

GDK 181.36:425.1:425.3

VPLIVI IMISIJ NA GOZDNA TLA IN KORENINE — PREGLED PO LITERATURI

Marjan ZUPANČIČ*

Izvleček

Predstavljen je pregled literature o koreninah in o vplivih imisij na tla in korenine. Te vplive je izredno težko oceniti in dokazati zaradi velike raznolikosti gozdnih rastišč, sestojev in imisijskih vplivov nanje. Dolgoročni t.i. monitoring gozdnih tal ter s tem talne vegetacije in korenin je verjetno najprimernejša usmeritev raziskovalnega dela na tem področju.

IMPACT OF EMISSIONS ON FOREST SOIL AND ROOTS — A LITERATURE SURVEY

Marjan ZUPANČIČ*

Abstract

A literature survey concerning root problems and the impact of emissions on forest soil and roots is presented. It is very difficult to identify and evaluate this impact because of the great diversity of forest growth sites and stands. Besides, the impact seems to be highly variable. A long-term monitoring of forest soil including ground vegetation and roots appears to deserve priority in research work performed in this field.

* dr., dipl. inž. gozd., Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo,
61000 Ljubljana, Večna pot 2, YU

1. UVOD

Raziskovanje korenin prav gotovo ne obeta lahkih in hitrih uspehov. Ne moremo jih neposredno opazovati, njihovo izkopavanje je zelo težavno delo, vse raziskovalne metode pa nam dajejo o njih le zelo nepopolno sliko. Vendar so korenine temelj, na katerem se razvija vsa rastlina ali drevo. Poslabšanje ali uničenje tal, ki se uporabljajo za koreninski prostor, je danes eden od najhujših problemov človeštva in njegovega obstoja (erozija, širjenje nerodovitnega sveta itn.). Propadanje tal in korenin je toliko usodnejše, ker je prava surovinska in energijska in tudi prehranska kriza ali lakota pred nami, ne za nami. Zato je toliko pomembnejše, da vemo več o koreninah in o njihovih možnostih, da prodirajo tudi v globlje in neizrabljene plasti tal, in nam tako odpirajo prepotrebne rezerve rodovitnosti tal, navsezadnje pa nam tudi varujejo tla.

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

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

Ta sestavek je prirejen in skrajšan avtorjev elaborat iz leta 1990 (Vpliv imisijskih vnosov na korenine gozdnih dreves, Izdal IGLG Ljubljana, 79 strani), kjer najdemo tudi obširnejši popis avtorjevih raziskav. Namen dela je med drugim tudi opozoriti na to, da tudi koreninski prostor potrebuje pozornost in nego. Negovalno gospodarjenje z gozdom pomeni vsaj posredno nego tal in korenin, na drugi strani pa pomeni grobo gospodarjenje njihovo posredno ali neposredno uničevanje.

2. SPLOŠNO O KORENINAH GOZDNIH DREVEŠ

Rasti in razvoja korenin v naravnem okolju ni mogoče neposredno opazovati, kot je to sicer mogoče pri nadtlehnikih delih rastlin. Zato ni čudno, da imamo celo vrsto zapletenih metod za raziskovanje korenin, celo z radioaktivnimi izotopi, z raznimi endoskopi, toda o koreninah vemo še zmeraj malo. Metode raziskav korenin so zbrane in popisane v knjigi BÖHM 1979. Obširnejši pregled literature o koreninah gozdnih dreves najdemo pri HERMANNu 1977, KÖSTLERju in sod. 1986.

2.1 Koreninski sistemi

Glede sestava koreninskega sistema je treba vedeti, da se rast drevesa začneja z rastojo primarnih (glavnih) korenin, ki rastejo navpično v zemljo. Te se kmalu razvejijo s sekundarnimi (stranskimi) koreninami, ki se slabše odzivajo na težnost, torej rastejo poševno ali tudi vodoravno v tla. Pri kasnejšem oblikovanju koreninskega sistema se del korenin drži plitvejših plasti tal, drugi del pa prodira v globino, tudi z navpičnimi odcepi od vodoravno rastočih plitvih korenin. Pri nekaterih drevesnih vrstah se razvija le površinski koreninski sistem.

Iz šolskega znanja poznamo tri vrste koreninskih sistemov: 1. korenasti, ki z glavno korenino močno prodirajo v tla (npr. pri hrastu), 2. šopaste, kjer je glavna korenina manj izrazita (npr. pri bukvi), in 3. površinske koreninske sisteme, kjer se korenine raztezajo plitvo v tleh, toda iz njih lahko poganjajo navpični poganjki v globino (npr. pri smreki). Ta preprosta razvrstitev koreninskih sistemov je še zmeraj uporabna.

Za gozdarske potrebe sta primerna sistemizacija in poimenovanje morfološko različnih korenin, kot ga podaja KÖSTLER in sod. 1968. Tokrat skušajmo korenine razdeliti le na dolge in kratke. 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 sestavljajo stalni del koreninskega sistema in postanejo tudi precej debele. Navadno poganjajo iz bližine koreninskega vratu in rastejo naglo v dolžino. Tudi kratke korenine se, če je potrebno, 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 centimetrov dolžine in manj kot 1 milimeter debeline. Rastejo počasi in imajo kratko življenjsko dobo, od nekaj dni do nekaj let. Čim tanjša so, tem krajša je njihova življenjska doba. Vzrok odmiranja drobnih korenin ni znan, najbrž se izčrpajo hranilne snovi v neposredni okolici, odmiranje pa povzroča tudi porazdelitev asimilatov po rastlini. Odmrle kratke korenine so zelo pomemben del obnavljanja humusne snovi v tleh.

Koreninski laski se pojavijo ponavadi v ozkem pasu takoj za aktivno rastočim koncem korenin. Navadno se ne razvejijo. Več jih je tam, kjer ni mikorize: Imajo pomembno vlogo pri sprejemanju hranil, posebno fosfatov.

2.2 Mikoriza

Mikorizo definiramo kot sožitje glive in živega tkiva korenin. Za gozdno drevje je pomembna predvsem t.i. ektomikoriza, pri kateri glivne hife obdajajo kratke koreninice in prodirajo med celice koreninskega korteksa, kjer ustvarijo t.i. Hartigovo mrežo. Drugi tip mikorize, to je endomikoriza, je manj opazen. Hife prodirajo pri tem v same celice koreninskega korteksa, ne samo v prostore med njimi.

Mikoriza daje več prednosti: zveča se učinkovitost pri črpanju hranil, predvsem fosforja, pa tudi vode; preprečuje napade bolezenskih organizmov; ugodno vpliva na razvoj drobnih korenin ter povečuje njihovo življenjsko dobo in zmožnost delovanja; prestreza t.i. težke kovine, jih vdela v svoje hife in tako vsaj za nekaj časa prepreči njihovo strupeno delovanje (DONNER in HEYSER 1989). S svojo biomaso mikoriza precej pripomore k organski snovi ali humusu v tleh (FOGEL 1980).

