

Inštitut za gozdarstvo in lesno gospodarstvo
Slovenije pri Biotehniški fakulteti

mag. Igor Smolej

VODNI REŽIM PRI RAZLIČNIH
GOZDNIH VRSTAH IN OBLIKAH

Ljubljana, 1979

INŠTITUT ZA GOZDNO IN LESNO GOSPODARSTVO PRI BIOTEHNIŠKI FAKULTETI

VODNI REŽIM PRI RAZLIČNIH GOZDNIH VRSTAH IN OBLIKAH

NOSILEC NALOGE:

V.D. DIREKTOR:

MAG.SMOLEJ IGOR,DIPL.ING.

KUDER MILAN, DIPL.ING.

LJUBLJANA, 1979

E/128

I. SNEŽNI REŽIM V RAZLIČNO GRAJENIH GOZDNIH SESTOJIH

1.	Uvod in naloga	1
2.	Teoretične osnove raziskave	6
2.1.	Vodni režim in njegove komponente	6
2.1.1.	Vpliv drevesne vrste na vodni režim	8
2.1.2.	Vpliv gostote drevja na vodni režim	8
2.1.3.	Vpliv razvojne faze na vodni režim	9
2.2.	Zimski vodni režim	11
2.2.1.	Akumulacija snega	12
2.2.2.	Zorenje in kopnenje snežne odeje	12
3.	Metode raziskovalnega dela	16
3.1.	Delovna hipoteza	16
3.2.	Raziskovalni objekti in zbiranje podatkov	17
3.2.1.	Izbira raziskovalnih ploskev, plan raziskave	17
3.2.2.	Osnovni podatki in meritvene metode	28
3.3.	Obdelava podatkov	30
4.	Rezultati in zaključki raziskave	33
4.1.	Debelina snežne odeje	33
4.2.	Vodni ekvivalent	45
4.3.	Stopnja taljenja snežne odeje	56
4.4.	Zaključki	58
5.	Uporabnost dognanj v gozdnogojitveni praksi	60
5.1.	Vloga gozdarstva v vodnem gospodarstvu	60
5.2.	Določitev optimalnega razmerja med rabami tal	62
5.3.	Izbira načina gospodarjenja	64
5.4.	Izbira drevesnih vrst	66
5.5.	Diskusija	68
6.	Literatura	70

	Str.
II. VLOGA DREVESNIH KORENIN PRI PONIKANJU VODE V TLA	
1. Uvod	75
2. Teoretične osnove raziskave	78
2.1. Procesi prehajanja padavinske vode iz ozračja v tla	79
2.2. Korenine in njihov hidrološki pomen	88
3. Metode dela in raziskave	92
3.1. Delovna hipoteza	92
3.2. Metode zbiranja podatkov	93
4. Rezultati raziskave	97
5. Zaključki	107
6. Diskusija	111
7. Literatura	113

P R E D G O V O R

Raziskovalno delo v okviru naloge "Vodni režim pri različnih gozdnih vrstah in oblikah" sta financirala Raziskovalna skupnost Slovenije in Poslovno združenje gozdnogospodarskih organizacij Slovenije v letih 1973-1978. Raziskovalno delo je potekalo predvsem na terenu, delno pa tudi v laboratorijih. Raziskavo je vodil mag. Igor Smolej, raziskovalni sodelavec na Inštitutu za gozdno in lesno gospodarstvo Slovenije v Ljubljani, sodelovali pa so ing. Janko Kalan, Breda Kregar, Rudi Omovšek z Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo Slovenije. Spretnost in strokovno usposobljenost so pokazali tudi delavci mehanične delavnice inštituta, ki so izdelali potrebne merilne in druge naprave. Z Biotehniške fakultete VTOZD za gozdarstvo sta sodelovala asistenta ing. Marijan Zemljič in ing. Vlado Puhček, pri terenskem delu pa so pomagali Anton Jernik, Leopold Kordež in Martin Kranjc iz TOZD Gozdarstvo Radlje ob Dravi.

Načrt celotnega raziskovalnega dela je obsegal 3 različna področja proučevanja vodnega režima gozdnatega zemljišča. V prvem delu smo želeli natančneje razjasniti vpliv gozdnih sestojev na njihov zimski vodni režim. Novo znanje naj bi z dognanji drugih raziskovalcev dalo izhodišča za optimalnejše gospodarjenje z gozdovi. Pri tem so mišljene predvsem vodnogospodarske in vodoohranjevalne naloge in sposobnosti gozdov, ki jih bo moralo gozdarstvo upoštevati enakovredno vsem ostalim nalogam.

Drugi del raziskave naj bi posegej na erozijsko zelo ranljiva borova rastišča na dolomitu. Zaradi objektivnih ovir to področje raziskave ni bilo izpolnjeno. Borova rastišča na dolomitni podlagi (*Genisto-Pinetum* in *Pinetum subiliricum*) niso pogosta, nahajajo se na zelo strmih, ponavadi celo prepadnih pobočjih, ki so taka zaradi velike erodibilnosti kamnine. Načrta raziskave, ki je predpostavljala primerjavo vodnega režima dveh zbirnih območij, od katerih eno z borom na dolomitu, drugo pa s stabilno gozdno združbo na globokih tleh, ni

II.

bilo mogoče uresničiti. Po dolgotrajnem pregledu in rekognosciranju borovih rastišč na dolomitu v Sloveniji (obrobje Karavank, Trojan-ski predel, Polhograjski dolomiti) je bilo ugotovljeno, da za raziskavo primernege zlivnega območja ni. Poleg tega dolomitna podlaga onemogoča natančno ugotavljanje količine odtekajoče vode, saj ta ponavadi odteka iz zлива tudi po nevidnih podpovršinskih poteh. Napaka pri merjenju bi bila prevelika in bi lahko povzročila zmotno interpretacijo rezultatov. K dokončni odločitvi o opustitvi tega dela raziskave je prispevalo tudi dejstvo, da bi bila taka raziskava zelo draga (vodomerne postaje z velikimi lovilnimi bazeni za plavine), odročnost teh zlivov pa bi povzročala težave pri spremljanju sicer samodejnih merilnih naprav.

V tretjem delu raziskave smo želeli pokazati na hidrološki pomen korenin v pedosferi, obenem pa pojasniti nekatera vprašanja o vodnogospodarskem pomenu posameznih drevesnih vrst. Z zadnjim delom raziskave smo nadaljevali iskanje odgovorov na na videz obrobna vprašanja, ki se pojavljajo pri spoznavanju vodnega režima in dejavnikov, ki v njem sodelujejo. V naravi ni "obrobnih" dejanj ali odnosov, tudi v vodnem režimu ne. Manj pomembni dejavniki so taki le za človekovo pojmovanje, v resnici pa so enakovreden del dogajanja v okolju. Kadar so namerno trajno odstranjeni, se posledice pokažejo ponavadi v ne tako pozni prihodnosti. V tretjem delu raziskave smo skušali ugotoviti odvisnost hitrosti in količine prehajanja padavinske vode iz ozračja v tla od naklona korenin in od koreninskega sistema, s tem pa tudi delno oceniti vodnogospodarski in hidrološki pomen različnih koreninskih sistemov.

Celotna raziskava daje vpogled na posamezne komponente vodnega režima zlivnih območij ter v njem delujoče mehanizme, ki ta režim določajo in vodijo. Raziskava ima ne le fundamentalni značaj, pač pa tudi aplikativnega in dodaja nekaj kamenčkov v mozaik ekološkega proučevanja slovenskega gozdnega prostora. Z novimi spoznanji so razširjeni tudi ekološki temelji, na katerih stojijo gozdnogospodarske

III.

odločitve v načrtovanju in optimalnem izpolnjevanju vseh gozdnih funkcij. Nova spoznanja so za gozdarsko prakso prelita v obliko smernic in premislekov, ki jih je tudi treba upoštevati v večnamenskem gospodarjenju z našimi gozdovi.

SNEŽNI REŽIM V RAZLIČNO GRAJENIH GOZDNIH SESTOJIH

1. UVOD

Pri gospodarjenju z naravnimi bogastvi se je nenehno treba zavedati, da sta voda in tla neločljivi naravni bogastvi in da mora biti raba kateregakoli od obeh v skladu s potrebo, da obe ostaneta uporabni in produktivni. Rastlinska odeja je med njima živi vezni člen, ki modificira njun medsebojni odnos. Vpliv rastlinske odeje na vodna bogastva in talni potencial je tako velik, da jo priznavamo za naravno bogastvo, tudi če bi od nje ne imeli nobenih neposrednih koristi. Zahteva, da rastlinska odeja ostane trajno uporabna in produktivna, je prav tako važna kot za vodo in tla. Vsi posegi v rastlinsko odejo morajo zato izhajati iz temeljitega poznavanja vzajemnih odnosov med tlemi, vodo in rastlinjem in seveda tudi drugimi dejavniki našega sveta.

Okoljetvorne vloge gozda danes še ne moremo postavljati za primarni cilj gozdarstva. Proizvodnja lesa v gozdovih ostaja najmočnejša družbena zahteva, poleg krepljenja varovalnih in socialnih nalog, ki naj jih v naši družbi tudi izpolnjuje gozd. Že nekaj časa zato v gozdarstvu ne načrtujemo le proizvodnje lesa in njej ne podrejamo vseh ostalih ciljev, pač pa težimo k optimalni proizvodnji in optimalnemu zadovoljevanju vseh potreb, ki jih družba kaže do gozda in gozdarstva. To pomeni hkratno uresničevanje proizvodnih ciljev ter ciljev, zastavljenih pri varovanju našega okolja: skrb za ohranjanje plodnih tal, skrb za čisto vodo in zrak, skrb za telesno in duševno zdravje. Optimalna gozdna proizvodnja zato narekuje zahtevnejše načrtovanje, zahteva izpopolnjeno ekološko znanje in premišljeno izvajanje gozdno-gospodarskih ukrepov v gozdu: nege, gradnje cest, vlak, spravila itd. Gozdnogospodarski ukrepi morajo npr. hkrati zagotoviti proizvodnjo lesa ter čimvečjo zaščito pred erozijo z vodo in vetrom, iz gozda naj hkrati priteče čimveč čiste vode, obenem pa naj bo prijeten za oko in bivanje v njem.

Optimalna gozdna proizvodnja zahteva poglobljeno ekološko znanje. Sem spada znanje o vseh posameznih dejavniki okolja, kot znanje o medsebojnih razmerjih vseh živih in neživih delov življenjske združbe in stalno spreminjajočih se medsebojnih odnosov.

Mnoge raziskave so v preteklosti pokazale, da je odnos med gozdom in vodnim režimom gozdnatega zlivnega območja precej tesen, v kolikor o čistih odnosih in tesnih zvezah v ekoloških raziskavah sploh lahko govorimo. Odnos med gozdom in vodo je bil za človeka že dolgo zanimiv, zato ni čudno, da ga je tudi razmeroma zgodaj začel proučevati. Prve raziskave so se nanašale na zvezo med gozdom in erozijo, kar je posredno pomenilo, da je bil predmet raziskave zveza med gozdom in površinskim odtokom kot delom vodne bilance ali hidrološkega cikla. Zveza med gozdom in erozijo je dojemljiva zelo hitro, saj so drastični primeri velikih škod zaradi erozije, nastale po velikih golosekih, odpirale oči tudi velikim skeptikom. Nekoliko bolj zakrita in manj aktualna je bila zveza med gozdom in vodnim režimom talnih in površinskih tokov. Ta je postala zanimiva šele takrat, ko se je pričelo pojavljati pomanjkanje pitne in kasneje tudi industrijske vode, ki je prizadelo več ljudi in se je v prenaseljenih krajih pojavilo z vso ostrino. Interes za spoznavanje naravnih dejavnikov v vodnem režimu zlivov in celotnem hidrološkem ciklu je tako spodbudil mnoge raziskave predvsem v Evropi in Združenih državah Amerike.

Klasične raziskave o odnosih med gozdom in njegovim vodnim režimom so se začele v času po prvi svetovni vojni. Raziskave so bile sprva izrazito fundamentalne (10) in so skušale predvsem kvantitativno opredeliti posamezne dejavnike (npr.: tip poraslosti zlivnega območja, gozdnatost), ki sooblikujejo vodni režim. Kasneje so velikopotezni in dolgotrajni raziskovalni načrti predvsem v ZDA (Coweeta, Hubbard, Brook i.dr.) pojasnili tudi kvalitativni odnos med gozdno talno odejo in vodnim režimom. Pojasnjeno je bilo, kako npr. biološke karakteristike talne odeje spreminjajo in oblikujejo vodni režim, s tem pa so bile dane osnove za aplikacijo spoznanj v rabi tal. V ameriških eksperimentih so bile namreč proučevane poleg gozdarstva tudi drugačne rabe tal: pašništvo, živinoreja. Gozdarji smo tako dobili odgovore na vprašanja o mestu gozdov pri varovanju in oblikovanju vodnih zalog, obenem pa tudi nekaj napotkov za mnogonamensko gošpodarjenje z gozdovi.

Raziskave o vplivu gozdnih sestojev na kopičenje snega in hitrost njegovega taljenja so postale zanimive šele med obema vojnama. Leta 1935 je v Idahu (ZDA) Connaughton (13) ugotovil 25-30% intercepcijo snega na krošnjah pragozdnega bora in podaljšano trajanje snežne odeje v gozdu. Kasneje sta Anderson (1) in Goodells (19) pojasnila odvisnost med vodnim donosom* z gozdnatega zliva in poraslostjo tega zliva. V ta namen so bile zastavljene velikopotezne in dolgotrajne raziskave, ki so skušale pojasniti vpliv gozdno-gospodarskih ukrepov na vodni režim in vodni donos (Fraser, San Dimas, Coweeta, Beaver Creek in drugi) in so posebej ovpravnavale tudi zimsko obdobje kot del letnega hidrološkega cikla.

Podobne raziskave so se koncem šestdesetih let prenesle v Evropo, predvsem v Nemčijo. Brechtel (7,8,9) in Schwarz s sodelavci (38) so v zimah od 1969 dalje v različnih krajih, prvi v Vogelsbergu, drugi na Baden-Württemberškem, ugotavljali pomen gozdnih sestojev pri nastajanju in zginevanju snežnih akumulacij. Proučevali so vpliv nadmorske višine, drevesne vrste in lege, le redko pa so postavljali gozdnogojitvene zaključke.

V letih 1968/69 in 1969/70 je Brechtel v Vogelsbergu dokončal začetno raziskavo o vplivu gozdnih sestojev na zimski vodni režim. Smrekove in bukove sestoje je razvrstil v mlade, srednjedobne in stare ter ugotavljal njihov vpliv na snežno odejo. Naraščajoči vpliv sestojev na akumulacijo snežne odeje je pokazal z vrstnim redom od najšibkejšega do najmočnejšega: stari - srednjedobni - mladi bukovi sestoji - mladi - stari - srednjedobni smrekovi sestoji, pri taljenju snežne odeje pa je bil vrstni red nekoliko spremenjen ter pri listavcih in iglavcih enak: mladi - srednjedobni - stari sestoji. Vrstni red vplivnosti različnih tipov gozdnih sestojev je razložil z intercepcijo, torej z gostoto krošenj.

* Izraz vodni donos se uporablja predvsem v angleški in nemški literaturi. Pomeni presežno vodo, to je tisti del vodnih zalog, ki ostanejo po zadovoljitvi potreb primarnih porabnikov (rastlinja, gozda) na razpolago človeku.

Ta raziskava o odnosih med gozdnim sestojem in snežnim režimom na sestojnih tleh je zaenkrat najpopolnejša. Precej si lahko obe-tamo tudi od raziskave, ki jo je 1.1975 v Schwarzwaldu zasnoval Schwarz in ki tudi skuša ovrednotiti vpliv sestojnih tipov na snežni režim ter njihov vodnogospodarski pomen.

Nadzor nad delovanjem gozda v prehajanju padavin do tal, skozi tla in do potrošnika-človeka postaja danes ena pomembnejših nalog gozd-nega gospodarstva. Če zaradi omejenega poznavanja vloge gozdov v kroženju vode gozdar z oblikovanjem gozdnih ekosistemov ne more na-tačno posegati v vodne razmere in vodno bilanco gozdnatega zliva, pa vodnogospodarske cilje vsaj v grobem lahko zasleduje in dosega. Ti so že dolgo čim enakomernejša preskrba z vodo in čim več po ka-kovosti dobre vode za prebivalstvo in gospodarstvo. Načini za dose-ganje vodnogospodarskih ciljev v gospodarjenju z gozdom gozdarja na-črtovalca in operativca postavljajo pred dilemo. Večanje vodnega od-toka (količine presežne vode), t.j. izboljševanje preskrbe izključno po količini, ni v interesu ne gozdarstva niti ostalih gospodarskih in družbenih dejavnosti. Neposredno lahko vodni donos povečamo le z zmanjševanjem porabe pri konkurentih, t.j. v gozdu, z močnimi in grobimi posegi v strukturo gozdnih sestojev (ekosistemov). Posledi-ce so lahko močno negativne. Zmanjša se stabilnost teh sistemov, po-sredno se zmanjša tudi moč gozdov, potrebna za uravnavanje za člove-ka tako ugodnega vodnega režima ter za uveljavljanje vseh ostalih okoljetvornih in splošno koristnih funkcij gozda.

Da bi gozdarski strokovnjaki svoje delo lahko oprli na naravoslovne temelje, je te osnove treba čimbolj razširiti. V naravoslovne ozi-roma ekološke osnove se tako uvršča tudi znanje o kvalitativnih in kvantitativnih odnosih med gozdom in kroženjem vode v hidrološkem ciklu gozdnatega zemljišča. Daljnosežne posledice grobih posegov v gozd, kot so npr. krčitve, sečnja koridorjev, spremembe drevesnih vrst, se občutijo ne le v primarni proizvodnji gozdov, pač pa tudi v klimatski in socialni vlogi gozdov v naši družbi in seveda v vod-nem režimu širšega območja.

Raziskovalna naloga "Vodni režim pri različnih gozdnih vrstah in oblikah" je posegla na področje optimalne gozdne proizvodnje. Za cilj je imela povečati znanje o odnosu med gozdno življenjsko skupnostjo in vodnim oziroma snežnim režimom gozdnatega zemljišča, obenem pa nova spoznanja napraviti uporabna v gozdarstvu. Cilji raziskovalnega dela so bili:

1. ugotoviti, kako zgradba gozda = gostota drevja kot posledica drevesne vrste in razvojne faze, vpliva na zimski vodni režim gozdnatega zemljišča.
2. Kako s spreminjanjem zgradbe gozda (z gozdnogospodarskimi ukrepi) lahko posegamo v vodni režim gozdnega zemljišča in uresničujemo tudi vodnogospodarske cilje.

Naloga ima tako fundamentalni pa tudi aplikativni značaj. V začetnih poglavjih daje teoretične osnove, na katerih je temeljilo terensko raziskovalno delo. V nadaljevanju so predstavljeni potek in metodika raziskave, rezultati in zaključki, ki so v končnem poglavju omogočili podati tudi gozdnogospodarske smernice za doseganje optimalnih rezultatov gospodarjenja z gozdom.

2. TEORETIČNE OSNOVE RAZISKAVE

2.1. Vodni režim in njegove komponente

Vodni režim tal ali zemljišča je dinamično razmerje med dospelo, odteklo ali izhlapelo vodo in shranjenimi vodnimi zalogami v tleh. Zelo enostavno lahko vodni režim opišemo z enačbo:

$$P - O - ET = \Delta Z$$

kjer pomenijo: P = padavine, O = odtok po površini in v globino, ET = izhlapevanje s transpiracijo, ΔZ sprememba vodnih zalog. Medtem ko padavine niso odvisne od lastnosti tal, se ostala dva člena spreminjata s fizikalnimi in ekološkimi posebnostmi zemljišča. Odtok padavinske vode ima dve smeri. Voda odteče delno po površini, delno pa glede na propustnost tal ponikne v globino in poveča vodne zaloge. To pomeni, da je čista izguba za vodne zaloge le odtok po površini. Tudi evapotranspiracija (ET) je čista izguba za vodne zaloge. V celoti se pojavi le na z rastlinjem poraslem zemljišču, kjer se izhlapevanju s tal (evaporaciji) pridruži še izhlapevanje z rastlinja ter transpiracija zaradi življenjskega delovanja rastlin. Zaradi izhlapevanja se zmanjšuje količina vode v tleh do globine 1/2 m. Največ vode izhlapi iz talnih plasti tik pod površjem, z globino pa je izguba vode vse manjša.

Transpiracija odvzema vodo iz celotne koreninske cone v približno enaki meri, globina plasti, ki se suši pa je odvisna od globine korenin in prekoreninjenosti posameznih talnih plasti.

Za rastlinsko združbo, ki porašča zemljišče, in tudi za človeka, je najvažnejši del vodnega režima velikost vodnih zalog v tleh in hitrost njihovega spreminjanja. Voda v tleh je namreč izvir vlage za praktično vse rastlinje na površini, obenem pa je ogromen naravni zbiralnik čiste vode, ki jo človek lahko direktno odvzema ali pa uporablja kasneje, ko priteče na površino v obliki studencev, potokov in rek kot presežna voda.

Vodne zaloge v tleh so odvisne od mnogih dejavnikov. Če izpustimo padavine, na katere ne moremo vplivati, vse ostale dejavnike lahko z različnimi ukrepi spreminjamo. Vodni režim zemljišča oziroma tvorjenje vodnih zalog v tleh, je odvisen predvsem od rastlinja, ki ga porašča in pa od zgradbe tal, ki pa je delno tudi odvisna od poraslosti oziroma rabe.

Kadar namreč želimo bogatiti vodne zaloge, moramo ukrepati tako, da bo večina padavin poniknila v tla in ne odtekla po površini v vodotoke. Obenem skušamo zmanjšati porabo vode, t.j. izhlapevanje in transpiracijo. Poskrbeti moramo torej, da čimveč vode prispe do tal, da so tla čim bolj propustna, obenem pa, da je rastlinja čim manj.

Žal vse te zahteve niso združljive. Vnovič moramo iskati optimalno rešitev. Nizko rastlinje, oziroma malo rastlinske biomase, pomeni sicer manjšo porabo vode, ne predstavlja pa optimalne rešitve. Poroznost in zadrževanje vode sta pod nizko rastlinsko odejo majhna, tako da je končni učinek šibek. Pri nizkem rastlinju gre predvsem za trave. Tak tip rastlinske odeje je podvržen tudi pašni rabi, ki dodatno slabša fizikalne lastnosti tal. Kot posledica se pokaže povečan površinski odtok in celo erozija.

Po premisleku pri iskanju rastlinske odeje z optimalnim vodnim režimom lahko ugotovimo, da je to lahko le gozd.

Vodni režim gozdnatega zemljišča karakterizirajo naslednje poteze:

1. Površinskega odtoka skoraj ni. Gozdna tla so močno luknjičasta obenem pa sposobna zadržati velike količine vode. Vsa voda, ki dospe do gozdnih tal, vanje tudi ponikne.
2. Precej padavinske vode prestreže listje in igličje krošenj, od koder izhlapi nazaj v ozračje. Prestrežanje ali intercepcija se dogaja v vsakem letnem času in zmanjšuje vodne zaloge.
3. Gozdno drevje je močan porabnik vode, zlasti če je ima v izobilju. Transpiracija gozdnega drevja je glavni negativni člen v vodnem režimu gozdnatega zemljišča. Glede vode je gozd neposredni konkurent človeku.

Vodni režim gozda določa zgradba gozdnega sestoja. Drevesne vrste, provenience in fenotipi, razvojne faze, gostota drevja in krošenj so tisti dejavniki, ki določajo, koliko vode bo prešlo v vodne zaloge in bo kot presežna voda na razpolago za človekovo rabo.

2.1.1. Vpliv drevesne vrste na vodni režim

Gre za dve vrsti vplivov: fiziološke in fizikalne. Po fiziološki plati se drevesne vrste med seboj poleg drugega razlikujejo tudi po porabi vode v normalnih razmerah. Te razlike nastajajo zaradi razlik v asimilacijskem aparatu, presnovi, rastnem ciklu. Poznamo drevesne vrste, ki so skromne, druge za normalno rast rabijo mnogo vode.

V fizikalnem pogledu gre predvsem za intercepcijo in dolžino vodnih poti, ki jo mora preiti padavinska voda da dospe do tal in vanje ponikne. Intercepcija je odvisna od zgradbe krošenj, ta je velika pri iglavcih in manjša pri listavcih. Zaradi površinske napetosti vode se namreč v majhnih prostorčkih med gostimi iglicami zadrži veliko več padavin kot na gladkih listih. Padavine se v krošnjah iglavcev zadržujejo dalj časa, zato imajo tudi večjo možnost izhlapeti nazaj v ozračje. Čas zadrževanja v krošnjah je odvisen tudi od dolžine poti, ki jo morajo preteči dežne kapljice do tal. Drevesne vrste s pokonci obrnjenimi vejami delujejo kot lijaki, padavine se stekajo po vejah proti deblu in po njem na tla. Vrste s pobešenimi vejami pa le malo usmerjajo padavine proti deblu. Padavine skapajo z veje na vejo in končno na tla, pri tem pa se zadržujejo v krošnjah dalj in tudi hitreje izhlapavajo. Za gozdno združbo so lijakasta drevesa primernejša, čeprav ob deblu nastaja močna koncentracija vode.

2.1.2. Vpliv gostote drevja na vodni režim

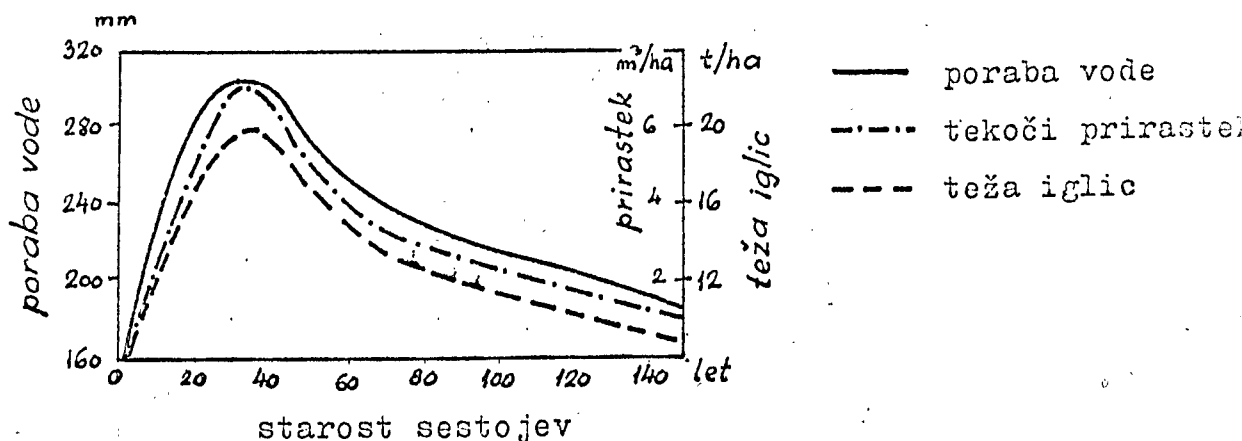
Tudi mikroklima je dejavnik, ki oblikuje vodni režim. Gozdna mikroklima ima prav posebne poteze, pa tudi fizikalni procesi v pritalni zračni plasti so zaradi drevja nekoliko spremenjeni. Mikroklima je odvisna od gostote gozdnega drevja. Sevanje oziroma

temperatura, zračna vlaga in hitrost ter turbulentnost vetra so dejavniki, ki vplivajo na izhlapevanje in transpiracijo gozdnih sestojev. Čim manjša je namreč gostota drevja, tem več energije sončnega sevanja lahko prodre v sestoj, večja je tudi hitrost in turbulenca vetra, kar ima za posledico tako večjo transpiracijo kot tudi večje izhlapevanje s tal in rastlinja.

2.1.3. Vpliv razvojne faze na vodni režim

Razvojna faza verjetno najmočneje vpliva na vodni režim gozdnatega zemljišča. Pri tem gre predvsem za fiziološke posledice rasti od mladja do starega sestoja. Upoštevati moramo tudi posledice spremenjene gostote drevja. Gozdni sestoj v toku svojega razvoja kopiči biomaso. Začenja praktično iz nič, se dvigne do maksimuma, nakar se biomasa spet zmanjša. Glavni porabnik vode ni celotna biomasa gozda, pač pa njegov živi del - asimilacijski aparat, ki je seveda v najtesnejši zvezi z vitalnostjo v posameznem razvojnem obdobju. Tako je poraba vode zelo tesno odvisna od količine žive mase listja in igličja. V fazi najmočnejše rasti, ko je tudi zelenega dela sestoja največ, je poraba vode največja in po navedbah raznih avtorjev od katerih je najvažnejši Molčanov (29), lahko povzroči celo močan vodni primanjkljaj.

Molčanov (29) je ugotovil, da količina listne mase na drevju odločilno vpliva na transpiracijo gozdnih sestojev, pa tudi na intercepcijo. Transpiracija se pri isti drevesni vrsti spreminja s starostjo. Čim večja je biomasa listja, tem večja je transpiracija oziroma evapotranspiracija in večji je tudi tekoči prirastek lesne mase (sl.1).



Celotna evapotranspiracija v svojem poteku sledi gibanju količine listne mase oziroma tekočega prirastka. Transpiracija oziroma celotna poraba vode v borovih sestojih sta različni pri različnih starostih in imata tudi značilen potek.

V primerjavi s količino padavin porabljajo zelo mladi in starejši sestoji manj vode, tako da ostanek prehaja v talnico. Ko sestoji preidejo v letvenjak, oziroma ko se prične njihovo intenzivno priraščanje, ki je pogojeno z veliko listno maso, pa sestoji porabljajo vso količino padavinske vode, jo celo presežejo in nanečejo zaloge talne vode, ki se nateka od drugod.

Če velja, da je poraba vode odvisna od velikosti tekočega prirastka oziroma obratno, Molčanov je za bor ugotovil močno linearno zvezo, potem mora drevje porabljati največ vode v času najintenzivnejše telesninske rasti. Iz potekov tekočega prirastka tako lahko sklepamo na porabo vode pri posameznih starostnih obdobjih ali razvojnih fazah. Seveda pa brez eksperimentalnih podatkov ne moremo ugotoviti, ali je sploh in kdaj je vodna bilanca sestojev negativna. Primanjkljaj v vodni bilanci ni le posledica prevelike porabe, ampak je lahko tudi posledica premajhnega dotoka padavinske vode.

Izključno z biološkega vidika (proizvodnje lesne mase n.pr.) je hidrološki pomen sestojne starosti zato mnogo večji v predelih z malo padavin, v humidnih področjih pa seveda le na suhih rastiščih. Z vodnogospodarskih vidikov pa je odvisnost vodnega režima od starosti sestoja pomembna prav povsod.

Zimski vodni režim je od razvojne faze posredno odvisen. Nastajanje in zginevanje snežne odeje je predvsem posledica prestrezanja snega v krošnjah, torej posledica zgradbe gozdnih sestojev. Čim gostejše so krošnje, čim globlje segajo, tem manj snega bo padlo na tla in tem večja bo izguba zaradi izhlapevanja s krošenj.

2.2. Zimski vodni režim

V hidrološkem smislu je zima čas, ko v naših podnebnih razmerah kontinuiteta prehajanja vode po hidrološkem ciklu nekoliko zastane. Zaradi kopičenja snega se padavinska voda zadržuje na površini tal, le malo odteka v tla, običajno se le neposredno vrača nazaj v ozračje. Snežna odeja tako predstavlja zelo pomembno zalogo vode, ki se v fiziološko aktivnem spomladanskem obdobju sprošča in jo rastline lahko porabljajo za razvoj.

Zimski vodni režim je od zgradbe gozda prav tako odvisen kot poletni, čeprav se od poletnega močno razlikuje. Padavine imajo čisto drugačne fizikalne lastnosti. Sneg je predvsem specifično lažji in^{še} zato zaradi vetrov še bolj neenakomerno porazdeljuje po površini tal, poleg tega pa ga veter lahko premešča na druga mesta tudi potem, ko je že enkrat stvoril snežno odejo. V odvisnosti od temperaturnih razmer se lovi in lepi na krošnje, od koder lahko zaradi večje energije sevanja in zračne turbulence močnejše izpari in se vrača naravnost v ozračje. Kljub temu, da je zima pri nas najhladnejši del leta, je zimska intercepcija lahko po deležu enaka intercepciji v drugih obdobjih leta. Mitscherlich in Moll (26) sta n.pr. za smreko ugotovila za 4-7% manjšo zimsko intercepcijo, Brechtel (9) pa pri bukvi manjšo za 1-4%.

