vrhnji, to je humozni plasti tal, kjer se pozna blažilen vpliv organske snovi. Mineralna tla pod njo so toliko zastrupljena, da korenine bukovega mladja tam preprosto odmirajo. Tak primer imisijske zastrupljenosti je na srečo le bolj izjema. Toda tudi sicer lahko pri izkopavanjih talnih profilov vidimo, da so močno prekoreninjene le zgornje in s humusom bogatejše plasti tal. Po hipotezi prof. Ulricha imamo sploh opraviti z odmiranjem korenin in vedno slabšo prekoreninjenostjo v globljih in mineralnih plasteh tal, kjer manjka organske snovi z njenim blažilnim vplivom na imisijsko obremenjenost tal.

Organska snov oz. humus ni pomembna samo za kemizem tal, ampak prav tako za fizikalne lastnosti tal. (zračnost tal, sprejemljivost za vodo). V času izpiranja hranil iz tal zaradi kislega dežja organska snov predstavlja pomemben kapital hranil. Ko zadržujemo mineralizacijo humusa, ohranjamo ta kapital hranil v tleh in ga varujemo pred izpiranjem in izgubo. Grobo gospodarjenje v gozdu, ki se ne ozira na stanje tal in humusa, pomeni temu primerno katastrofo. Grobo gospodarjenje je npr. uporaba težke mehanizacije v gozdu, ki pušča za seboj močno vrzelast gozd ali sploh gole površine, ki na veliko rani in tlači mehka gozdna tla, ki jim jemlje zaščito drevesnih krošenj pred sončno pripeko, nalivi itn.

Sicer se vsaka grobost pri gospodarnjenju z gozdom nazadnje pokaže tudi kot siromašenje gozdnih tal, tako npr. zgrešeno lovsko gospodarstvo, ki preprečujejo naravno pomlajevanje ter tako normalno zaraslost in naravni sestav gozda.

Kaj lahko torej storimo za nego gozdnega humusa in s tem za revitaliziranje gozda? O tem ULRICH 1986, 1989 in v drugih svojih publikacijah. Na kratko bi lahko rekel, da se moramo odpovedati vsem grobstim v gospodarjenju z gozdom in dosledno gospodariti negovalno. Tako je med drugim pomembno tudi sledeče:

- Eksploatacija oz. izraba gozda je navadno nekaj, kar gozd slabi. Zato naj bo izraba gozda čim bolj obzirna. To pomeni tudi, da moramo iz gozda jemati čim manj, torej le vrednejši debelejši les in puščati v gozdu vse drugo (lubje, vejevje, vso drobno biomaso, steljo itn.). Drobna biomasa, kot je listje, vejevje in tudi lubje, vsebuje razmeroma zelo veliko biogenih kemičnih elementov, ki jih ne moremo brez škode odtegovati gozdu. Ker je ta drobna biomasa tudi gospodarsko zelo malo zanimiva, jo torej puščajmo v gozdu. Izraba t.i. sečnih ostankov je slaba racionalizacija gozdarstva, prav tako tudi razne metode izrabe celoga drevesa in podobne eksploatacijske domislice. Naravno kroženje snovi v gozdu iz tal v debela in krošnje ter z odmrlo organsko snovjo spet v tla moramo pustiti čim bolj neokrnjeno (primerjaj tudi ULRICH 1981, KOWALKOWSKI 1983, LEHRINGER 1987). Zato je pomembna polna zaraslost gozda. Tudi talna flora je koristna za nego gozdnih tal, če drevesnega zastora ni. Uporabo herbicidov proti talni flori moramo odločno odklanjati.

- Za nego in obnavljanje gozdnega humusa rabimo tudi primerno sestojno klimo, dovolj sklenjen sklep krošnj ali vsaj neko izpolnjenost gozda s podstojnim sestojem. S tem uravnavamo obračanje humusnega kapitala. Razrahanje drevesnega zastora in povečan dostop toplote do tal lahko hitro sproži nezaželeno mineralizacijo humusa. Če gozdni sestoj ne more sproti porabiti hranil, ki se sproščajo iz humusa, se ta izperejo in gredo v izgubo. Tvorba nitratov pri mineralizaciji humusa pomeni poleg tega nevarnost povečane kislosti tal. V razmerah kislega dežja je prehitra mineralizacija humusa še posebno neugodna, izpiranje hranil je še večje, prav tako tudi nevarnost nadaljnega zakisanja tal. Pri odpiranju drevesnega zastora moramo biti zelo previdni. Oblika humusa naj odgovarja danim naravnim razmeram rastišča. Npr. v subalpskih smrekovih gozdovih je surovi humus nekaj naravnega in najbolj primernega za te razmere. Surovega humusa nikakor ne smemo v vsakem primeru smatrati kot nekakšno bolezen tal, ki je potrebna zdravljenja. Tako tudi sprstenina (nem.Mull), ni vedno

in povsod najbolj primerna oblika humusa. Upoštevati moramo intenzivnost rasti gozda in intenzivnost kroženja materije v ekosistemu, klimatske razmere rastišča, nevarnosti izginevanja humusa in temu primerno negovati tla. Na previdnost pri rahljanju zastora krošenj oz. pri redčenjih pogosto opozarja prof. ULRICH (npr. 1986, 1989).

- Ne smemo pozabiti na čim bolj naraven sestav gozda, kjer naj bodo dobro zastopane drevesne vrste, ki globoko koreninijo, odpirajo globlje talne plasti, s steljo popravljajo tla in tako poživljajo naravno revitalizacijo gozda. Največja ovira za naravni sestav gozda je žal sedanje zgrešeno lovsko gospodarstvo oz. škode zaradi divjadi.

5 POVZETEK

Cilj raziskave je bil doprinesiti k poznavanju škodljivih vplivov imisijskih vnosov na gozdna tla in drevesne korenine. V tej zvezi raziskava želi vsaj delno odgovoriti na vprašanje, koliko so imisijski vnosi v gozdna tla krivi za sedanje propadanje gozda in kaj lahko naredimo na gozdnogojitvenem področju za ublaževanje škod.