Zanima nas 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 in sod. 1986, JAKUCS 1988, HASELWANDTER in BERRECK 1989, GLASSER 1987 in drugi). GÖBL 1988 vidi v razvitosti in vitalnosti mikorize kazalnik (indikator) za sodobno propadanje gozdov.

Da stvari niso ravno preproste, nas opominja razprava KOTTKEja in OBERWINKLERja 1986. Tako lahko drevo, npr. v suši, ustvari veliko korenin, na katerih ne manjka mikorize, to pa lahko daje napačen vtis o vitalnosti mikorize in celega drevesa. Razmerje med številom mikoriziranih drobnih korenin in njihovo suho težo naj bi bilo primeren kazalnik za stopnjo mikoriziranosti in s tem tudi za vitalnost drevesa, ne pa pogosto uporabljano število aktivnih koreninskih konic na liter tal. Presojanje prizadetosti gozda po stanju mikorize je po ugotovitvah omenjenih avtorjev dovolj zapleteno, zato se moramo varovati prenaagljenih sklepov. Kot ugotavlja LETGEB 1989, mineralno gnojenje ni koristno za razvitost mikorize. Zmerno pomanjkanje hranil v tleh celo koristi mikorizi.

Zanimivo in pomembno je vprašanje obligatnosti ektomikorize. MEYER 1987 ugotavlja v zvezi z inventurami poškodovanosti gozda, da so manj poškodovane nekatere listave vrste, ki so manj odvisne od razvitosti ektomikorize in lahko še razmeroma dobro uspevajo tudi brez nje, npr. javor, jerebika, jelša, breza, topol, vrba. SCHÖPFER 1987 razčlenjuje izide inventur poškodovanosti gozda in ugotavlja, da je najmanj poškodovan javor, najbolj pa hrast. O prizadetosti mikorize na hrastu poroča tudi JAKUCS 1988. Znano je, da razne vrste javora lahko dobro uspevajo tudi brez dobro razvite ektomikorize. Nasprotno je pa hrast zelo odvisen od razvitosti ektomikorize. Sklep iz tega je jasen: prizadetost koreninskega prostora pomeni

prizadetost ektomikorize. Drevesne vrste so toliko bolj prizadete, kolikor bolj so odvisne od ektomikorize. HEYSER in sod. 1988 tudi spravljajo poškodovanost drevesnih vrst zaradi novodobnih škod v zvezi z razvitostjo 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*.

2.3 Vpliv okolja na rast in oblikovanje koreninskega sistema

Začetni razvoj koreninskega sistema je močno odvisen od genetskih dejavnikov. Pri različnih proveniencah iste drevesne vrste se razlike v razvoju korenin kažejo le v prvih letih življenja, kasneje jih dejavniki okolja popolnoma prekrijejo. Koreninski sistem se mora prilagoditi razmeram v tleh, tekmovalnosti v koreninskem prostoru itn. Dejavniki okolja, posebno če so skrajni, tako sploh prekrijejo dedno nastale značilnosti posameznih drevesnih vrst.

Za gozdarsko prakso je pomembno vedeti, da je zmožnost korenin, da prodirajo v zbita tla, omejena (LEIBUNDGUT in sod. 1963, LEIBUNDGUT in DAPHIS 1964). Pri gostoti tal 1,59 g na cm³ korenine prenehajo rasti v globino. 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. Takšne temperature se pri nas le redkeje pojavljajo. Sicer potrebujejo korenine vsaj +2°C, da morejo rasti. Pri +35°C v tleh prenehajo rasti. Dolgotrajnejše visoke temperature tal povečajo respiracijo v koreninah in tako neugodno vplivajo na njihovo rast in rast vse rastline.

Poseben stres povzroči poletna izsušitev tal. Sredi poletja se ponavadi dejavnost korenin zelo zmanjša prav zaradi izsušenosti tal. Zmerna izsušenost še spodbuja rast drobnih kratkih korenin in s tem povečuje možnost za sprejemanje vode. Močna izsušenost tal drobne kratke korenine tako oslabi, da si ne opomorejo več in odmro.

Na drugi strani pa deluje neugodno tudi preobilje vode v tleh, predvsem zaradi anaerobnih razmer. Takšnim razmeram se nekatere drevesne vrste razmeroma dobro prilagodijo (npr. črna jelša); druge lahko s koreninami dolgo vztrajajo v poplavni ali talni vodi, če je ta tekoča ali se vsaj rahlo giblje in ima tako v sebi vsaj nekaj raztopljenega kisika. Stojčča in stalno mirujoča voda v tleh pa pomeni nezdrave močvirske razmere, kjer drevesa ne morejo rasti.

Revnost in suhost tal zahtevata intenzivnejši koreninski sistem, da lahko rastlina preživi. Rastlina mora torej večji del svojih moči vložiti 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.

2.4 Razmestitev korenin v tleh

Pri naših gozdnih drevesnih vrstah se korenine držijo povečini v globini do 50 cm v tleh. Globlje je ponavadi le malo korenin. Kot navaja DECEI 1987, je 70 % vseh drevesnih korenin v talni plasti do 40 cm globoko, izpod 100 cm pa je le 1 do 2 % korenin, merjeno po njihovi prostornini.

Plitvo zakoreninjenje na sicer globokih tleh pomeni fiziološko plitvost tal in v takih primerih je treba tla zelo negovati in pospeševati drevesne vrste, ki zmorejo kljub neugodnim razmeram tudi globlje koreniniti. Zelo odločno prodirajo v globino korenine jelke (*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.i. logih trdih listavcev ali na neugodnih tleh, kjer zastaja voda (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 segajo drevesne korenine največ 4 m globoko. Če prištejemo k temu 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. Na naših navadnih gozdnih rastiščih drevesne korenine segajo največ 120 cm globoko (LEHNARD in BRECHTEL 1980). Drevje doseže največjo globino navadno že okoli 30. leta življenja.

Vodoravno se širijo korenine ponavadi 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 vodoravni smeri pa s starostjo drevesa popušča. Lahko merljiva količina je gostota prekoreninjenosti tal. Najpogostejše so korenine v zgornjih 40 cm tal, nato se gostota naglo zmanjša. Zmožnost gostega prekoreninjenja s starostjo dreves tudi popušča, sicer doseže svoj vrhunec pri smreki pri 100. do 110. letih, pri boru pri 60. do 70. letih (HERMANN 1977).

2.5 Količina koreninske biomase

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, saj pri tem predvsem drobnejše korenine ostanejo v tleh. Na splošno lahko menimo, da pri odraslem drevesu koreninska biomasa zajema približno 20 % vse drevesne biomase (ASSMANN 1961, DECEI 1987). Ta delež je 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 ga je od 10 do 26 %.