Gradnja snežne odeje na gozdnih tleh je odvisna od mnogih dejavnikov in je odraz energetske bilance notranjosti gozdnega sestoja. Pod rastlinskim pokrovom se energetska bilanca talne površine močno spremeni v količinskem in kakovostnem smislu. Količine sprejetega in oddanega sevanja so manjše, spremenijo se tudi razmerja, drugačna je tudi mehanska energija vetra. Spremenjena energetska bilanca sestojne notranjosti se pokaže v procesih kopičenja, zorenja in taljenja snežne odeje, spremenjene karakteristike vetra pa pri akumulaciji snežnih padavin in premeščanju snežnega pokrova.

2.2.1. Akumulacija snega

Nastanek snežne odeje omogočajo različni dejavniki. Predvsem so to ugodne vremenske razmere, ki onemogočajo prehitro taljenje snega. Sneg se takrat prične kopičiti. Snežna odeja se že med debeljenjem spreminja, gostota se večja, glede na temperaturo zori, nastajajo tokovi padavinske vode, na tleh lahko nastane zmrznjena plast. S površine sneg izhlapeva nazaj v ozračje, veter pa s prenašanjem poskrbi za neenakomernost. Na prostem se v snežni odeji nakopičijo vse padavine, kadar pa so tla porasla z rastlinjem, je količina padavinske vode v snežni odeji manjša za tisti del, ki se ujame v rastlinje ali drevesne krošnje in se vrne nazaj v ozračje.

V gozdu se na krošnje ujame precej snega. V odvisnosti od vremenskih razmer sneg s krošnje odletava na tla, lahko pa v celoti izhlapi v ozračje. Drevesne krošnje tako same po sebi, zaradi svoje prisotnosti pa tudi gostote, povzročajo zelo neenakomerno porazdelitev snežnih padavin po gozdnih tleh. Običajno nastaja debelejša snežna odeja v presledkih med krošnjami oziroma tam, kjer se sneg sesipa na tla, tanjša snežna odeja pa se nabere ob debelih, oziroma pod najgostejšimi deli krošenj. Neenakomernost debeline in vodne vsebine snežne odeje običajno povečuje še veter, ki zlasti na notranjih gozdnih obrobjih, dokler ima še moč, piha v obliki nepredvidljivih zračnih tokov in vrtincev, ki padli sneg odnašajo in nametavajo.

2.2.2. Zorenje in kopnenje snega

Snežna odeja prične kopneti, kadar se njena temperatura dvigne nad tališče. Potrebna energija prihaja iz različnih virov v obliki kratko- in dolgovalovnega sevanja in v obliki toplote. V snežni odeji se pri kopnenju dogajata dva procesa, ki oba porabljata energijo. To sta zorenje snega, oziroma segrevanje do tališča, in taljenje samo. Za zorenje snega je potrebno razmeroma malo energije, za 1 gr snega pri -10°C je potrebno okrog 7 cal, da se segreje do tališča, medtem ko samo taljenje rabi veliko večje količine toplote, za 1 gr snega je potrebnih okrog 80 cal. Še več, to-

plote je potrebno za izhlapevanje, 675 cal za pretvorbo 1 gr vode v vodne hlape. V obratnem procesu se ta toplota sprošča.

Viri energije sevanja in toplote za zorenje in taljenje snežne odeje so predvsem naslednji: kratko- in dolgovalovno sevanje, konvekcija iz zraka, ki sneg prekriva ali priteka s strani, kondenzacija, prevajanje iz tal ter toplota dežja. Od omenjenih virov sta najšibkejša toplota iz tal ter toplota dežja, najpomembnejši pa prav gotovo sevanje, konvekcija in kondenzacija. Spomladanske poplave, ki se pojavljajo ob deževnih odjugah, so tako v največji meri posledica temperatur pri katerih dežuje in sproščene latentne toplote zaradi kondenzacije, in manj kot posledica topilnega učinka dežja (35).

Stopnja taljenja se še pospeši, ko snežna odeja postane pretrgana in plitva. Toplota se dodatno prevaja z golih krp v sneg, prenaša pa jo tudi advektivno gibanje zraka.

Kopnenje snežne odeje je torej v celoti odvisno od toplotnih in sevalnih razmer. Čim več toplote je na razpolago, tem večja bo stopnja taljenja in snežna odeja bo ležala le krajši čas. Gozd s krošnjami neposredno oblikuje energetska bilanco svoje notranjosti, to pomeni, da tudi neposredno vpliva na toplotne razmere. V gozdu se sneg tali počasneje, kot na odprtih površinah: pri tem sodelujeta kot najvažnejša dejavnika senčenje ter zmanjševanje hitrosti vetra, ki ima za posledico zmanjšanje konvekcije in kondenzacije.

Senčenje določa bilanco kratko- in dolgovalovnega sevanja v gozdnem sestoju. Čim gostejše so krošnje manj direktnega sevanja bo prodrlo v sestoj, vendar bo v njem več dolgovalovnega sevanja. V obratni smeri predstavlja sklenjenejši svod krošenj močnejšo oviro za izsevane dolgovalovne žarke, zato več te energije ostane v sestojnem prostoru (tabela 1).

Tabela 1

Odnos med gostoto krošenj (zarástjo) in energijo sevanja na snežni odeji (ly/min)

(iz: Snow Hydrology, U.S.Army Corps of Engineers, 1953)

	Z a r a s t					
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
ostanek prejetega kratkovalovnega sevanja	0,20	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01
ostanek samo iz gozda prejetega dolgovalovnega sevanja	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06
samo proti nebu oddano dolgovalovno sevanje	-0,08	-0,06	-0,04	-0,03	-0,02	-0,01
ostanek vse energije sevanja	0,12	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06

V bilanci količine sevane energije v gozdnem sestoju ima stopnja sklenjenosti krošenj tako le manjši pomen, saj so razlike med sklenjenostjo krošenj 0,8 in 1,0 zelo majhne. Razmeroma velika je le med stopnjama 0,0 in 0,2 kar bi tudi pokazalo na veliko razliko med bilanco sevanja v gozdnatem in negozdnatem prostoru.

Zmanjšana hitrost vetra v gozdnem sestoju povzroči manjšo konvekcijo in kondenzacijo - druga dva najpomembnejša vira energije pri taljenju snežne odeje. Kakšen je posredni vpliv gostote gozdnega sestoja na toplotno bilanco snežne odeje v gozdu, zaradi spremenjenega gibanja zraka in prenašanja zračnih lastnosti, še ni kvantificirano, vse kar o tem vemo je le posredno potrjeno. Vemo n.pr., da je veter v gozdu upočasnjjen, da je od hitrosti in turbulence odvisen prenos toplote in količina vodnih hlapov iz katerih se ob kondenzaciji sprošča latentna toplota. Iz delnih potrditev se da napraviti logičen sklep, da je v gozdu taljenje snega počasnejše tudi zaradi manjšega vetra, vendar pa takega zaključka raziskovalci do zdaj še niso potrdili.

3. METODE RAZISKOVALNEGA DELA

V fiziološkem smislu je zima suh letni čas, zato bi pričakovali, da za gozdarstvo ni zanimiv. Ker pa pomen in naloge gozda poleg proizvodnje lesa segajo tudi na vodnogospodarsko področje, klimatsko in rekreacijsko, je treba zimo upoštevati enakovredno vsem ostalim letnim časom, saj ostale funkcije gozda pozimi ne zamrejo tako kot proizvodna. Z ekološkega pa tudi vodnogospodarskega vidika predstavlja snežna odeja vodne zaloge, ki se različno intenzivno sproščajo v toplejšem delu leta, polnijo vodne zaloge v tleh in napajajo vodne tokove. Za vse porabnike in še zlasti za človeka je pomembno, da je dotok vode čimbolj enakomeren preko vsega leta. Tak naj bi bil tudi v pomladanskem obdobju, čeprav je način napajanja vodnih tokov drugačen od poletnega. Akumulacijo padavinske vode v gozdni snežni odeji pa tudi hitrost in silovitost sproščanja vode iz nakopičenega snega v sestojih je mogoče v zimskem obdobju uravnavati enako učinkovito kot v toplem delu leta. Kadar gozdnogospodarski načrt določa tudi povečanje količine presežne vode, potem je treba zgradbo gozda oblikovati tako, da bo omogočila čimvečjo akumulacijo snežnih padavin in čimpočasnejše sproščanje vode ob koncu zime. To po eni strani pomeni zmanjšati intercepcijo ter olajšati prehajanje snega skozi krošnje do tal, po drugi strani pa preprečiti sevanju in vetru dostop v notranjost sestoja. Hkrati se tega ne da doseči, zato ima običajno prednost povečanje akumulacije, pomanjkanje vlage je prav gotovo odločilnejše od ugodne razporeditve sproščene vode.

3.1. Delovna hipoteza

V delovno hipotezo so bila vgrajena dosedanja spoznanja drugih raziskovalcev, ki so odnos med gozdom in vodnim oziroma snežnim režimom proučevali z najrazličnejših vidikov. Raziskava naj bi potrdila sledeče predpostavke:

Kadar so makroklimatske razmere izenačene, takrat na tvorbo, zorenje in zginevanje snežne odeje vpliva neposredno in posredno zgradba gozdnega sestoja. Čim gostejše so krošnje, tem večja bo intercepcija in manjša bo akumulacija snežnih padavin na sestojnih tleh.

Ker je gostota sestojev iste drevesne vrste odvisna od njegove razvojne faze, je snežni režim posredno odvisen tako od drevesne vrste kot od razvojne faze. V praksi to pomeni, da bi najdebelejšo snežno odejo morali imeti stari bukovi sestoji, najtanjšo pa mladi smrekovi sestoji. Zaradi močnejšega senčenja naj bi se v smrekovih sestojih sproščala voda iz snega počasneje kot v bukovih, kar naj bi imelo za posledico daljše trajanje snežne odeje v smrekovih sestojih, čeprav je tam tanjša. Če je gozdnogospodarski cilj tudi uravnavanje in izboljševanje vodnega režima, potem je treba v zimskem vodnem režimu poskrbeti za čimdebelejšo snežno odejo in čimvečje trajanje snežne odeje. Za doseg tako postavljenega cilja bi bili najprimernejši bukovi debeljaki, sledili pa bi jim bukovi drogovnjaki in letvenjaki, v istem zaporedju pa nato tudi razvojne faze pri iglavcih.

3.2. Raziskovalni objekti in zbiranje podatkov

3.2.1. Izbira raziskovalnih ploskev, načrt raziskave

Pri kriterijih za izbiro raziskovalnih ploskev se je bilo potrebno ravnati po zastavljenem problemu in delovni hipotezi. Osnovna predpostavka, da na zimski vodni režim vpliva v največji meri le zgradba gozdnega sestoja, je narekovala izločitev oziroma zmanjšanje vpliva vseh ostalih dejavnikov, ki prav tako oblikujejo zimski vodni režim. To je zahtevalo čimbolj izenačene makroklimatske razmere na vseh raziskovalnih ploskvah. Meritvene ploskve so bile zato izbrane na pobočjih z enako lego, vendar v različnih nadmorskih višinah. S tem so bile izpolnjene zahteve, ki jih je z vidika statistične obdelave zahteval plan raziskave.

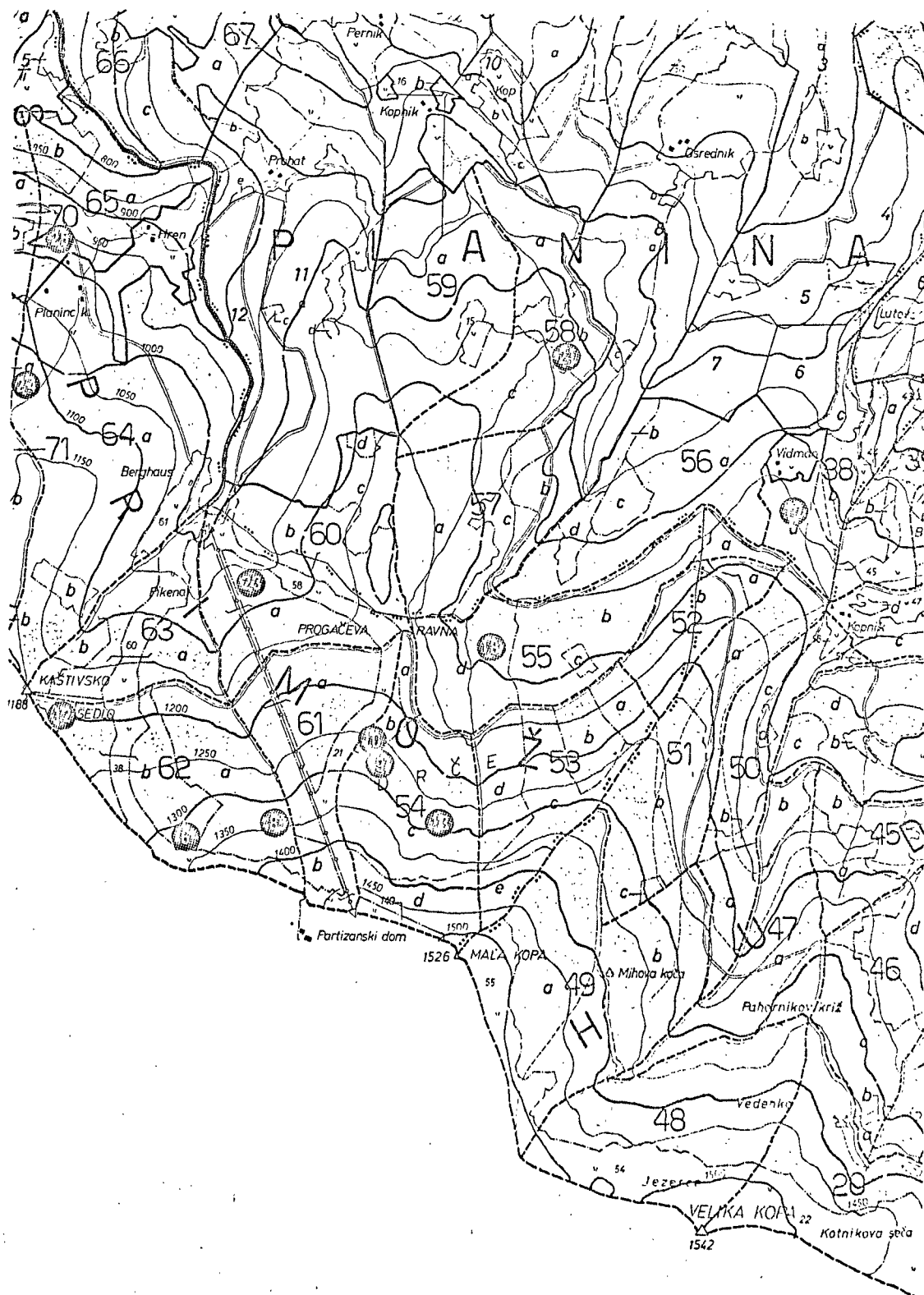
Osnovni dejavnik, ki je bil predmet raziskave, torej zgradba (gostota) gozdnega sestoja, je bil v raziskavi zajet s šestimi tipi gozdne odeje. Raziskovalne ploskve so bile stalne. Izbrane so bile v enodobnih sestojih smreke in bukve v fazah mladja ali letvenjaka do drogovnjaka in zrelega debeljaka. To so bili nizi 6 ploskev izbrani

v 4 višinskih pasovih, širokih 300 m. Težili smo k čimvečji izenačenosti po nadmorski višini v okviru posameznega višinskega pasu, pa tudi razdalje med ploskvami v posameznem nizu naj bi bile čimmanjše. Dodatno je k izboru lokacij meritvenih ploskev prispevala tudi dostopnost do ploskev v zimskih razmerah.

Za področje raziskovanja je bilo izbrano severno pobočje Pohorja na območju gozdarskega obrata Radlje. Takemu izboru v prid govori dejstvo, da severna pobočja Pohorja, ki v celoti leži v smeri V - Z, lahko zagotovijo enak makroklimatski vpliv na vse posamezne meritvene ploskve in sicer v celotnem višinskem razponu od dravske doline (Vuhred 342 m nadm.viš.) do vrha Pohorja (V.Kopa 1543 m nadm.viš.). Tam je bilo mogoče najti skoraj vse z načrtom predvidene tipe sestojev, poleg tega pa smo se lahko pri izvedbi meritev na sodelavce s terena, ki so te meritve opravili, popolnoma zanesli.

Dejanska shema meritvenih ploskev na terenu je nekoliko odstopala od planirane sheme. Medtem ko je bilo za iglavce mogoče najti vse tipe sestojev v vseh višinskih pasovih, listavcev nismo našli povsod tam, kjer je bilo potrebno. Z ozirom na to, da so od cest odmaknjeni gozdni predeli v snegu zelo slabo prehodni in težko dostopni, je bilo potrebno meritvene ploskve skoncentrirati na področju največje dostopnosti in se zadovoljiti z nepopolno shemo. Meritvene ploskve so zato skoncentrirane v vertikalnem pasu od Vuzenice do Male Kope, ker je to področje na celotnem severnem pobočju Pohorja prav gotovo najbolj odprto in najdostopnejše. Vso zimo je namreč plužena cesta iz Vuzenice do Male Kope, kar olajša dostop v višino, ki predstavlja največji napor in izgubo časa. Lahko celo rečemo, da brez teh okoliščin raziskava v takem obsegu in v taki shemi ne bi bila opravljena.

Shema meritvenih ploskev na terenu je obsegala vse predvidene ploskve v smrekovih sestojih, manjkale pa so ploskve v bukovem drogovnjaku v spodnjih dveh višinskih pasovih in v bukovem debeljaku v najnižjem višinskem pasu. Zaradi nepopolne sheme raziskovalnih ploskev so meritve na vseh ploskvah tekale le eno zimsko sezono. V naslednji zimi so bile meritve na ploskvah v spodnjih dveh višinskih pasovih opuščene in so potekale le v zgornjih dveh popolnih pasovih (slika 2).



Slika 2

Situacija meritvenih ploskev v zgornjih dveh višinskih pasovih pod Malo in Veliko Kopo na Pohorju, M 1:20 000

Vsakemu višinskemu nizu šestih ploskev je bila dodana primerjalna ploskev na odprti negozdnati površini. Postavljena je bila na travnik ali pašnik v bližini pripadajočih drugih ploskev v sestojih. Najvišja primerjalna ploskev je bila locirana v veliki gozdni poseki, ne pa na vršnem slemenu Male Kope, kjer so docela drugačne insolacijske in vetrne razmere. Primerjalni podatki z najbližjih meteoroloških postaj so bili namreč neprimerni, ker izhajajo iz drugačnih klimatskih razmer. Da se je bilo treba nasloniti le na lastne meritve, nakazuje več dejstev:

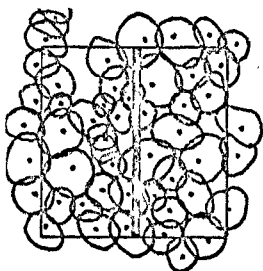
1. Klimatske razmere meteoroloških postaj Vuhred in Radlje so dolinske, zato lahko služijo le za primerjavo v najnižjem višinskem pasu. Isto velja tudi za najvišji pas in postaji Ribniška koča in Ribnica na Pohorju. Za oba vmesna višinska pasova primerjalnih podatkov z meteoroloških postaj ne najdemo.
2. Devetstometrski višinski razpon med najnižjo in najvišjo ploskvi-jo pomeni, da se klimatske razmere na začetku in vrhu razpona lahko bistveno razlikujejo. Sneg na vrhu in dež v dolini povzročata akumulacijo padavin na vrhu in odtekanje spodaj. Navezava na eno samo postajo lahko bistveno zamegli podobo višinskega profila.

Pregled izbranih ploskev, njihove značilnosti in gostota drevja
(M = 1 : 400)

I. višinski pas 1500 - 1200 m nadm.viš.

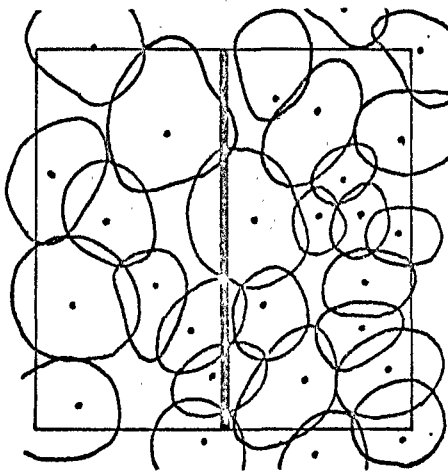
Smrekovi sestoji:

- ploskev števil. 12, smrekov letvenjak



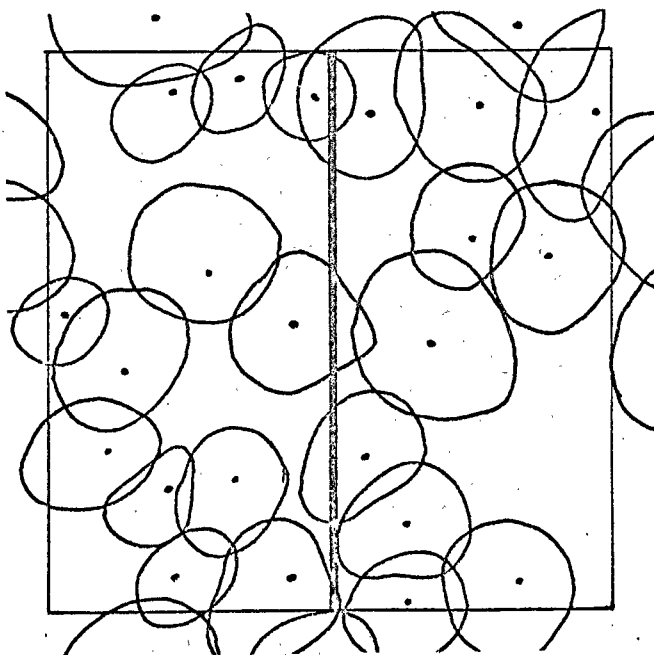
nadmorska višina 1190 m, severna lega, nagib 20° ,
višina drevja 9 m, dolžina krošenj 5 - 6 m, zarast 1,0

- ploskev števil. 8, smrekov drogovnjak



nadmorska višina 1340 m, severna lega, nagib 27° ,
višina drevja 20 m, dolžina krošenj 10 - 12 m, zarast 0,8 - 0,9

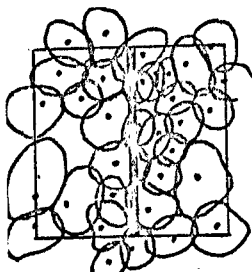
- ploskev števil. 13, smrekov zrel debeljak



nadmorska višina 1300 m, severna lega, nagib 35° ,
višina drevja 27 m, dolžina krošenj 20 - 22 m, zarast 0,8

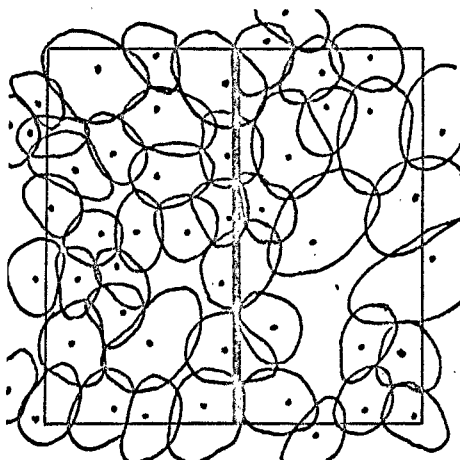
Bukovi sestoji:

- ploskev števil. 9, bukov letvenjak



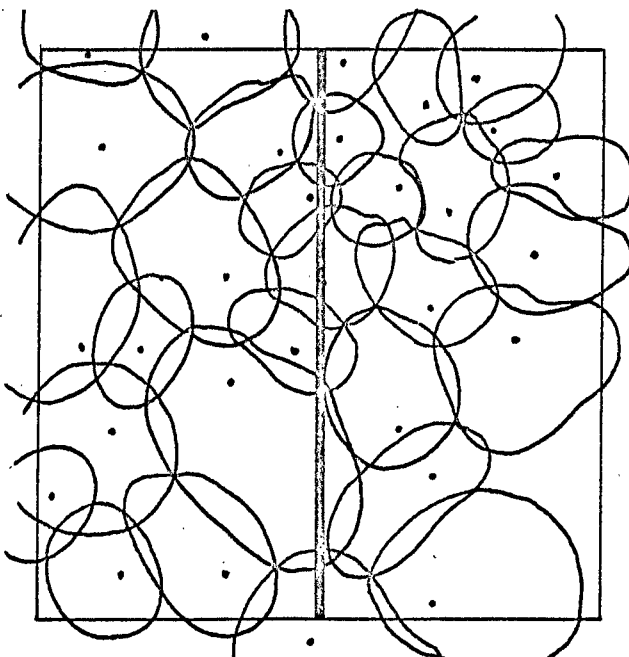
nadmorska višina 1270 m, severozahodna lega, nagib 25° ,
višina drevja 15 m, dolžina krošenj 7 m, zarast 1,0

- ploskev šte. 6, bukov drogovnjak s posamezno smreko



nadmorska višina 1320 m, severovzhodna lega, nagib 15° ,
višina drevja 22 m, dolžina krošenj 4 - 6 m, zarast 0,9

- ploskev šte. 10, bukov debeljak s posamezno jelko in smreko

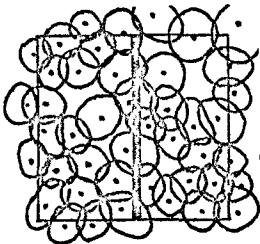


nadmorska višina 1260 m, severna lega, nagib 30° ,
višina drevja 26 m, dolžina krošenj 10 - 14 m, zarast 0,8 - 0,9

II. višinski pas 1200 - 900 m nadm. viš.

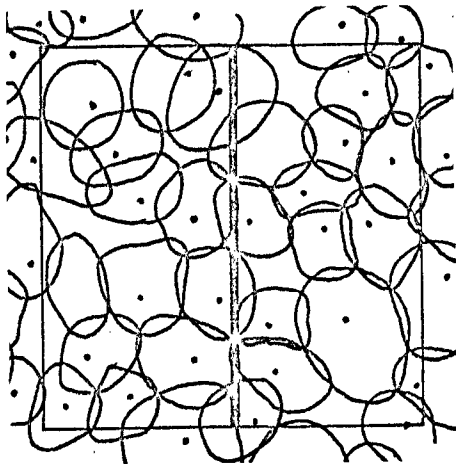
Smrekovi sestoji:

- ploskev štev. 21, smrekova gošča - letvenjak



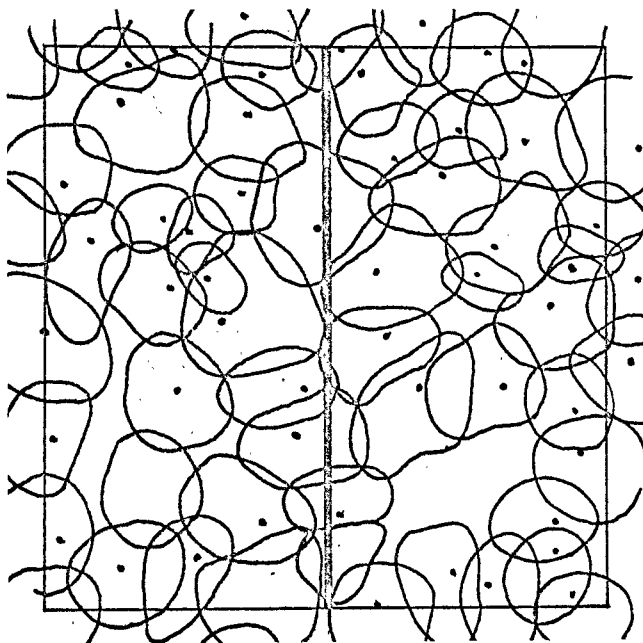
nadmorska višina 1020 m, severna lega, nagib 26° ,
višina drevja 6 m, dolžina krošenj 6 m, zarast 1,0

- ploskev štev. 25, smrekov drogovnjak



nadmorska višina 980 m, severna lega, nagib 22° ,
višina drevja 23 m, dolžina krošenj 9 - 11 m, zarast 1,0

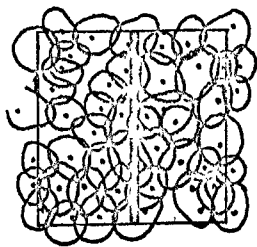
- ploskev šte. 23, smrekov debeljak



nadmorska višina 980 m, severna lega, nagib 32° ,
višina drevja 28 m, dolžina krošenj 11 - 14 m, zarast 0,7 - 0,8

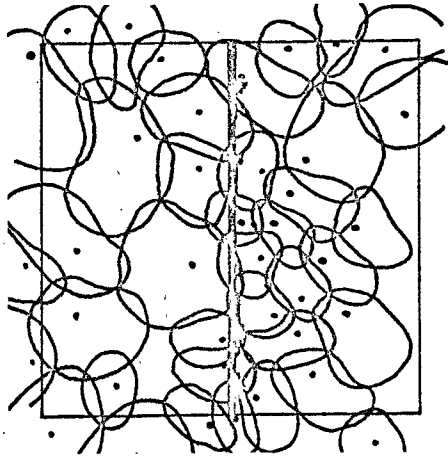
Bukovi sestoji:

- ploskev šte. 17, bukov letvenjak



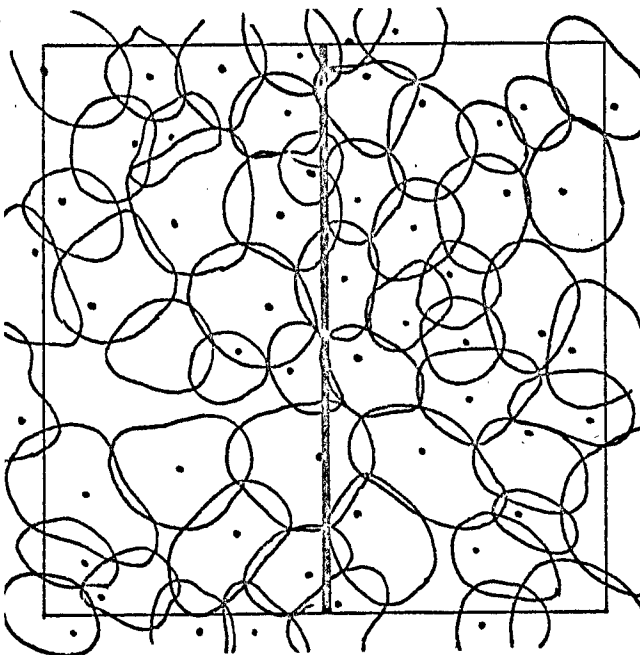
nadmorska višina 970 m, severna lega, nagib 15° ,
višina drevja 13 m, dolžina krošenj 6 m, zarast 0,9

- ploskev šte. 24, bukov drogovnjak



nadmorska višina 1110 m, severozahodna lega, nagib 24° ,
višina drevja 25 m, dolžina krošenj 6 - 9 m, zarast 0,8 - 0,9

- ploskev šte. 18, bukov debeljak



nadmorska višina 1120 m, severozahodna lega, nagib 24° ,
višina drevja 25 m, dolžina krošenj 5 - 7 m, zarast 0,9

III. višinski pas 900 - 600 m nadm.viš.

Smrekovi sestoji:

- ploskev šte. 26, smrekov letvenjak
nadmorska višina 670 m, severovzhodna lega, nagib 20° ,
zarast 1,0
- ploskev šte. 29, smrekov drogovnjak na prehodu v debeljak
nadmorska višina 700 m, severna lega, nagib 25° , zarast 1,0
- ploskev šte. 30, zrel smrekov debeljak
nadmorska višina 650 m, severozahodna lega, nagib $20 - 25^{\circ}$,
zarast 0,9

Bukovi sestoji:

- ploskev šte. 28, bukov letvenjak
nadmorska višina 730 m, severna lega, nagib $20 - 25^{\circ}$,
zarast 0,9 - 1,0
- ploskev šte. 27, zrel bukov debeljak
nadmorska višina 750 m, severna lega, nagib $20 - 25^{\circ}$,
zarast 0,9 - 1,0

IV. višinski pas 600 - 300 m nadm.viš.

Smrekovi sestoji:

- ploskev števil. 33, smrekov letvenjak
nadmorska višina 460 m, severna lega, nagib 15° , zarast 1,0
- ploskev števil. 32, smrekov drogovnjak
nadmorska višina 500 m, severozahodna lega, nagib $10 - 15^{\circ}$,
zarast 0,9
- ploskev števil. 35, smrekov debeljak
nadmorska višina 500 m, severna lega, nagib 10° , zarast 0,8

Bukovi sestoji:

- ploskev števil. 34, bukov letvenjak
nadmorska višina 550 m, severna lega, nagib 20° , zarast 1,0

3.2.2. Osnovni podatki in meritvene metode

Pri opazovanju snežne odeje ločimo štiri vrste podatkov, ki označujejo njene lastnosti. To so debelina in gostota snega, vodni ekvivalent in trajanje snežne odeje. Za vodno gospodarstvo in gozdarstvo je najvažnejša med njimi količina vode v snežni odeji = vodni ekvivalent, ostali so manj uporabni. Vsi podatki so močno podvrženi napakam, zlasti debelina in vodni ekvivalent sta lahko zaradi horizontalnega premeščanja snega zmotno izmerjena. Razumljivo je, da je pri njej težje potrditi postavljene hipoteze, včasih pa je treba tudi zmanjšati strogost testov za preizkušanje hipotez.