V okviru raziskave je bilo narejenih več poskusov v loncih oz. v zabojih ter v t.i. mini-rizotronih, ki so bili napolnjeni z vzorci tal iz izrazito območij. Vzorci so bili vzeti z imisijskih goličav s posameznim drevjem. Prva vrsta vzorcev predstavlja distrični kambisol z meljasto-ilovnato teksturo iz neposredne bližine Celja. Druga vrsta vzorcev predstavlja diametralno nasproten talni tip, to je skeletno rendzino na dolomitu iz neposredne bližine topilnice svinca in metalurških obratov v Žerjavu v Mežiški dolini. Kot primerjava oz. kontrola so služili vzorci zelo podobnih tal iz bližnjih imisijsko skoraj neobremenjenih nahajališč. Kot poskusne rastline so služile sadike smreke, črnega bora, macesna, javorja, breze ter topolovi potaknjenci. Poskuse smo izvedli v parku in rastlinjaku našega Inštituta v Ljubljani, kjer lahko predpostavljamo, da je zrak še razmeroma čist. Neposredno in močno onesnaženje zraka smo torej izključili. Po eni do treh rastnih dobah smo analizirali morfologijo in vitalnost teh sadik oz. potaknjencev, med drugim tudi z razvejanostjo kratkih korenin in stopnjo njihove mikoriziranosti.

Ker so bili vzorci tal vzeti iz imisijskih goličav in polgoličav, smo pričakovali tudi znatno poslabšanje oz. zastrupljenost tal z zelo neugodnim vplivom na razvoj korenin in na vitalnost sadik sploh. Vendar rezultati poskusov teh pričakovanj niso potrdili. Ni bilo mogoče statistične dokazati boljše razvitosti in vitalnosti korenin na vzorcih tal iz imisijsko uničenega gozda. Tudi sicer ni bilo možno prepoznati kakšnih koli povezav in soodnosnosti. Rezultate raziskav naj izrazijo sledeči zaključki:

1. Dolgoletni in močni imisijski vnosi v tleh, kot jih lahko pričakujemo v imisijsko opustošenem ali uničenem gozdu naših najbolj znanih imisijskih žarišč, ne pomenijo občutnega poslabšanja stanja tal in s tem poškodovanosti in slabše vitalnosti drevesnih korenin. To pomeni, da po prenehanju imisij v imisijsko opustošenih gozvodih poslabšanje stanja tal ne more biti pomembna ovira za obnovo gozda. To velja le za bolj ali manj normalna tla, ne pa za tla z zelo neugodnimi kemičnimi lastnostmi (npr. močno kisla tla, tla z zelo enostransko kemično sestavo). Na takih bolj ali manj ekstremnih tleh tudi zmerni imisijski vnosi lahko razmeroma hitro sprožijo motnje v kemizmu tal in v prehrani rastlin oz. gozda.

2. Rezultati raziskave ne morejo podpreti znane hipoteze prof. Ulricha, po kateri kronični kisli imisijski vnosi v tla pomenijo med drugim poškodbe korenin in so glavni vzrok sedanjega propadanja gozda. Seveda o tej hipotezi še zdaleč ne moremo izreči dokončne besede. Za razmere v Sloveniji pa lahko rečemo, da sedanje propadanje gozda s to hipotezo ne moremo zadovoljivo pojasniti. Škodljiv vpliv onesnaženja zraka oz. kislega dežja lahko pričakujemo predvsem v poškodovanju asimilacijskih organov oz. listov in iglic, ne pa toliko v poškodovanju tal in korenin.

3. Čeprav izgleda, da imisijski vnosi v gozdna tla ne pomenijo akutnih poškodb korenin, njihov dolgorajni kronični vpliv gotovo pomeni neko poslabšanje stanja tal. Zato je zelo potrebna nega gozdnih tal in korenin v njih. To je edini možni gozdnogojitveni ukrep, s katerim lahko ublažujemo neugodne vplive imisijskih vnosov v tla. K negi gozdnih tal pa nujno spada ohranjanje kroženja snovi v gozdu. To pomeni, da ne smemo z različnimi eksploatacijskimi domislicami spraviti iz gozda vse, kar se spraviti da.

T.i. sečni ostanki (lubje, vejevje itn.) morajo nujno ostati v gozdu, tudi ker vsebujejo razmeroma zelo veliko mineralnih snovi, katerih ne moremo brez škode vzeti iz kroženja snovi v gozdu. Dovolj obremenjujemo gozd že s tem, da jemljemo iz njega olupljen debelejši les, ki vsebuje razmeroma malo mineralnih snovi. Ko ohranjamo čim več odmrle organske snovi v gozdu, ohranjamo s tem tudi gozdni humus, ki je ogledalo dobrega ali slabega gospodarjenja z gozdovm.

S tem je nujno povezana tudi nega humusa s primerno sestojno klimo, s sonaravnostjo in mešanostjo gozda in z negovalnim gospodarjenjem sploh. Kakšno koli grobo in zgrešeno gospodarjenje z gozdom, ki napravi gozd vrzelast in ki uničuje pomlajevanje, polno zarast in naravni sestav gozda, uničuje s tem tudi gozdni humus in gozdna tla, oz. koreninski prostor gozda. Škodljiva ni samo npr.groba eksploatacija gozda, ampak tudi zgrešeno lovsko gospodarstvo, ki je krivo za splošno siromašenje gozda.