Ne smemo pozabiti tudi na prirastek koreninske biomase, ta znaša pri odraslih drevesih povprečno 10 do 15 % vsega prirastke biomase. Pri tem moramo ločiti bruto in neto prirastek: bruto prirastek obsega tudi odmrle korenine in izgubo biomase zaradi respiracije korenin. V eni rastni dobi se neto koreninska biomasa zelo spreminja zato, ker korenine odmirajo, nastajajo pa tudi nove. Na težavnejših rastiščih, kjer je priraščanje na sploh manjše, so tudi te spremembe majhne. Kot navaja HERMANN 1977, je letni bruto 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 znaša letni neto prirastek 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 odмира in se ponovno obnavlja, tako da odmrli koreninska biomasa pomeni 30 % do 50 % vse odmrle biomase drevesa, kot so odpadle iglice, listi, suhe veje. Odmiranje drobnih korenin veliko prispeva k nastajanju humusa v tleh in k rodovitnosti tal. Temu primerna ekološka in seveda tudi gospodarska škoda nastaja, če gozd spremenimo v golosek ali celo goljavo.

2.6 Pomen koreninske biomase za preživetje gozda ob naravnih ujmah in kadar človek uničuje gozd

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 razmeroma dobro zavarovana pred raznimi uničenji (ogelj, suša, paša, sekira). Veliko vrst listavcev je sposobnih poganjati iz panja ali iz koreninske biomase (glej literaturo ALIKALFIĆ 1971, LUST in MOHAMMEDI 1973), predsem na ugodnejših, dovolj toplih in vlažnih rastiščih, pa tudi na neugodnih suhih. 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 mogoče, da so v Jugoslaviji, potem ko je bila paša koz prepovedana leta 1953, obširni opustošeni bregovi z revnimi ostanki gozdnega rastja spet lepo ozeleneli.

Na srečo je tedaj pojenjal tudi pritisk prebivalstva, ki je bil poglavitni krivec za slabo stanje gozda. Danes se žal opustošenje ponavlja: črede koz spet spreminjajo ozelenele bregove v goljave.

Na problem vegetativne regeneracije iz koreninske biomase je opozoril MLINŠEK 1980, pri nas pa so ga obravnavali še 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 koreninski biomasi še ni ugasnila in kjer je še mogoče poganjanje iz panja ali iz plitvih korenin, tam se dá gozd obnoviti naravno kljub težavnim razmeram. Pogozdovanje je v subaridnih delih sveta, kjer prevladujeta nerazvitost in revščina, predrago; poleg tega manjkajo strokovni temelji; sadilni material itn. Življenja sposobna koreninska biomasa, ki jo v takih razmerah še najdemo, je dragocena naložba narave; nastajala je v dolgih desetletjih, zato je ne smemo zanemariti ali celo uničiti.

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

3 HIPOTEZA prof. B. ULRICHA O IMISIJSKIH VNOSIH V GOZDNA TLA IN POSLEDICAH TEGA ZA KORENINE

V začetku osemdesetih let, ko je t.i. umiranje gozda vzbudilo velik preplah, se je zelo uveljavila hipoteza prof. Ulricha iz Göttingena v Zahodni Nemčiji, ki vidi poglavitni vzrok zdajšnjega propadanja gozdov predvsem v kislilih imisijskih vnosih v gozdna tla in v posledicah teh vnosov za korenine in na ves gozd. Naj na kratko predstavim to hipotezo. Obširneje jo opisuje avtor v številnih publikacijah (glej seznam literature!).

Človek je s svojim vplivom že od nekdaj 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 spiranje in izgubo hranil iz gozdnih tal in s tem njihovo zakisanje. Zaradi kasnejše regeneracije gozda in umnejše uporabe tal posledice niso bile tako tragične. Z nastankom industrializacije pred približno 150 leti pa se je pojavila tudi nova nevarnost — emisija prahu in plinov; ti pridejo v suhi obliki ali s padavinami v gozdni ekosistem, tam delujejo kislino in povzročajo postopno zakisanje gozdnih tal. Neugodni vplivi teh vnosov v gozdni ekosistem so se dolgo čutili le v okolici velikih industrijskih središč, na splošno pa niso zbudili pozornosti. Po letu 1950 se je vpliv onesnaženja zraka s kislimi delujočimi plini (SO_2 , NO_x itn.) skokovito povečeval in je dosegel katastrofalne razsežnosti v t.i. socialističnih državah. Tudi v najbolj naprednih in razvitih evropskih državah ta problem danes ni rešen. Tako imenovani kisli dež ali kisli vnosi v tla so

danes problem svetovnih razsežnosti (RHODE 1989). Raziskovanje v znanem projektu Solling blizu Göttingena kažejo po navedbah prof. Ulricha, da vsi dozrajšnji kisli vnosi v gozdna tla od začetka industrializacije do danes pomenijo spiranje in izgubo 1200 do 6800 kg kalcija in magnezija na hektar. Toliko teh bazičnih kemičnih prvin bi bilo potrebno, da bi nevtralizirali dozrajšnje kislinske vode v gozdni ekosistem, ki nastajajo zaradi onesnaženja zraka ali zaradi požiganja fosilnih goriv. Da se je zakisanost gozdnih tal v srednji Evropi v zadnjih desetletjih povečala, kažejo številne raziskave (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 čedalje globlje v tla, pomeni predvsem izpiranje bazičnih hranilnih elementov, predvsem izpiranje Ca, Mg, K. Na njihovem mestu se potem pojavljajo toksični aluminijevi ioni. Z nadaljnjim zakisanjem tal se uveljavljajo tudi železovi ioni in na splošno t.i. težke kovine prehajajo v topno obliko. Vse to zelo neugodno vpliva na drevesne in druge korenine, ki se ne morejo več razvijati v zadržanih globljih plasteh tal, temveč le še v zgornjih bolj humoznih, kjer humus oz. organska snov v tleh blaži vplive kislinskih vnosov. Posledica tega je plitvejša zakoreninjenost gozdnih dreves, njihova slabša stojnost, 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. Od krajevnih razmer in imisijskih obremenitev je bilo odvisno, koliko so zaradi tega propadali gozdovi na velikih površinah. Ta proces degradacije tal se sicer ustavi pri zelo zakisanih tleh, ko se ustvari neke vrste ravnotežje; tega vzdržujejo tudi bazični imisijski vnosi (alkalno delujoče prašne primese zraka ipd.). V takih razmerah lahko v najboljšem primeru uspeva le zelo reven gozd. Zakisanje tal s škodami, ki mu sledijo, poteka po avtojevi hipotezi v sunkih. Položaj se naglo poslabša v suhih in vročih poletjih, popravlja pa v hladnih in vlažnih letih. Posebno kritična je pri tem preskrba gozdnega drevja s hranili, kot so Ca, Mg, K. Za popravljanje škod je apnjenje gozdnih tal premalo, zato avtor priporoča gnojenje s karbonatnim ali silikatnim apnom, ki vsebuje tudi dovolj Mg in po možnosti tudi druge biogene elemente. Od samega apnjenja ali 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 globlje prekoreninjenje tal.

Pomembni so tudi vnosi dušika v gozdna tla. Avtor ugotavlja, da dobi gozd v srednji Evropi vsako leto 20 do 40 kg čistega dušika na hektar v obliki imisijskih vnosov, to pa je več, kot ga potrebuje. Presežek dušika oz. nitratov v tleh utegne ogroziti tudi talno in pitno vodo.