Meritve snežne odeje so potekale na naslednji način:

Na vsaki ploskvi je bila po padnici označena meritvena linija na kateri so terenski sodelavci s snežnimi sondami merili debelino snežne odeje ter vodni ekvivalent. Na vsaki ploskvi je bilo v enotedenskih intervalih vsakič odvzetih in izmerjenih deset vzorcev snežne odeje. Medsebojna razdalja odvzetih vzorcev se je med ploskvami razlikovala, v letvenjakih je bila 1 m, v drogovnjakih 2 m, v debeljakih 3 m. Z različno razdaljo smo zmanjšali sistematsko napako pri merjenju neenakomerne snežne odeje. Variabilnost snežne odeje in vodnega ekvivalenta sta odvisna od obsega in širine krošenj v sestoji. Snežna odeja se zato na ravni liniji hitreje spreminja v mladih sestojih, počasneje v starih. Z isto medsebojno razdaljo jemanja vzorcev bi tako ali v mladih ali v starih sestojih sistematično izmerili premajhne ali prevelike vrednosti, kar bi lahko privedlo do zmotne interpretacije rezultatov.

Meritve so izvajali zunanji sodelavci z gozdarskega obrata Radlje v zimah 1973/74 in 1974/75. Uporabljali so snežno sondo, ki je bila po vzorcu snežne sonde Vogelsberg (6) napravljena v mehanični delavnici Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo Slovenije. Sonda je bila izdelana iz pleksi stekla, imela je koničen kovinski tulast izsekovalec snega, ob strani pa nanešeno merilo za odčitavanje debeline snežne odeje. Odprtina snežne sonde ni bila standardna (25 cm^2), ampak je bila nekoliko manjša. Teža vzorcev snežne odeje je bila tehtana s tehtnico na pero z natančnostjo 1 dkg. Meritve so bile ob izvajanju takoj zapisane v pripravljene obrazce. Začele so se, ko je padel prvi sneg in končale, ko je sneg skopnel na zadnji meritveni ploskvi. Zaradi zanesljivejšega izvajanja so terenski sodelavci meritve izvajali vsak petek. Edino v primeru, da je takrat snežilo ali deževalo, so z merjenjem počakali do konca padavin.

Visok sneg je otežkočal zbiranje podatkov, ker so nekatere meritvene ploskve v zgornjem višinskem pasu postale zelo težko odostopne, vendar je v obeh meritvenih obdobjih izpadel le en podatek. Prav v težavnih razmerah se je pokazalo, da je bil izbor celotnega razisko-

valnega področja pod Malo in Veliko Kopo dobro opravljen, saj je lahka dostopnost z motornim vozilom v raziskovalno področje zmanjšala število izpadlih podatkov.

Iz meritev smo želeli dobiti podatke o debelini snežne odeje, vodnem ekvivalentu in dolžini trajanja snežne odeje. Debelina snežne odeje je bila neposredno izmerjena na terenu, vodni ekvivalent pa je bilo potrebno izračunati iz teže vzorcev snega po ustrezni formuli. Trajanje snežne odeje je bilo znano iz datumov meritvenih obhodov.

3.3. Obdelava podatkov

Osnovni podatki (datum, debelina snega, teža vzorcev) so bili iz terenskih manualov prenešeni na luknjane kartice. Izračunane so bile vrednosti vodnega ekvivalenta, nato pa so bili vsi podatki računsko obdelani na računalniku CYBER 72. Uporabljene so bile različne statistične metode: enostavna in faktorska analiza variance, preizkus značilnosti razlik med srednjimi vrednostmi, korelacija rangov. V statistični obdelavi je bil uporabljen predvsem računalniški statistični programski paket STATJOB, delno pa so bili uporabljeni lastni programi, ki jih je sestavil vodja raziskave.

Statistična obdelava naj bi odgovorila na več vprašanj:

1. Ali so razlike v debelini snežne odeje in vodnem ekvivalentu med drevesnimi vrstami nasploh statistično značilne?
2. Ali so statistično značilne razlike med razvojnimi fazami nasploh (torej ne glede na drevesno vrsto) in tudi znotraj posamezne drevesne vrste?
3. Ali na proučevane značilnosti snežne odeje poleg drevesne vrste in razvojne faze vpliva še kak drug dejavnik?

V obdelavi je nekoliko motila nepopolna shema zbranih podatkov. Idealno bi seveda bilo, ko bi mogli zbrati podatke za vsak meritveni datum v vseh višinskih pasovih pod obema drevesnima vrstama in v vseh razvojnih fazah. Za vsak tak datum bi morali dobiti podatke z vseh 24 ploskev. Plan raziskave pa je bil iz objektivnih razlogov nepopoln, manjkale so 3 ploskve v spodnjih dveh višinskih pasovih, poleg

tega pa je v toplih obdobjih v toku zime snežna odeja popolnoma skopnela, zlasti v spodnjih višinskih pasovih. V obeh zimah so bili zasneženi vsi sestoji le ob močnih padavinah, ko je sneg obležal tudi v dolini. Z obdelavo smo se bili zato prisiljeni omejiti na zgornja dva višinska pasova, ostale podatke pa v obdelavo vključevati le takrat, ko je bilo utemeljeno.

Kot že mnogokrat poprej se je tudi v tej raziskavi pokazala velika variabilnost padavinskih podatkov. Znano je, da se padavine neenakomerno porazdeljujejo po površini in da pri tem lahko pride do velikih razlik v izmerjenih količinah že na majhnih oddaljenostih. Neenakomernost porazdelitve padavin se poveča kadar so meritve opravljene pod sicer delno nepropustnim zastorom gozdnega drevja. Variabilnost podatkov o debelini snežne odeje v gozdu in njenem vodnem ekvivalentu je zato lahko zelo velika, koeficient variacije kot najenostavnejša mera variabilnosti podatkov pa pogosto presega vrednost 0,3. Velika variabilnost podatkov je bila na naših ploskvah ugotovljena razmeroma pogosto. Najmanjša je bila ob močnih akumulacijah snega (0,15), zvišala pa se je vsakič ob zorenju in taljenju snega. Takrat je koeficient variacije presegel celo vrednost 0,5 - 1,0. Tako zviševanje variacije pomeni, da se neenakomernost snežne odeje zaradi neposrednih in posrednih vplivov drevesnih krošenj v toplejših obdobjih povečuje.

Zaradi neenakomerne akumulacije snega se pojavljajo kopna mesta povsod tam, kjer se je nabralo manj snega, snežne krpe pa se ohranijo v senčnih delih, odprtinah in pod robom krošenj, kjer se sneg nabira v večjih množinah.

Posledica velike variabilnosti podatkov je v statistični obdelavi manjša zanesljivost ugotovljenih rezultatov, saj je pogosto treba zmanjšati nivo značilnosti na 0,90. V tej raziskavi je bila omenjena posledica velike variabilnosti kompenzirana z večjim vzorcem, tako da je bilo skoraj vse zaključke mogoče postaviti s statistično zanesljivostjo 0,95, nekatere celo z 0,99.

Pri pregledu in obdelavi teže vzorcev snežne odeje se je tudi pokazalo, da so bile meritve pri tanki snežni odeji precej nezanesljive. Natančnost tehtnice je bila sicer 1 dkg, kar pri teži prazne sonde 1 kg predstavlja le 1%, vendar pa je bilo pri terenskem delu treba računati s še enkrat večjo napako, torej 2 dkg. Taka napaka pri preračunavanju teže vzorca v vodni ekvivalent pomeni vrednost 8 mm/m². Zato so izračunani vodni ekvivalenti, ki so manjši od te vrednosti, nezanesljivi in jih je bilo treba v interpretaciji in kasnejših obdelavah ali izpustiti ali obravnavati zelo previdno.

V analizi zimskega vodnega režima na Pohorju je bilo treba upoštevati tudi dejstvo, da različna debelina in količina vode v snežni odeji v določenem dnevu ni le rezultat proučevanih faktorjev v obdobju od prejšnje meritve, pač pa da so različnosti tudi posledica stanja snežne odeje ob prejšnjem, oziroma vseh prejšnjih dnevih. To seveda pomeni, da se vpliv posameznih faktorjev na debelino in vodni ekvivalent seštevava ali kako drugače akumulira, pri čemer ta vpliv ni vedno enosmeren in se zabriše namesto, da bi se jasneje pokazal. Razlike v gibanju snežne odeje med dvema meritvenima datuma predhodne vplive izločijo. Seveda se najčisteje pokažejo učinki proučevanih faktorjev na tiste meritvene datume, ki sledijo dnevom, ko snega ni bilo, to se pravi pri grajenju snežne odeje.

Razlika med zaporednimi merjenji pokaže vpliv proučevanih faktorjev na snežno odejo v obdobju enega tedna, to je v najkrajšem možnem obdobju, podatki za posamezne meritvene dneve pa kažejo kumulativni učinek sestoja na snežni režim iz celotnega zimskega obdobja do datuma merjenja. Teža informacije, ki jo podatek ene ali druge vrste daje, je tako kaj različna. Zdi pa se, da je podatkom o razliki med zaporednimi merjenji treba dati večji pomen.

4. REZULTATI IN ZAKLJUČKI RAZISKAVE

Za zimi 1973/74 in 1974/75 je bilo značilno močno nihanje snežne odeje, ki tudi ni dosegala večjih debelin. Zlasti to velja za prvo zimo, ko se je snežna odeja celo v zgornjih višinskih pasovih trikrat zgradila in skopnela; v naslednji zimi pa dvakrat. Obdobje stalne snežne odeje je v zimi 1973/74 trajalo 4 tedne, medtem ko se je v naslednji zimi potegnilo na 10 tednov, ko se je dokončno stajal sneg šele koncem aprila, t.j. 1 mesec kasneje kot leto poprej. Meritve so tekle od 18.1.1974 do 29.3.1974 in od 6.12.1974 do 25.4.1975.

4.1. Debelina snežne odeje v sestojih

Za obe zimi je znalično, da je snežna odeja močno nihala in ni dosegala visokih vrednosti. V prvi zimi je dosegla svoj maksimum v začetku marca. Takrat je bila snežna odeja na prostem debela v I.višinskem pasu 131,5 cm, v II.višinskem pasu 124,7 cm, v III.višinskem pasu 107,2 cm in v IV.višinskem pasu 35,0 cm. Pozimi 1975 so bile meritve v spodnjih dveh višinskih pasovih opuščene zaradi preredkega pojavljanja snega (v prejšnji zimi le 4 krat), izmerjena največja višina snega pa je bila v I.višinskem pasu 77,1 cm in v II.višinskem pasu 55,6 cm.

Snežna odeja se je v toku zime zdebelila 4 krat (1974) oziroma 5 krat (1975). V teh štirih oziroma petih razdobjih s snežnimi padavinami se je v I.višinskem pasu snežna odeja zdebelila skupno za 193 cm na odprtem v letu 1974 in za 132 cm v letu 1975. V II.višinskem pasu so bile vrednosti manjše in sicer 152 cm v letu 1974 in 106 cm leto kasneje (tabela 2 in 3).

Tabela 2

Osnovni podatki - DEBELINA snežne odeje (cm)
I. višinski pas (1500 - 1200 m n.v.)

Datum	s m r e k a			b u k e v			jasa
	lt	dg	db	lt	dg	db	
18.1.1974	9,3	3,6	.	7,3	9,3	6,9	24,2
25.1.	3,5	.	.	3,1	.	5,5	25,7
8.2.	5,5	11,7	17,2	16,6	15,0	16,6	47,6
15.2.	.	9,3	10,9	9,8	12,4	9,3	43,9
1.3.	6,6	14,0	16,0	21,5	18,7	18,2	48,2
8.3.	50,1	67,8	72,3	81,5	76,9	85,9	131,5
15.3.	50,0	64,1	68,1	75,9	67,8	68,4	100,1
22.3.	22,4	26,7	30,1	28,1	17,4	21,0	66,8
6.12.	.	.	.	4,3	6,7	8,7	19,5
13.12.	.	.	.	3,0	4,0	6,7	16,1
7. 2.1975	6,2	6,6	6,3	12,5	14,3	13,9	21,0
14. 2.	4,6	6,1	4,5	13,4	14,8	13,6	23,7
21. 2.	13,5	18,1	11,3	31,2	34,0	30,1	52,6
28. 2.	11,7	12,8	11,5	23,9	27,2	24,2	43,1
7. 3.	4,8	7,3	5,1	15,3	17,2	12,0	24,6
14. 3.	.	4,5	5,5	8,4	8,6	5,3	24,3
21. 3.	14,4	24,4	26,4	32,1	33,0	33,2	44,0
28. 3.	12,6	22,7	23,4	30,6	31,7	28,5	38,4
4. 4.	36,1	47,4	41,9	57,8	53,1	57,2	77,1
11. 4.	22,1	29,3	29,0	43,9	37,1	36,5	56,4
18. 4.	6,6	16,2	12,0	19,1	19,0	12,8	32,1

Tabela 3

Osnovni podatki - DEBELINA snežne odeje (cm)

II. višinski pas (1200 - 900 m n.v.)

Datum	s m r e k a			b u k e v			jasa
	lt	dg	db	lt	dg	db	
18. 1.1974	3,7	.	.	8,3	6,9	5,7	12,8
25. 1.	.	.	.	4,2	.	.	11,4
8. 2.	2,9	2,5	5,8	13,6	10,0	12,4	14,3
15. 2.	.	.	.	4,2	1,0	1,0	6,7
1. 3.	3,5	4,3	7,4	12,5	9,7	13,9	33,9
8. 3.	67,6	49,1	54,7	82,1	53,1	76,9	124,7
15. 3.	52,0	35,5	52,0	70,3	48,5	66,7	54,3
22. 3.	9,3	.	1,2	20,2	5,0	6,1	22,6
6.12.	.	.	.	.	2,0	.	10,4
13.12.	.	.	.	.	.	.	.
7. 2.1975	1,9	1,2	1,9	8,1	5,5	9,4	11,3
14. 2.	.	.	.	8,4	8,7	8,6	14,8
21. 2.	5,8	6,6	11,5	27,4	17,5	27,2	37,0
28. 2.	5,0	2,5	5,1	22,2	13,3	21,1	31,0
7. 3.	.	.	.	8,1	1,9	3,3	13,1
14. 3.	.	.	.	.	.	.	.
21. 3.	8,4	5,6	10,8	22,2	15,3	24,6	27,0
28. 3.	3,8	3,0	5,0	11,0	9,8	13,1	20,3
4. 4.	22,4	17,2	26,0	40,3	33,4	45,9	55,6
11. 4.	5,2	2,9	4,1	16,2	11,0	25,0	22,3
18. 4.	.	.	.	.	.	.	.

V različnih sestojih je bila odeja različno debela. Manj snega je padlo skozi krošnje smrekovih sestojev, več v bukovih sestojih (tabela 4).

Tabela 4

Povprečna debelina novega snega v proučevanih gozdnih sestojih (cm)

višinski pas, leto	s m r e k a			b u k e v			pašnik jasa
	lt	dg	db	lt	dg	db	
I., 1974	16,32	20,78	22,38	26,35	25,30	27,35	48,33
II., 1974	18,55	12,90	15,13	26,00	17,50	23,75	37,95
I., 1975	10,60	12,64	10,50	17,10	17,20	19,14	26,36
II., 1975	6,94	5,52	9,04	15,72	11,04	17,08	21,24
Povprečje	13,10	12,96	14,26	21,29	17,76	21,83	33,47

Zelo jasno se je pokazala razlika v akumulaciji snega med smrekovimi in bukovimi sestoji - torej med iglastimi in liastnatimi. V smrekovih sestojih je bila debelina snežne odeje le 34-41% tiste na prostem, v bukovih 54-69%, v povprečju pa je bila debelina snega v gozdu (v proučevanih sestojih) le pol toliko debela kot na odprtem. Razlika v debelini snežne odeje med bukvijo in smreko je bila 13-35%, v povprečju pa 15-19% (tabela 5).

Tabela 5

Povprečna debelina novega snega v smrekovih in bukovih sestojih ne glede na razvojno fazo (v cm in %)

višinski pas, leto	smreka		bukev		povprečno drev.vrsta		pašnik jasa	
	cm	%	cm	%	cm	%	cm	%
I., 1974	19,83	41	26,33	54	23,08	48	48,33	100
II., 1974	15,53	41	22,24	59	18,97	50	37,95	100
I., 1975	11,25	43	17,81	68	14,53	55	26,36	100
II., 1975	7,17	34	14,61	69	10,89	51	21,24	100
1974		41%		56%		49%		
1975		39%		68%		53%		

Ob pregledovanju povprečne debeline nove snežne odeje v različnih tipih gozdnih sestojev so zanimive tudi ekstremne vrednosti. Minimalna vrednost se je v posamezni zimi oziroma posameznem višinskem pasu pokazala najpogosteje v drogovnjaku - 5 krat, 2 krat v letvenjaku in le enkrat v debeljaku. Povprečna debelina snega pa je bila največja le enkrat v drogovnjaku in dvakrat v letvenjaku. Po povprečnih vrednostih debeline snega iz obeh zim in za oba višinska pasova se gozdni sestoji razvrščajo v naslednji red od najmanjše vrednosti proti največji:

smrekov drogovnjak	12,96 cm
smrekov letvenjak	13,10 cm
smrekov debeljak	14,26 cm
bukov drogovnjak	17,76 cm
bukov letvenjak	21,29 cm
bukov debeljak	21,83 cm

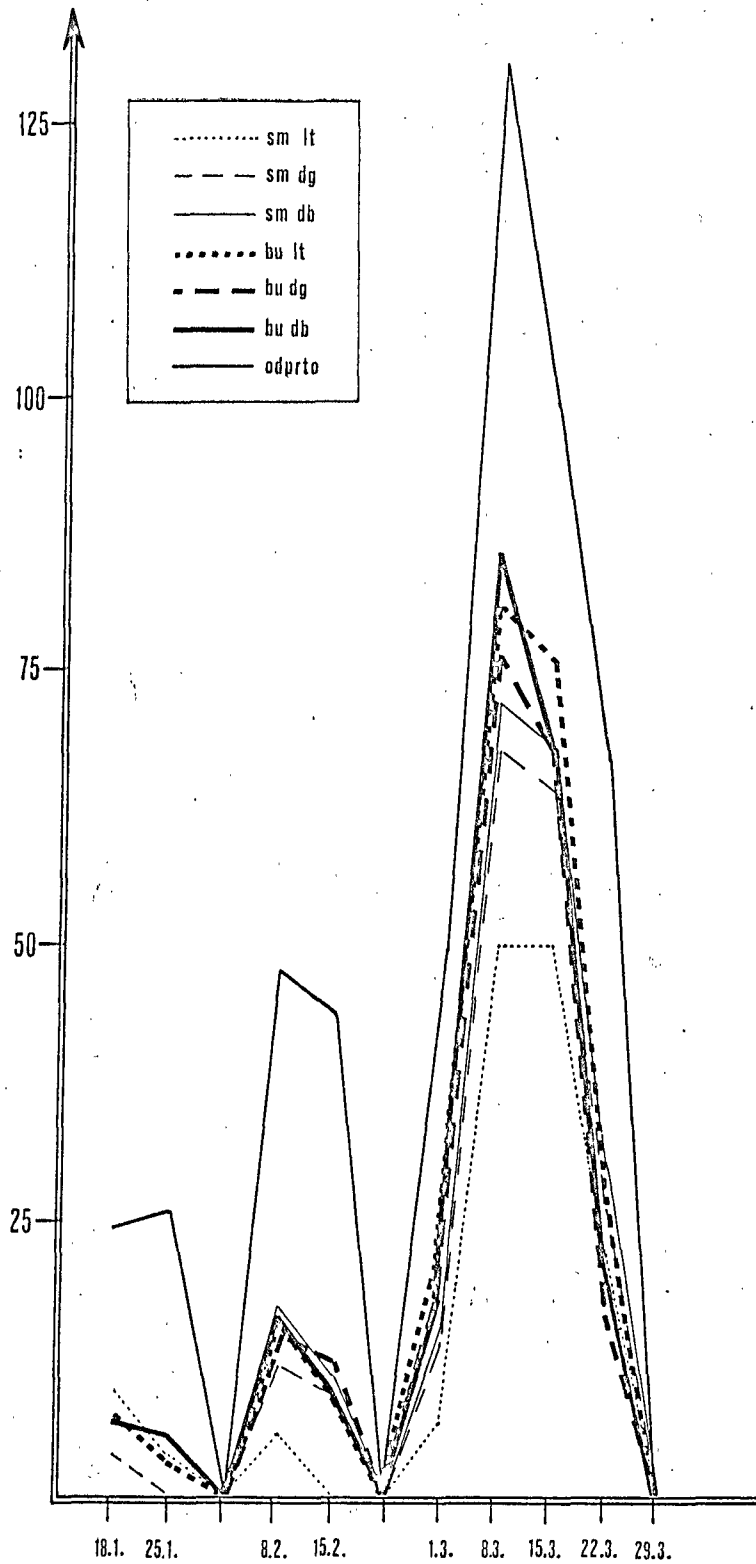
Če izločimo drevesno vrsto, dobimo zaporedje razvojnih faz:
dg → lt → db.

Vpliv sestoja na snežno odejo se odraža prav gotovo tudi v nihanju debeline snežne odeje ali vodnega ekvivalenta (slike 3 - 6). Dejansko je to hitrost akumulacije padavin oziroma hitrost zorenja snega in sproščanja padavinske vode. Nihanja debeline snežne odeje (to so razlike v debelini med zaporednimi merjenji) ne moremo pozoriti s srednjo vrednostjo, ker je enaka 0, pač pa jo lahko s standardno napako te srednje vrednosti. Pri tem seveda velja, da je nihanje tem silovitejše in močnejše, čim večja je standardna napaka. Za debelino snežne odeje v različnih sestojih so bile izračunane naslednje vrednosti standardne napake:

sm lt	15,32	bu lt	20,92
sm dg	15,03	bu dg	17,71
sm db	16,57	bu db	21,69

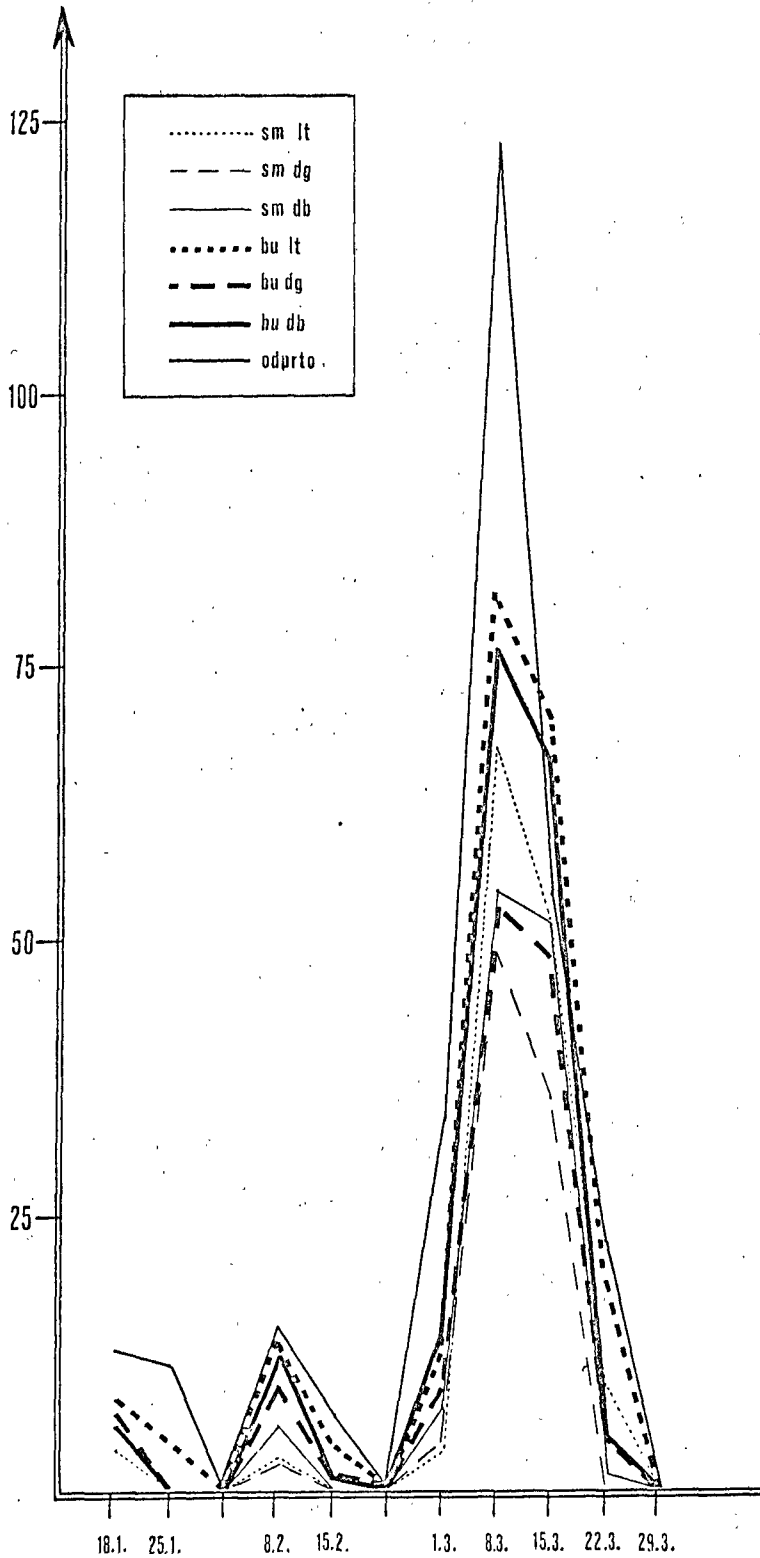
Zaporedje tipov gozdnih sestojev je enako kot pri srednjih vrednostih novega snega. V smrekovem drogovnjaku se gradi snežna odeja najbolj počasi, obenem pa se tudi najmanj spreminja.

Poudarjeno je že bilo, da je bil glavni cilj analize podatkov potrditi ali zavreči vlogo razvojne faze pri kopičenju in zginevanju snega v sestoji. Ni pa bilo mogoče spregledati tudi dveh drugih faktorjev, ki na snežni režim prav tako vplivata: drevesne vrste in nadmorske višine. Oba spadata med naravne danosti in močno vplivata na klimatske in mikroklimatske razmere v sestoji. Analiza variance podatkov o debelini snežne odeje in vodnem ekvivalentu je zato upoštevala vse tri. Ob hkratnem upoštevanju vseh treh faktorjev se je pokazalo, da sta statistično visoko značilna faktorja nadmorska višina in drevesna vrsta, manj pa razvojna faza. Faktor nadmorska višina je bil značilen tudi v analizi podatkov, ki so bili transformirani v odstotke (glede na vrednosti na prostem). To pomeni, da ploskvi, ki predstavljata negozdno površino v obeh višinskih pasovih, nista bili izbrani v enakovrednih mikroklimatskih razmerah in sta kot primerjalni ploskvi uporabni le za vsak višinski pas posebej. Na osnovi tega spoznanja so bili podatki zato analizirani po po-



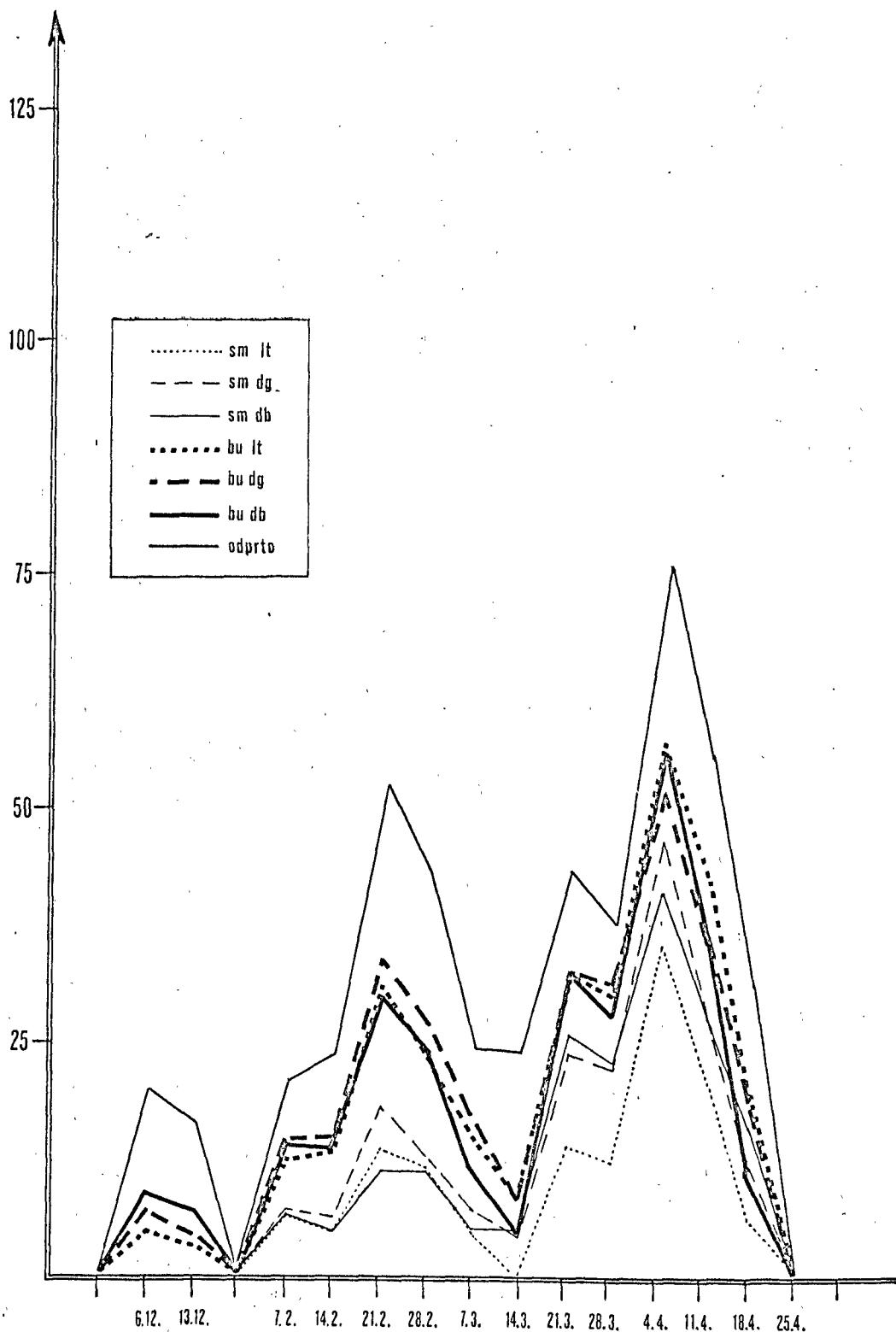
Slika 3

Razvoj snežne odeje v gozdnih sestojih na Pohorju -
debelina snega, I. višinski pas (1500 - 1200 m n.v.), 1974



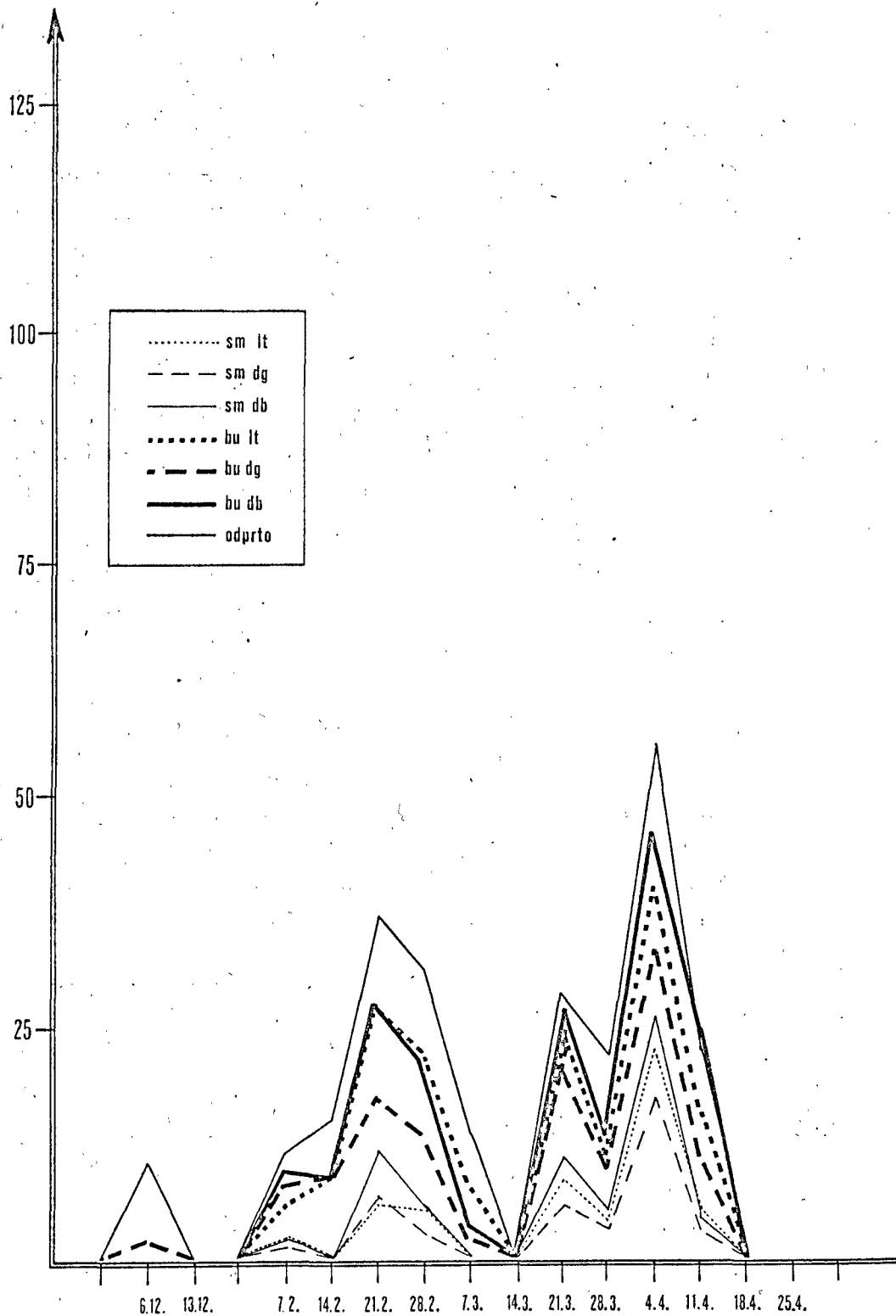
Slika 4

Razvoj snežne odeje v gozdnih sestojih na Pohorju -
debelina snega, II.višinski pas (1200 - 900 m n.v.), 1974



Slika 5

Razvoj snežne odeje v gozdnih sestojih na Pohorju -
debelina snega, I.višinski pas (1500 - 1200 m n.v.), 1974/75



Slika 6

Razvoj snežne odeje v gozdnih sestojih na Pohorju -
debelina snega, II.višinski pas (1200 - 900 m n.v.), 1974/75

sameznih višinskih pasovih, obenem pa je bila opuščena transformacija podatkov.