4. Zaradi sedanjega hudo ogroženega ekološkega ravnotežja v gozdu in v naravnem okolju sploh lahko pričakujemo tudi razmeroma nagle premike v stanju gozdnih tal in korenin. Sistematično dolgoročno opazovanje stanja tal in korenin ali "monitoring" tal in gozda sploh nam lahko daje še najbolj zanesljivo sliko o razvoju in ogroženosti tal in tako potrdi ali ovrže hipotezo prof.Ulricha o latentnem propadanju tal zaradi kislih imisijskih vnosov. Vendar je potrebno najmanj 10 letno opazovanje, da dobimo zanesljive rezultate. T.i.inventure poškodovanosti gozdov naj bi se tako razširile tudi na "monitoring" gozdnih tal. Zahodna Evropa je s tem že začela. "Monitoring" tal bi pomenil smotrno izrabo naših raziskovalnih zmogljivosti in našo vključitev v mednarodna prizadevanja.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Einfluss von Immissionseinträgen auf Wurzeln der Waldbäume

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist zum Kenntnis von Immissionswirkungen auf Vitalität und Morphologie von Wurzeln und damit zu Erforschung des Waldsterbens beizutragen. Durch Immissionen verursachte Boden- und Wurzelschäden können nur schwer bewiesen werden wegen dem überall anzutreffenden bunten Wechsel von Bodenverhältnissen, der schwierigen Erfassung von Boden und Wurzeln usw. Aus diesem Grund befasste sich die vorliegende Untersuchung nur mit Bodenproben aus stark belasteten Immissionsgebieten und mit Versuchspflanzungen auf diesen Bodenproben.

Im Rahmen der Untersuchung wurde eine Reihe von Topfversuchen ausgeführt. Als Versuchspflanzen dienten einjährige Sämlinge von Lärche, Ahorn, Birke, Schwarzkiefer, zweijährige Fichtensämlinge, sowie auch Pappelstecklinge. Die Versuchsdauer umfasste eine bis drei Vegetationsperioden. Als immissionsbelastete Bodenproben dienten Braunerden auf paläozoischen Schiefern aus Immissionsblößen mit spärlichen Waldresten aus dem Gebiet von Celje, sowie Rendzinen auf Dolomit aus dem Gebiet des Meža-Tal, ebenso aus Immissionsblößen mit spärlichen Waldresten. Die Topfversuche wurden auf dem Gelände der Forstlichen Versuchsanstalt in Ljubljana durchgeführt, wo die Luft relativ sauber ist. Damit wurde unmittelbare Beeinflussung der Pflanzen durch stark verunreinigte Luft weitgehend ausgeschaltet. Zu prüfen blieben die Folgen einer langjährigen starken Immissionsbelastung des Bodens, bzw. Bodenverschlechterung durch Versauerungs- und Auswaschungs Vorgänge, sowie durch Anreicherung mit Schwermetallen. Als Indikator dieser Bodenverschlechterung wurde Wurzel-Morphologie und -Vitalität, sowie Mykorrhizierungsgrad von Feinwurzeln benutzt. Als Kontrolle dienten vergleichbare Bodenproben aus benachbarten und durch Immissionen wenig belasteten Gebieten.

Nennenswerte Wurzelschäden und -Beeinträchtigungen in den Bodenproben aus Immissionsgebieten konnten nicht festgestellt und bewiesen werden. Das bedeutet noch keinen Freispruch für Immissionen und ihren Einfluss auf den Boden und Wurzeln. Jedoch nach den vorliegenden Befunden ist die primäre Ursache des Waldsterbens in Mitteleuropa nicht vor allem im Bereich von Boden und Wurzeln zu suchen. Von Sonderfällen abgesehen dürfte vor allen

unmittelbare Immissionseinwirkung auf grüne Baumkronen für das Waldsterben verantwortlich sein. Immissionseinflüsse auf Böden und Wurzeln dürften am ehestens durch ein grosszügiges und langfristiges Bodenmonitoring beweisbar sein.

Düngungsmassnahmen nach landwirtschaftlicher Vorbild als Sanierung von Immissionsschäden im Wurzelraum des Waldes sind in Verhältnissen Sloweniens nicht empfehlenswert. In jedem Fall ist die waldbauliche bzw. forstliche Bodenpflege eine unbedingte Notwendigkeit. Bodenverschlechterungen stellen auch ohne saure und andere Immissionen eine ernste Gefahr für den Wald und seine Vitalität dar.

7 LITERATURA

7.1 Splošno o koreninah

- ABDUL-HADI, A.: Raziskave na koreninskem sistemu naravnih zasejancev črnega bora na slovenskem Krasu. Gozd. V., 41., Ljubljana, 1983.
- ABDUL-HADI, A.: Life Strategies of Broadleaved Species on Extreme Sites with Respect to Their Root-System. Disertacija; Biotehniška fakulteta Univerze Edvarda Kardelja, VTOZD za gozdarstvo, Ljubljana, 1983.
- ABDUL-HADI, A.: ZUPANČIČ, M.: Strategija življenja listavskih drevesnih vrst na zelo suhem rastišču glede na njihov koreninski sistem. Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, Vol.24, 1984, s. 65-81.
- AGER, R.; BRAND, E.; GRONBACH, E.: Die exakte Kenntnis der Ectomykorrhizen als Voraussetzung für Feinwurzeluntersuchungen im Zusammenhang mit dem Waldsterben. Allg. Forstz., München, 1986, 20, 497-503, 509.
- ALIKALFIĆ, F.: Izbojna snaga nekih lišćara. Sarajevo 1970. Izdal Savez inženjera i tehničara šumarstva i industrije za preradu drveta (glej tudi Narodni šumar, Sarajevo, 1971, s.69-70).
- ASSMANN, E.: Waldertragskunde. BLV München 1961.
- BLASCHKE, H.: Vergleichende Untersuchungen über die Entwicklung mykorrhizierter Feinwurzeln von Fichten in Waldschadensgebieten, Forstwiss. Obl. 195, 1986, 6, 477-478.
- BÖHM, W.: Methods of studying root systems. Berlin, Springer V. 1979. Ecological Studies Vol.33, strani 188.
- BOŽIČ, J.: Raziskave soodnosnosti prirastka drevesa, koreninja in tal. Elaborat. Izdal Institut za gozdno in lesno gospodarstvo, Ljubljana, 1972. Tekst 50 strani, številne tabele, grafikoni, skice.
- DECEI, I.: Contributii la cunoasterea sub ropart a partii subterane a arborelui (Prispevki k biometričnim določanjem podzemnega dela drevesa). Revista padurilor, Bucuresti, 1987, s.140-145.
- DONNER, B.; Heyser, W.: Buchenmykorrhizen: Möglichkeiten der Elementselektion unter besonderer Berücksichtigung einiger Schwermetalle. Forstw. Obl. 1989, H.3, 150-163.