Avtor priporoča kot gozdarski ukrep proti posledicam postopnega zakisanja in siromašnja gozdnih tal predvsem zelo skrbno nego gozdnega humusa. Humusa ne smemo prehitro mineralizirati; to pomeni, da mora biti sklep krošenj v gozdu primerno

gost in sklenjen. Tudi redčimo zelo zmerno in previdno. Celo sicer nezaželena talna flora je dobrodošla, da na nezasenčenih gozdnih tleh vsrkava hranilne elemente in s tem preprečuje izgubo in izpiranje teh elementov. Avtor zato odločno odklanja uporabo kakršnih koli herbicidov proti talni flori, pa tudi grobo gospodarjenje z gozdom, odsvetuje vsako izrabo t.i. sečnih ostankov ali drobne biomase, ki vsebuje razmeroma zelo veliko hranilnih elementov — ti morajo krožiti v gozdnem ekosistemu. Seveda je izredno škodljivo vsako steljarjenje ali podobno siromašenje gozda.

Prof. Ulrich je svojo hipotezo predstavil v mnogih publikacijah in z njimi ustvaril vtis, da je položaj zelo dramatičen. To je spodbudilo mnoge raziskovalce, od katerih jih veliko gotovo podpira hipotezo prof. Ulricha. Tako je HILDEBRAND 1986 z arhiviranimi vzorci 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. kislila megla, kjer vodne kapljice nosijo s seboj kisle sestavine onesnaženega zraka, podobno kot pri kislem dežju, izpira bazične hranilne elemente iz listov dreves oz. rastlin. Drevo je tako prisiljeno črpati več bazičnih hranilnih elementov iz tal, v zameno pa korenine izločajo kislo delujoče vodikove ione v tla. Tako onesnaženje zraka posredno pripomore k zakisanju tal.

Da kisli imisijski vnosi z vso svojo škodljivostjo v resnici obstajajo, 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 ali 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 ta 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.i. težkimi kovinami in drugimi sestavinami imisij, ki jih prinesejo s seboj padavine in ki jih padavine sperejo z drevesnih krošenj. Tako lahko celo značilne umirati talna flora ob drevesnih deblih. Za taka opazovanja je posebno primerna bukev, ki s svojo krošnjo navadno zelo dobro lovi padavine in ima gladko skorjo, po kateri zbrana voda dobro odteka. O tem je napisana že obširna literatura (GLATZEL in sod. 1983, GLATZEL in KAZDA 1985, GLAVAČ in sod. 1985, HÜTTERMANN in sod. 1982, HÜTTERMANN 1983, JOCHHEIM in SCHÄFER 1988, LINDEBNER 1989, PAPRITZ 1987, SCHULTE in SPITELLER 1987, HOFSTETTER in sod. 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 ali apnenčasti kamninski podlagi, kjer kakšnega omembe vrednega zakisanja tal sploh ni. Poglavitni vzrok propadanja gozdov torej ne more biti v imisijski obremenjenosti tal z vsemi posledicami, temveč prej v neposrednem delovanju onesnaženega zraka

in kislih padavin na liste in iglice drevesnih krošenj. Zelo kritično obravnava Ulrichovo hipotezo REHFUESS 1989, ki vidi vzroke propadanja gozdov v skupnem delovanju osnenaženja zraka in neugodnih vremenskih razmer (hude poletne suše, hud zimski mraz, nenadni močni padci temperature v zimskem času itn.).

Hipotezi prof. Ulricha moramo vendar priznati, da v nekaterih primerih prepričljivo razlaga zdajšnje propadanje gozda. To velja za znaten del Zahodne Nemčije in predvsem za zahodnonemška sredogorja, tamkajšnje propadanje gozda povzroča veliko skrbi (Erzgebirge, Harz, Fichtelgebirge, Schwarzwald itn.). Verjetno so podobne naravne razmere tudi v sredogorjih vzhodnega dela srednje Evrope (severna Češka, Šlezija itn.), kjer povzroča hude težave katastrofalni "socialistični smog", podobno kot okrog našega Šoštanja, Trbovelj, Kidričevega, Doline smrti itn. (primerjaj REBELE 1988). Na kratko lahko rečemo, da imamo v mnogih nemških sredogorjih opraviti z neke vrste skrajnostnimi tlemi, ki svojo neugodnost pokažejo pod antropogenimi vplivi, kot so npr. goloseki, steljarjenje, in še bolj pod vplivom kislih imisijskih vnosov. To so predvsem gozdna območja in tla na neugodnih in kislih matičnih kamninah, kjer je kritični dejavnik preskrbljenost tal z bazičnimi biogenimi elementi, kot so Ca, Mg, K, Mn. Na takih tleh lahko hitro sprožimo degradacijske procese, kot sta zakisanje z vsemi slabimi posledicami, antropogeno podzolitiranje itn. Že zmerni imisijski kisli vnosi lahko povzročijo izpiranje in izginjanje omenjenih biogenih elementov iz tal, to pa povzroči motnje v prehrani gozda in s tem propadanje gozda z bolezenskimi znamenji, kot so rumenenje, rjavenje in odpadanje listov ali iglic ipd., to skušajo zdraviti z apnjenjem ali z mineralnim gnojenjem. S 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).

4 ZNAMENJA POŠKODOVANOSTI KORENIN IN NJIHOVA KVANTITATIVNA OCENITEV

Razumljivo je, da drevo s poškodovanimi koreninami slabše uspeva kot tisto, ki ima zdrave korenine. Vendar ni lahko najti korelacije (soodnosnosti) med stanjem korenin in splošnim uspevanjem drevesa, pa čeprav o obstoju te korelacije skoraj ne moremo dvomiti (prim. BOŽIČ 1972). To kaže na vso zapletenost raziskovanj v gozdu, kjer se talne razmere spreminjajo tako rekoč na vsakem koraku in vsako drevo kaže svoje posebnosti.

Za ugotavljanje zdravja in vitalnosti korenin uporabljamo tudi kemične analize rastlinskega tkiva (STIENEN 1986). Poleg analize vsebnosti Ca, Mg, K, Mn, Zn, Al in še kakšne kemične prvine so zanimive tudi analize vsebnosti škroba in drugih organskih snovi (npr. ASCHE in FLÜCKIGER 1987). Dostopnejša so morfološka opazovanja na koreninah. Posebno pozornost zaslužijo dolge in kratke drobne koreni-

ne, debele manj kot 2 mm. 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 predlagajo kot merilo za prizadetost koreninskega prostora (EICHHORN in sod. 1988). Stanju drobnih korenin pripisujejo velik pomen tudi BLASIUS in sod. 1985. MEYER 1987 pripisuje velik pomen razvejenosti drobnih korenin in skuša zajeti z "indeksom razvejenosti". Sicer se razvejenost korenin med rastno dobo močno spreminja, to pa seveda povzroča negotovosti. Manjša razvejenost pomeni manj ugodne razmere v koreninskem prostoru.