Analiza variance je za glavna faktorja upoštevala drevesno vrsto (sm, bu) in razvojno fazo (lt, dg, db). Praktično vse analize variance za posamezne datume in za oba višinska pasova so z visoko statistično značilnostjo (0,01) potrdile, da oba faktorja vplivata na gradnjo in kopnenje snežne odeje. Moti le to, da je pogosto značilna tudi interakcija teh dveh faktorjev. To pomeni, da je vpliv faze pri iglavcih nekoliko drugačen kot pri listavcih, kaže pa se v spremenjenem nizu razvojnih faz, kadar jih po srednji vrednosti proučevanega znaka razvrstimo po naraščajočih ali padajočih vrednostih. To tudi pomeni, da moč vpliva razvojne faze na snežni režim (debelino snega ali vodni ekvivalent) pri različnih drevesnih vrstah ni vedno največja v isti razvojni fazi, pač pa da niha od faze do faze glede na druge dodatne dejavnike, ki jih plan raziskave seveda ni mogel zajeti (tabela 6).

Tabela 6

Analiza variance: vpliv drevesne vrste in razvojne faze na debelino snežne odeje za datum 8.3.1974, I.viš.pas

Faktor	Stopinje prostosti	Sred.vsota kvadratov	F	Nivo značilnosti
Drevesna vrsta	1	22 720,3	55,09	0,0000
Razvojna faza	2	3 667,9	8,89	0,0005
Interakcija	2	3 469,0	8,41	0,0005
Napaka	54	412,4		

Srednje vrednosti - debelina snega 8.3.1974, I.višinski pas

	letvenjak	drogovnjak	debeljak	povprečno faza
smreka	50,1	67,8	72,3	63,4
bukev	81,5	76,9	85,9	81,4
povprečno drevesna vrsta	65,8	72,4	79,1	72,4

Da bi izločili tudi vpliv drevesne vrste smo uporabili še enostavno analizo variance za posamezne meritvene datume, za vsak višinski pas posebej in za vsako drevesno vrsto. Tudi v tej analizi se je faktor razvojna faza izkazal za statistično zelo značilnega, saj je običajno presegel nivo 0,01. Za l.1974 je bilo napravljanih 30 tovrstnih analiz, statistična značilnost faze pa se je pokazala v 24 primerih, v l.1975 je bilo teh analiz 40, statistična značilnost pa se je izkazala v 31 primerih. Iz pogostnosti pojavljanja zaporedja faz razvrščenih po srednjih vrednostih je bilo ugotovljeno, da je v smrekovih sestojih snežna odeja najtanjša v najmlajših (letvenjaki), v bukovih sestojih pa v drogovnjaki, najdebelejša je snežna odeja v smrekovih debeljaki oziroma bukovih letvenjaki. Debelina snežne odeje v smrekovih sestojih tako narašča v zaporedju faz lt→dg→db, v bukovih pa dg→db→lt.

4.2. Vodni ekvivalent

Vodni ekvivalent je mera za količino padavin preračunanih v l/m^2 oziroma mm. Uporablja se predvsem za snežne padavine, iz teže in debeline vzorcev snežne odeje namreč lahko izračunamo vodni ekvivalent z zelo enostavnimi formulami. Za vrednotenje snežnih padavin je vodni ekvivalent mnogo važnejši podatek kot debelina. Vodni ekvivalent je manj odvisen od ostalih klimatskih dejavnikov (vetra, temperature) kot debelina. V primerjalnih raziskavah, kot je npr. naša, imajo zato podatki o vodnem ekvivalentu mnogo večjo težo. Razumljivo je, da so tudi nekoliko temeljiteje obdelani, kot podatki o debelini snežne odeje.

Za vodni ekvivalent so v raziskovalnem obdobju značilne enake karakteristike kot za debelino snega. Močna nihanja so še poudarjena zaradi večjih vrednosti, maksimalne in minimalne vrednosti pa se časovno ujemajo z ekstremi pri nihanju debeline snežne odeje. Maksimalna količina vode shranjena v snežni odeji na odprtem je bila v l.1974 v I.višinskem pasu 300,2 mm, v II.višinskem pasu 293,7 mm, v III.višinskem pasu 123,6 mm in v IV.višinskem pasu 107,0 mm. V l.1975 je bila največja količina padavin v I.višinskem pasu 309,0 mm, v II.viš.pasu pa 172,9 mm. Razlika v količinah med obema zimama je relativno nekoliko manjša kot pri debelini. Skupno se je v snežni odeji pozimi 1974 akumuliralo v I.višinskem pasu 434 mm, v II. višinskem pasu pa 340 mm padavin. V zimi 1975 je padlo v I.višinskem pasu 414 mm in v II.višinskem pasu 231 mm padavin (tabela 7 in 8).

Tabela 7

Osnovni podatki - VODNI EKVIVALENT (mm)
I.višinski pas (1500 - 1200 m n.v.)

Datum	s m r e k a			b u k e v			jasa
	lt	dg	db	lt	dg	db	
18. 1.1974	30,6	5,7	.	17,5	26,2	17,0	77,3
25. 1.	13,1	.	.	16,2	.	16,6	74,2
8. 2.	10,5	22,7	25,3	30,6	34,1	36,7	136,3
15. 2.	.	19,2	28,8	31,0	59,4	30,6	142,8
1. 3.	17,9	36,2	28,4	38,4	33,2	23,6	59,7
8. 3.	106,6	144,1	148,5	183,4	179,9	179,0	300,2
15. 3.	164,6	169,4	172,1	197,0	205,7	163,8	278,8
22. 3.	86,5	103,9	105,2	117,5	69,0	77,7	179,1
6.12.	.	.	.	15,3	20,5	22,7	43,7
13.12.	.	.	.	4,4	11,4	21,8	35,4
7. 2.1975	15,7	13,1	14,0	27,5	31,9	28,8	53,3
14. 2.	10,0	10,9	9,2	25,8	35,8	28,8	58,5
21. 2.	15,7	23,6	11,8	45,9	55,9	59,4	88,2
28. 2.	29,3	24,0	20,1	72,5	75,1	65,9	92,6
7. 3.	13,1	27,5	15,3	54,2	60,3	44,5	85,8
14. 3.	.	6,1	14,8	30,1	21,8	13,5	58,7
21. 3.	54,2	79,5	70,7	110,9	114,9	112,7	186,8
28. 3.	49,8	70,7	88,2	110,9	119,2	94,3	150,2
4. 4.	133,6	158,7	168,6	237,6	209,2	225,3	309,0
11. 4.	71,6	108,3	117,9	179,0	138,0	134,9	196,5
18. 4.	28,8	67,3	46,3	69,4	79,5	48,5	120,1

Tabela 8

Osnovni podatki - VODNI EKVIVALENT (mm)
 II. višinski pas (1200 - 900 m n.v.)

Datum	s m r e k a			b u k e v			pašnik
	lt	dg	db	lt	dg	db	
18. 1.1974	18,3	.	.	31,0	16,6	30,6	28,4
25. 1.	.	.	.	10,5	.	.	28,8
8. 2.	3,5	.	2,2	17,9	5,2	13,1	18,3
15. 2.	.	.	.	8,7	.	.	21,4
1. 3.	3,5	4,4	8,7	22,7	12,2	26,2	17,0
8. 3.	122,5	106,1	112,2	211,4	122,3	195,2	293,7
15. 3.	100,5	108,3	89,1	176,4	138,9	172,9	192,6
22. 3.	31,0	.	7,0	72,1	6,1	14,0	89,1
6.12.	.	.	.	.	.	.	20,5
13.12.	.	.	.	.	.	.	.
7. 2.1975	4,4	.	.	4,8	2,6	8,3	7,9
14. 2.	.	.	.	18,8	11,8	18,3	25,8
21. 2.	5,2	4,4	11,4	44,5	37,6	41,0	54,8
28. 2.	6,6	.	8,3	44,1	24,0	42,8	55,2
7. 3.	.	.	.	13,5	0,4	3,5	15,3
14. 3.	.	.	.	.	.	.	.
21. 3.	11,8	2,6	21,0	48,0	21,8	47,6	73,4
28. 3.	4,4	.	17,9	24,5	28,8	33,2	72,9
4. 4.	69,9	44,1	102,6	107,0	90,4	110,5	172,9
11. 4.	17,5	.	4,4	46,7	17,9	76,9	48,0
18. 4.	.	.	.	.	.	.	.

Preiskava vpliva razvojne faze sestojev na akumulacijo in zginetvanje padavin, tokrat izražena z vodnim ekvivalentom, je imela podobno zaporedje statističnih obdelav kot pri debelini. Obravnavani so bili vsi meritveni datumi, ločeno pa tudi tisti, ko se je vodni ekvivalent povečeval.

Tudi za vodni ekvivalent se je pokazala razlika med vplivom smrekovih in bukovih sestojev na akumulacijo snežnih padavin, prav tako pa tudi med vplivom razvojnih faz (tabela 9).

Tabela 9

Povprečno naraščanje vodnega ekvivalenta v proučevanih gozdnih sestojih (mm)

višinski pas, leto	s m r e k a			b u k e v			pašnik jasa
	lt	dg	db	lt	dg	db	
I., 1974	36,93	43,13	43,45	57,88	60,05	58,18	108,45
II., 1974	36,08	26,53	28,60	65,08	36,03	59,73	85,10
I., 1975	31,88	37,44	30,58	54,08	51,12	62,46	82,72
II., 1975	17,38	10,22	23,42	32,20	22,36	31,18	46,16
Povprečje	30,57	29,33	31,51	52,31	42,39	52,89	80,61

Če srednje vrednosti povečanja vodnega ekvivalenta (akumulacije padavin v snežni odeji) razvrstimo po naraščajočem zaporedju, se sestoji razvrstijo v naslednji niz:

smrekov drogovnjak	12,96 mm
smrekov letvenjak	13,10 mm
smrekov debeljak	14,25 mm
bukov drogovnjak	17,76 mm
bukov letvenjak	21,29 mm
bukov debeljak	21,83 mm

Ali če ponovno posplošimo za obe proučevani drevesni vrsti, potem si razvojne faze sledijo v naslednjem zaporedju: dg lt db.

Poleg faze tudi drevesna vrsta močno vpliva na količino akumuliranih padavin na gozdnih tleh (tabela 10).

Tabella 10

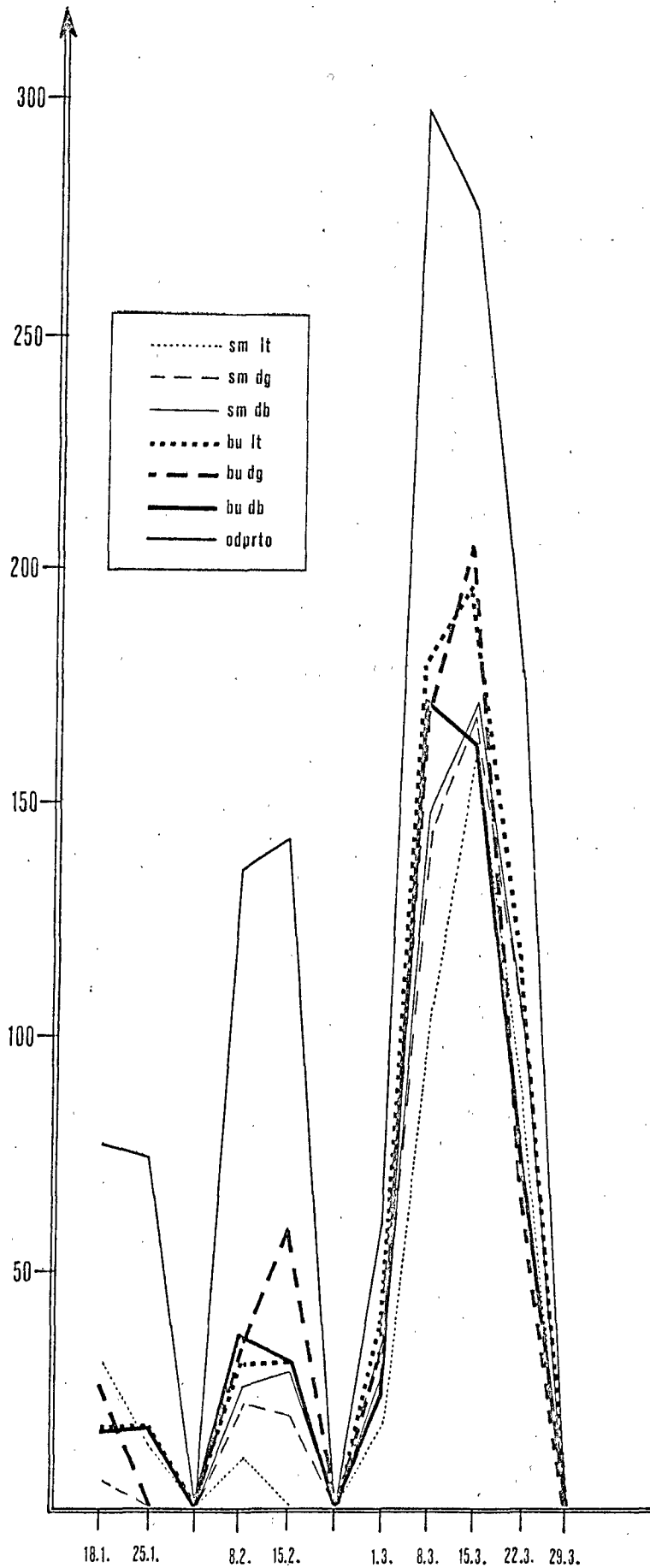
Povprečno naraščanje vodnega ekvivalenta v smrekovih
in bukovih sestojih (v mm in %)

višinski pas, leto	smreka		bukev		povprečno drev.vrsta		pašnik jasa	
	cm	%	cm	%	cm	%	cm	%
I., 1974	41,17	38	58,70	54	49,94	46	108,45	100
II., 1974	30,42	36	53,61	63	42,02	49	85,10	100
I., 1975	33,30	40	55,89	68	44,60	54	82,72	100
II., 1975	17,01	37	28,58	62	22,79	49	46,16	100
1974		38%		58%		47%		
1975		41%		65%		53%		

Smreka prepusti manj snežnih padavin kot bukev. Če v povprečju pade v gozdu le polovična količina zimskih padavin (v l.1974 le 47% od tistih na prostem in v l.1975 nekoliko več - 53%), potem v smrekovih sestojih pade v povprečju okrog 40% (38-41%) in v bukovih nekoliko nad 60% (58-65%). Razlika znaša polnih 20%, kar predstavlja preračunano v mm padavin v l.1974 40,5 mm padavin in v l.1975 34,5 mm padavin ali skupaj 75,0 mm padavin.

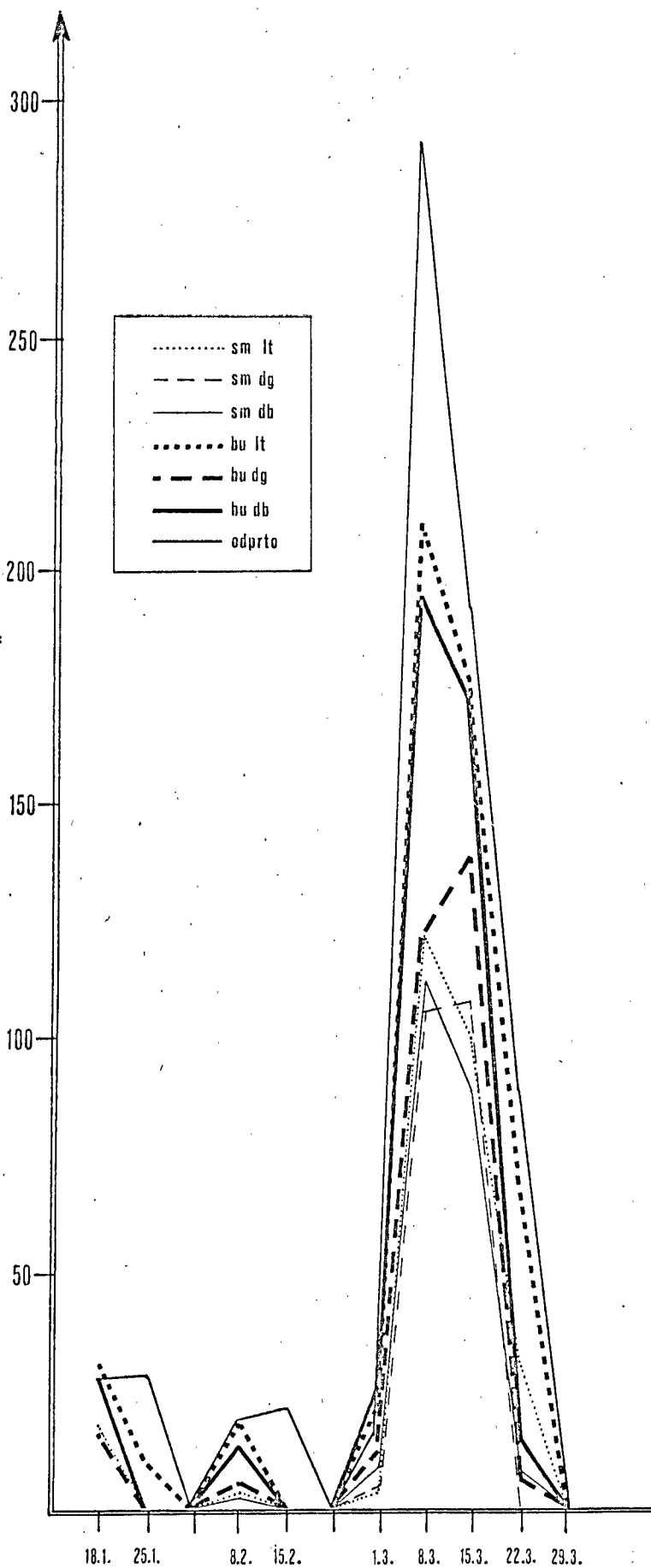
Nihanje vodnega ekvivalenta med zaporednimi datumi je bilo močnejše kot pri debelini (slike 7-10). To se je odrazilo v standardni napaki nihanja, ki je bila v primerjavi z debelino večja. V podrobnem so bile izračunane naslednje vrednosti standardne napake:

sm	lt	39,10	bu	lt	58,09
sm	dg	39,64	bu	dg	51,92
sm	db	43,26	bu	db	58,77



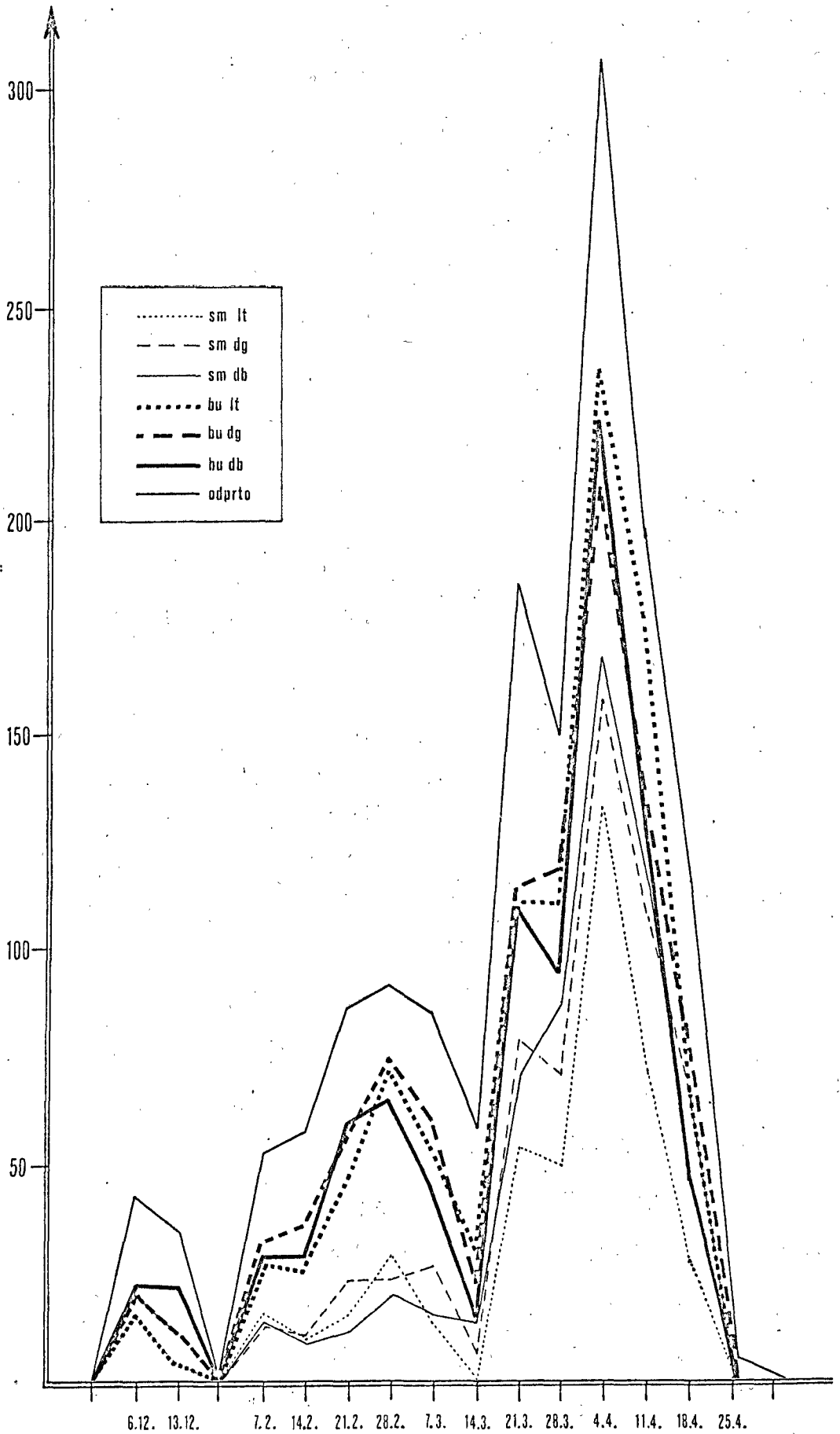
Slika 7

Razvoj snežne odeje v gozdnih sestojih na Pohorju -
vodni ekvivalent, I.višinski pas (1500 - 1200 m n.v.), 1974



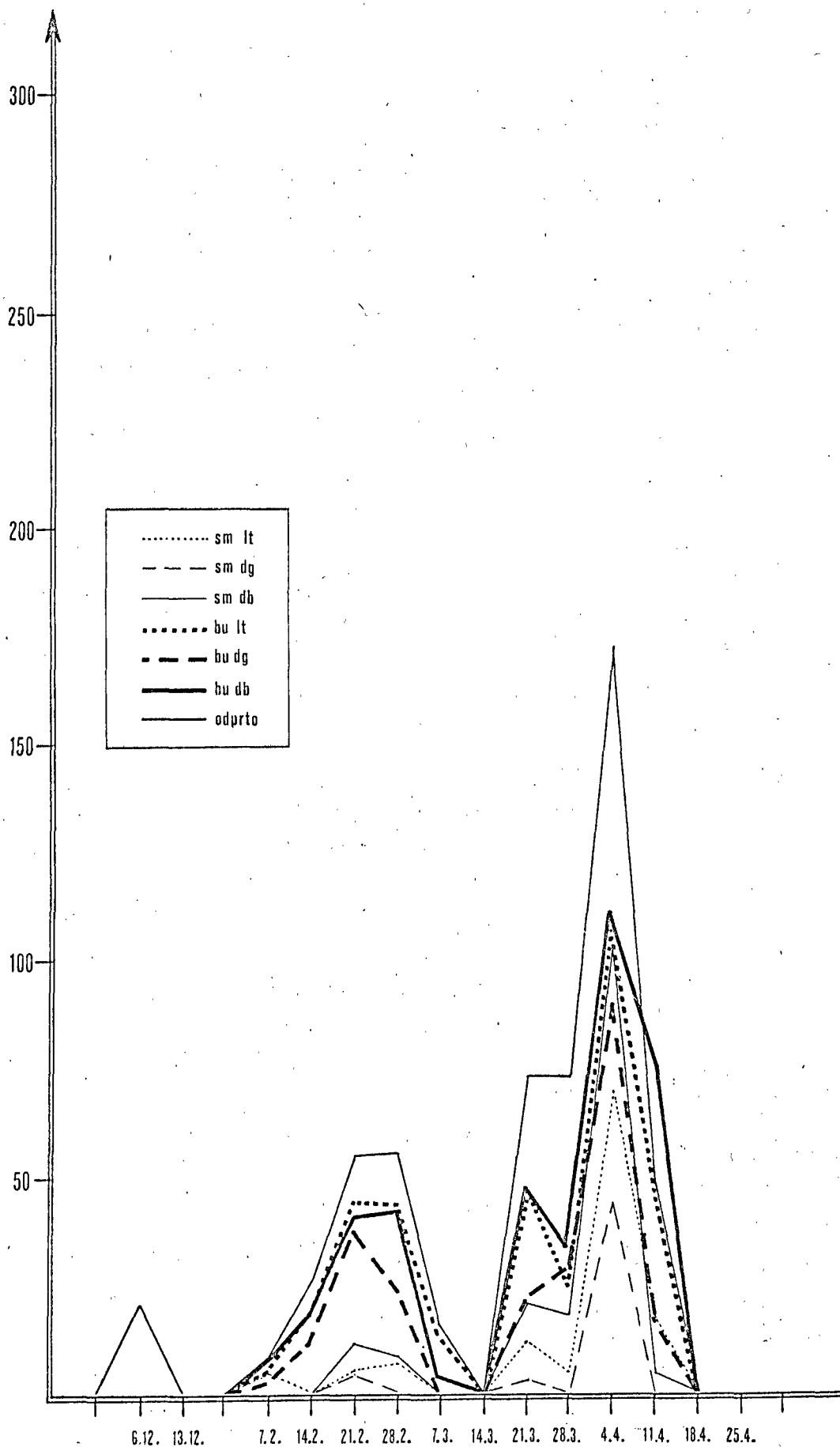
Slika 8

Razvoj snežne odeje v gozdnih sestojih na Pohorju -
vodni ekvivalent, II.višinski pas (1200 - 900 m n.v.), 1974



Slika 9

Razvoj snežne odeje v gozdnih sestojih na Pohorju - vodni ekvivalent, I.višinski pas (1500 - 1200 m n.v.), 1974/75



Slika 10

Razvoj snežne odeje v gozdnih sestojih na Pohorju -
vodni ekvivalent, II.višinski pas (1200 - 900 m n.v.), 1974/75

Standardna napaka kot mera nihanja vodnega ekvivalenta od enega do drugega meritvenega datuma je v smrekovih sestojih manjša kot v bukovih. Med fazami v smrekovih sestojih sta izenačena letvenjak in drogovnjak, v bukovih pa letvenjak in debeljak. Vrstni red faz je zato težko zanesljivo določiti. Primerjajoč razvojne faze pri obeh drevesnih vrstah pridemo do zaključka, da si od manjše k večji standardni napaki sledijo dg→lt→db, ali drugače, da je tudi nihanje vodnega ekvivalenta rezultat vpliva razvojne faze in da je največje v debeljakih, najmanjše pa v drogovnjakih.

Vpliv razvojne faze na vodni ekvivalent je skušala pojasniti tudi analiza variance. Analiza variance je za faktorje spet upoštevala razvojno fazo in drevesno vrsto. Analiza je bila napravljena za vsak meritveni dan in za vsak višinski pas posebej. Od vseh opravljenih analiz za 1.1974 (16) in za 1.1975 (26) sta se statistično značilna na nivoju 0,01 pokazala oba faktorja v 35 primerih, pri tem razlike med višinskima pasovoma ni bilo. Skoraj vedno je bila značilna tudi interakcija, kar kaže na različno skupno delovanje drevesne vrste in faze. Primer ponazarja tabela 11:

Tabela 11

Analiza variance: vodni ekvivalent za datum
8.2.1974, I.višinski pas

Faktor	Stopinje prostosti	Srednja vsota kvadratov	F	Nivo značilnosti
Drevesna vrsta	1	2561,1	45,11	0,0000
Razvojna faza	2	499,2	8,79	0,0005
Interakcija	2	106,7	1,88	0,1626
Napaka	54	56,8		

Srednje vrednosti - vodni ekvivalent 8.2.1974, I.viš.pas

	letvenjak	drogovnjak	debeljak	faza
smreka	10,5	22,7	25,3	19,50
bukev	30,6	34,1	36,7	33,80
Drevesna vrsta	20,55	28,4	31,0	26,65

Tudi enostavna analiza variance je pokazala visoko statistično značilnost za faktor razvojna faza. Od 27 obdelav za posamezne datume višinske pasove in drevesne vrste se je v 18 obdelavah preizkušani faktor pokazal značilen na nivoju 0,01, 1 krat na nivoju 0,05 in 2 krat na nivoju 0,10, 6 krat je bil neznačilen. V l.1975 se je v 39 obdelavah faktor razvojna faza pokazal 20 krat značilen na nivoju 0,01, 2 krat na nivoju 0,05, 3 krat na nivoju 0,10 ter 6 krat neznačilen.

Variančna analiza podatkov za tiste meritvene datume, ko se je snežna odeja gradila, je pokazala podobne karakteristike. V smrekovih sestojih I.višinskega pasu in bukovih sestojih II.višinskega pasu se je faktor razvojna faza pokazal različen za vseh devet takih datumov, v bukovih sestojih I.višinskega razreda je bila razvojna faza 2 krat neznačilna, v smrekovih sestojih II.višinskega razreda pa 3 krat.

Faktorjska analiza variance (s faktorji drevesna vrsta, razvojna faza) je v prvem višinskem pasu dala prednost v moči oblikovanja snežne odeje v sestoji faktorju razvojna faza, ki je bil vedno statistično značilen na nivoju 0,01, šibkejši pa se je pokazal faktor drevesna vrsta, ki je bil 2 krat celo neznačilen, 3 krat je bil značilen na nižjem nivoju - 0,05 ozir. 0,10. Interakcija teh dveh faktorjev je bila neznačilna le 2 krat, kar spet pomeni, da je delovanje faze znotraj vrste specifično in da zato dodatno otežkoča dognati pravo moč obravnavanih faktorjev.