- FOGEL, R.: Mycorrhizae and nutrient cycling in natural forest ecosystems, *New Phytologist*, 1980, 199-212.
- GLASER, O.: Neuartige Waldschäden und Mycorrhiza, *Österr. Forstztg.*, 1987, No. 9, 39-41.
- GÖBL, F.: Mykorrhiza und Feinwurzeluntersuchungen im Waldschadensgebiet Gleingraben/ Steiermark. *Österr. Forstz.*, 1988, No. 6, 16-18.
- HASELWANDTER, K.; BERRECK, M.: Die Mykorrhiza unserer Waldbäume: Form und Funktion. *Österr. Forstztg.*, Wien, 1989, No. 3, 19-21.
- HERMANN, R. K.: Growth and production of tree roots. Published in: *The belowground ecosystem: a synthesis of plant-associated processes.* J. K. Marshal, editor. Colorado State University, Fort Collins. Range Science Dep. Sci. Ser. 26, 1977.
- HEYSER, W., IKEN, J.; MEYER, F. H.: Baumschäden und Mykotrophie. *Allg. Forstz.*, München, 1988, 43, 1174-1175.
- HILDBRAND, E. E.: Mechanisierte Holzernte und Bodenstruktur. *Allg. Forstz.* München, 1983, No. 42, 1031-1043.
- HORVAT-MAROLT, S.: Pomlajevanje na pohorskih posekah in konkurenčne razmere v koreninskem prostoru. *Gozdarski vestnik*, Ljubljana, 1967, št. 1.
- HORVAT-MAROLT, S.: Kakovost smrekovega mladja v subalpskem smrekovem gozdu Julijskih Alp. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, Ljubljana, 24, 1984, s. 5-64.
- JAKUCS, PAL: Ecological Approach to Forest Decay in Hungary. *Ambio. Nol.* 17, 1988, No. 4, 267-274.
- KOFFKE, I., OBERWINKLER, F.: Mycorrhiza of forest trees-structure and Funktion. *Trees*, Vol. 1, No. 1, 1986, Springer Verlag.
- KÖSTLER, J. N., BRÜCKNER, E. BIBELRIETHER, H.: Die Wurzeln der Waldbäume. Paul Parey Verlag. Hamburg und Berlin 1968.
- LEHNHARD, F.; BRECHTEL, H. M.: Durchwurzelungs- und Schöpftiefen von Waldbeständen verschiedener Baumarten und Altersklassen bei unterschiedlichen Standortverhältnissen. *Allg. Forst.-u. Jagdztg.*, 1980, 6/7, 120-127.
- LEIBUNDGUT, H.; DAFIS, S.: Untersuchungen über das Wurzelwachstum verschiedener Baumarten. *Schweiz. Z. Forstwes.*, 115, 1964, 8, 444-450.
- LEIBUNDGUT, H., DAFIS, S., RICHARD, F.: Untersuchungen über das Wurzelwachstum verschiedener Baumarten. *Schweiz. Z. Forstwes.*, 114, 1963, 11, 621-646.
- LETGEB, E.: Ektomykorrhiza und Düngung. *Österr. Forstztg.*, Wien, 1989, 11, 38-39.

- LUST, N., MOHAMMEDY, M.: Regeneration of coppices. *Sylva Gandavensis*, No. 39, 1973.
- MEYER, F.H.: Das Wurzelsystem geschädigter Waldbestände. *Allg. Forstz.*, München, 1987, No. 27/28/29, 754-757.
- MLINŠEK, D.: Silvicultural Aspects of Forestry on the marginal return sites. *Proceedings of the IUFRO meeting - Division I., Thessaloniki and Athens 1980.*
- SCHÖPFER, W.: Hypothesen zur Walderkrankung im Spiegel der Inventurergebnisse *Forst.-u. Holzwirt Hannover*, 1987, 21, 574-581.
- ŠAFAR, J.: Ekonomski i biološki temelji za vzgajanje šuma. Izdavač: Savez šumarskih društava Hrvatske. Zagreb 1963, strani 598.
- ZUPANČIČ, M.: Korenine gozdnih dreves in njihov pomen v gozdnem ekosistemu. *Elaborat. Izdal IGLG, Ljubljana 1985 (tipkopis).*
- ZUPANČIČ, M.: Korenine gozdnih dreves in njihov pomen v gozdnem ekosistemu. *Gozdarski Vestnik*, 1986, 2, 56-58.

7.2 Hipoteza prof. B. Ulbrich-a o vplivu imisijskih vnosov na gozdna tla in korenine

- BOSCH, C., REFUESS, K.E.: Über die Rolle von Frostereignissen bei den "neuartigen Waldschäden", *Forstwiss. Cbl. Hamburg*, 1988, 2, 123-130.
- BUTZKE, H.: Versauern unsere Wälder? *Forst u. Holzwirt. Hannover*, 36, 1981, 21, 542-548.
- DÄSSLER, H.G.; RANFT, H.: Untersuchungen Zur komplexen Wirkung von Immissions- und Frosteinfluss auf Fichtenwald in Mittelgebirgslagen. *Allg. Forstz. München*, 1986, 14, 340-343.
- DÄSSLER, H.G.; RANFT, H.: Zur Änderung der Aziditätsverhältnisse in Oberboden sowie Waldbächen. *Allg. Forstz.*, München, 1989, 7, 176-180.
- EVERS, F.H.: Orientierende Untersuchungen langfristiger Bodenreaktionsänderung in südwestdeutschen Düngungsversuchsflächen. *Forst-u. Holzw. Hannover*; 38, 1983, 13, 317-320.
- FIEDLER, H.J.; THAKUR, S.D.: Wirkungen von Schwefeldioxid und sauren Niederschlägen auf Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung in Waldökosystemen. *Beitr. f. d. Forstwirtschaft. Berlin*, 1, 25-34.