Kot predlagajo BLASIUS in sod. 1985, upoštevamo pri presojanju prizadetosti korenin tole: 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; razvejenost korenin. Vrednosti teh znamenj ugotavljajo glede na enoto prostornine tal (npr. 1 liter) ali na površino tal (npr. 1 m²) ali drugače. Te vrednosti se med rastno dobo močno spreminjajo, odvisne pa so tudi od izrednih vremenskih razmer, kakršne so od časa do časa (npr. hude suše, obilen dež). Poleg tega se močno spreminjajo od sestoja do sestoja. Pri teh znamenjih ni mogoče postaviti nekih splošno uporabnih števil ali razmejitev med bolj ali manj prizadetimi koreninami. Velike so tudi težave s subjektivnostjo ocenjevanja. Z vsemi temi prijemi lahko zajamemo le dovolj velike razlike v zdravju in razvitosti korenin.

Slabša razvitost drobnih korenin in večji delež odmrlih drobnih korenin pomenita v primerljivih razmerah poškodovanost koreninskega sistema in prizadetost rizosfere (MEYER 1987). Pri močnejši prizadetosti začno odmirati tudi debelejšše korenine. Zmeren delež odmrlih drobnih korenin je sicer normalen tudi tedaj, ko ni prizadet koreninski prostor. Nadaljnje pomembno znamenje zdravja korenin je razvitost mikorize. Kvantitativno določanje tega je zelo problematično (BLASIUS in sod. 1985). Laboratorijsko gojenje dreves v loncih je za ta namen manj primerno, boljše je, da ugotavljamo stanje mikorize na vzorcih, vzetih neposredno iz gozda. Za kakršno koli ocenjevanje in razpoznavanje mikorize uporabimo najmanj binokular, koreninice pa moramo izluščiti iz tal zelo previdno, da jih ne poškodujemo. V primerljivih razmerah manjši delež mikoriziranih korenin, slabotna mikoriziranost, nenavadna oblika mikorize pomenijo prizadetost rizosfere. Mikoriza je nekakšen kazalnik škod, čeprav seveda še zdaleč ne popolnoma zanesljiv. O ocenjevanju razvitosti in kakovosti mikorize glej GÖLBL 1988.

5 MINERALNO GNOJENJE KOT UKREP ZA IZBOLJŠANJE KORENINSKEGA PROSTORA OB PROPADANJU GOZDOV

Na mineralno gnojenje kot na možnost za popravljanje škod, ki jih kisli dež ali imisijski vnosi povzročajo v koreninskem prostoru, opozarja ULRICH 1986, 1988. V skladu s svojo podmeno zatrjuje, da je treba dodajati predvsem bazične hranilne elemente predvsem Ca in Mg. Avtor se zaveda, da je kemično zdravljenje tal nevarno, saj lahko bolj škoduje kot koristi. Tako priporoča apnjenje in mineralno gnojenje v manjših odmerkih v več zaporednih letih, da se tako izognemo prehitri mineralizaciji humusa, spiranju nitratov in drugim nezaželenim posledicam. Nikakor ne smemo ostati pri enostranskem apnjenju, dodajati moramo 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 količina Ca v tleh ovira sprejemanje K in tedaj je treba dodajati K. Po avtorjevem mnenju od mineralnega gnojenja ne smemo pričakovati preveč, saj je to 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 ali gozdnega 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 kislih 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 magneziju je odpravilo klorotičnost smreke v Schwarzwald in dalo gozdu spet zdrav videz. Magnezij je bil očitno tisti kritični element, ki ga je bilo v tleh že sicer razmeroma malo, poleg tega so ga kisli vnosi izpirali iz tal. Dodajanje magnezija z mineralnim gnojenjem je potem opazno izboljšalo vitalnost gozda.

Veliko je razprav o apnjenju kot zdravilu proti zdajšnjemu propadanju gozdov. O tem piše ALDINGER 1983, GLATZEL 1987, FIEDLER in sod. 1988, MURACH in SCHÜNEMANN 1985, PERINA in PODRAZSKY 1988, WENTZEL in ULRICH 1988 in drugi. Če povzamemo od njih bistvene ugotovitve, lahko rečemo, da je učinek apnjenja v resnici zelo skromen, pokaže pa se šele po pet letih in več. V najugodnejših primerih z apnjenjem blažimo klorozo smrekovih in jelovih iglic.

Kakšne so možnosti mineralnega gnojenja kot kemičnega zdravljenja gozda v Sloveniji? Naravne razmere pri nas so le nekoliko drugačne kot v severnejšem delu Nem-

čije, v nemških sredogorjih in njihovih nadaljevanjih proti vzhodu. Izrazita kislost in izpranost tal sta pri nas le redki. Seveda moramo računati z imisijskimi vnosi, ki nam tla neprenehoma kisajo. S tem morajo računati tudi drugje v Evropi, čeprav živijo v mnogo čistejšem okolju in zraku kot mi (prim. SCHLAEPFER in HAEMERLI 1990). Za prihodnost lahko računamo, da bo to zakisovanje tal še hujše. Kljub temu pa vsaj danes ne moremo reči, da so tla degradirana na večjih površinah, kjer bi bila upravičena melioracija tal z apnjenjem ali z mineralnim gnojenjem. Pred vsakim mineralnim gnojenjem, če hočemo, da je strokovno, gospodarsko in ekološko sprejemljivo, je treba rastišče temeljito analizirati in opraviti tudi talne in foliarne analize, skrbno ugotoviti prehranjenost gozda in razčleniti tudi imisijsko obremenjenost. Pri vsej raznolikosti rastišč, kot jih imamo v Sloveniji, kjer se rastiščne in tudi sestojne razmere spreminjajo že na majhnih površinah, skoraj ni mogoče opraviti vseh potrebnih analiz in samega gnojenja. Za konec lahko rečemo, da mineralno gnojenje v Sloveniji kot melioracija imisijsko obremenjenih tal ali koreninskega prostora vsaj za zdaj ni potrebno in koristno. Najpametnejše je, da gozd rešujemo z obzirnim sonaravnim negovalnim gospodarjenjem in brez dvomljivih kemičnih injekcij.

6 GOZDARSKE MOŽNOSTI ZA NEGO TAL IN KOREN

Imisijski vnosi niso edini vzrok slabše vitalnosti korenin z vsemi posledicami. Razmere v koreninskem prostoru danes zelo slabša težka gozdna mehanizacija, ki tlačí in poškoduje tla in korenine, pospešuje erozijo in sploh škoduje koreninskemu prostoru. Temu se lahko izognemo s primerno tehniko v gozdu (traktorske pnevmatike z nizkim tlakom; primerni način dela — traktor ostane le na utrjeni vlakí, lesa ne spravljamo takrat, ko so tla najbolj razmočena in mehka itn.). O tem je bilo že nekaj napisano v literaturi (ROTARU 1985, BECKER in sod. 1986, BECKER 1989, HESSE 1990, HETSCH in sod. 1990, HOFMANN in sod. 1990 itn.).