4.3. Stopnja taljenja snežne odeje

Poleg vpliva sestaja na akumulacijo padavin je enako važen tudi vpliv na taljenje snežne odeje. Podatke o taljenju smo dobili z izračunavanjem razlik v vodnem ekvivalentu dveh zaporednih meritvenih datumov. Upoštevani pa so bili le tisti datumi, za katere so bile splošne klimatske razmere v obeh višinskih pasovih enake - ko se je vodni ekvivalent povsod zmanjševal. Izvzeti so bili tudi datumi, ko je snežna odeja skopnela do konca, saj nismo natančno vedeli, kdaj se je to v resnici zgodilo. Prav gotovo snežna odeja v teh primerih ni skopnela hkrati, ampak se je to zgodilo na nekaterih ploskvah prej, na drugih kasneje.

V obeh letih smo našli le 4 take datume. Zanje so bile izračunane srednje vrednosti, ki predstavljajo povprečno hitrost kopnenja snega v različnih sestojnih tipih (tabela 12).

Tabela 12

Stopnja kopnenja snega v zimi 1975 (mm vodnega ekvivalenta/dan)

	I.višinski pas		II.višinski pas	
	smreka	bukev	smreka	bukev
letvenjak	4,79	8,49	2,81	4,97
drogovnjak	4,03	6,54	1,26	4,60
debeljak	4,56	8,19	4,36	3,64
povprečno faze	4,46	7,74	2,81	4,40

	smreka	bukev	povprečno drev.vrsta
letvenjak	3,80	6,73	5,26
drogovnjak	2,64	5,57	4,11
debeljak	4,46	5,92	5,19
povprečno faze	3,64	6,07	4,85

Stopnja kopnenja snežne odeje je bila največja v bukovih sestojih I.višinskega pasu (7,74 mm/dan), polovico manjša je bila v smrekovih sestojih (4,46 mm/dan) in bukovih sestojih II.višinskega pasu (4,40 mm/dan). Najmanjša je bila v smrekovih sestojih II.višinskega pasu (2,81 mm/dan). Glede na faze je sneg najhitreje kopnel v letvenjaku, najpočasneje pa v drogovnjaku. Zanimiva je razlika v stopnji taljenja snega med višinskima pasovoma, v spodnjem višinskem pasu je stopnja za polovico manjša od tiste v zgornjem pasu, medtem ko je odnos med stopnjama taljenja v smrekovih in bukovih sestojih v obeh višinskih razredih zelo podoben: v bukovih sestojih je za dve tretjini večji kot v smrekovih.

Trajanje snežne odeje ni bilo natančno beleženo. Iz osnovnih podatkov lahko ugotovimo le, da je v l.1974 snežna odeja oblečala v vseh sestojih do istega datuma (22.3.), razen v smrekovem drogovnjaku, kjer je skopnela 1 teden prej in v smrekovem debeljaku I.višinskega pasu, kjer je ležala še 1 teden kasneje, tako kot na primerjalni ploskvi na gozdni jasi v I.višinskem pasu. V l.1975 je sneg skopnel v zgornjem višinskem pasu teden dni kasneje kot v spodnjem (25.4.) razen v smrekovem drogovnjaku in na gozdni jasi. V spodnjem višinskem pasu pa je teden dni kasneje, kot na vseh ostalih ploskvah (18.4.) ležal sneg le še v bukovem debeljaku, medtem ko ga na primerjalni ploskvi na pašniku ni bilo več.

4.4. Zaključki

Na osnovi rezultatov raziskave in opažanj je mogoče napraviti naslednje zaključke:

1. Gozdni sestoj močno spreminja zimski vodni režim. Akumulacija snega na sestojnih tleh je zaradi intercepcije precej manjša kot na odprtem. V proučevanih sestojih je bila intercepcijska izguba v povprečju polovica vseh padavin, ki so padle na prostem - 355 mm padavin.
2. Na sestojni zimski vodni režim močno vpliva drevesna vrsta. Razlika med iglavci (smreko) in listavci (bukvijo) je bila v povprečju za obe zimi 22%. Takšna razlika se je pokazala pri debelini nove snežne odeje in pri količini naraslega vodnega ekvivalenta. Te razlike so posledica posebnosti gozdnih sestojev in drevesnih vrst in so že dolgo poznane, v tej raziskavi pa ponovno potrjene.
3. Poleg drevesne vrste močno vpliva na snežni režim tudi razvojna faza. Vpliv razvojne faze se je pokazal pri akumulaciji snega in pri taljenju snežne odeje. Na akumulacijo snega je najmočneje deloval drogovnjak, v njem sta se debelina snežne odeje in vodni ekvivalent zvečala najmanj, najšibkejši pa je bil vpliv debeljaka, kjer je bilo povečanje največje. Razvrstitev sestojev po moči vpliva na snežno odejo od najmočnejšega do najšibkejšega je: sm dg → sm lt → sm db → bu dg → bu lt → bu dg. Enako zaporedje se je pokazalo tudi za razvrstitev sestojev po velikosti nihanja snežne odeje (v sm. dg najmanjše, v bu db največje). Le zaporedje sestojev po stopnji taljenja snega (od najmanjše do največje) se razlikuje v zadnjih dveh členih, ki imata zamenjani mesti.
4. Vpliv gozdnega sestoja je dvostranski. Ob sneženju preprečuje akumulacijo snega na sestojnih tleh, ko pa je snežna odeja že zgrajena, zmanjšuje stopnjo njenega taljenja. Vpliv gozdnega sestoja na snežno odejo je tem močnejši, čim gostejše so krošnje. Goste krošnje prestrezajo največ padavin, še posebej zimskih, značilna gozdna mikroklima pod njimi pa je najizrazitejša. Direktnega se-

vanja je malo, zmanjšano je tudi vstopanje toplejšega zraka v sestoj.

5. V pohorskih klimatskih razmerah (v letih 1974 in 1975) gozd ni podaljšal trajnosti snežne odeje. Sneg je v sestojih skopnel istočasno kot na prostem, ali celo še prej. To pomeni, da so gozdni sestoji močnejše preprečevali akumulacijo snega kot zniževali stopnjo taljenja snežne odeje. Z raziskavo tudi ni bilo mogoče ugotoviti vpliva razvojne faze na trajnost snežne odeje.

6. Izenačevalno delovanje gozdnega sestoja na snežni režim je pri obeh drevesnih vrstah najmočnejše v drogovnjaku in letvenjaku, najšibkejše pa v zrelih sestojih. Najmanjša standardna napaka nihanja snežne odeje to ugotovitev nedvomno potrjuje, še zlasti ker se sklada tudi z ostalimi razporeditvami in ugotovitvami. Na svoji razvojni poti prehaja gozdni sestoj skozi različne okoljetvorne stopnje. Moč, s katero sestoj lahko oblikuje sestojno klimo ali n.pr. vodni režim, se spreminja, ker ta sledi razvoju življenjske moči gozdnega sestoja. V obdobju najintenzivnejših rastnih procesov in akumulacije biomase je tudi okoljetvorna moč gozdnega sestoja največja. Pri tem ne gre toliko za oblikovanje okolja v celoti in njegovih komponent po človekovi meri, ampak za usmerjanje dejavnikov okolja k takemu medsebojnemu spletu, ki je v končni fazi uravnotežen in stabilen. V opravljeni raziskavi se je najmočnejši vpliv sestoja na vodni režim pokazal v zgodnjih razvojnih fazah do drogovnjaka, ko je tudi sestojna biomasa največja in so življenjski procesi najintenzivnejši, sestoj pa se je sposoben najhitreje odzvati na zunanje spremembe.

5. UPORABNOST DOGNANJ V GOZDNOGOJITVENI PRAKSI

5.1. Vloga gozdarstva v vodnem gospodarstvu

Gozdno in vodno gospodarstvo imata mnoge stične točke. Posredne koristi, ki jih ima vodno gospodarstvo in celotna človeška skupnost od pametnega gospodarjenja z gozdom, so neprecenljive. Čista voda, enakomernejši odtok, zaščita in bogatitev talnice ter zaščita tal pred erozijo, so koristi, ki so manj očitne a jih z gozdnim gospodarjenjem vedno povezujemo. V normalnih razmerah, kadar je preskrba z vodo zadovoljiva, do navzkrižij med gozdarstvom in vodnim gospodarstvom ne prihaja, v izjemnih razmerah, ob močnem in trajnem pomanjkanju vode, pa se lahko z vso ostrino pojavijo nasprotni interesi. Gozd namreč rabi za svojo rast velike količine vode, poleg tega pa jo zaradi intercepcije veliko usmerja nazaj v ozračje, še preden prispe do tal. V vodni bilanci zlivnega območja predstavlja voda, ki jo porablja gozd, velik delež, ki bi lahko vsaj deloma odtekel v vodne tokove in povečal vodne zaloge. V izjemnih razmerah tako postane proizvodnja lesa preveč potratna, kar se tiče vode, gozd pa neposreden konkurent žejnemu človeku.

Ni smiselno, da bi v takih razmerah iskali hitre, kratkoročne rešitve, ki bi kratkotrajno reševale probleme pomanjkanja vode. Gozda ne smemo posekati in s tem zmanjšati njegovo lastno porabo, saj se vsem ostalim koristim ne moremo odreči. Rešitve je treba najti v takem ravnanju in gospodarjenju z gozdom, ki bo dolgoročno zagotovilo polnejša vodna zajetja in vse ostale posredne koristi poleg dobre rasti in proizvodnje lesa. Gozdarstvo se mora zavedeti vodnogospodarskih problemov in svoje moči pri njihovem reševanju, ukrepe in poti za reševanje pa mora poiskati samo na osnovi velikega ekološkega znanja, ki ga ima.

Osnovni problem vodnega gospodarstva je dobra preskrba ljudi in industrije z vodo. K njegovemu reševanju bo moralo v bodoče prispevati tudi gozdarstvo, saj neposredno vpliva na veliko večino vodnih zajetij, namenjenih za gospodinjstva in prebivalstvo. Z re-

ševanjem bodočih problemov preskrbe z vodo je treba pričeti že zdaj, saj se učinki gozdnogospodarskih oziroma gozdnogojitvenih ukrepov pokažejo pogosto šele po daljšem obdobju. Zlasti tisti gozdnogojitveni ukrepi, ki upoštevajo tudi vodnogospodarske cilje, so izrazito dolgoročni.

Če torej pomanjkanje vode, oziroma slaba preskrba z vodo, postaja najbolj boleč vodnogospodarski problem, in to prav gotovo je, potem je v gozdarstvu treba odgovoriti na eno samo vprašanje:

Kako s pomočjo gozdnogospodarskih ukrepov povečati količino odteka vode z gozdnatih zemljišč? Pri tem gre seveda za bogatenje talnice in površinskih tokov, v vsakem primeru pa za tisto vodo, ki v vodni bilanci gozdnega sestoja ostaja v tleh ali odteka v vodotoke. Gre torej za povečanje količine presežne vode.

Poti in načinov po katerih se izgublja voda iz gozdnega sestoja je več. Največ vode odide iz gozda zaradi transpiracije, nekoliko manj in v odvisnosti od drevesnih vrst in zgradbe sestoja zaradi intercepcije, najmanjši del pa predstavlja izhlapevanje s površine tal in pritalnega rastlinja. V zimskem času predstavlja transpiracija zelo majhen del iz sestoja izgubljene padavinske vode. Celotna količina vode se vrača nazaj v ozračje zaradi intercepcije, izhlapeva torej s krošenj, in zaradi izhlapevanja s snežne odeje. Padavinska voda se lahko vrača nazaj v ozračje ves čas obstoja snežne odeje. Kljub nižjim temperaturam je delež vode, ki se vrača v ozračje podoben deležu v toplem delu leta, le da teče izhlapevanje takrat hitreje. Dodatno odhaja voda v vegetacijski dobi zaradi transpiracije, ki je od gostote drevja in drevesne vrste tudi močnejše odvisna.

Z gozdnogojitvenimi ukrepi hkrati vplivamo na vse tri poti odhajanja vode iz sestoja, na prestrezanje, transpiracijo in izhlapevanje. Podobnost zimskih in letnih odnosov med gozdom in vodnim režimom tudi ne dovoli ločeno obravnavati gozdnogojitvenih ukrepov za zimski del leta (prestrezanje snega, izhlapevanje) in topli del leta (prestrezanje dežja, transpiracija, izhlapevanje s tal), ampak

narekuje take ukrepe, ki spreminjajo celotno vodno bilanco. Tudi gozdnogospodarski in gozdnogojitveni napotki morajo veljati za obdobje celega leta, ne le za zimo. Zato smo uporabnost gozdnogojitvenih napotkov dosegli le tako, da smo poleg spoznanj, dognanih z raziskavo, upoštevali tudi ugotovitve drugih raziskovalcev, sporočenih v strokovni literaturi.

Ob ugotovitvi, da je vodni režim sestojev ali gozdnatega zlivnega območja neposredno odvisen od zgradbe sestojev, morajo gospodarski in gozdnogojitveni ukrepi, ki imajo za cilj povečati akumulacijo padavin v gozdu, oblikovati tako zgradbo sestojev, da bo skozi krošnje prepuščala čimveč snega, hkrati pa čim dalj zadrževala kopnenje snežne odeje. Ti ukrepi ne morejo biti omejeni na male površine, ampak morajo zajemati celotna zlivna območja.

Možnosti za uravnavanje vodnega režima na gozdnatem zlivnem območju so naslednje:

1. določitev optimalnega razmerja med rabami tal - gozdne in negozdne površine
2. izbira načina gospodarjenja z gozdom - obhodnje ali stopnje obnavljanja sestojev in razporejanje razvojnih faz
3. izbira drevesnih vrst in uravnavanje zmesi

Vse te možnosti običajno nastopajo hkrati, saj so osnova intenzivnega gospodarjenja z gozdom, še posebej kadar se to gospodarjenje ozira tudi preko svojih okvirov v širši fizični in družbeni prostor, kadar n.pr. tvorno sodeluje pri reševanju prostorske problematike in splošnih gospodarskih problemov. Eno od takih sodelovanj lahko postane skrb za boljšo preskrbo z vodo.

5.2. Določitev optimalnega razmerja med rabami tal - gozdno in negozdno površino

Najučinkovitejši ukrep za povečanje količine presežne vode je vsekakor posek gozda. S tem je na neposreden način izključen velik porabnik vode, obenem pa tudi onemogočena gozdna proizvodnja in odstranjene vse ostale koristi, ki jih ima okolje in človek od gozda. Zamenjava gozdne odeje z drugačno, n.pr. travnato, pride le redko

v pošteev. V zimskem vodnem režimu še zlasti ne, saj se velike količine padavin nakopičijo v snežni odeji le na razmeroma majhnih gozdnih površinah v najvišjih legah. Na veliki večini gozdne površine pri nas zimske padavine predstavljajo le manjši del letnih padavin in zato tako drastičen ukrep za povečanje akumulacije zimskih padavin kot je razgozdenje ne sme prevladati in določati poti do boljše preskrbe z vodo.

Ko preudarjamo kolikšna površina zlivnega območja naj ne bo porasla z gozdom, moramo upoštevati celoletni vodni režim zlivnega območja in ne le zimskega. Ker se prav pri razmerju gozdne in negozdne površine najprej križajo interesi gozdnega in vodnega gospodarstva, je treba zelo temeljito upoštevati vsa biološka, ekološka, gospodarska in druga spoznanja, da bi bila rešitev nato najustreznejša in sprejemljiva za oba. Upoštevati moramo vse biološke lastnosti drevesnih vrst in jih ustrezno uporabiti. Gozda ne pustimo tam, kjer bi bila njegova poraba prekomerno velika in, če imamo možnost, raje izberemo tiste drevesne vrste, ki varčno porabljajo vodo. Tudi oblika negozdnih površin je važna.

Kadar splošni družbeni interes daje prednost preskrbi z vodo pred gozdarstvom, takrat bo delež gozda na zlivnem območju manjši. Razporeditev gozdnih ozir. negozdnih površin ter zgradba gozda pa naj upošteva še naslednja dejstva:

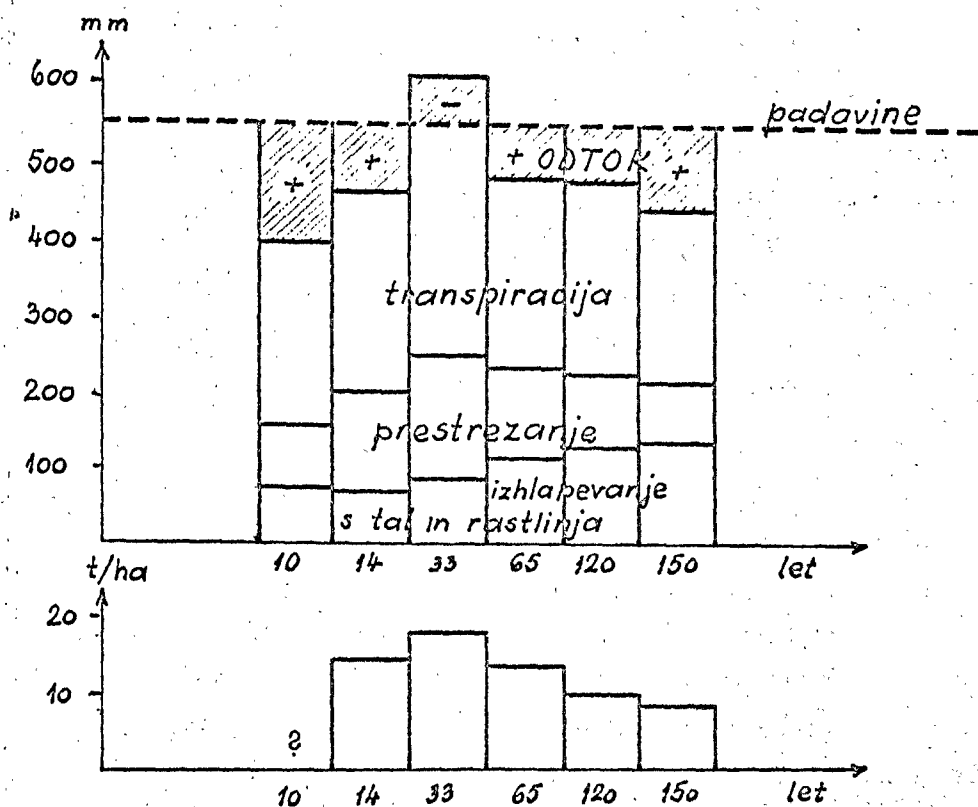
1. Zgradba gozda naj bo taka, da pospešuje prehajanje vode v tla, obenem pa naj ima čimmanjšo lastno porabo. To dosežemo s pravim izborom drevesnih vrst in ustrezno starostno strukturo.
2. Gozd se mora umakniti s tistih površin, kjer je talnica visoka ali kjer so tla mokra. S tem je preprečena prekomerna in luksuzna poraba vode.
3. Negozdne površine naj ne bodo strnjene, ampak porazdeljene po vsem zlivnem območju v manjših ploskvah obdanih z gozdom. Akumulacija zlasti zimskih padavin je na tako oblikovanih negozdnatih površinah mnogo večja, pa tudi spomladansko sproščanje vode je enakomernejše.

4. V področjih, kjer so padavine preko leta porazdeljene zelo neenakomerno in je obdobje taljenja snega kratko, mora biti glavni cilj pri izboru rabe tal maksimalno zadrževanje odtoka, kar pomeni povečanje površine pod gozdom.

5.3. Izbira načina gospodarjenja

Pri načinu gospodarjenja gre v hidrološkem smislu predvsem za dva učinka. Način in intenzivnost sečnje neposredno spreminjata zgradbo sestojev, obhodnja oziroma stopnja obnavljanja gozdov pa določata deleže in razporeditev razvojnih faz. V gozdarski praksi uporabljamo običajno tri načine sečnje: redčenje, sečnja na golo in sečnja na luknje, ki je običajna pri skupinsko postopnem gospodarjenju. Njihov hidrološki učinek je zelo različen. Najučinkovitejša je sečnja na golo. Povečanje presežne vode je tolikšno, za kolikor se zmanjšata transpiracija in intercepcija. Upoštevati pa je treba, da se z zaraščanjem goloseka njegov učinek na odtok presežne vode zmanjšuje. Nekoliko manjši učinek ima sečnja na luknje, zmerno redčenje pa ne spreminja vodne bilance gozdnega sestojaja. Kljub temu, da se z redčenjem gostota krošenj zmanjša, ostane intercepcija enaka. V redkejših krošnjah je strujanje zraka in vertikalna izmenjava toplote mnogo intenzivnejša, s tem pa je dana možnost večjega izhlapevanja in seveda večje transpiracije.

Obhodnja in stopnja obnavljanja gozdov vplivata na vodno bilanco posredno. Določata namreč razmerje starostnih razredov ali razvojnih faz, za katere smo dognali njihove hidrološke učinke. Ti učinki so slični v zimskem in toplem delu leta. V celoletni bilanci imajo mladi sestoji do drogovnjaka negativno vodno bilanco in od njih ne moremo pričakovati presežne vode (slika 11). Za zimski del leta pa smo ugotovili, da se akumulira najmanj snega v drogovnjakih in največ v debeljakih, kar pomeni, da imajo debeljaki najugodnejšo zimsko padavinsko bilanco.



Slika 11

Vodna bilanca borovih sestojev v primerjavi z listno maso (Molčanov, 1957)

Gornje ugotovitve lahko strnemo v naslednja opozorila:

1. V naših razmerah zaenkrat ni potrebe, da bi s sečnjo na golo reševali pereče probleme preskrbe z vodo. Sečnja na luknjo, ki je običajna pri skupinsko postopnem gospodarjenju ima podobne, a le nekoliko manjše učinke. V luknjah se koncentrirajo tako letne kot zimske padavine. Zaradi senčenja obkrožujočega sestoja, se snežna odeja stali počasneje in zato enakomerneje.
2. Če ni druge možnosti kot sečnja na golo, potem naj bodo goloseki oblikovani kot ozki, do ene sestojne višine široki pasovi in usmerjeni od vzhoda proti zahodu. Če je le mogoče naj bodo na

senčnih severnih pobočjih. Za trajen hidrološki učinek goloseka je potrebno stalno odstranjevanje nove zarasti.

3. Redčenje kot ukrep za povečanje presežne vode z gozdnatega zlivnega območja ni primerno. Učinek zmernega redčenja je neznaten. Opazno večji odtok (10%)^{ki} se pokaže šele pri intenziteti redčenja nad 50%, ne more nadomestiti izpada v prirastku lesa (42). Tudi za zimski del vodne bilance velja isto.
4. Stopnja obnove sestojev mora biti majhna oziroma obhodnja dolga. Starejših sestojev naj bo čimveč. S kratko obhodnjo osnujemo veliko pomladitvenih površin, ki poslabšajo vodno bilanco vsega zlivnega območja. Stopnja obnove sestojev mora biti taka, da pozitivni hidrološki učinek starih sestojev v vodni bilanci zлива močno presega negativne učinke pomlajenih površin. Stopnja obnove sestojev mora biti tudi^s hidrološkega vidika različna v sestojih različnih drevesnih vrst, ker je različen tudi njihov vpliv v vodni bilanci sestoja.

5.4. Izbira drevesnih vrst

Vsi hidrološki procesi, ki potekajo v gozdnem prostoru, so odvisni od tega, katera drevesna vrsta gradi gozdni sestoj. Z drevesno vrsto se spreminja gostota krošenj, ki je zlasti različna v zimskem času. Tudi talna rastlinska odeja, stelja in koreninski splet so važni oblikovalci hidroloških tokov. V zimskem času nastajajo med drevesnimi vrstami razlike v prestrezanju snega, v toplem delu leta pa poleg njih še razlike v transpiraciji.

Prestrezanje snega in dežja je odvisno od gostote krošnje, pa tudi od drugih dejavnikov. Posredno je intercepcija odvisna od svetlobnih zahtev drevesne vrste, čimveč svetlobe je potrebne za normalno rast, tem redkejšo krošnjo ima in tem manjša je intercepcija. Majhno intercepcijo imata breza in hrast ter pri iglavcih macesen, veliko pa bukev ter duglazija in smreka. Zadnji dve tudi prednjačita v prestrezanju zimskih padavin. Veliko razliko med iglavci in listavci (sm in bu) je ugotovila za zimske padavine tudi naša raziskava.

V letnem času je lahko važna postavka v vodni bilanci tudi intercepcija na pritalnem rastlinju, ki lahko celo preseže intercepcijo v krošnjah in je največja pri svetloljubnih drevesnih vrstah.

Še močnejše kot intercepcija je od drevesne vrste odvisna transpiracija, ki je lahko največja negativna postavka v vodni bilanci sestoja. Transpiracija je odvisna od količine listja in je zelo različna pri raznih drevesnih vrstah, kjer prihajajo do izraza svetlobne zahteve posameznih vrst.

Pri presoji vodnogospodarske vrednosti posamezne drevesne vrste moramo upoštevati koliko vode zaradi posebnosti drevesne vrste odhaja iz sestoja, zaradi intercepcije na krošnjah in pritalnem rastlinju ter transpiracije, po drugi strani pa tudi koliko vode zaradi posebnosti prodre v tla in kakšna je poraba vode glede na proizvodnjo biomase. Z vodnogospodarskega vidika so najvrednejše tiste drevesne vrste, ki usmerjajo in ohranjajo vodo v tleh. To so drevesne vrste z majhno intercepcijo in tudi majhno porabo. Z gozdnogospodarskega vidika pa je važna ekonomičnost porabe vode v proizvodnji biosubstance. To ekonomičnost označuje transpiracijski koeficient, ki pokaže količino vode pri različnih vrstah za proizvodnjo 1 gr suhe snovi.

Z vodnogospodarskega vidika kažejo najugodnejše lastnosti listavci predvsem bukev, sledijo iglavci, bor, smreka, najneugodnejši pa je hrast, ki porablja ogromno vode.

Oceno vodnogospodarskega pomena drevesnih vrst lahko strnemo takole:

1. V zimskem času, ko nastajajo glavne zaloge za napajanje talnice, so listavci mnogo primernejši za izboljšanje preskrbe z vodo kot iglavci. Naša raziskava na Pohorju je pokazala, da razlika dosega do 20% zimskih padavin. Kot poročajo različni drugi raziskovalci je razlika podobna tudi v toplejšem delu leta.
2. Od listavcev ima najvarčnejšo rast bukev, največ vode pa porabljajo hrast, breza, topol. Pri gospodarskem načrtovanju, ki si za cilj postavlja hkrati izboljšano preskrbo z vodo in gozdno proizvodnjo, bo treba dajati prednost bukvi, ki ima od vseh

naših drevesnih vrst najnižji transpiracijski koeficient. Močni porabniki vode bodo prisotni v zlivnem območju le z majhnim deležem in ne na vlažnih ali mokrih tleh, kjer se ob obilici vode njihova čezmerna poraba vode še stopnjuje.

3. Iglavci imajo manj ugodne vodnogospodarske lastnosti, imajo veliko intercepcijo, zlasti zimsko in tudi razmeroma močno transpiracijo. Od njih je na razpoložljivo količino vode najbolje prilagojen bor, ki pa na vlažnih rastiščih preide na izrazito luksuzno porabo vode. Iglavci tako pridejo v poštev v manj strogih razmerah glede preskrbe z vodo in seveda tam, kjer hočemo povečati vrednost gozdarske proizvodnje.
4. Kjer prihaja do kombinacije načina sečnje in izbire drevesne vrste: kjer je način sečnje tak, da pospešuje akumulacijo snežnih padavin v sestojnih odprtinah in ozkih pasovih, je te akumulacijske površine treba izbrati v iglavcih, zlasti tistih, ki imajo goste krošnje in močno senco. Akumulirani sneg je v gostih iglastih sestojih bolje zaščiten pred sončnim sevanjem.
5. Tudi kadar je cilj v gospodarjenju z gozdom vodnogospodarski, je potrebno upoštevati osnovna gozdnogospodarska pravila. Izbor drevesne vrste mora biti ustrezen rastišču. Vsak ukrep je treba temeljito načrtovati in ga tudi vsestransko pretehtati.
6. Hidrološki učinek drevesne vrste mora biti upoštevan tudi v premenah (bioloških in ekonomskih) in pri vnašanju tujih drevesnih vrst, ki jih običajno poznamo slabše kot domače. Za povečanje presežne vode s površin, kjer naj bi bila izvršena premena, je treba uporabiti varčne listavce in obratno. V področjih, kjer je vode preveč, se iglavci lahko izkažejo dvojno koristni: izboljšajo vodni režim in povečajo ekonomsko uspešnost premene.

5.5. Diskusija

Tok nastajanja in taljenja snežne odeje na gozdnatem zlivnem območju je odvisen od mnogih dejavnikov. Najpomembnejša sta krajevna klima ter način poraslosti zlivnega območja z rastlinjem. Gozdno drevje lahko močno spremeni zimski padavinski režim, spremembe so

odvisne od zgradbe gozdnih sestojev - drevesne vrste, starosti in načina gospodarjenja. Vplivi krajevne klime in načina poraslosti z rastlinjem se ne kažejo vedno v čisti obliki ampak se vpliv gozdne odeje v različni krajevni klimi različno odraža. Gozdnohidrološka merjenja in proučevanja na različnih krajih se zato često tudi v svojih rezultatih ne skladajo. V naši raziskavi snežnega režima na Pohorju se je po vplivnosti izkazala kot najmočnejša faza drogovnjaka in to pri obeh drevesnih vrstah, Brechtel (9) pa je n.pr. v Vogelbergu za najvplivnejšo fazo ugotovil letvenjak. Obe raziskavi se strinjata, da je sneg najlaže prodiral skozi krošnje debeljaka in da se ga je tam tudi največ akumuliralo.

Rezultati gozdnohidroloških merjenj in njihov pomen so tako še vedno močno povezani s poizkusnimi objekti in jih smemo le z veliko previdnostjo prenašati na druga področja. S ponavljanjem tovrstnih raziskav na različnih geografskih področjih in v različnih ekoloških razmerah bo odnos med gozdom in snežnim režimom postajal bolj in bolj jasen, združena dognanja pa veliko trdnejši temelj za tisto praktično gospodarjenje z gozdom, ki ima za cilj tudi optimalni vodni donos. K oblikovanju gozdne odeje bomo tudi v bodoče pristopali vedno šele takrat, ko bomo poznali glavne odnose med gozdom in širšim fizičnim in družbenim okoljem, pri čemer odnos med gozdom in snežnim režimom ne bo na zadnjem mestu.