- GEHRMANN, J.: Derzeitiger Stand der Belastung von Waldökosystemen in Nordrhein-Westfalen durch Deposition von Luftverunreinigungen. Forst-u. Holzw. Hannover, 1987, 6, 141-145.
- GLATZEL, G.; GLATZEL, A.: Waldboden-versäuerung in Österreich: Ursachen - Auswirkungen. Allg. Forstztg. Wien Jg. 96, 1985, 2, 35-36.
- GLATZEL, G.: Waldbodenzustand in Österreich. Österreichische Forstzeitung, 1989, 3, 36-37.
- GLATZEL, S.; SONDEREGGER, E.; KAZDA, M.; PUXBAUM, H.: Bodenveränderungen durch Schadstoffangereicherte Stammablauf-Niederschläge in Buchenbeständen des Wienerwaldes. Allg. Forstz. München 1983, 26/27, 693-694.
- GLATZEL, G.; KAZDA, M.: Wachstum und Ernährung von Buche (*Fagus sylvatica*) und Spitzahorn (*Acer platanoides*) auf versauerten und schwermetallbelasteten Bodenmaterial aus dem Eisickerungsbereich von Stammabflusswasser in Buchenwäldern. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 1985, 4, 429-438.
- GLAVAČ, V. et al.: Einfluss des Stammablaufwassers auf den Boden in Stammflussbereich von Altbuchen in unterschiedlich immissionsbelasteten Gebieten. Allg. Forstz. München. 1985, 51/52, 1397-1398.
- HEINSDORF, D.; KRAUSS, H.H.; HIPPEL, P.: Ernährungs- und bodenkundliche Untersuchungen in Fichtenbeständen des mittleren Thüringer Waldes unter Berücksichtigung der in dem letzten Jahren aufgetretenen Umweltbelastungen. Beitr. Forstwirtschaft 22 (1988), 4, 160-167.
- HILDEBRAND, E.E.: Zustand und Entwicklung der Austanschereigenschaften von Mineralböden aus Standorten mit erkrankten Waldbeständen, Forstwiss. Cbl., 1986 (105), 1, 60-76.
- HOFSTETTER, J.; GODT, J.; GLAVAČ, V.: Mineralstoffgehalte fraktioniert aufgefangenen Stammablaufwassers von Altbuchen zweier Standorte. Allg. Forstz. München, 1990, 30-31, 777-780.
- HÜTTERMANN, A.: Auswirkungen "saurer Deposition" auf die Physiologie des Wurzelraumes von Waldökosystemen. Allg. Forstz. München, 38, 1983, 26/27, 663-664.
- HÜTTERMANN, A., BECKER, J.; GEHRMAN, J., TISCHNER, R.: Einfluss von Schadstoffen und Kalkdüngung auf die Morphologie der Wurzeln von *Fagus sylvatica*. Wurzelökologie und ihre Natzanwendung. Internationales Symposium September 1982. Herausgeber: W. Böhm, L. Kutschera, E. Lichtenegger, Verlag Gumpenstein. S. 637-652.

- JOEHHEIM, H.; SCHAFFER, H.: Die "Baumfuss-Methode", dargestellt anhand einer Untersuchung der Immissionbelastung von Nordwest- Jugoslawischen Buchenwäldern. Z.Pfl.ern.Bodenkde. Weinheim, 1988, 2 81-85.
- JOHNSON, D.W.: Effects of acid deposition of forest soils. IUFRO.2, S.484-495 (Referat na kongresu v Ljubljani 1986).
- JONS, A.; HECHT-BUCHHOLZ, CH.: Aluminium induzierter Magnesium - und Calciummangel in Laborversuch bei Fichtensämlingen. Allg. Forstz. München, 41, 1985, 46, 1248-1252.
- LEONARDI, S.; FLÜCKIGER, W.: Der Einfluss einer durch saure Nebelung induzierten Kationen-Auswaschung auf die Rhizosphäre und die Pufferkapazität von Buchenkeimlingen in Nährlösungskultur. Forstw.Cbl., 107, 1988, N.3, 160-172.
- LINDEBNER, L.: Schwermetalle - Weiser für die Immissionsbelastung von Wäldern. Österreichische Forstzeitung, 1989, 3, 41-42.
- MAKKONEN-SPIECKER, K.: Auswirkungen des Aluminiums auf junge Fichten (*Picea abies* Karst) verschiedenen Provenienzen. Forstwiss. Cbl., Hamburg, 1985, 6, 341-353.
- MATERNA, J.: Vliv imisí na minerální užití lesních dřevín. Lesn.Praha, 32, 1986, 7, 569-580, angl., nem., rus.povz.
- MATERNA, J., LOCHMAN, V.: Vliv vznečistěného ovzduší na pudu. (Vliv onesnaženja zraka na tla). Les.práce. Praha, 1988, 6, 248-256: nem., angl.rus.povzetek.
- MAYER, H. et al.: Identifikation von Witterungsereignissen mit pflanzen-physiologischer. Stresswirkung für Waldbäume. Forstwiss. Cbl.Hamburg, 1988, 2, 131-140.
- MUTSCH, F.; ÖHLINGER, R.; GOBL, F.: Wirkung simulierter saurer Niederschläge auf Böden und Fichtenjungpflanzen in Gefäßversuch. Cbl. ges. Forstw. Wien, 1986, 2, 63-107.
- PAPRITZ, A.: Veränderungen der Bodeneigenschaften im Stammflussbereich von Waldbäumen. Schweiz. Z.Forstu. 1987, 11, 945-962.
- PELIŠEK, J.: Okyselování lesních pud kyselými srážkami v oblastech Ždárských vrchu Česhomoravoké vrchovine. Lesn.Praha, 29, 1983, 8, 673-682, angl.in rus.povzetek.