Velike škode na koreninah povzročá malomarno sajenje, saj korenine sadik stlačímo v premajhno sadilno jamico in jih spravímo v zelo nenaravno lego. Posledica je deformiranost koreninskega sistema drevesa, ne samo v nekajletnih nasadih, ampak tudi pri odraslih sestojih, to pa gotovo povzročí njihovo slabo zakoreninjenost in slabo stojnost (STROHSCHNEIDER 1987).

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

Skoraj vsa zgodovina je eno samo uničevanje gozda in narave. Propadanje gozda ima globoke vzroke in ni samo neposredna posledica zdajšnjega onesnaževanja zra-

ka ipd. Npr. steljarjenje je v stoletjih do nespoznavnosti osiromašilo najbolj rodovitna rastišča v nižjih in lahko dostopnih legah, zato ni čudno, če je gozd premalo zdrav in odporen. Današnja nenaravna raztrganost gozda s cestami, vlakami, daljnovodi, s številnimi pomlajevalnimi površinami in vrzelmi, pretrgan sklep krošenj, uničeno mladje zaradi divjadi itn. — vse to slabi življenjsko moč gozda ter posredno ali neposredno siromaši gozdna tla. Tudi imisijskih vplivov ne smemo podcenjevati, toda najbrž niso le ti krivi za propadanje gozda.

Stara gozdarska izkušnja pravi, da prepoznamo po stanju humusa stanje celotnega gozda; to lahko na kratko označimo kot 'Gospodarjenje z gozdom je gospodarjenje s humusom' (Waldwirtschaft = Humuswirtschaft). Na pomen gozdnega humusa opozarjata KRAPFENBAUER in GASCH 1989. Negovalno gospodarjenje, kakršno si želimo, pomeni najboljšo nego tal ali humusa, pa čeprav le posredno. Organska snov v tleh zaradi svojih velikih zmožnosti za ustvarjanje 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 in sod. 1982 navajajo primer tal, ki so izredno obremenjena s kislimi in drugimi imisijskimi vnosi zaradi t.i. odtoka po deblu. Bukovo mladje na teh tleh korenine samo v vrhnji, to je humozni plasti tal, tam pa 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 primanjkuje organske snovi z njenim blažilnim vplivom.

Glede nege tal in korenin lahko napravimo za gozdarsko prakso tele sklepe:

- Eksploatacija ali izraba gozda naj bo čim obzirnejša. To pomeni tudi, da smemo iz gozda jemati le vrednejši debelejši les, vse drugo v njem pa pustimo (lubje, vejve, vso drobno biomaso, steljo itn.). Izraba t.i. sečnih ostankov je slaba racionalizacija gozdarstva, prav tako tudi razne metode izrabe celega drevesa in podobni eksploatacijski posegi. Naravno kroženje snovi v gozdu iz tal v debla in krošnje ter z odmrlo organsko snovjo spet v tla moramo pustiti čim bolj neokrnjeno (primerjaj tudi ULRICH 1981, LEHRINGER 1987). Brez tega si tudi nujno potrebnega obnavljanja humusa ne moremo zamišljati.
- Za nego in obnavljanje gozdnega humusa potrebujemo tudi primerno sestojno klimo, dovolj sklenjen sklep krošenj ali vsaj neko izpolnjenost gozda s podstojnim sestojem. S tem uravnavamo obračanje humusnega kapitala. Razrahljanje drevesnega zastora in povečan dostop toplote do tal lahko hitro sproži nezaželeno mineralizacijo humusa in s tem izpiranje in izgubo hranil. Kadar pade kisli

dež, prehitra mineralizacija humusa še posebno škoduje, hranila se še bolj izpirajo, grozi pa tudi nevarnost, da se bodo tla še bolj zakisala. Surovega humusa ne smemo šteti zmeraj za nekakšno bolezen tal, ki jo je treba zdraviti. Tako tudi sprstenina (nem. Mull) ni zmeraj in povsod najbolj idealna oblika humusa. Upoštevati moramo, kako intenzivno kroži snov v ekosistemu, podnebne razmere, nevarnosti izginjanja humusa in temu primerno negovati humus in tla.

- Ne smemo pozabiti na čim bolj naravno sestavo gozda, kjer naj bodo dobro zastopane drevesne vrste, ki globoko koreninijo, odpirajo globlje talne plasti, s steljo popravljajo tla in tako poživljajo naravno obnavljanje gozda. Naravno sestavo gozda pa najbolj ovira zdajšnje zgrešeno lovsko gospodarjenje, pravzaprav škoda, ki jo povzroča divjad.

7 POŠKODOVANOST DREVESNIH KORENIN V TLEH IZRAZITIH IMISIJSKIH OBMOČIJ

Predstavljam povzetek raziskave, ki je obširno opisana v elaboratu (ZUPANČIČ 1990). Raziskava naj bi pripomogla k poznavanju škodljivih vplivov imisijskih vnosov v gozdna tla in drevesne korenine ter vsaj delno odgovorila na vprašanje, koliko so imisijski vnosi v gozdna tla krivi za zdajšnje propadanje gozda.

Narejenih je bilo več poskusov v loncih ali v zabojih ter v t.i. minirizotronih, ki so bili nepolnjeni z vzorci tal iz izrazito imisijskih območij. Vzorci so bili vzeti z imisijskih goličav s posameznih drevjem. Prva vrsta vzorcev ponazarja distrični kambisol z meljasto-illovnato teksturo iz neposredne bližine Celja. Druga vrsta vzorcev je diametralno nasproten talni tip, to je skeletna rendzina na dolomitu iz neposredne bližine topilnice svinca in metalurških obratov v Žerjavu v Mežiški dolini. Za primerjavo ali preverjanje smo uporabili vzorce zelo podobnih tal iz bližnjih imisijsko skoraj neobremenjenih nahajališč. Kot poskusne rastline smo uporabili sadike smreke, črnega bora, macesna, javora, breze ter topolove potaknjence. Poskuse smo naredili v parku in rastlinjaku Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo v Ljubljani, kjer lahko domnevamo, da je zrak še razmeroma čist. Neposredno in močno onesnaženje zraka smo torej izključili. Po eni do treh rastnih dobah smo razčlenili morfologijo in vitalnost teh sadik ali potaknjencev, med drugim tudi z razvejenostjo kratkih korenin in stopnjo njihove mikoriziranosti.