6. L I T E R A T U R A

1. Anderson, H.W.: Forest Cover Effects on Snowpack Accumulation and Melt, Transection American Geophysical Union, vol.37, no. 3, (1956)
2. Anderson, H.W.: Research in Management of Snowpack Watersheds for Water Yield Control, Journal of Forestry, vol.58, no.4, (1960)
3. Barner, J.: Gozdnogojitvene, biološke in ekološke možnosti za povečanje odvišne vode iz gozda, Gozdarski vestnik, vol.34, no. 7-8, (1976)
4. Baumgartner, A.: Einfluss energetischer Faktoren auf Klima, Produktion und Wasserumsatz in bewaldeten Einzugsgebieten, Proceedings XV. IUFRO Congress, Gainsville, 1971
5. Berndt, H.W.: Snow accumulation and disappearance in lodgepole pine clearcut blocks in Wyoming, Journal of Forestry, vol.63, no.2, (1965)
6. Brechtel, H.: Gravimetrische Schneemessungen mit der Schneesonde "Vogelsberg", Die Wasserwirtschaft, vol.59, no.11, (1969)
7. Brechtel, H.M.: Die Bedeutung der forstlicher Bodennutzung bei der Erwirtschaftung eines optimalen Wasserertrages, Z. Deutsch.Geol.Ges., no.122, (1971)
8. Brechtel, H.M.: Increasing water yield through forest hydrology research, FAO, European Forestry Commission, Working Party on Management of Mountain Watersheds, Oslo, 1972

9. Brechtel, H.M.: Einfluss von Waldbeständen verschiedener Baumarten und Altersklassen auf die Schneeanammlung und Schneeschmelze in den Hochlagen des westlichen Vogelberges, Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, vol.16, no. 3, (1972)
10. Burger, H.: Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben von 1942/43 bis 1951/52, Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, vol. 31, no.1, (1954)
11. Chow, Ven Te: Handbook of Applied Hydrology, Mc Graw-Hill, New York, 1964
12. Cline, R.G., Haupt, H.F. in Campbell, G.S.: Potential water yield response following clearcut harvesting on north and south slopes in northern Idaho, USDA Forest Service Research Paper INT - 191, (1977)
13. Connaughton, C.A.: The Accumulation and Rate of Melting of Snow as Influenced by Vegetation, Journal of Forestry, vol. 33, no.6, (1935)
14. Croft, A.R. in Hoover, M.D.: The Relation of Forests to our Water Supply, Journal of Forestry, vol.49, no.4, (1951)
15. : Forest Influences, FAO, Rim, 1962
16. Gary, H.L.: Snow Accumulation and Melt Along Borders of a Strip Cut in New Mexico, USDA Forest Service Research Note RM-279, (1974)
17. Geiger, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht, Friedr.Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1961
18. Hoover, M.D. in Leaf, C.F.: Process and Significance of Interception in Colorado subalpine forest (v Sopper in Lull: International Symposium on Forest Hydrology, Pergamon Press, Oxford, 1967)

18. Hoover, M.D. in Leaf, C.F.: Process and Significance of Interception in Colorado subalpine forest (v Sopper in Lull: International Symposium on Forest Hydrology, Pergamon Press, Oxford, 1967)
19. Keller, H.M.: Der heutige Stand der Forschung über den Einfluss des Waldes auf den Wasserhaushalt, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, vol. 119, no. 4/5, (1968)
20. Kittredge, J.: Forest Influences, Mc Graw-Hill, New York, 1948
21. Leaf, C.F.: Watershed Management in the Rocky Mountain subalpine zone: The status of our knowledge, USDA Forest Service Research Paper, RM - 137, 1975
22. Leibundgut, H.: Wirkungen des Waldes auf die Umwelt des Menschen, Eugen Rentsch Verlag, Erlenbach-Zürich, 1975
23. : Leitfaden zur Kartierung der Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes (Waldfunktione kartierung), Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 1974
24. Love, L.D. in Goodell, B.C.: Watershed Research on the Fraser Experimental Forest, Journal of Forestry, vol.58, no.4, (1960)
25. Lützke, R. in Simon, K.H.: Hydrologische Untersuchungen zur Bilanzierung des Wasserhaushalts von Kiefernbeständen im norddeutschen Flachland, Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung, vol.12, no.1, (1972)
26. Mitscherlich, G. in Moll, W.: Untersuchungen über die Niederschlags- und Bodenfeuchtigkeitsverhältnisse in einigen Nadel- und Laubholzbeständen in der Nähe von Freiburg, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, vol.141, (1970)

27. Mitscherlich, G.: Wald, Wachstum und Umwelt, 2.knjiga Waldklima und Wasserhaushalt, J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 1971
28. Mitscherlich, G.: Wissenschaft und Fortschritt, aufgezeigt am Beispiel: Wald und Wasser, Allg.Forst- und J.-Ztg., vol.142, no 10
29. Molčanov, A.A.: Die hydrologische Rolle des Kiefernwaldes auf Sandböden, Deutscher Bauernverlag, Berlin, 1957
30. Monteith, J.L.: Principles of Environmental Physics, Edward Arnold Ltd., London, 1973
31. : Municipal Watershed Management, Symposium Proceedings, USDA Forest Service General Technical Report NE-13, 1975
32. Neuwirth, G.: Wald und Wasser aus der Sicht neuer Durchforstungsverfahren in Kiefern-Jungbeständen, Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung, Berlin, vol.14, no.4, (1974)
33. Ott, E.: Über den Einfluss der Durchforstung auf ökologische Faktoren, Beiheft zu den Zeitschriften des Schweizerischen Forstvereins, Bühler Buchdruck, Zürich, 1966
34. Packer, P.E.: Elevation, Aspect and Cover Effects on Maximum Snowpack Water Content in a Western White Pine Forest, Forest Science, vol. 8, no.3, (1962)
35. Reifsnyder, W.E. in Lull, H.W.: Radiant Energy in Relation to Forests, USDA Forest Service Technical Buletin No. 1344, (1965)
36. Rubner, K.: Die pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaues, 5.Auflage, Neumann Verlag, Radebeul und Berlin, 1960

37. Schwarz, O.: Zur Quantifizierung des Wasserdargebots aus Wald, Allg.Forst- u.J.-Ztg., vol.146, no.6/7
38. Schwarz, O.: Forstlicher Schneemessdienst in Baden-Württemberg, Ziele, Organisation, erste Ergebnisse, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, vol.150, no.3, (1979)
39. Simmons, I.G.: The ecology of natural resources, Edward Arnold, London, 1974
40. Sopper, W.E. in Lull, H.W.: International Symposium on Forest Hydrology, Pergamon Press, Oxford, 1967
41. Storey, H.C.: Watershed Research Needs and Probable Future Trends in Watershed Management, Journal of Forestry, vol.58, no.4, (1960)
42. Thomasius, H.: Wald, Landeskultur und Gesellschaft, Verl.Theodor Steinkopff, Dresden, 1973
43. Winer, B.J.: Statistical principles in experimental design, Mc. Graw-Hill, London, Mladinska knjiga, Ljubljana, 1970
44. Zonn, S.V.: Uticaj šume na zemljište, Jugoslovenska nacionalna komisija za topolu, Beograd, 1960

VLOGA KORENIN PRI PONIKANJU VODE V TLA

1. U V O D

Voda je prirodna javna dobrina in je temelj za obstoj življenja in razvoj gospodarstva. Potrošnja vode pri nas in v svetu je v skokovitem porastu. Gospodarski razvoj, neustrezno izkoriščanje dobre vode, porast in koncentracija prebivalstva ter splošni dvig življenjske ravni postavljajo vedno nove zahteve po velikih količinah kvalitetne vode.

Najizdatnejši vir dobre pitne vode je talnica, ki v Sloveniji v današnjem času še zadovoljuje naraščajoče potrebe, v perspektivi pa bo še pred letom 2000 poraba preseгла razpoložljive zaloge v tleh in se bo treba ozreti tudi na površinske vodne tokove. Ekstenzivno izkoriščanje vodnih zalog bi v l.2001 privedlo do primanjkljaja 1184 l/sek, ob realiziranih akumulacijah in infiltracijah pa bi dosegli majhno rezervo 49 l/sek (15). Že danes je torej potrebno misliti na preskrbo z vodo v bližnji prihodnosti, z vodo in z zlivnimi območji, od koder vodo zajemamo pa gospodariti tako da bo vodna bilanca zlivnih območij čimbolj ugodna za človeka in za naravne združbe, ki jih poraščajo.

Vodna bilanca zlivnih območij je rezultat vseh naravnih dejavnikov, ki določajo poti in količine odtekanja padavinske vode, potem ko je padla na tla. Ugotovili smo že, da je za vodno bilanco zlivnega območja zlasti pomembna poraslost z rastlinjem in vzporedno z njo raba tal. Prav od delovanja in razvojne stopnje ekološkega sistema na zlivnem območju je odvisna količina vode, ki jo dobivajo sekundarni porabniki vode, med njimi kot največji porabnik prav človek. V ekološkem sistemu je rastlinje najmočnejši regulator vodnih poti in tudi primarni porabnik vode, zato se sprememba ekološkega sistema in njegove zgradbe pokaže v spremenjeni vodni bilanci.

Ponikanje vode v tla in do talnice je za vodno gospodarstvo eden najpomembnejših procesov v kroženju vode. Vodno gospodarstvo teži k povečevanju ponikanja padavin v tla in to dosega z infiltracijami površinskih vodnih teles skozi propustne prodnate plasti do talnice.

Pri skrbi za povečevanje zalog talnice lahko pomaga tudi gozdarstvo, ki posredno vpliva na praktično vse vodne zaloge pri nas, saj gospodari s skoraj polovico naravnega prostora, z oblikovanjem zgradbe gozdnih ekosistemov pa posega v vodno bilanco skoraj vseh zbirnih območij za vodovodna omrežja.

Ponikanje vode v in skozi tla je odvisno od večih dejavnikov, najvažnejši pa so vsekakor stopnja infiltracije, stopnja prevajanja vode skozi tla in seveda koncentracija vode na površini. Gozdnogospodarski ukrep, ali še boljše gozdnonegovalni poseg, lahko poveča vse tri naštetje dejavnike. Stopnja infiltracije in prevajanja vode skozi tla se povečata takrat, kadar so tla strukturno izboljšana in imajo več navpičnih vodovodnih poti, koncentracija vode na površini pa se poveča z uvajanjem takih drevesnih vrst, ki zbirajo padavinsko vodo ob deblu in na robovih krošenj.

hidrološki pomen drevesnih korenin in koreninskih sistemov pri ponikanju vode je zelo malo raziskano področje gozdarske hidrologije. Iz znanstvene in strokovne literature je bilo mogoče zaslediti le nekaj podatkov v delu Valeka (17), ki se v proučevanje vloge korenin pri ponikanju padavinske vode ni poglobil, ampak v svojem delu le ugotovil nekaj številke in značilnosti. Tudi v Sovjetski zvezi je bila izvedena raziskava o odnosu med koreninskimi sistemi in ponikanju vode v tla, vendar mi omenjena literatura ni bila na razpolago. Raziskava o vlogi drevesnih korenin na ponikanje vode v tla in skozi globlje talne plasti je tako začetek poglobljenega raziskovanja vodnogospodarskega pomena koreninja gozdnega drevja, ki bo dala tudi osnovno znanje za načrtovanje najustreznějšíh gozdnogospodarskih ukrepov.

Raziskovalno delo v okviru te naloge je skušalo odgovoriti na naslednja vprašanja:

1. Ali korenine gozdnega drevja pospešujejo ponikanje vode skozi tla?
2. Ali je hitrost ponikanja odvisna od nagiba korenin in s tem od koreninskega sistema?
3. Katere drevesne vrste so s hidrološkega oziroma vodnogospodarskega vidika najpomembnejše in kako njihove hidrološke posebnosti lahko uporabimo v gozdarski praksi?

Raziskovalna naloga je tekla po ustaljeni poti. Na osnovi proučene predvsem pedološke in hidrološke literature je bila postavljena delovna hipoteza ter pripravljena metodika dela. Zastavljeni problem je bil najprej proučevan v laboratoriju s pomočjo homogenega talnega substrata, nato pa ugotovitve preizkušane tudi v naravi. Zaključki raziskave so bili nato ocenjeni s hidrološkega in gozdarskega vidika.

2. TEORETIČNE OSNOVE RAZISKAVE

Z vodnogospodarskega vidika so najbolj zanimive količine v hidrološkem ciklu tiste, ki povedo koliko vode bo ostalo na razpolago sekundarnim porabnikom, med njimi človeku. Velik del presežne vode se zbira v tleh, manjši v površinskih vodnih telesih. Zaloge talnice tvori le tista voda, ki je s površja poniknila v globino tal; zaloge so zato tem večje, čim več vode prispe na površino tal in čimvečja je sposobnost tal za prepuščanje vode v globino. Zato je ena od pomembnih količin v hidrološkem ciklu tudi množina padavinske vode na gozdnih tleh pa tudi njena razporeditev.

Količina padavin na gozdnih tleh je manjša od padavin nad drevjem za tisto vodo, ki so jo prestregle drevesne krošnje in ki se vrača nazaj v ozračje. Ostala padavinska voda prodre skozi plast krošenj do gozdnih tal in pritalnega rastlinja. Poti, po katerih prihaja do tal, je več. Del padavin pade naravnost na tla skozi odprtine v krošnjah, del vode najprej pade na krošnje in se skapa na tla, ostala padavinska voda pa se z listov ali iglic steka po vejicah in vejah do debla in po njem navzdol do korenin.

S površine voda lahko nadaljuje svojo pot v tla ali po površini, kar se dogodi v gozdu precej redko. Prehod s površine v tla je vnikanje ali infiltracija in je odvisna od večih dejavnikov, od katerih je najpomembnejša struktura talne površine. Po vniku voda prodira vse globlje skozi talne plasti - jih prenika in obnavlja vlago dokler ne doseže talnice.

Pri prehodu padavinske vode v tla in skozi tla do talnice si sledi več procesov, ki so vsak zase odvisni od različnih in skupnih dejavnikov. Vnikanje in prenikanje sta odvisna od zgradbe talne površine in tal, pa seveda od količine vode, ki je na razpolago. Tako je k temu dvema procesoma, ki se dogajata v tleh, treba dodati še procese v prostoru nad tlemi, ki določajo količino padavinske vode na tleh in njeno razporeditev - prepuščanje krošenj in odtok po deblih. Oba zadnja procesa sta odvisna od zgradbe gozda ali sestoja, ki jo

določa drevesna vrsta in način gospodarjenja, poleg nje pa še od lastnosti padavin, predvsem oblike in jakosti.

2.1. Procesi prehajanja padavinske vode iz ozračja v tla

Prepuščanje padavin skozi krošnje

Del padavin pade skozi drevesne krošnje naravnost na tla, del pa zadane ob krošnje. Krošnje pričnejo prepuščati padavine šele takrat, ko so popolnoma zmočene. Šele tedaj se padavinska voda prične stekati po listju na njihove robove in skapati z njih. Količina prepuščene vode je odvisna od značilnosti drevesnih vrst - oblike in površine listja, razporeditve listja ter intenzivnosti padavin. Vsi ti dejavniki določajo tudi intercepcijo ali prestrežanje padavin. V vmesni padavinski bilanci padavinske vode pod krošnjami je količina prepuščenih padavin tista količina, ki ostane po odštetju prestreženih padavin, pri čemer je treba upoštevati, da del prestreženih padavin nadaljuje tok do gozdnih tal kot odtok po deblih.

Količina prepuščenih padavin v gozdnem sestoju je odvisna od zgradbe sestoja in intenzivnosti padavin. Zgradba sestoja določa hitrost in dolžino poti, ki jo mora padavinska voda preiti po listju in vejicah preden lahko kapne na tla. Čim daljša je ta pot, tem dalj se voda zadržuje v krošnji in tem večja je možnost, da izhlapi in se vrne nazaj v ozračje. Na hitrost odtekanja padavin po listju vpliva tudi gladkost listja in njihova velikost, prav tako pa tudi položaj na drevesu. Gladka površina listov, pokončni položaj in velika listna ploskev pospešujejo stekanje padavin in skapanje na tla. Tudi habitus drevesa lahko povečuje prepuščanje vode. Drevesa s pobešenimi vejami vodijo padavine proti robovom krošenj, pospešujejo prepuščanje padavin skozi krošnje in ustvarjajo bolj namočene zone pod robovi krošenj, medtem ko drevesa s pokončno usmerjenimi vejami koncentrirajo vodo ob deblu.

Razlike v prepuščanju padavin med iglavci in listavci niso velike. Geiger (5) citira Eidmanna, ki je pri smreki in bukvi, kot tipičnih predstavnikov iglavcev in listavcev, ugotovil pri obeh poletih 67%,

pozimi pa 73% padavin glede na padavine na prostem. Razlika pa se je seveda pokazala pri odtoku po deblu, ki je bil pri smreki zanemarljivo majhen 0,7%, pri bukvi pa enak ali večji od intercepcije.

Zaradi stekanja vode od debla stran na robove krošenj ali do debla in po njem, so padavine na gozdnih tleh zelo neenakomerno porazdeljene. Le v odprtinah med krošnjami lahko enakomernost porazdelitve primerjamo s porazdelitvijo na prostem, kjerkoli drugje pa je neenakomernost porazdelitve padavin močno poudarjena. Zlasti močne koncentracije padavin nastajajo ob drevesnih deblih in pod kapom krošenj. Na robovih krošenj se večja količina padavin porazdeli tudi na večji obseg, ob deblu pa je pri nekaterih drevesnih vrstah lahko izredno močna. Razlike v količini padavin med kapom in površino okrog debla je lahko tudi preko 20%. Geiger (5) navaja povprečno 55% padavin pod krošnjo in 76% padavin pod robom krošenj, v primerjavi s padavinami na prostem.

Odtok po deblu

V vodni bilanci je odtok po deblu treba upoštevati le pri listavcih, pri iglavcih je zelo majhen in ne predstavlja pomembnejše postavke. Tudi odtok po deblu se pojavi na drevju šele takrat, ko je omočena vsa krošnja. Padavinska voda se steka po listih, vejicah in vejah do debla in po njem do tal. Hitrost in količina tako odtekajoče vode je odvisna od drevesne vrste (položaj listov, vejni kot, hrpavost lubja) in intenzivnosti padavin. V vodni bilanci drevesa ali sestoj predstavlja odtok po deblu pozitiven člen.

Drevesna vrsta vpliva na tok vode s krošenj po deblih do tal s svojo obliko. Zlasti pomembna sta kot med vejami in deblom ter hrpavost lubja. Drevje z navzgor rastočimi vejami deluje kot lijaki, ki zbirajo vodo ob deblih in jo vodijo proti tlam. Vejni kot je sicer značilen za posamezno drevesno vrsto, vendar se tudi v okviru drevesne vrste spreminja, saj obstajajo tako fenotipi kot provenienca, ki jih lahko uvrstimo med lijakaste oblike, čeprav splošna značilnost drevesne vrste ni taka (1). Vejni kot se spreminja tudi s starostjo in je pri mladem drevju običajno večji kot pri starem.

Količina vode, ki priteče po deblu, je lahko zelo različna in dosega tudi nekaj sto litrov. V poizkusu napravljenem pri Freiburgu je pri 35 mm padavinah priteklo po debeli bukvi 400 litrov padavinske vode (11). Padavinska voda, ki priteče po deblu, ponikne v tla tik ob deblu in vzdolž korenin v globino. Pri predpostavki, da je pas ob deblu, kamor se stekajo padavine, širok 25 cm, se ob deblu ustvari izredno močna koncentracija dežja, ki v gornjem primeru doseže 670 mm dežja, pri tem pa na 1 m oddaljenih mestih pod krošnjo pade le 25 mm padavin (11).

Koncentracije padavinske vode ob deblu so lahko precej velike in pomembne. Preračunano na površino 30 cm pasu okrog debela pomeni po deblu pritekla voda tudi do 4x večjo količino padavin kot na prostem. Pri teh povečanjih gre seveda tudi za vpliv drevesne vrste. Podatki po Hooverju in Leonardu (cit. v 14) to lepo kažejo. V mladem borovem sestoju je na 30 cm širok pas okrog debela priteklo letno nekaj več kot 2x toliko padavin kot na prostem (1400 l), v starejših bukovih sestojih pa je bil presežek v posameznih padavinskih dnevih ali obdobjih tudi 8-kratno pri dominantnih drevesih, 2-4-kratno pri sovladajočih, po debelih podstojnega drevja pa je priteklo manj padavin kot jih je padlo, tudi le ena tretjina.

Odtok po deblu pri bukvi ima precej večji pomen kot pri smreki saj povprečno letno dosega tudi do 17% padavin na prostem. V nasprotju z bukvijo je pri smreki odtok po deblu neznamen in nepomemben. V zrelih sestojih dosega le do 0,8% padavin na prostem, v letvenjaku 1,2% in v goščah 2,9%. Močno je torej odvisen od starosti (razvojne faze) sestoja ali natančneje od temeljnice sestoja - gostote debel v sestoju - in pa od površine projekcije krošenj (Delfs v 14). Količina padavinske vode, ki priteka po debelih, je tako odvisna od števila vodnikov - debel.

Pri posameznih drevesih odtok po debelih narašča z večanjem premera debela. Debelejše drevo ima tudi obsežnejšo krošnjo, s katero na večji površini prestreza padavine in jih nato usmerja na eno samo deblo. (Mitscherlich in Moll, 1970, cit. v 11). Med odtokom in premerom obstaja precej tesna pozitivna linearna zveza. V mlajšem bukovem sestoju

ju pri Freiburgu je letni odtok po deblu naraščal s premerom in je pri premeru 34 cm dosegel preko 2500 l padavinske vode.

Merjenja z ombrografi kažejo, da se odtok po deblih pojavi šele nekaj ur po začetku padavin. Določena količina vode mora najprej omočiti listje, veje in deblo, šele nato morejo padavine steči po deblu. Obdobje močenja nadzemnih drevesnih delov je daljše v zrelih sestojih, potrebna je tudi večja količina padavin. V smrekovih sestojih se odtok po deblih pojavi ob padavinah večjih od 20 mm, pri bukvi, ki ima bolj gladko lubje, pa tudi pod to množino padavin.

Porazdelitev vlage v tleh

Spreminjanje vlažnosti tal v horizontalni smeri je že dolgo znano, saj prav ta neenakomernost otežkoča vzorčenje in postavljanje zaključkov v pedološkem, hidrološkem ali ekološkem raziskovalnem delu. Mnogi raziskovalci se strinjajo, da neenakomerno površinsko porazdelitev vlažnosti v tleh povzroči neenakomerna porazdelitev padavin nad tlemi kot posledica zgradbe gozda - gostote drevja in krošenj ter življenjskih oblik posameznih drevesnih vrst. Prepuščanje krošenj ter odtok po deblu sta tista dejavnika, ki določata razporeditev vlage na gozdnih tleh, razporeditev v tleh pa je odvisna od talnih lastnosti pa tudi stelje.

Neenakomerno porazdelitev vlage v tleh povzročajo koncentracije padavin ob deblih in pod kapmi krošenj. Ta neenakomernost se prenaša tudi v globino. Neenakomerna vlažnost zaradi nepravilno razporejenih padavin se opaža tudi v globljih talnih plasteh, kljub stranskemu prenikanju talne vlage. Očitno je, da največje koncentracije vode povzroča odtok po deblih, ki ima zato znaten pomen pri povečevanju vlažnosti tal (Hoover in Escher cit. v 11). Voda, ki priteče po deblih, nadaljuje svojo pot v globino tal. O večji vlažnosti tal pod deblom, v primerjavi z nekaj 10 cm oddaljenimi mesti, poroča nekaj raziskovalcev (14). Voigt (18) pa celo zaključuje, da se opaža težnja, da voda, ki priteče po deblu, nadaljuje svojo pot v tla ob koreninah.

Splošen vzorec porazdelitve vlažnosti v tleh je rezultat prepuščanja krošenj in odtoka po deblih. Vlažnost v tleh se povečuje z oddaljevanjem od debla proti robu krošnje, tu se razpozna posledica manjše intercepcije na robu krošenj, in doseže maksimum prav pod robom krošnje, kjer pri drevju z visečimi vejicami in listjem vlažnost v tleh celo lahko preseže talno vlažnost na prostem. Kolobar okrog drevesnega debla, širok okrog 30 cm, je drugi vlažnostni maksimum. Bolj je izražen pri dominantnih razvejanih drevesih z gladkim lubjem kot pri drevesih s hrapavim lubjem. Ta cona je ena pomembnejših za rast drevja in v vodni bilanci gozdnatih površin. Tu voda ponika v tla izjemno lahko in hitro, pa tudi nadvse globoko, tako da zlahka doseže talnico in jo bogati. Ob predpostavki, da se voda pri ponikanju ne giblje vstran, je Hoover (cit. v 14) ugotovil, da odtok po deblih lahko privede pomembne količine vode v znatne globine. Zamenjarjanje pomena odtoka po deblih pa lahko privede do podcenitve količine vode, ki ponika v globlje talne horizonte.

Infiltracija ali ponikanje

Padavinska voda, ki dospe do gozdnih tal, lahko ponikne, se nekaj časa zadrži na površini ali pa odteče po površini. V gozdu voda skoraj v celoti ponikne v globino in le redko se pojavi površinski odtok. Ponikanje je usmerjeno nasprotno kot poraba vode, s ponikanjem vode v tla se obnavljajo zaloge vode v talnih plasteh vse od površine do matične podlage ali talnice. Skoraj brez izjeme je ponikanje izredno pomembno tako v poljedelstvu in gozdarstvu kot v vodnem gospodarstvu, ki v veliki večini še vedno računa predvsem na vodne zaloge v tleh.

Močno ponikanje, ki hkrati pomeni majhen površinski odtok, blaži erozijo oziroma ne dopušča možnosti, da bi prišlo do njenega razdiralnega delovanja. Tudi, če ne upoštevamo zmanjšane možnosti erozije, pri močnem ponikanju padavinske vode v tla, je ravnotežje med ponikanjem in površinskim odtokom pomembno zaradi vpliva na razmerje med padavinami in višino vode v vodotokih, oziroma na razpoložljive zaloge talnih in površinskih vodnih virov.

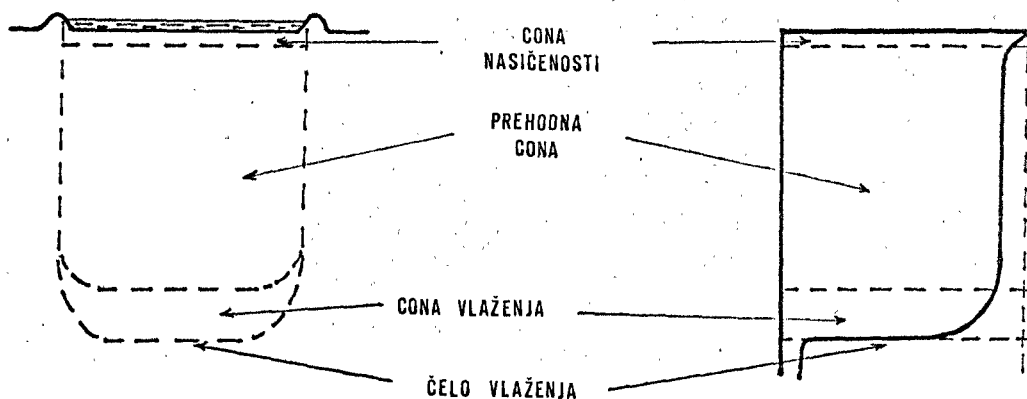
Rastlinje vpliva na ponikanje na več načinov. Korenine, razpadajoči rastlinski deli in drugi biotski dejavniki spreminjajo fizikalne lastnosti tal, običajno ugodno, tako da izboljšujejo strukturo in povečujejo hitrost vpijanja vode, stelja ali pritalno rastlinje pa zadržujejo vodo dovolj dolgo, da jo tla v celoti vpijejo.

Infiltracija ali ponikanje je vstopanje vode skozi površino tal v podpovršinske talne plasti in skozi nje v globino. Stopnja ponikanja ima zelo velik praktičen pomen, od nje je odvisna navlaženost talnih plasti (koreninske plasti, obnavljanje talnice) med in po padavinskih obdobjih, pa tudi celotna vodna bilanca zemljišča in rastlin. Poznavanje procesov ponikanja padavin v tla je tudi potrebno za učinkovito vodno gospodarstvo, poljedelstvo in gozdarstvo.

Pri ponikanju nastopajo različni procesi. Voda v najvišji talni plasti najprej napolni ozke praznine med talnimi delci, ki imajo največji sesalni tlak, nato večje prostorčke in šele ko so napolnjeni vsi prazni prostorčki prične delovati gravitacijska sila, ki pomika namočeno plast v globlje talne horizonte. Globina, do katere ponikne voda v tla je ob enaki propustnosti tal odvisna od količine vode na površini. Če je vode na površini dovolj, lahko ta voda ponikne tudi zelo globoko do talnice. Ob močnih koncentracijah padavinske vode, ki se pojavljajo ob drevesnih deblih, se ponikanje do talnice pogosteje dogaja kot kje drugje na sestojnih tleh.

Hitrost in količina poniknjene vode je odvisna od propustnosti talne površine in vseh talnih plasti. V homogenih tleh je stopnja ponikanja enaka po vsem profilu, zato nastane značilna porazdelitev vlažnosti v globino. Pri tej porazdelitvi ločimo različne stopnje, ki so posledica sesalne sile tal in gravitacije. Kadar je dotok vode na površino tal večji kot stopnja ponikanja na talni površini, nastane mlaka. Vrhnja plast tal je v tem primeru popolnoma nasičena z vodo do nekaj mm ali cm globoko. Pod to nasičeno plastjo je enakomerno vlažna skoraj nasičena plast - prehodna cona, pod njo pa leži cona z globino padajoče vlažnosti - cona vlaženja, ki se konča z celom vlaženja, kjer je gradient vlažnosti izredno strm in ki označu-

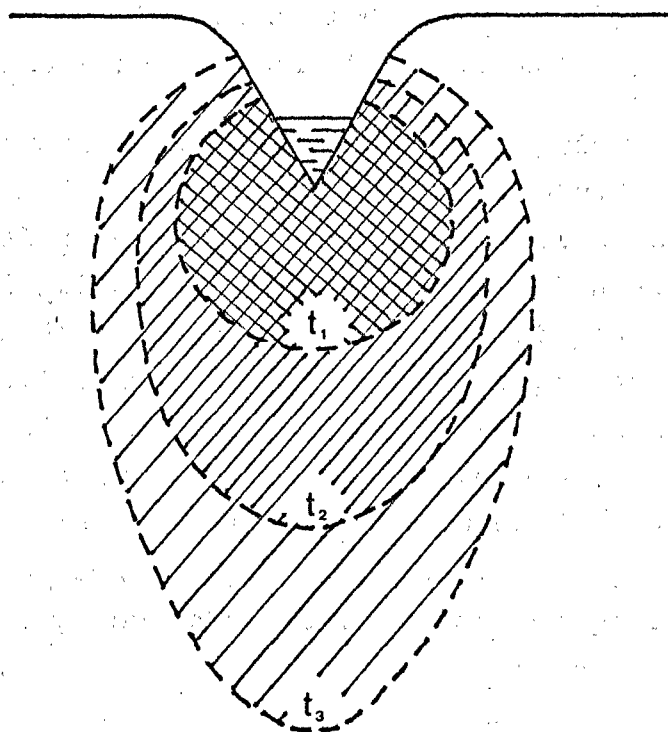
je mejo med navlaženo in še prvotno suho talno plastjo (slika 1)



Slika 1: Vlažnostni profil pri ponikanju vode (po viru 6)

Pri ponikanju vode v tla se voda pomika ne le navpično navzdol zaradi težnosti, pač pa delno tudi v stran zaradi sesalne sile tal. Gravitacijska sila pri ponikanju prevladuje, zato je smer ponikanja vode pretežno vertikalna. S ponikanjem vode globlje in globlje se povprečni gradient sesalne sile tal zmanjšuje, tako da se v zgornjem delu profila zmanjša do zanemarljivo majhne vrednosti. Voda takrat ponika le zaradi težnosti, pretok vode pa se približa hidravlični prevodnosti tal.

Kadar se ponikanje dogaja v suhih tleh, je v začetni fazi gradient sesalne sile mnogo večji od težnosti. Stopnja ponikanja vode v vertikalni smeri je skoraj enaka prenikanju vode v vodoravni oziroma stranskih smereh. Voda se bo zato sprva širila v vse smeri (slika 2)



Slika 2: Ponikanje vode iz namakalnega jarka v prvotno suha tla
(po viru 6)

Šele kasneje, ko se gradient sesalne sile zmanjša, bo prevladala sila težnosti, smer vlaženja pa bo pretežno navpična.

Opisani način ponikanja vode v tla je v gozdu razmeroma redek. V gozdu tudi med močnimi deževji ni opaziti stoječe vode na površini ali pa se luže pojavljajo le kratkotrajno. Procesi ponikanja vode v razmerah, kjer ni stoječe vode na površini, so nekoliko spremenjeni, še bolj zapleteni pa postanejo ob upoštevanju neenakomerne intenzivnosti

padavin, ki se spreminjajo prostorsko in časovno. Intenzivnost padavin namreč lahko doseže stopnjo prepustnosti talne površine in talnih plasti, v enem samem padavinskem obdobju pa se lahko zmanjša ne samo enkrat in spet poveča. V takem toku dovajanja vode na talno površino je treba upoštevati ne le spremenjene gradientne sesalne sile tal, pač pa zlasti še fenomen histereze tal.

Problem infiltracije padavinske vode, ki priteka po deblih dreves je nekje vmes med infiltracijo pod stoječo vodo in infiltracijo pri škropljenju tal z neenakomerno intenzivnostjo. Koncentracija vode ob deblih je vsaj pri nekaterih drevesnih vrstah ali posameznih drevesih tako močna, da dotok vode skoraj dosega stopnjo prevodnosti tal, to pa pomeni približevanje načinu ponikanja pod stoječo vodo. V raziskavi smo zato predpostavili, da histereze tal ni in s tem proces infiltracije poenostavili. Upoštevanje fenomena histereze pri proučevanju ponikanja in prehajanja vode v globlje plasti zelo zaplete celotno delo in poveča obseg prizadevanj, zato je razumljivo, da kljub vse modernejšim pripomočkom tako zastavljen problem še ni bil zadovoljivo rešen.

Procesi v tleh po končanem ponikanju - ponovna porazdelitev vode v tleh

Ko dotok vode na površino tal preneha, se proces ponikanja konča, poniknjena voda pa se prične drugače porazdeljevati. Navpično premikanje vode se ne ustavi takoj, iz talne plasti, ki so skoraj zasičene, voda odteka v nižje plasti zaradi težnosti ali tudi gradienta sesalne sile tal. Kadar je talnica visoka, jo lahko v globino odtekajoča voda doseže. Tako gibanje vode skozi tla po zaključenem ponikanju se imenuje "notranji odtok" v nasprotju s "ponovnim porazdeljevanjem" v tistih primerih, ko talnica ni dosegljiva in se povečuje vlažnost globljih plasti na račun sušenja zgornjih prvotno bolj navlaženih plasti.