- PELIŠEK, J.: Zmeny kyselosti lesních pud Orlichých hor pusobením kyselých deštu. Lesn., Praha, 30, 1984, 11, 955-962, angl. in rus. povzetek.
- PFLISTER, C. et al.: Witterungsextreme und Waldschäden in der Schweiz. Bundessamt für Forstwesen und Landschaftsschutz. Bern 1988, strani 80.
- POHORNÝ, P.: K problematice znečisteného ovzduší a kyselosti lesních pud. Les. práce, Praha. 64, 1985, 9, 401-406, angl., franc., rus. povzetek.
- PRIMAULT, B.; FANKHAUSER, A.: Accidents meteorologiques pouvant affecter le developement des arbres. Schweiz. 2. Forstw., 1988, 3, 203-209.
- PUHE, J.; ARONSSON, A.: Ernährungszustand von Fichten mit unterschiedlich starken Nadelverlusten. Forst-u. Holzw. 41 (1986), 17, 464-470.
- REHFUESS, K. E.: Zu: Bodenkundliche Forschungen im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden. Entgegnung auf eine Stellungnahme von B. Ulrich in AFZ 43/1988, Seite 1171. Allg. Forstz., München, 1989, 15, 390-396.
- RODHE, H.: Acidification in a Global Perspective. Ambio, 1989, No. 3, 155-160.
- ROST-SIEBERT, K.: Aluminium Toxizität und - Toleranz an Keimpflanzen von Fichte (*Picea abies* Karst.) und Buche (*Fagus silvatica* L.). Allg. Forstz. München 1983, 26/27, 686-689.
- SCHULTE, A.; SPITELLER, M.: Veränderungen bodenchemischer Parameter im Stammflussbereich von Buchen, Forst-u. Holzw. Hannover, 1987, 6, 150-154.
- TAMM, C. O.; HALLBACKEN, L.: Changes in Soil Acidity in two Forest Areas With Different Acid Deposition: 1920s to 1980s. Ambio, Stockholm, Vol. 17, 1988, No. 1, 56-61.
- ULRICH, B.: Stabilität von Waldökosystemen unter dem Einfluss des "sauren Regens", Allg. Forstz. München, 38, 1983, 26/27, 670-677.
- ULRICH, B.: Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: Langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten. Cbl. 105 (1986), 421-435.
- ULRICH, B.: Factors Affecting the Stability of Temperate Forest Ecosystems. 18th IUFRO World Congress, Ljubljana 1986, Proceedings, Division 1, Vol. 1, s. 121-135.
- ULRICH, B.; MEYER, H.: Chemischer Zustand der Waldböden Deutschlands zwischen 1920 und 1960. Ursachen und Tendenzen, Waldökosyst. Univ. Göttingen. Göttingen 1987.
- ULRICH, B.: Bodenkundliche Forschung in Zusammenhang mit den neuartigen Schäden. Allg. Forstz., München, 1988, 43, 1171-1173.
- ULRICH, B.: Stand der Göttinger Waldschadensforschung - eine Kurzfassung. Forst und Holz, Hannover, 1989, 16, 419-422.

- ULRICH, B.: Depositionsbedingte Veränderungen von Waldböden. Österreichische Forstzeitung, 1989, 3, 38-40.
- ULRICH, B., MATZER, E.: Ökosystemare Wirkungsketten bei Wald- und Baumsterben. Forst-u. Holzwirt, Hannover, 38, 1983, 18, 468-474.
- ULRICH, B. et al.: Untersuchungsverfahren und Kriterien zur Bewertung der Versauerung und ihrer Folgen in Waldböden. Forst.-u Holzwirt, Hannover, 1984, 11, 278-286.
- ZEZSCHWITZ, E. : Qualitätsänderungen des Waldhumus. Forstwiss. Cbl., Hamburg, 1985, 3/4, 205-220.
- ZEZSCHWITZ, E.: Reliefeinflüsse auf die Belastung der Waldböden Protonen und N-Verbindungen. Allg.Forst-u Jagdztg, Frankfurt, 1987, 7/8, 136-147.

7.3 Obremenjenost koreninskega prostora s t.i.težkimi kovinami in drugimi sledovnimi elementi

- GRÜNEKLEE, C.E.; KERN, K.G.; MOLL, W.: Schwermetaldynamik in Müllkompostversuch auf Standorten des Pfälzerwaldes. Allg.Forst-u.Jagdztg., Frankfurt, 1989, 2/3, 32-39.
- KAHLE, H. et al.: Wirkungen von Blei und Cadmium auf Wachstum und Mineralstoffhaushalt von Buchenjüngwuchs. Allg.Forstz. München, 1989, 29-30, 783-788.
- LOCHMAN, V.: Dynamika a zásoba některých těžkých kovů a hliníku v půdě smrkových porostů v oblasti rozdílného vstupně znečištění ovzduší. (Dynamika in zaloga nekaterih težkih kovin in aluminija v tleh smrekovih sestojev na področjih različne onesnaženosti zraka). Lesn. Praha, 29, 1983, 9, 659-672, angl in rus.povzetek-
- ORMROD, D.P.: Impact of Trace Element Pollution on Plants. V knjigi Treshow, M. (urednik): Air Pollution and Plant Life. John Wiley & Sons, Chichester- New York - Brisbane-Toronto - Singapore 1984, strani 486.
- THORMANN, A.: Belastungen des Bodens durch Schwermetalle. Forstwiss. Cbl. Hamburg, 1986, 1, 39-47.
- VESELÝ, J.: Vliv imisí na chemické složení lesních půd. Lesn. Praha, Jg.33, 1987, 5, 385-394.

ZOTTL, H.W.: Stoffumsätze in Ökosystemen des Schwarzwaldes. Forstwiss. Cbl., 1987, 3, 105-114.