Ker so bili vzorci vzeti z imisijskih goličav in polgoličav, smo pričakovali tudi precejšnjo degradiranost in zastrupljenost tal z imisijskimi vnosi z vsemi slabimi posledicami za drevesne korenine. Izidi poskusov niso potrdili teh pričakovanj. Tako ni bilo mogoče dokazati slabše razvitosti in vitalnosti korenin na vzorcih tal z imisijskih goljav in najti kakšnih statističnih soodnosnosti. Izsledke raziskav izražajo tile sklepi:

- Dolgoletni in močni imisijski vplivi, ki sicer povzročajo drastično propadanje gozda, ne pomenijo nujno tudi drastičnega poslabšanja stanja tal. Ko bodo hude imisije prenehale, lahko pričakujemo razmeroma zadovoljivo zaraščanje imisijskih goljav razen izjemoma, kot npr. na tleh, ki imajo že po naravi ali pa zaradi človekovega vpliva zelo neugodne kemične lastnosti — te pa imisijski vnosi še bistveno poslabšajo.
- Izsledki raziskave ne morejo podpreti hipoteze prof. Ulrich o imisijskih vnosih v gozdnih tleh kot o primarnem vzroku zdajšnjega propadanja gozdov v srednji Evropi. Škodljiv vpliv kislega dežja ali onesnaženega ozračja lahko pričakujemo predvsem v poškodovanju asimilacijskih organov — listov in iglic, ne pa toliko v poškodovanju tal in korenin.
- Zaraščanje imisijskih goljav po prenehanju neposrednih akutnih in močnih imisij je lepa priložnost za opazovanje posledic imisijskih vnosov v tla. Žal v Sloveniji take priložnosti vsaj za zdaj nimamo, ker obremenjevanje okolja z imisijami še ni popustilo. Sicer je ugotavljanje in dokazovanje imisijskih vplivov v tleh izredno težavna naloga. Najbolje jo rešimo z dolgoročnimi sistematičnimi analizami ogroženih tal.

8 MONITORING GOZDNIH TAL

Kljub množici različnih raziskovanj imisijskih vplivov na tla in korene v njih vendarle ne moremo dobiti jasnejše slike o tem. Imisijski vplivi na tla in korenine se preprosto izgubijo v veliki raznoterosti gozdnih rastišč in tal. Poleg tega so tudi imisijski vplivi odvisni od krajevnih razmer in zato zelo različni. Če nimamo ravno opraviti z drastičnimi imisijskimi vplivi, je vpliv imisij na tla in korenine izredno težko presoditi in dokazati, saj nimamo pravega primerjalnega temelja. Gozdna tla, ki jih skušamo razvrstiti v najrazličnejše tipe, podtipe itn., so izredno zapleten sistem z mnogimi neznankami, ki jih znanosti doslej še ni rešila. Veliko pričakujemo od velikopoteznih raziskav velikih znanstvenih teamov, kakršni so npr. raziskave, opisane v knjigi GRODZINSKIEGA in sod. 1984, veliki raziskovalni projekti v okviru MAB (Man and the Biosphere), takšen je npr. projekt Solling. Pa tudi te raziskave ne dajejo veliko odgovorov na mnoga vprašanja. Pri vsej zapletenosti razmer si moramo pomagati z dolgoročnimi sistematičnimi opažanji v dovolj velikem geografskem prostoru ali s t.i. monitoringom. Redne inventure poškodovanosti gozdov, kot se opravljajo pri nas od leta 1986, so tudi primer t.i. monitoringa. Monitoring stanja tal je tako dopolnitev rednih inventur poškodovanosti gozda; z njim so v Nemčiji že začeli (DALHÄUSER 1990, DALHÄUSER in SCHUBERT 1989, DIETERLE 1990, EVERS 1989). Da lahko govorimo o monitoringu gozda ali stanja tal, morajo biti izidi opažanj v posameznih letih ali ponavljajočih se opažanj povsem primerljivi.

Na to je treba zelo paziti pri postavljanju metodike in pri jemanju vzorcev. Monitoring ima pravo vrednost šele po dolgotrajnejših opazanjih, šele tedaj se dovolj jasno pokaže, kako se tla sčasoma spreminjajo. Monitoring tal obsega, kot je razvidno iz omenjene literature, številne analize kemičnih in fizikalnih lastnosti tal, pa tudi stanje talne flore. K temu bi lahko dodali tudi ugotovitve, dobljene z opazovanjem stanja korenin. Tako je monitoring tudi neke vrste ekološki svarilni sistem, ki nas opozarja na nevarnosti neugodnega razvoja.

Metoda t.i. monitoringa je v gozdu zelo uporabna ali celo nepogrešljiva. Tako imamo tudi monitoring poškodovanosti gozda zaradi divjadi z mrežo ograjenih ploskev, ki je v primerjavi z monitoringom stanja tal izredno preprost in lahko izvedljiv ter bi ga morali uporabljati pri rednem delu gozdarske stroke.

Monitoring stanja tal je za nas posebno zanimiv, ker bi tako koristno uporabili naše raziskovalne zmogljivosti in bi tako dobro sodelovali v mednarodnih prizadevanjih. Onesnaženje zraka in imisijski vnosi kot njihova posledica niso samo lokalnega pomena. Tako tudi k nam prihajajo imisijske obremenitve, ki izvirajo iz dežel, zelo oddaljenih od nas.

9 ZUSAMMENFASSUNG

Aufgrund der umfassenden Literatur wird die Frae der Immissionseinwirkungen auf Waldböden und -Wurzeln behandelt. Unter anderem wird auch über Topfversuche des Autors berichtet (ZUPANČIČ 1990). Als Versuchspflanzen dienten Sämlinge verschiedener Baumarten, sowie auch Pappelstecklinge. Bodenproben für Topfversuche wurden aus zwei schwer belasteten Immissionsgebieten entnommen. Die Topfversuche wurden dann in einem relativen Reinluftgebiet ausgeführt, womit unmittelbare Beeinflussung durch verunreinigte Luft ausgeschaltet wurde. Zu prüfen blieben dann Auswirkungen der langjährigen Immissionseinträge im Boden auf die Morphologie und Vitalität der neugebildeten Wurzeln. Obwohl die Bodenproben aus schwer belasteten Immissionsgebieten entnommen wurden, konnten nennenswerte Auswirkungen auf die Wurzeln nicht bewiesen werden.

Es wird die Thesis vertreten, dass die primäre Ursache der neuartigen Waldschäden vor allem in der unmittelbaren Einwirkung der verunreinigten Luft auf grüne Blätter bzw. Nadeln zu suchen ist. Abgesehen von Sonderfällen dürfte Bodenverschlechterung durch Immissionseinträge weniger entscheidend sein. Bei der gewaltigen Heterogenität der forstlichen Böden und bei den örtlich sehr verschiedenen Immissionsbelastungen sind Immissionseinflüsse im Boden am ehestens durch ein langfristiges Bodenmonitoring beweisbar.

Düngung als Sanierung immissionsbelasteter Böden ist in Verhältnissen Sloweniens wenig empfehlenswert. Dagegen ist die Bodenpflege durch intensive pflegliche Wald-

wirtschaft unerlässlich. Bodenverschlechterungen stellen auch ohne saure Niederschläge usw. eine ernste Gefahr für den Wald und seine Vitalität dar.

10 REFERENCE

10.1 Splošno o koreninah gozdnih dreves (poglavje 1 in 2)

- ABDUL-HADI, A.: Raziskave na koreninskem sistemu naravnih zasejancev črne 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 liščara. Sarajevo 1970. Izdal Savez inženjera i tehničara šumarstva i industrije za prerađu 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. Cbl.* 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. Cbl.* 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.: Mycorrhiza 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 below-ground 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 posekih 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 Standortsverhältnissen. 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 uzgajanje 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 (tipkopolis).