Ponovno porazdeljevanje vlažnosti v tleh je lahko dolgotrajen proces, čeprav se lahko konča tudi po nekaj dneh. Posledica je časovno spreminjanje vlažnosti v isti globini. Za rastline je ta proces še posebej pomemben. Določa namreč sposobnost shranjevanja vode za določena tla oziroma tisto količino vode, ki jo lahko rastline dosežejo za svojo rast.

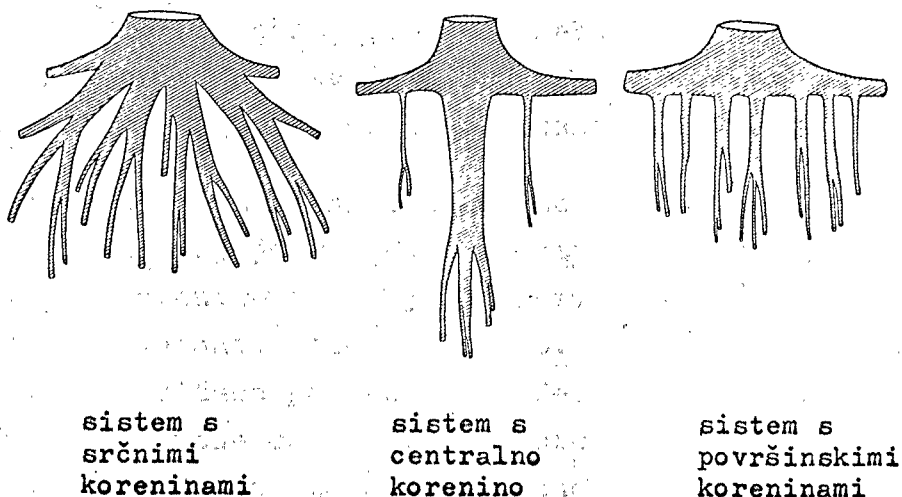
2.2. Korenine in njihov hidrološki pomen

Za razvoj korenin in koreninskih sistemov je poleg posrednega vpliva asimilacije pomembnejše neposredno okolje v koreninskem prostoru. Poleg toplote (minimalne talne temperature) je predvsem važna talna vlaga, poleg nje pa še kemična sestava in mehansko delovanje okolice.

Glavno delovanje korenin je črpanje vode iz tal. Stoječa voda, talnica ali pomanjkanje vode na korenine delujejo še posebej. V tleh z obilnimi vodnimi zalogami se korenine bolj razvejijo, ob izsuševanju tal pa se poveča rast korenin v dolžino zaradi iskanja vlažnejših plasti.

Na razvoj koreninskega sistema tako delujejo različni dejavniki neposrednega okolja, drevesa in korenin. Za drevesno vrsto značilni tip koreninskega sistema ti dejavniki lahko preoblikujejo v tolikšni meri, da drevesne vrste samo po koreninskem sistemu ni moč prepoznati. Vendar pa splošen značilnosti koreninskih sistemov pri različnih drevesnih vrstah v povprečju ostanejo, tako da lahko napravimo tudi splošne zaključke v zvezi s koreninskimi sistemi.

Nasploh ločimo tri vrste koreninskih sistemov: koreninje s centralno korenino, s srčnimi koreninami in stranskimi glavnimi koreninami (slika 3). V prvem koreninskem sistemu je močna centralna korenina kot močan pilot navpično zasidrana globoko v tla. Značilna je pri jelki in dobu. Koreninski sistem s srčnimi koreninami nima najdebelejše glavne korenine, ampak več navpično in poševno vodečih korenin. Tak sistem je značilen pri lipi, bukvi in duglaziji. Tretji koreninski sistem je sistem z vodoravnimi glavnimi koreninami, ki tečejo vzporedno s površino tal. Tak sistem imata smreka in jesen (8).



Slika 3: Glavni koreninski sistemi

Koreninski sistemi imajo zaradi različnih kotov, pod katerimi korenine prodirajo v tla, in globine do kamor segajo, prav gotovo tudi različen hidrološki pomen. To velja tako za črpanje vode iz tal kot za usmerjanje in vodenje padavinske vode nazaj v tla - za črpanje in obnavljanje talne vlage. Sistemi s centralno korenino segajo najgloblje v tla. Zato lahko črpajo vodo tudi iz globljih talnih plasti, s tem se zmanjša nevarnost suše. V obratni smeri predstavlja centralna korenina nadaljevanje debla v tla. Voda, ki priteče po deblu lahko brez večjih ovir sledi z gravitacijo usmerjeni poti in ob centralni korenini lažje doseže tudi večje globine. Možnost da doseže talnico je pri teh koreninskih sistemih največja. Dogodi se lahko, da v plastovitih tleh že zelo tanka nepropustna ali slabo propustna plast prepreči prehod vode v globino. Korenins z navpično težnjo take plasti lahko predrejo, s tem pa napravijo okno, skozi kate-

rega lahko ponika tudi voda. Še pomembnejše od živih navpično usmerjenih korenin so v hidrološkem smislu odmrle in strohnele korenine, ki za seboj puščajo prave kanale. Ti so pri takem sistemu pretežno vertikalno usmerjeni, tako da je s kanali usmerjeno ponikanje padavinske vode pretežno navpično. Kanali, ki ostanejo za odmrli koreninami, opravljajo svojo hidrološko funkcijo več desetletij, torej tudi potem, ki je drevo že posekano ali sestoj obnovljen.

Koreninski sistemi s srčnimi koreninami imajo drugačen hidrološki pomen. Korenine segajo v manjšo globino, kot pod katerimi v globino prodirajo korenine so bolj poševni, zato imajo korenine manjšo sposobnost prevajanja vode v globino. Srčnih korenin je več, zato se tudi voda, ki priteče po deblu, razdeli na več ločenih poti v tla. Manjša količina vode ob posamezni korenini pa zmore prodreti v manjše globine, s tem pa je zmanjšana možnost napajanja talnice.

Še slabše vodovodne lastnosti imajo sistemi z ob površinskimi glavnimi koreninami. Pri njih se močna koncentracija padavinske vode, ki priteče po deblih, ublaži. Korenine razpeljejo to vodo v širino, zato ne doseže velikih globin, oziroma ostane le v površinskih plasteh tal.

Z bioloških, oziroma fizioloških vidikov so koreninski sistemi takšni, da vodo, ki priteče po deblu, vodijo v tiste globine, kjer jo tudi najbolj potrebujejo in od koder črpajo največjo množino vode. S hidrološkega vidika pa je učinkovitost koreninskega sistema neposredno odvisna od kota pod katerim prodirajo korenine v tla. Čim bolj navpične so, tem večja je njihova hidrološka pa tudi vodnogospodarska vrednost. Kadar sovpadata dve ugodni značilnosti drevesne vrste ali posameznega drevesa in sicer, da odtok po deblu ustvarja močno koncentracijo padavin na koreninskem vratu ter da je koreninski sistem sposoben dobro prevajati vodo v globino, tedaj lahko govorimo o zelo ugodnih hidroloških lastnostih te drevesne vrste. Pri tem imamo v mislih hidrološke lastnosti drevesa, ki so ugodne za človeka hkrati pa ne škodljive za drevo. To pomeni hkratno prevaja-

nje vode s krošenj v talnico in zadostno prehajanje vode v preko-
reninjene talne plasti, v katerih so shranjene vodne zaloge za rast
drevesa.

3. METODE DELA IN RAZISKAVE

3.1. Delovna hipoteza

Hidrološka vloga gozda in posameznih dreves se ne kaže le v nadzemnem prostoru, ampak tudi v tleh. Največji hidrološki pomen gozda je prav gotovo v tem, da omogoča ponikanje praktično vseh padavin v plitvejšo ali globlje talne plasti in preprečuje površinski odtok. Človek je v današnjem času odvisen od talne vode, zato je izredno važno, da se zaloge talne vode čim intenzivneje obnavljajo. Padavinska voda mora čim hitreje prehajati v talnico in v čimvečjih množinah. Bogatenje zalog talnice je možno tudi z infiltracijo površinskih vodotokov skozi prod, vendar le z omejenimi možnostmi. Pri iskanju drugih načinov bogatenja talnice naletimo na možnosti v gospodarjenju z gozdom. Gozd sam po sebi usmerja padavinsko vodo v globino, z gospodarskimi ukrepi pa stopnjo prehajanja padavin iz ozračja v tla prav gotovo lahko povečamo.

Možnosti prevajanja vode s površine tal v talnico se povečajo na ta način, da se okrepijo ali pomnožijo poti, po katerih padavine prehajajo v globlje talne plasti. Na zlivnih območjih, kjer zajemamo vodo za vodovod in industrijo, pa tudi povsod drugod, je treba uvajati in gospodariti s tistimi drevesnimi vrstami, ki so najbolj sposobne voditi padavine v tla. Omenjeni zaključek temelji na sledečih predpostavkah, ki naj bi jih raziskava potrdila:

1. Hitrost in količina vode, ki ponikne v tla je v prekoreninjenih tleh večja kot v neprekoreninjenih
2. Ob koreninah voda hitreje prenika tla kot tam, kjer korenin ni. Žive in odmrle korenine predstavljajo kanale ob katerih voda pospešeno prodira v tla.
3. Vodovodna sposobnost korenin se zmanjšuje z odklanjanjem korenin od vertikale.
4. Korenine pospešujejo prodiranje vode v globino na račun stranskega širjenja vlažnosti.

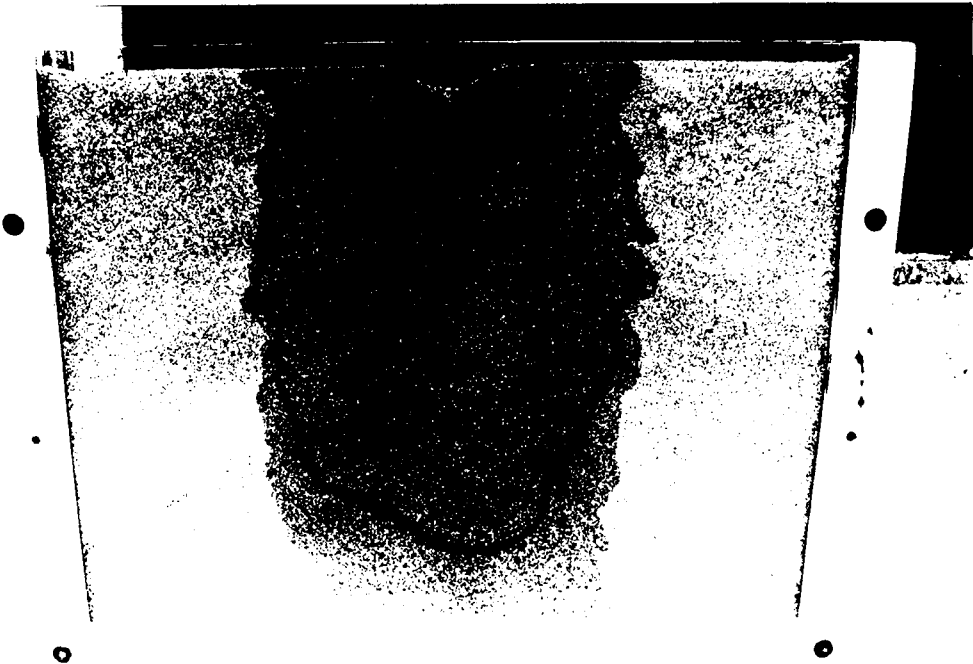
5. Za različne drevesne vrste je značilen povprečen kot, pod katerim so glavne korenine vrasle v tla. Voda zato pri različnih drevesnih vrstah tudi različno hitro prodira v tla pa tudi v različne globine.

3.2. Metode zbiranja podatkov

Raziskava je potekala v kabinetu in v naravi. Laboratorijski del raziskave je preizkusil pravilnost postavljene hipoteze v kontroliranih pogojih, terenski del pa je skušal pokazati uporabno vrednost dognanj.

A. L a b o r a t o r i j s k o d e l o

Kontrolirane okoliščine v preiskovanju pomena korenin za prevajanje vode v tleh smo dosegli tako, da smo spremljali ponikanje vode skozi homogen substrat. Spremljanje nam je omogočila posebej za raziskavo izdelana pedorama (slika 4).



Slika 4: Pedorama z enim od vzorcev ponikanja

V pedorami je bila nasuta 1 cm (2,3 ali 6) debela plast substrata, z zgornje strani je bil vrezan žlebič v katerega je dotekala voda tako, da žlebič ni bil nikdar suh.

Premikanje čela vlaženja smo spremljali skozi sprednje steklo in beležili v različnih časovnih intervalih, ki so bili v začetku krajši nato pa vse daljši. Intervali so bili 5, 5, 10, 15, 30 min.

Vzorci vlaženja smo spremljali v različnih razmerah, predvsem pa smo skušali ugotoviti vlogo korenin pri prevajanju vode v globino. Upoštevane so bile naslednje možnosti:

1. homogen substrat brez koreninic (za primerjavo)
2. homogen substrat z dvema skoraj vodoravnima koreninama
3. homogen substrat z eno poševno korenino pod kotom okrog 45°
4. homogen substrat z navpično korenino
5. nehomogen substrat (v lahko propustni plasti postavljena malo propustna plast) z navpično korenino

Za substrat v pedorami je bila uporabljena presejana in homogenizirana zemlja, odvzeta na mestih, kjer so bili nato izvedeni poizkusi v naravi. Tla so precej težka, ilovnatopeščena, s precej glinastih delcev. V nehomogenem vzorcu je bila za lahko propustno plast uporabljena mivka, za slabo propustno plast pa stlačena zemlja kot v ostalih vzorcih.

B. T e r e n s k o d e l o

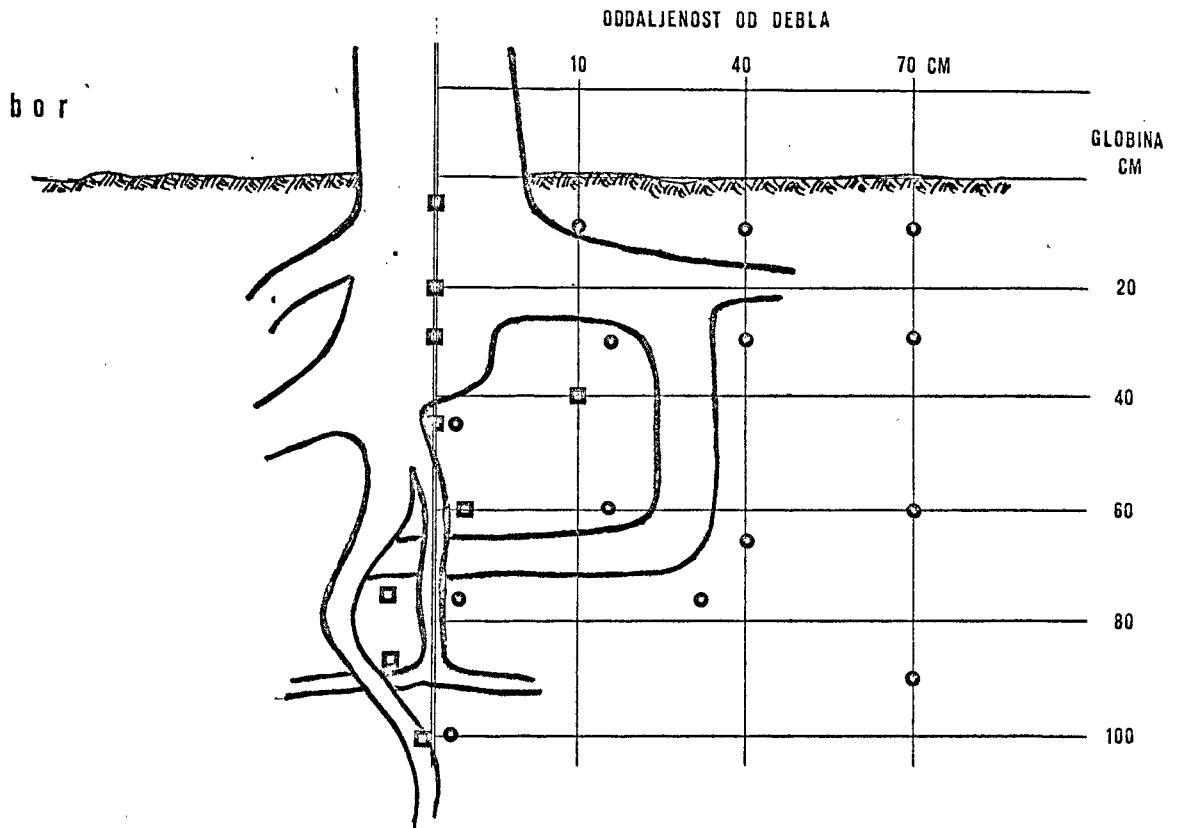
Na terenu smo skušali potrditi laboratorijske izsledke ter postaviti zaključke v naravnih razmerah. Raziskava se je omejila na 2 drevesi, bukev in bor, ob katerih smo ugotavljali vertikalno in horizontalno razporeditev vlažnosti pred pojavom odtoka po deblu in po njem. Odtok po deblu je bil simuliran, ker z naravnimi padavinami ni bila dosežena dovolj velika koncentracija padavinske vode.

Potrebna količina vode za namakanje je bila eksperimentalno določena. V različnih globinah ob deblih je bil odvzet talni vzorec ter določena razlika med dejansko vlažnostjo in retencijsko kapaciteto. Nato je bila izračunana potrebna količina vode, s katero bi se koloobar okrog debla do širine 40 cm in do globine 100 cm nasitil z vodo.

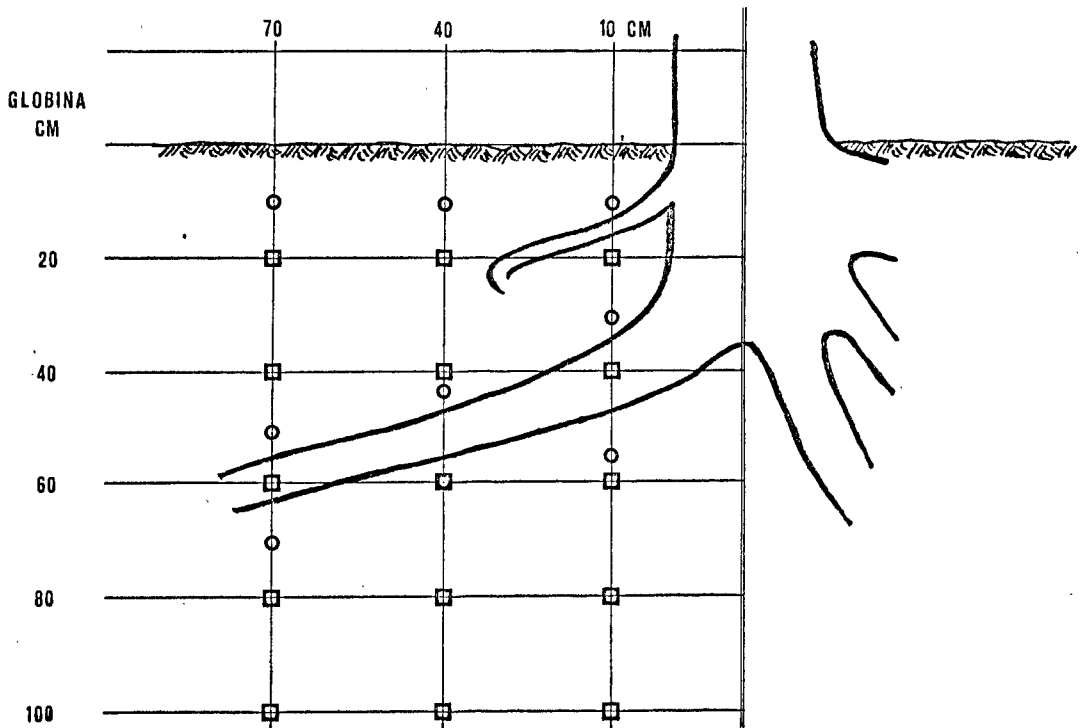
Izračunana množina dodatne vode je bila 18 l, kar za odtok po deblu ne pomeni velike količine, saj nekateri gozdarski hidrologi poročajo tudi o 20x močnejših odtokih po deblu (11). Vodo smo nato z vrtno škropilnico počasi vlivali po deblu z vseh strani in skrbeli, da je bila čimbolj enakomerno porazdeljena po vsem oboju debla.

Vlačnost vzorcev smo izmerili na običajen način s tehtanjem in sušenjem. Vzorci so bili vzeti iz tal s pedološko sondo v globinah 20, 40, 60, 80 in 100 cm ter na oddaljenostih 10, 40 in 70 cm od debla. Vzorčenje naj bi pokazalo vlažnostni profil tal v eni ravnini in sicer ob glavnih vertikalnih oziroma stranskih poševnih koreninah. Takoj po odvzemu so bili vzorci stehtani na analitski tehtnici, nato pa izpostavljeni namakanju, da bi se določila ^{retencijska} kapaciteta vzorca za vlago. Šele nato je bil vzorec sušen do konstantne teže in ugotovljeni vlažnost ob odvzemu ter retencijska kapaciteta za vodo. Nato je bil izračunan količnik med vlažnostjo in retencijsko kapaciteto, ki je šele pokazal razpored vlažnosti v tleh v bolj izenačenih pogojih.

Poleg nabiranja vzorcev s površine tal s pedološko sondo, so bili vzorci zbrani tudi iz vertikalnega profila pedoloških jam, ki sta bili izkopani ob drevesih. Vzorci so bili vzeti s k Kopeckyjevimi cilindri volumna 100 cm^3 spet v enakih globinah, sistematično po vsem profilu pa tudi na značilnih mestih ob koreninah (slika 5). Predvidvana neizenačenost strukture tal, ki vpliva na količino vode v vzorcu in ki je nismo mogli kontrolirati, je bila izenačena spet z ugotavljanjem retencijske kapacitete vzorcev za vodo in izračunani količniki med dejansko vlažnostjo in retencijsko kapaciteto. Hkrati z jemanjem vzorcev iz odkopanega profila, smo tudi ugotovili položaj glavnih korenin, ki je gil pred odkopom le predpostavljen, po odkopu pa tudi potrjen. Pri obeh tako preiskanih drevesih si korenine ležale tako, da so ponazarjale dva različna koreninska sistema in niso odstopale od splošne podobe koreninskih sistemov rdečega bora (sistem z osrednjo korenino) in bukve (sistem s srčnimi koreninami).



buk ev



Slika 5: Shema odvzema vzorcev tal pri boru in bukvi s Kopeckyjevimi cilindri (●) ali drugače (□□)

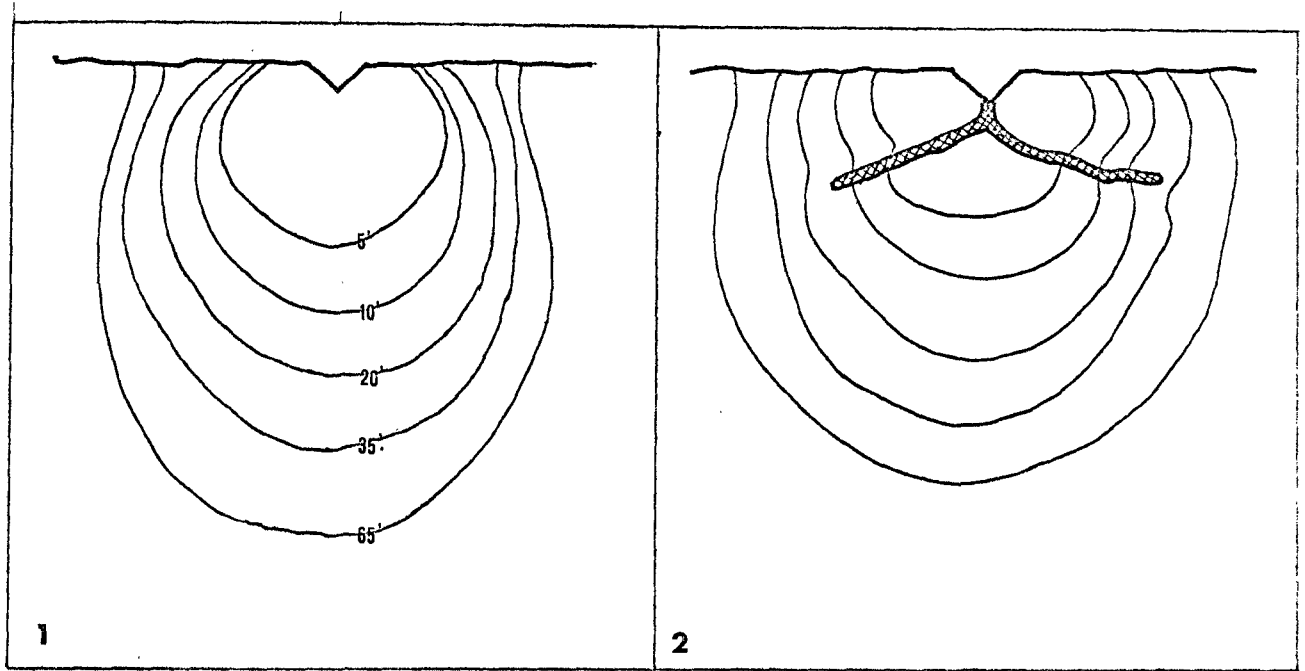
4. REZULTATI RAZISKAVE

A. Laboratorijska raziskava

Ugotavljanje načina in hitrosti ponikanja vode in širjenja vlažnosti v homogenem substratu je upoštevalo štiri možnosti: popolnoma homogen profil brez korenin, homogen profil z rahlo nagnjenimi koreninami, homogen profil s poševno korenino in homogen profil z navpično korenino. Navedeni vzorci položaja korenin v talnem profilu naj bi ponazarjali poleg profila brez korenin, ki rabi za primerjavo, tri osnovne tipe koreninskih sistemov - sistem z ob površinskimi koreninami, sistem s srčnimi koreninami in sistem s centralno korenino. Podobe širjenja vlažnosti pri teh štirih vzorcih so se med seboj razlikovale, med njimi je najbolj odstopal vzorec sistema z navpično korenino. Pri navpični korenini je čelo vlaženja doseglo v istem času največjo globino. Vzorca z rahlo nagnjenimi in poševno korenino se po globini čela vlaženja nista razlikovala, tudi od primerjalne podobe ne, različna pa je bila smer vlaženja in s tem oblika ločnice med vlažnim in suhim delom profila (slika 6). Hitrost ponikanja vode v globino ob koreninah kaže tudi grafikon o doseženih globinah talnega profila v časovnih intervalih 5, 10, 20, 35 in 65 min po začetem vlaženju (Tabela 1, slika 7).

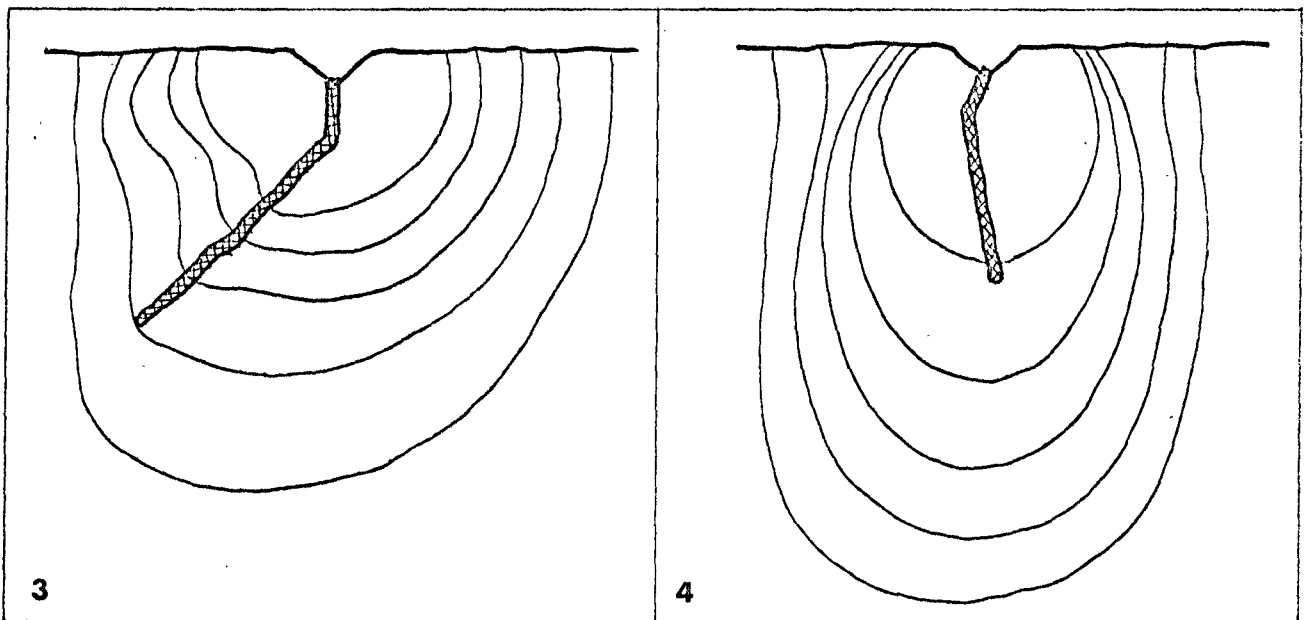
Peti vzorec je ponazarjal nehomogen talni profil, v katerem leži slabo propustna plast znotraj dobro propustnih plasti. Slabo propustna plast je predrta s korenino, ki naj bi pospeševala ponikanje oziroma prehajanje vode skozi slabše propustne talne horizonte. Podoba tega vzorca je zelo zanimiva. V začetnih fazah ponikanja se vlažnost širi kot pri vzorcu z navpično korenino, torej bolj v globino kot v širino, ko voda naleti na slabo propustno plast, se na njej prične nabirati in raztekati. Nato sledi prodor skozi plast ob navpični korenini, ki usmeri vodo navzdol in jo tudi skoncentrira, saj se vpliv korenine pozna še globlje, kjer korenine ni več. Časi beleženja so bili nekoliko daljši in so si sledili v intervalih 10, 10, 10, 15 in 30 minut (slika 8).