7.4 Znaki poškodovanosti korenin in njihova kvantitativna ocena

ASCHE, N.; FLÜCKIGER, W.; Erste Ergebnisse der Wurzeluntersuchungen in zwei Buchenbeständen in der Nordwest - Schweiz. Allg. Forstz., München 1987, 27/28/29, 758-761.

BLASIUS, D.; KOTTKE, L.; OBERWINKLER, F.: Zur Bewertung der Güte von Fichtenwurzeln geschädigter Bestände. Forstw. Cbl. 1985, 318-325.

EICHHORN, J.; GÄRTNER, E.; HÜTTERMANN, A.: Wurzelspitzenhäufigkeit von Feinwurzeln als Funktionsparameter der Schädigung der Altfichten. Allg. Forst- u. Jagdztg. Frankfurt, 1988, 3/4, 37-42.

GÄRTNER, E.J.; BALAZS, A.; EICHHORN, J.: Waldschäden und Bodenschutz. Forst und Holz, Hannover, 1989, 1, 3-5.

MEYER, F.H.: Die Rolle des Wurzelsystems bei Waldsterben. Forst- u. Holzwirt, 1985, No. 13, 351-358.

MEYER, F.H.: Das Wurzelsystem geschädigter Waldbestände. Allg. Forstz. München, 1987, 27/28/29, 754-757.

MEYER, F.H.: Das Verzweigungsindex, ein Indikator für Schäden an Feinwurzelsystem. Forstw. Cbl. 106 (1987), H. 2, 84-92.

PUHE, J.; PERSSON, H.; Börjesson, I.: Wurzelwachstum und Wurzelschäden in skandinavischen Nadelwäldern. Allg. Forstz. München, 41, 1986, 20, 488-492.

STIENEN, H.: Nährelementgehalt in den Feinwurzeln der Fichte nach saurer Beregnung und Kaikung. Forstw. Cbl. 105 (1986), 321-324.

ULRICH, B.; Pircuzpanah, D.: Untersuchungen zur Feinwurzelndynamik im Versuch Hölwald. Forstw. Cbl. 105 (1986), 318-321.

7.5 Mineralno gnojenje kot ukrep za izboljšanje koreninskega prostora v razmerah propadanja gozdov

ALDINGER, E.: Gesundheitszustand von Nadelholzbeständen auf gedüngten und ungedüngten Standorten in Buntsandstein - Schwarzwald. Allg. Forstz. München, 38, 1983, 31, 794-796.

- ENDE, P.: Zur Düngung kranker Waldbestände. Allg.Forstz., München, 1987, No.12.
- EVERS, F.H.; SCHÖPFER, W.: Darstellung der Ernährung - und Belastungs - verhältnisse der Fichte. Allg. Forst-u. Jagdztg. Frankfurt, 1988, 8, 146-154.
- FIEDLER, H.J.; THAKUR, S.D.: Wirkungen von Schwefeldioxid und sauren Niederschlägen auf Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung in Waldökosystemen. Beitr.f.d.r.Forstwirtschaft. Berlin 19, 1985, 1, 25-34.
- FIEDLER, H.J.; LEUBE, F.; NEBE, W.: Erste Ergebnisse einer Düngung mit MgO-haltigen dolomitischen Kalk zur Minderung von Immissionsschäden in Fichtenbeständen. Forst und Holz, Vol.43, 1988, Nr.16, 398-400.
- GLATZEL, G.: Kalk und Dünger als Medizin für kranke Wälder, Österr.Forstztg. 1987, 5, 29-30.
- HILDEBRANDT, E.E.: Ionenbilanzen organischer Auflagen nach Neutralsalzdüngung und Kalkung. Forst-u. Holz, Hannover, 1988., 3, 51-56.
- HILDEBRAND, E.E.: Die ökochemische Wirkung von Forstdüngungen, dargestellt durch den Lösungstransport im fließenden Makroporenwasser. Österreichische Forstztg, 1989, 3, 78-81.
- HÜTTL, R.E.; FINK, S.: Diagnostische Düngungsversuche zur Revitalisierung geschädigter Fichtenbestände (*Picea abies* Kurst.) in Südwestdeutschland. Forstw.Cbl.107, 1988, H.3, 173-183.
- ISERMANN, K.: Revitalisierung geschädigter Fichten-Altbestände durch Mineraldüngung, Allg.Forstz. München, 1987, 30, 997-1000.
- KRAUPENJOHANN, M.; ZECH, W.: Waldschäden und Düngung Allg.Forstz.1989, 37, 1002-1008.
- KREUTZER, K.: Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse aus experimentellen Freiland- Untersuchungen über den Einfluss von sauren Niederschlägen und Kalkung in Fichtenbeständen (*Picea abies* (L.) Karst.) Forstw. Cbl. 105 (1986), 371-379.
- KOWALKOWSKI, A.: Wpływ pozyskiwania biomasy w dziewostanach sosnowych na obieg składników mineralnych oraz wkościwości gleb siedlisk borowych (Vpliv izrabe biomase v borovih sestojih na kroženje mineralnih snovi in na lastnosti rastišč iglavcev). Piace Instytutu Badawczego Lesnictwa. Warszawa, 1983, 598, stran 67-89, rus in angl.povzetek.

- MURACH, D.; SCHÜNEMANN, E.: Reaktion der Feinwurzeln von Fichten auf Kaliummassnahmen. Allg. Forstz. München, 1985, 43, 1151-1154.
- PERINA, V.; PODRÁZSKÝ, V.: Učinnost vápnení v Jizerských horách. (Učinkovitost apnenja v Jizerskih gorah). Les.práce. Praha, 1988, 1, 12-17. nem., angl., rus., franc.povzetek.
- SANTER, U.: Blattdünger zur Vitalisierung geschädigter Fichtenaltbestände. Allg. Forstz., München, 1984, 40-41, 1072-1074.
- WENTZEL, B.; ULRICH, B.: Kompensationskalkung - Risiken und ihre Minimierung Forst-u.Holz, 1988, 1, 12-16.
- WILHELMI, V., KRIETER, M.: Chemische Untersuchungen zu Elementgehalt und -Verfrachtung im Humus - ein Laborversuch. Forst und Holz, 1986, 16, 424-428.
- ZÖTTL, H.W.: Nährelementversorgung mitteleuropäischer Wälder. Österr. Forstztg. Wien, 1987, 6, 46.