ZUPANČIČ, M.: *Korenine gozdnih dreves in njihov pomen v gozdnem ekosistemu*. *Gozdarski vestnik*, 1986, 2, 56—58.

10.2 Hipoteza prof. Ulrich-a o imisijskih vnosih v gozdna tla in posledicah tega za korenine (poglavje 3)

BENECKE, P.: *Schäden an Waldstandorten*. *Allg. Forstz.*, München, 1990, No. 24, 597—601.

BUTZKE, H.: *Versauern unsere Wälder?* *Forst u. Holzwart*. Hannover, 36, 1981, 21, 542—548.

DÄSSLER, H.G.; RANF, 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 Dürgungsversuchsflächen*. *Forst-u. Holzw.* Hannover; 38, 13, 317—320.

GLATZEL, G.; GLATZEL, A.: *Waldboden-Versauerung 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.: *Wechstum 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 immisionsbelasteten Gebieten*. *Allg. Forstz.* München. 1985, 51/52, 1397—1398.

HILDEBRAND, E.E.: *Zustand und Entwicklung der Austauschereigenschaften 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.

- JOCHHEIM, H.; SCHAFFER, H.: Die "Baumfuss-Methode", dargestellt anhand einer Untersuchung der Immissionbelastung von Nordwest-Jugoslawischen Buchenwäldern. *Z. Pfl. ern. Bodenkd. Weinheim*, 1988, 2, 81—85.
- LEONARDI, S.; FLÜCKIGER, W.: Der Einfluss einer durch saure Benebelung 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.
- PAPRITZ, A.: Veränderungen der Bodeneigenschaften im Stammflussbereich von Waldbäumen. *Schweiz. Z. Forstu.* 1987, 11, 945—962.
- PELIŠEK, J.: Okyselování lesních půd kyselými srážkami v oblastech Ždárských vrchu Českomoravské vrchoviny. *Lesn. Praha*, 29, 1983, 8, 673—682, angl. in rus. povzetek.
- PELIŠEK, J.: Zmeny kyselosti lesních půd Orlichých hor působením kyselých deště. *Lesn.*, Praha, 30, 1984, 11, 955—962, angl. in rus. povzetek.
- POHORNY, P.: K problematice znečištěného ovzduší a kyselosti lesních půd. *Les. práce*, Praha, 64, 1985, 9, 401—406, angl., franc., rus. povzetek.
- 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.
- SCHULTE, A.; SPITELLER, M.: Veränderungen bodenchemischer Parameter im Stammflussbereich von Buchen, *Forst-u. Holzw.* Hannover, 1987, 6, 150—154.
- TAMM, C.O.; HALLBÄCKEN, 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 *Forstw. 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.: 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.; MEYER, H.: Chemischer Zustand der Waldböden Deutschlands zwischen 1920 und 1960. Ursachen und Tendenzen. Waldökosyst. Univ. Göttingen. Göttingen 1987.
- ULRICH, B. et al.: Untersuchungsverfahren und Kriterien zur Bewertung der Versauerung und ihrer Folgen in Waldböden. Forst.-u. Holzwirt, Hannover, 1984, 11, 278—286.

10.3 Znamenja poškodovanosti korenin in njihova kvantitativna ocena (poglavje 4)

- 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.; HÜTTEMANN, 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.
- GÖBL, F.: Mykorrhiza und Feinwurzeluntersuchungen in Waldschadensgebiet Gleingraben/Steiermark. Österr. Forstztg., 1988, 6, 16—18.
- 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.
- STIENEN, H.: Nährelementgehalt in den Feinwurzeln der Fichte nach saurer Beregnung und Kalkung. Forstw. Cbl. 105 (1986), 321—324.

10.4 Mineralno gnojenje kot ukrep za izboljšanje koreninskega prostora ob propadanju gozdov (poglavje 5)

- 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 Ernährungs — 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. Forstwirtschaft. Berlin 19, 1985, 1, 25—34.
- 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.
- HILDEBRANDT, 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* Karst.) 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.
- MURACH, D.; SCHÜNEMANN, E.: Reaktion der Feinwurzeln von Fichten auf Kalkungsmassnahmen. Allg. Forstz. München, 1985, 43, 1151—1154.
- PERINA, V.; PODRÁZSKÝ, V.: Učinnost vápnení v Jizerských horách. (Učinnost 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.

10.5 Gozdarske možnosti za nego tal in korenin. Monitoring gozdnih tal (poglavje 6 do 8)

- BECKER, G.; HOFMANN, R.; GROSS, M.: Boden und Wurzelschäden am Beispiel Breitreifenschlepper-Normalreifenschlepper. Forst-u. Holzwirt, 1986, No. 14, 367—370.

- DALHÄUSER, F.: Bodeninventur in Bayern. Allg. Forstz., München, 1990, No. 24, 594—596.
- DALHÄUSER, H.; Schubert, A.: Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen. Allg. Forstz., München, 1989, 40/41, 1069—1072.
- DIETERLE, G.: Bundesweite Bodenzustandserhebung in Bezug auf neuartige Waldschäden. Allg. Forstz. München, 990, No. 24, 591—593.
- EDLER, W.: Massnahmen zur Erhaltung und zum Schutz der Waldböden. Allg. Forstz. München 1990, No. 24, 602—604.
- EVERS, F.H.: Das Waldbodenzustands — Monitoring in Baden-Württemberg: Bodenschäden sind schwer zu erkennen, Österreichische Forstztg., 1989, 3, 88—90.
- GRODZIŃSKI, W.; WEINER, J.; MAYCOCK, P.E.: Forest Ekosystems 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. Österreichische Forstzeitung, 1989, 3, 22—23.
- HESSE, S.: Bodenverdichtung verhindert Kulturerfolg. Allg. Forstz., München 1990, No. 20, s. 484.
- HETSCH, W.; HESSE, S.; MÜNTE, M.: Absterben von Buchen auf pseudo-vergleyten 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*. Warzelökologie und ihre Nutzenanwendung. Internationales Symposium. September 1982, Herausgeber: W. Böhn, L. Kutschera, E. Lichtenegger, Verlag Gumpenstein, s. 637—652.
- KRAPFENBAUER, A.; GASCH, J.: Der Waldhumus als Zustandweiser, Österreichische Forstzeitung, 1989, 3, 28—32.
- LEHRINGER, S.: Zur Sanierung immissionsgeschädigter Waldökosysteme. Allg. Forstz., München 1987, 3, 863—864.
- REBELE, F.: Waldschäden in Mitteleuropa. Exkursionsbericht des XIV. Internationalen Botanischen Kongresses. Allg. Forstz. München 1988, No. 51—53, 1412—1416.
- 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.
- 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.

ZUPANČIČ, M.: Vpliv imisijskih vnosov na korenine gozdnih dreves. Elaborat, izdal Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, Ljubljana 1990, str. 74.