Slika 6: Vzorci ponikanja vode ob različno nagnjenih koreninah - pedorama



brez korenine

vodoravne korenine



poševna korenina

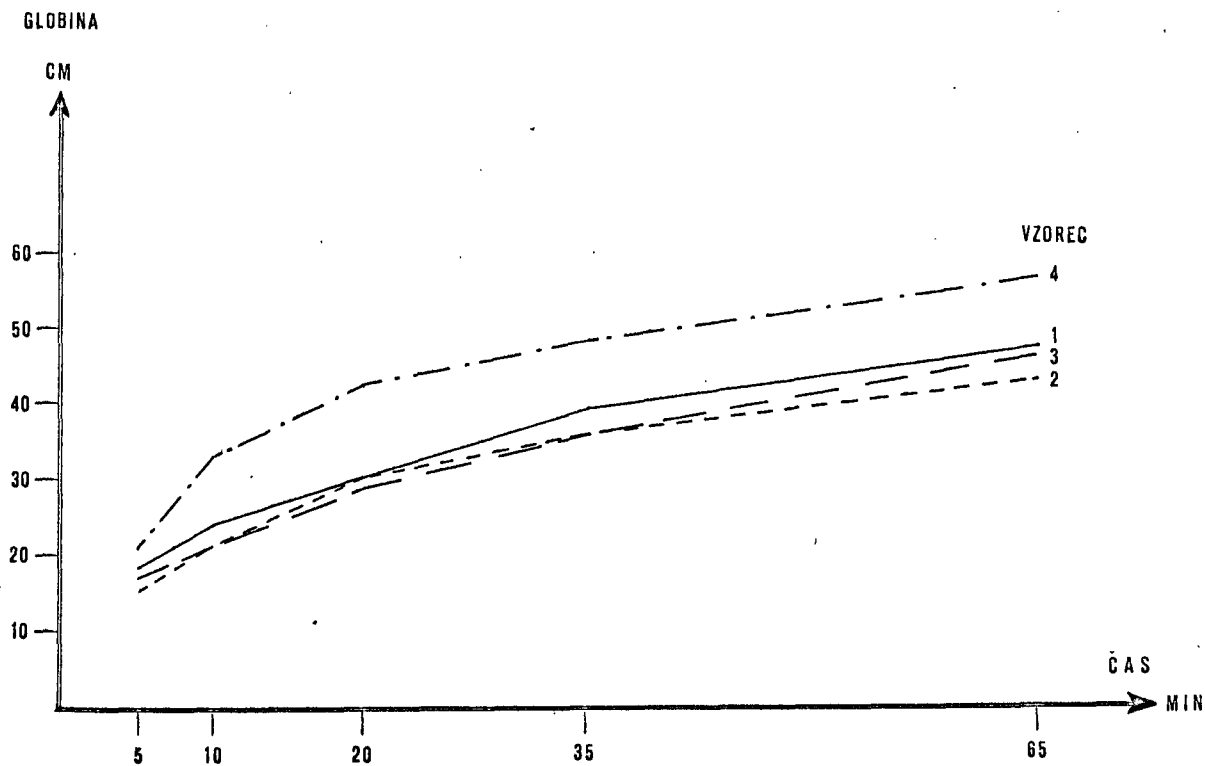
navpična korenina

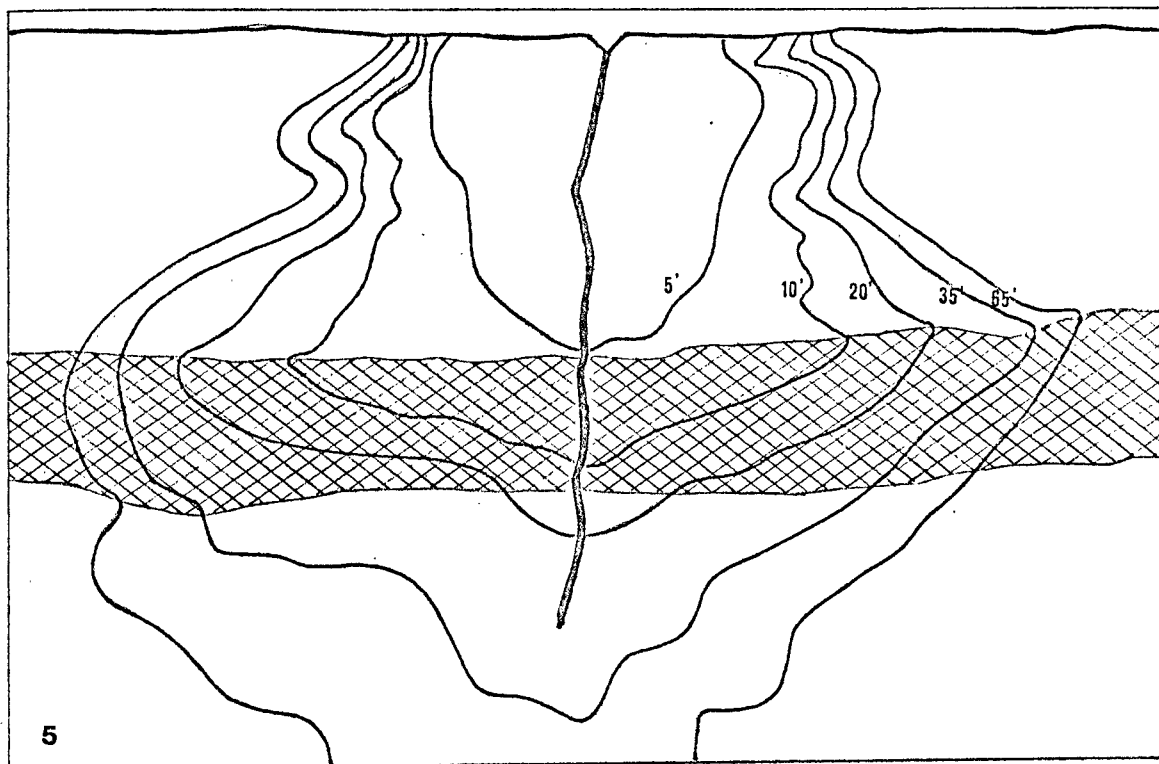
Tabela 1

GLOBINA ČELA VLAŽENJA (cm) IN HITROST PONIKANJA
 VODE (cm/min) V PEDORAMI PRI RAZLIČNIH NAGIBIH KORENIN

Čas meri- tve po začetku	In- ter- val	N a g i b k o r e n i n				navpično(4)	
		brez (1) cm	cm/min	vodoravno (2) cm	cm/min	45°(3) cm	cm/min
	5	0,36		0,30		0,34	0,42
5	18		15		17		21
	5	0,12		0,12		0,08	0,24
10	24		21		21		33
	10	0,06		0,09		0,08	0,09
20	30		30		29		42
	15	0,06		0,04		0,46	0,04
35	39		36		36		48
	30	0,026		0,022		0,034	0,026
65	47		43		46		56

Slika 7: Dosežena globina vlaženja v opazovalnih intervalih





Slika 8: Vzorec ponikanja vode ob korenini skozi malo propustno plast - pedorama

B. T e r e n s k e r a z i s k a v e

V naravnih razmerah smo profile vlažnosti s pomočjo talnih vzorcev določali dvakrat. Prvič so bili vzorci odvzeti s pedološko sondo ob koncu daljšega sušnega obdobja, drugič pa po izdatnejših padavinah, ki pa najbrž niso povzročile velikega odtoka po deblih, in dodatnem škropljenju debla, s katerim smo simulirali odtok po deblu. Vlažnostni profili pred in po padavinah so se bistveno razlikovali med seboj (Tabela 2). Pri bukvi je vlažnost v sušnem obdobju naraščala z globino. Najmanjša je bila na površini (ok.20%), največja pa v globini 1 m, do kamor je segla sonda (29-30%). Pri bukvi je bila v globini 60-80 cm manj propustna plast, ki se kaže tudi v zmanjšani vlažnosti pod njo. Večja vlažnost v globini 100 cm pa je najbrž še posledica talne vode. Profili vlažnosti so bili zelo podobni pri vseh treh oddaljenostih, zato je bil za sušno obdobje izračunan povprečni globinski profil vlažnosti, ki ima v nadaljnji obdelavi primerjalno vlogo.

Po padavinah se je razporeditev vlažnosti povsem obrnila (slika 9). Največje vrednosti so bile na površini tal, nato pa je vlažnost z globino padala do 80 cm, kjer je bila približno enaka kot v sušnem obdobju. Največja vlažnost tal je bila tik ob deblu, nato pa se je z oddaljevanjem od debla manjšala. Razlika s primerjalnim profilom vlažnosti pred padavinami je opazna do globine 60 cm, kjer se prične slabše propustna plast.

Pri boru, ki ponazarja koreninski sistem z vertikalno glavno korenino, meritev vlažnosti v sušnem obdobju nismo izvedli. Za primerjalni vlažnostni profil smo uporabili tistega, ki je od debla in centralne korenine oddaljen 70 cm (glej sliko 5). Profili vlažnosti so bili napravljeni za oddaljenosti od debla 70, 40 in 10 cm, eden pa še za območje največje koncentracije padavinske vode, t.j. tik ob deblu. Tik ob deblu smo vzorčili v dveh nizih, enkrat s Kopeckyjevimi dilindri v večjih globinah, drugič pa običajno s pogostejšimi vzorci od površine tal do globine 100 cm.

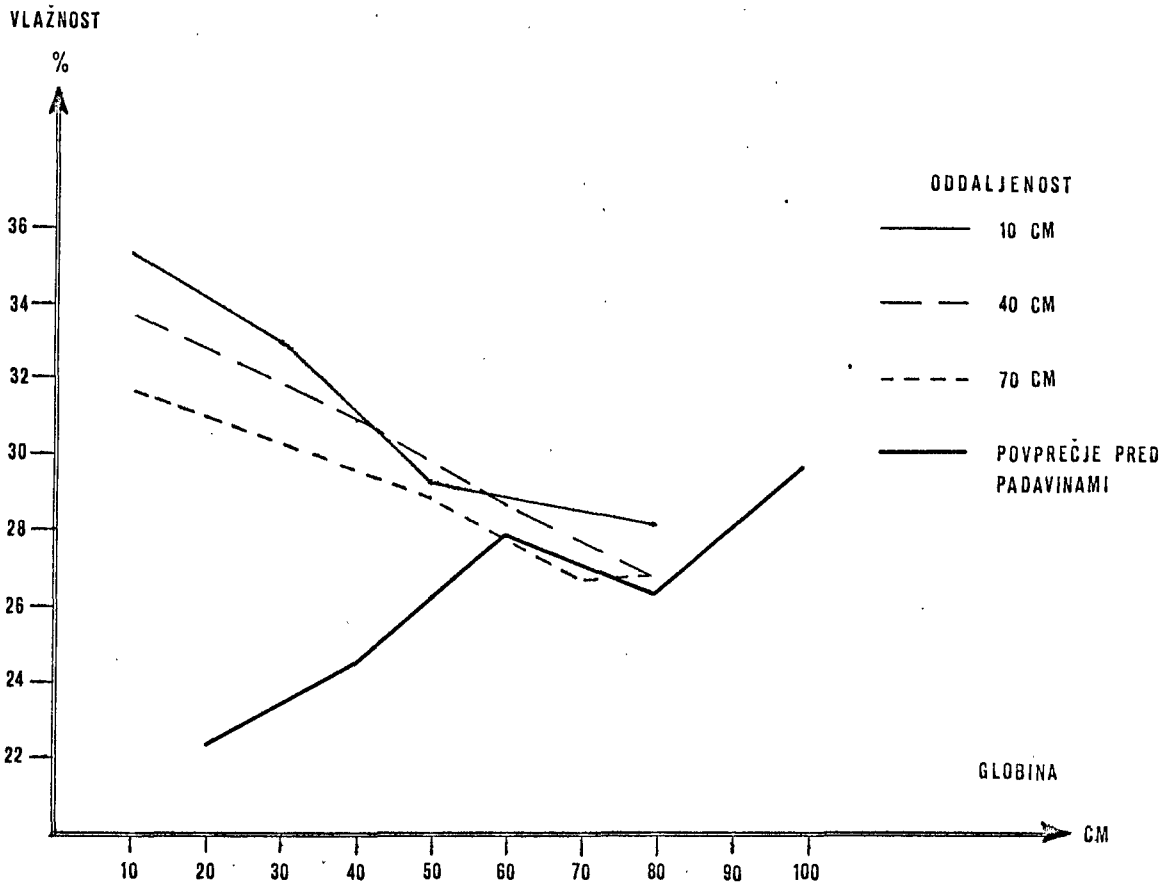
Tabela 2

GLOBINSKI PROFIL VLAŽNOSTI TAL V RAZLIČNIH ODDALJENOSTIH
OD DEBLA PRED IN PO PADAVINAH - koreninski sistem bukve

globina cm	Oddaljenost od debla - cm						povprečno pred
	10 cm		40 cm		70 cm		
	pred	po	pred	po	pred	po	
10		35,39		33,68		31,81	
20	22,52		22,00		22,20		22,24
30		32,91					
40	25,10		25,43	30,93	22,88		24,47
50		29,28				28,82	
60	27,59		27,31	28,67	27,50		27,47
70						27,69	
80	27,03	28,10	26,08	26,82	25,95	26,03	26,35
90							
100	26,69		30,25		29,05		29,66

Profili vlažnosti imajo podoben tok. Največjo vlažnost smo ugotovili na površini tik ob deblu (39,65%) in najmanjšo v globini 90 cm na oddaljenosti 70 cm (18,66% - Tabela 3). Ker se sposobnost zadrževanja vode spreminja z globino, je bilo to spreminjanje treba upoštevati. Delež dejanske vlažnosti glede na maksimalno vlažnost = retencijsko kapaciteto nam pove, do kolikšne mere je posamezna plast (vzorec) z vodo nasičen. Ti deleži so pokazali nekoliko drugačno podobo, kot dejanske vlažnosti. Največja nasičenost se je pojavila sicer tik ob deblu, vendar v večjih globinah, najmanj pa so bile talne

Slika 9: Razporeditev vlažnosti v različnih oddaljenostih od debla pred in po padavinah



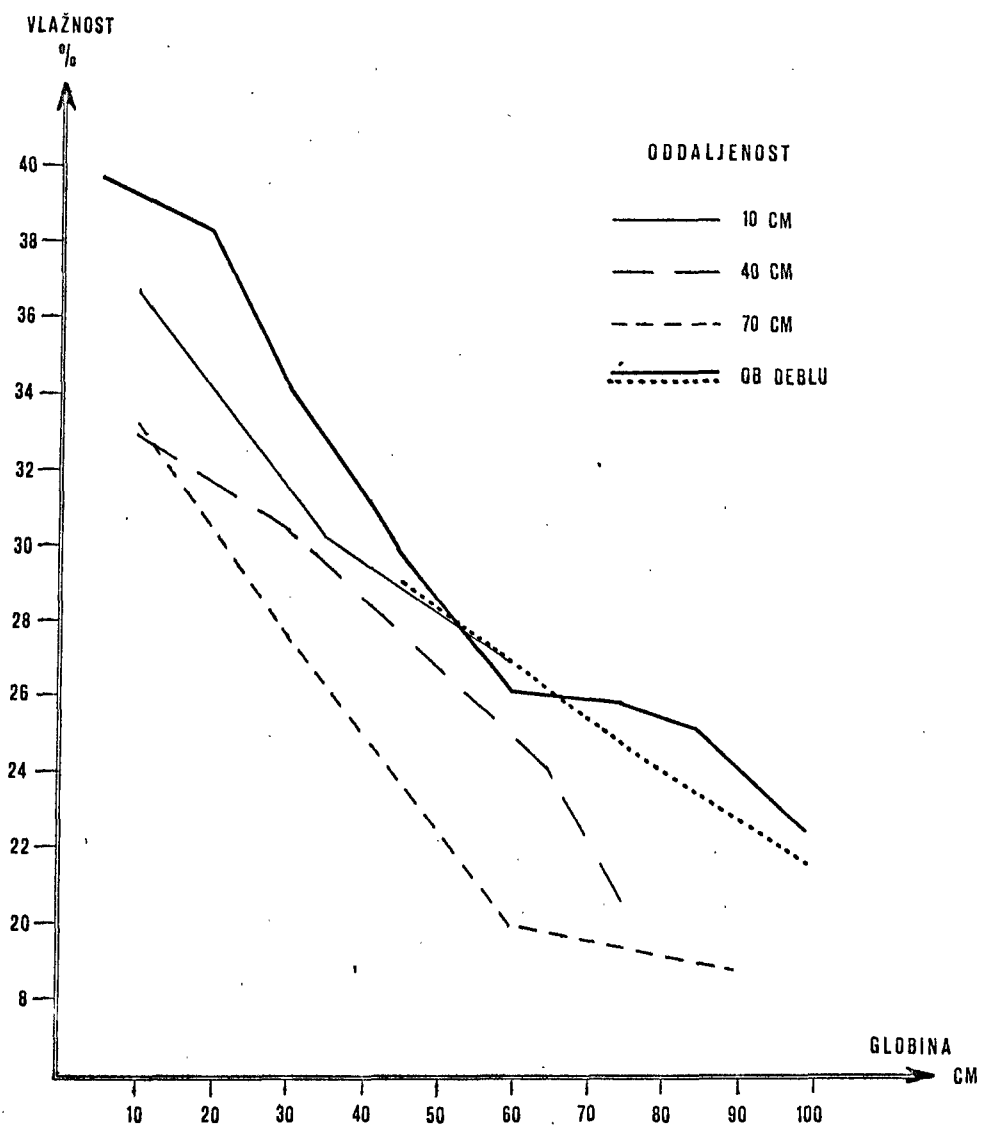
plasti nasičene z vodo na površini in v globini 90 cm na največji oddaljenosti (sliki 10, 11).

Tabela 3

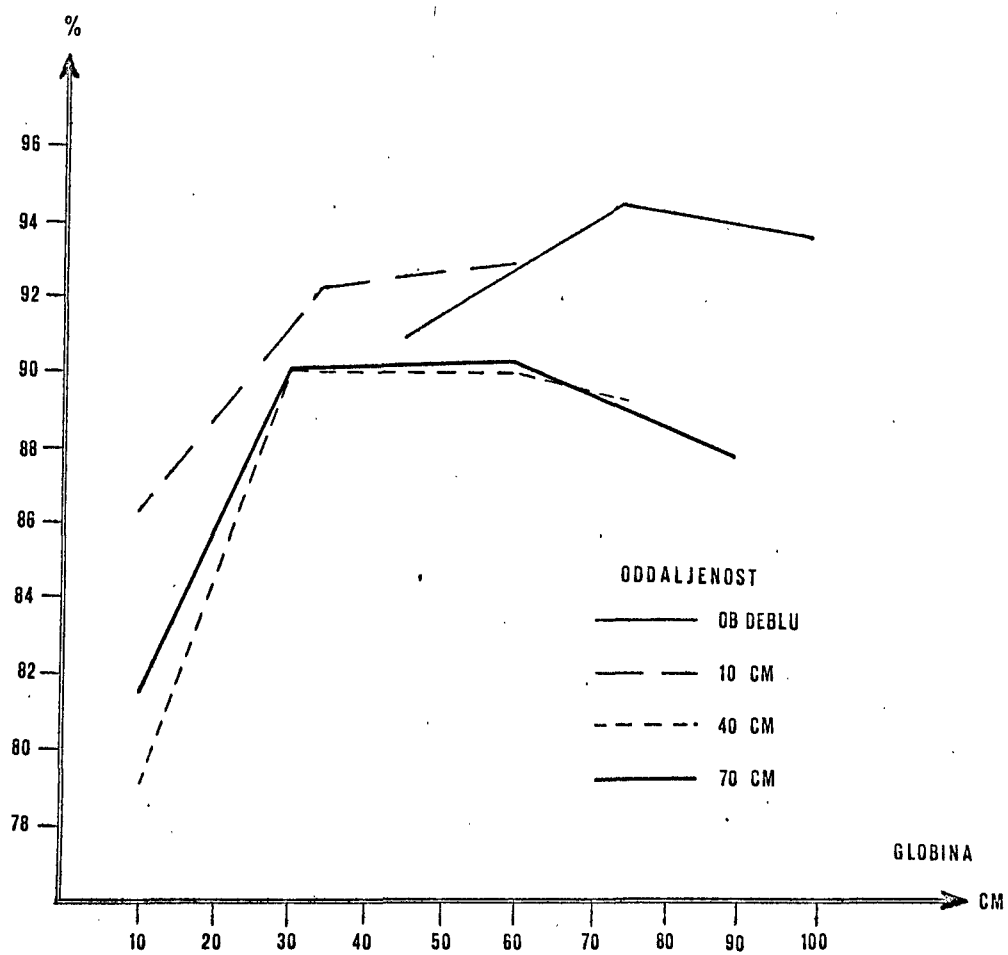
GLOBINSKI PROFIL VLAŽNOSTI TAL V RAZLIČNIH ODDALJENOSTIH OD DEBLA PO PADAVINAH IN DODATNEM ŠKROPLJENJU - koreninski sistem bora

globina cm	Oddaljenost od debla - cm								
	ob deblu			10 cm		40 cm		70 cm	
	vlač.	vlač.	%	vlač.	%	vlač.	%	vlač.	%
5	39,65								
10				36,74	86,30	32,93	79,10	33,17	81,59
20	38,19								
30	34,16					30,42	90,12	27,58	90,08
35				30,29	92,22				
40	31,31								
45	29,82	29,04	90,93						
60	26,17			26,97	92,87			19,88	90,26
65						24,07	90,12		
70									
75	25,92	24,75	94,53			20,52	89,26		
85	25,12								
90								18,66	87,84
100	22,34	21,51	93,63						

Slika 10: Profili vlažnosti tal v različnih oddaljenostih od debla pri koreninskem sistemu bora



Slika 11: Nasičenost tal z vodo (v %) v talnih profilih različno oddaljenih od borovega debla



5. Z A K L J U Č K I

Na osnovi raziskave ni mogoče postaviti splošno veljavnih zaključkov, ker so bili rezultati dobljeni iz premajhnega števila poskusnih objektov. Rezultati zato tudi niso mogli biti preverjeni s pomočjo statističnih metod. Zaključki tako dajejo le osnovno orientacijo dognanj o odnosu med koreninskimi sistemi in ponikanju padavinske vode in jih bo potrebno še potrditi v najrazličnejših talnih razmerah.

Rezultati izvedenih laboratorijskih raziskav, ki naj bi s pomočjo kontroliranih razmer dale teoretsko osnovo ter rezultati raziskav v naravnem okolju nam omogočajo napraviti naslednje zaključke:

1. Korenine so dejavnik, ki spreminjajo način in stopnjo ponikanja vode skozi tla.
Spremljanje širjenja vlažnosti in ponikanja vode skozi homogen substrat z različno položenimi koreninami je jasno pokazal, da korenina usmerja ponikujočo vodo v tisti smeri v kateri leži.
2. Stopnjo ponikanja pospešujejo predvsem tiste korenine, ki ležijo navpično, ali so temu položaju blizu. Poševne korenine vodo slabše vodijo v glovino; sposobnost prevajanja vode v globino se manjša s približevanjem nagiba korenin k vodoravnemu položaju. Najučinkovitejša je gotovo vertikalna korenina. Njen učinek se v primerjavi vseh štirih vzorcev edini razlikuje od ostalih (sliki 6,7). Rahel vpliv vodovodne sposobnosti korenin je opaziti tudi pri poševno položenih koreninah (vzorec 3), vendar je praktično nepomemben.
3. Navpične korenine omogočajo hitrejše ponikanje skozi slabo propustne talne plasti.
Vzorec 5, ki je obravnaval prav tak primer, je dodatno potrdil pomen korenin, pri prevajanju padavinske vode v večje globine in do talnice.
4. Tudi v naravi je povečano ponikanje ob koreninah mogoče potrditi le pri vertikalnih koreninah.
Na profil vlažnosti pri bukvi, pri kateri je srčna korenina prodirala poševno v tla, ni bilo opaziti nobenih nepravilnosti. Vsi

trije profili, na različnih oddaljenostih od debla, so si bili zelo podobni in so se razlikovali le v globinah 10 in 30 cm, v globini 50 - 60 cm pa so dosegli praktično isto vrednost.

Nasprotno se je pri boru pokazalo, da vlažnost tal upada z oddaljenostjo od debla in s povečevanjem globine. Glede na primerjalni profil so bile razlike med njim in ostalimi tem večje čim bliže debla je bil obravnavani profil vlažnosti.

5. Sistem korenin s centralno glavno korenino (bor) tudi v naravnih razmerah pospešuje ponikanje vode v tla.

Pri koreninskih sistemih s centralno korenino ta pomeni nadaljevanje debla. Močna koncentracija padavin zaradi odtoka po deblu se na tleh ne zmanjša, ampak ob centralni korenini ali drugih močnih navpičnih koreninah nadaljuje svojo pot v globino. Ta ugotovitev je potrjena v raziskavi. Stopnja nasičenosti tal z vodo (t.j. delež dejanske vlažnosti v retencijski kapaciteti tal za vodo) je bila največja v tleh tik ob deblu v globinah od 70-90 cm, na 10 cm oddaljenosti je bila nasičenost tal z vodo še vedno večja kot na primerjalnem profilu, medtem ko v oddaljenosti 40 cm od debla ni bilo opaziti nobenih razlik med tem in primerjalnim profilom.

6. Hitrost in količina poniknjene vode sta v tleh, ki so prekoreninjene z navpičnimi ali skoraj navpičnimi koreninami, večje kot v tleh, ki nimajo takih vodnikov kot so žive ali odmrle korenine, oziroma kanali, ki ostanejo za odmrli koreninami. V tleh, kjer je koreninje usmerjeno poševno ali bolj proti površini voda ponika enako hitro, kot tam kjer drevesnih korenin sploh ni. Vodnogospodarsko vrednost imajo torej le tiste drevesne vrste, ki imajo centralno glavno korenino, ali predvsem k vertikalni nagnjene srčne korenine.

Gozdnogojitveni zaključki:

Težko je na osnovi le nekaj dognanj postaviti vodnogospodarsko oceno drevesnih vrst, s katerimi želimo dosežati dobre lesnoproizvodne, okoljetvorne in tudi vodnogospodarske učinke. Vodnogospodarsko ali hidrološko oceno drevesne vrste moramo postavljati na osnovi večih hidroloških značilnosti drevesne vrste: porabi vode oziroma transpi-

racijskem koeficientu, velikosti intercepcije in prepuščanju padavinske vode, odtoka po deblu in seveda tudi pospeševanja tega odtoka v globino tal. Kadar od vseh teh značilnosti ločeno gledamo le na vodovodno sposobnost vrste pri usmerjanju padavinske vode s krošenj v talnico, moramo upoštevati tako odtok po deblih kot koreninski sistem. Najugodnejše hidrološke lastnosti imajo tako vrste, pa tudi provenience ali fenotipi, pri katerih je odtok po deblih močan, obenem pa se odlikujejo s koreninskim sistemom s centralno glavno korenino, ki sega globoko v tla. Pestrost rastiščnih razmer pa ne dovoljuje enostranskega uvajanja vrst z najugodnejšimi lastnostmi. Zato je treba najti tisto drevesno vrsto, ki bo ustrezala rastiščnim razmeram, obenem pa bo imela tudi dobre vodnogospodarske lastnosti. Pogosto so to le približki idealno zamišljenemu drevesu. Pri prevajanju vode v tla v gospodarjenju z gozdovi prihajajo v poštev vse tiste drevesne vrste, ki imajo koreninski sistem s centralnimi koreninami ali z navpično usmerjenimi srčnimi koreninami, pa tudi vrste pri katerih se pojavlja močan odtok po deblih. V naših razmerah lahko računamo na naslednje drevesne vrste: centralno glavno korenino imajo: dob, jelka, rdeči bor, rdeči hrast, koreninski sistem s srčnimi koreninami pa macesen, duglazija, bukev, lipa.

Močan odtok po deblu se pri naštetih drevesnih vrstah pojavlja le pri bukvi, tako da lahko bukev z vodnogospodarskega vidika ocenimo kot najugodnejšo, čeprav ima koreninski sistem s srčnimi koreninami.

Kadar bo torej gozdnogospodarski cilj poleg proizvodnje zahteval tudi ugodnejšo vodno bilanco zlivnega območja, kjer so npr. črpališča talnice za oskrbo prebivalcev s pitno vodo in industrije z zahtevnejšo tehnološko vodo, bo treba uporabiti drevesne vrste z najugodnejšimi hidrološkimi lastnostmi. Poleg upoštevanja vseh bioloških in ekoloških lastnosti posamezne drevesne vrste kot najustreznejše vrste je treba upoštevati tiste, ki imajo najenakomernejšo porabo vode (majhen transpiracijski koeficient), veliko prepuščanje padavin skozi krošnje poleti in pozimi, čimvečji odtok po deblu in čimbolj navpičen koreninski sistem. Žal v tem trenutku še ni mogoče razvrstiti drevesnih vrst po celoviti hidrološki ali vodnogospodarski vrednosti, ki bi upoštevala vse zgoraj naštete lastnosti. Naše raziskave o snežnem režimu in o koreninskih sistemih dajejo prednost listavcem, pred-

vsem bukvi. Seveda je izbor drevesne vrste odvisen od mnogih dejavnikov, tudi vodnogospodarskih, in je rezultat izbora drevesne vrste vedno tista vrsta, ki ustreza največim. Pri ocenjevanju vodnogospodarske vloge so pomembne tudi biološke lastnosti drevesne vrste, zlasti odnos med drevesno vrsto in talnimi lastnostmi. Z vodnogospodarskega vidika so privlačnejše tiste vrste, ki vzdržujejo ali pospešujejo poroznost tal, infiltracijo in ponikanje v globlje talne plasti. To so vrste, ki omogočajo nastajanje tal sposobnih hitrega prevajanja vode s površine v globino. Ponovno lahko ugotovimo prednost listavcev pred iglavci, med listavci pa prednost bukve pred ostalimi.

6. D I S K U S I J A

Pri svojem delu sem naletel na zelo malo konkretnih raziskav, ki bi se ukvarjale z vlogo korenin pri prahajanju padavinske vode v tla. Avtorji so temu problemu dajali le obrobni pomen pri študiju celotnega vodnega režima in vodne bilance gozdnatega zemljišča. Vendar pa so nekateri med njimi opozarjali, da problem gotovo ni obrobni in da v določenih razmerah korenine igrajo pomembno vlogo pri vodenju vode v talnico (Voigt v 14). Najtemeljiteje se je s hidrološko vlogo korenin gozdnega drevja ukvarjal Valek (17), ki pa tudi ni problema načel na široko. Le pri njem je tudi mogoče dobiti konkretne številke, ki pa jih zaradi drugačnih razmer le težko primerjamo. Valek je npr. ugotovil, da je voda prodrla v globino ob navpičnih in poševnih koreninah, pri vodoravnih pa ne, saj je pri slednjih vlažnost prodrla le 2-5 cm globoko, pri prvih pa zlahkoto v globino 30-35 cm. Podobno vodovodno sposobnost je ugotovil tudi za kanale, ki nastanejo po zginitju korenin.

Z našimi rezultati se Valekovim dognanjem lahko pridružimo, čeprav se pojavljajo nekatera neskladja, v marsičem pa jih lahko dopolnimo. V naših raziskavah nismo mogli ugotoviti povečane vlažnosti ob poševnih koreninah. Morda je bil kot pod katerim je bukova korenina prodirala v tla premajhen (okrog 30°) in je bila zato korenina bolj obpovršinska kot srčna. Pri vertikalnih koreninah pa se naša dognanja skladajo z Valekovimi, povečana vlažnost se je v naši raziskavi pojavila kljub težkim tlem in manjši hitrosti ponikanja v globini 70-100 cm.

Naša raziskava tako pomeni najosnovnejše znanje o vlogi korenin, koreninskih sistemov in s tem drevesnih vrst pri vodenju padavinske vode v tla in talnico. Ob raziskavi so se namreč porajala nova vprašanja, ki zahtevajo odgovore kdaj v bodočnosti. Vsiljuje se primerjava med odtokom po deblu in odtekanjem ob koreninah. Pri obeh se pojavlja trden vodnik ob katerem ali po katerega površini odteka voda. V nadzemnem delu je odtok v marsičem odvisen od hrapavosti vodnika - debla. Verjetno analogija velja tudi za podzemni del - korenine, čeprav jih obdaja popolnoma drugačen substrat s povsem drugačnimi

fizikalnimi in hidrološkimi lastnostmi. Za bodočo raziskavo bo prav gotovo zanimivo povezati hrapavost korenin z obkoreninskim ponikanjem vode, z njegovo intenzivnostjo in hitrostjo in poiskati zvezo med njima. Rezultat te raziskave bo prav gotovo imel tudi praktičen pomen, saj bo dal eno od osnov za razvrstitev drevesnih vrst po njihovem hidrološkem oziroma vodnogospodarskem pomenu, ki ga bomo v bodoče pri načrtovanju optimalnega gozdnega donosa morali bolj in bolj upoštevati v našem mnogonamenskem gozdnem gospodarjenju.

7. L I T E R A T U R A

1. Barner, J.: Gozdnogojitvene, biološke in ekološke možnosti za povečanje odvišne vode iz gozda, Gozd.V., vol.34, no.7-8, (1976)
2. Burlica, Č.: Vodni režim najvažnijih tipova šumskih zemljišta Bosne, disertacija, Sarajevo, 1972
3. Chow, V.T.: Handbook of applied hydrology, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1964
4. : Forest Influences, FAO Forestry and Forest Products Studies No.15, Rim 1962
5. Geiger, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1961
6. Hillel, D.: Soil and Water, Physical principles and processes, Academic Press, New York, 1971
7. Hoover, M.D.: Interception of rainfall in a young loblolly pine plantation, US Forest Service Southeast F. Expt.Sta.Paper No. 21, 1953
8. Köstler, J.N., Brückner, E., Bibelriether, H.: Die Wurzeln der Waldbäume, Paul Parey, Hamburg, 1968
9. Kramer, P.J.: Plant and soil water relationships, Mc Graw-Hill Book Company Inc., New York, 1949
10. : Metode istraživanja fizičkih svojstava zemljišta, Jugoslovensko društvo za proučavanje zemljišta, Beograd, 1971
11. Mitscherlich, G.: Wald, Wachstum und Umwelt, 2.knjiga: Waldklima und Wasserhaushalt, J.D.Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 1971
12. Moltschanov, A.A.: Die hydrologische Rolle des Kiefernwaldes auf Sandböden, Deutscher Bauernverlag, Berlin, 1957
13. Rode, A.A.: Das Wasser im Boden, Akademie-Verlag, Berlin, 1959

14. Sopper, W.E. in Lull, H.W.: International Symposium on Forest Hydrology, Pergamon Press, Oxford, 1967
15. : Študija o perspektivnem porastu porabe vode in o potrebnih ukrepih za zaščito razpoložljivih voda, Republiški sekretariat za urbanizem SRS, Ljubljana, 1969
16. Taylor, S.A.: Physical Edaphology, W.H.Freeman and Company, San Francisco, 1972
17. Valek, Z.: Lesy, pole a pastviny v hidrologii pramených oblasí Kychové a Zdechovky, Výzkumný Ústav vodohospodářský, Práce a Studie, sešit 106, Praha-Podbaba, 1962
18. Voigt, G.K.: Distribution of rainfall under forest stand, Forest Science, vol.6, no.1, (1960)

ed. 128