7.6 Razprava

- BECKER, G., HOFMANN, R., GROSS, M.: Boden und Wurzelschäden am Beispiel Breitreifenschlepper-Normalreifenschlepper. Forst-u.Holzwirt, 1986, No.14, 367-370.
- BECKER, G. et al.: Bodenschäden durch Forstmaschinen auf Tonstandorten? Entstehung, Messung, Begrenzung. Forst und Holz, Hannover, Jg.44, 1989, No.19, 507-512.
- DALHÄUSER, H.; Schubert, A.: Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen. Allg. Forstz., München, 1989, 40/41, 1069-1072.
- EVERS, F.H.: Das Waldbodenzustands - Monitoring in Baden-Württemberg: Bodenschäden sind schwer zu erkennen. Österreichische Forstztg., 1989, 3, 88-90.
- FRITSCH, U.: Die Bedeutung von gasförmiger Salpetersäure für die neuartigen Waldschäden. Allg. Forstz. München, 1990, 30-31, 785-787.
- GRODZIŃSKI, W.; WEINER, J.; MAYCOCK, P.E.: Forest Ecosystems in Industrial Regions. Studies on the Cycling of Energy, Nutrients and Pollutants in the Niepokomice Forest, Southern Poland. Ecological Studies 49. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo 1984, 280 strani.

- HAGER, H.: Baumwurzeln und Bodengefüge. Oesterreichische Forstzeitung, 1989, 3, 22-23.
- HAHN, K.H.: Korrosion der Nadeloberfläche durch Schwefelsäureeinwirkung im direkten Sonnenlicht. Allg.Forstz.München, 1990, 30-31, 781-785.
- HESSE, S.: Bodenverdichtung verhindert Kulturerfolg. Allg.Forstz., München, 1990, No.20, s.484.
- HETSCH, W.; HESSE, S.; Münte, M.: Absterben von Buchen auf pseudovergleyten Böden nach starker Befahrung. Allg.Forstz., München, 1990, No.20, s.481-483.
- HOFMANN, R.; BECKER, G.: Bodenschäden im Wald durch den Einsatz von Forstmaschinen. Allg. Forstz. München, 1990, No.20, s.478-481.
- HÜTTERMANN, A.; BECKER, J.; GEHRMAN, J.; TISCHNER, R.: Einfluss von Schadstoffen und Kalkdüngung auf die Morphologie der Wurzel von *Fagus silvatica*. Wurzelökologie und ihre Nutzanwendung. Internationales Symposium. September 1982, Herausgeber: W.Böhm, L.Kutschera, E.Lichtenegger, Verlag Gumpenstein, s. 637-652.
- HÜTTL, R.E.; FINK, S.: Diagnostische Düngungsversuche zur Revitalisierung geschädigter Fichtenbestände (*Picea abies* Karst.) in Südwestdeutschland. Forstwiss. Cbl., 1988, H.3, 173-183.
- KRAPFENBAUER, A.; GASCH, J.: Der Waldhumus als Zustandweiser. Oesterreichische Forstzeitung, 1989, 3, 28-32.
- LEHRINGER, S.: Zur Sanierung immissionsgeschädigter Waldökosysteme. Allg. Forstz., München, 1987, 3, 863-864.
- LETTL, A.: Mechanismus účinku prumyslových imisí SO₂ na mikroflóru lesních půd (Mehanizem delovanja industrijskih imisij SO₂ na mikrofloro), Lesn., Praha, 1988, 7, 607-617; nem., angl. in ruski povzetek.
- REBELE, F.: Waldschäden in Mitteleuropa. Exkursionsbericht des XIV. Internationalen Botanischen Kongresses. Allg.Forstz. München, 1988, No.51-53, 1412-1416.
- REHFUESS, K.E.: Zu: Bodenkundliche Forschungen im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden. Entgegnung auf eine Stellungnahme von B.Ulrich in AFZ 43/1988. Allg.Forstz., München, 1989, 15, 390-396.
- ROTARU, C.: Les phénomènes du tassement du sol dus à l'exploitation mécanisée du bois. Rev. forestière française. Nancy, 1985, 5, 359-370.

- SCHLAEPFER, R.; HAEMMERLI, F.: Das "Waldsterben" in der Schweiz aus heutiger Sicht. Schweiz. Z. Forstwes., 1990, 3, 163-185.
- SCHULZE, E.D., LANGE O.L., OREN, R. (uredniki): Forest Decline and Air Pollution. A study of Spruce (*Picea abies*) on Acid Soils. Ecological Studies 77, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1989.
- SELETKOVIĆ, Z.: Utjecaj industrijskih polutanata na običnu bukvu (*Fagus silvatica* L.) u šumskim ekosistemima Slavnskog gorja. Disertacija, Sveučilište v Zagrebu. Zagreb 1990.
- STROHSCHNEIDER, I.: Wurzeldeformationen infolge verschiedener Pflanzverfahren. Österr. Forstztg. 1987, 3, 20-21.
- ULRICH, B.: Destabilisierung von Waldökosystemen durch Biomassenutzung. Forstarchiv, Hannover, 52, 1981, 6, 199-203.
- WILMANN, O.: Zur Frage der Reaktion der Waldboden-Vegetation auf Stoffeintrag durch Regen - eine Studie auf der Schwäbischen Alb. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 1989, 8, 165-175.
- * : Zum Waldsterben in Gleinalmgebiet. Mitteilung der forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 1989, 163/1, 163/2, strani 422.

GOZDARSKA KNJIZNICA

GIS K E
386 2



12014000247

COBISS ©

GIS BF - GOZD