

Zb.gozdarstva in lesarstva, L.16, št. 1, s.83 - 108, Ljubljana 1978

UDK: 634.0.111.781:634.0.228

PORAZDELITEV DEŽJA V SESTOJNI ODPRTINI

Mag. Igor SMOLEJ, dipl.ing.gozd.  
Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo Slovenije  
61000 LJUBLJANA, Večna pot 2, YU

---

## S i n o p s i s

### PORAZDELITEV DEŽJA V SESTOJNI ODPRTINI

Napravljen je bil poskus razložiti porazdelitev dežja v sestojni odprtini z indeksom 3,7 kot posledico vetrnih razmer v tej odprtini. Pokazalo se je, da je padavinski maksimum za 12% večji od padavin na prostem in pomaknjen od centra proti JV, dežna senca pa je najširša (1/2 sestojne višine) na nasprotni SZ strani.

## S y n o p s i s

### DISTRIBUTION OF RAINFALL IN A FOREST OPENING

The distribution of rainfall was examined in connection with wind conditions in a forest opening with an index of 3,7. Analysis of data showed that the rainfall maximum in the forest opening exceed rainfall out in the open by 12% and that this maximum was shifted from the center to the southeast by prevailing winds. The "rains shadow" was the widest (1/2 neighboring stand height) on the northwest side.

## 1. UVOD IN PROBLEM

Sestojne odprtine so začasno ali trajno z drevjem neporasli deli gozdnega sestoja. Imenujemo jih tudi jase, vrzeli, luknje in so značilnost naravnega razvoja gozda. V pragozdu nastajajo zaradi odmiranja fiziološko dozorelih dreves ali kot posledice ujm in katastrof, v gospodarskem gozdu pa se pojavljajo načrtno in v skladu z gospodarskimi cilji.

V sestojni odprtini so klimatske in s tem tudi padavinske razmere drugačne kot v sklenjenem sestoju ali na negozdnati odprti površini. Na klimo oziroma padavine v sestojni odprtini vpliva obkrožujoči sestoj. Ta je tem vplivnejši, čim manjša je odprtina in obratno, čim večja je odprtina, tem šibkeje se uveljavlja vpliv sestoja. Klimatske razmere in porazdelitve vseh posameznih klimatskih rastiščnih dejavnikov (sevanja, toplote, padavin, zračne vlage, vetra) so odvisne od premera odprtine in višine obkrožujočega drevja ( $D$  in  $H$ ) ter od oblike odprtine. Pri klimatskih raziskavah so zato razsežnosti odprtin izražene relativno s pomočjo višine obkrožujočega sestoja; tako izražen premer odprtine ( $D/H$ ) se imenuje indeks sestojne odprtine ( $I$ ).

V sestojni odprtini, kjer je običajno za gospodarski cilj postavljena obnova gozda, je poznavanje pomladitvene ekologije zelo važno. Pri obnovi gozda so pomembni vsi dejavniki okolja, v obdobju kalitve in vznika pa je talna vlaga poleg temperature gotovo najpomembnejša, saj razmeroma hitro lahko postane omejitveni dejavnik.

Najobilnejši izvir, iz katerega se obnavlja vlaga v tleh, so padavine. Že po naravi se tudi na odprtem porazdeljujejo neenakomerno, še bolj neenakomerno pa je njihova porazdelitev v sestojni odprtini. Raziskovalci, ki so se v preteklosti ukvarjali s problemom porazdelitve padavin v sestojni odprtini in s klimo v sestojnih luknjah (9, 11, 14, 23, 26), so ugotovili, da je v majhnih odprtinah do indeksa 1,0 padavin manj kot na prostem, v večjih pa se pokaže bolj ali manj izrazit padavinski maksimum, kjer količina padavin presega tisto na odprti površini. Izrazito malo padavin pade na obrobju odprtine. V svojih delih so povezovali značilno porazdelitev padavin z vetrnimi razmerami v sestojni odprtini in okrog nje, niso pa doslej te zveze pojasnili.

Problem porazdelitve padavin v sestojni odprtini smo skušali razrešiti z raziskovalnim delom v letih 1971-1973. V raziskavi smo se omejili le na proučevanje porazdelitve dežja, odgovoriti pa smo želeli na naslednja vprašanja:

Ali se dež tudi v razmeroma veliki odprtini ( $I = 3,7$ ) enako in značilno porazdeljuje kot v doslej proučevanih manjših odprtinah ( $I = 0,5-3,0$ )? Kakšne so značilnosti te porazdelitve? Ali je porazdelitev dežju odvisna od zračnih tokov v odprtini in okrog nje oziroma od razsežnosti odprtine?

## 2. POIZKUSNI OBJEKT IN METODIKA DELA

Za poskusni objekt je bila izbrana sestojna odprtina v enodobnem sestoju smreke in primešanih listavcev. Sestoj leži v 45. oddelku v Kolovcu pri Radomljah, ki je del gozdno-gospodarske enote Domžale. Področje Kolovca je valovito in orografsko razgibano in leži 20 km od Ljubljane v predgorju Kamniških alp.

Sestojna odprtina v 45. oddelku je nastala zaradi začete obnove sestoja. Odprtina je ob JV robu porasla z naravnim smrekovim mladjem, ostala površina pa je posajena z macesnom. V času meritev je bilo mladje visoko okrog pol metra in ni neposredno vplivalo na natančnost meritev.

Izbrana sestojna odprtina leži na pobočju, ki je nagnjeno proti JJZ in se razteza z grebena do dna pobočja. Nagib pobočja je  $12^{\circ}$ . Zgornji in spodnji rob odprtine sta na nadmorski višini 445 m in 420 m. Po obliki je odprtina ovalna z daljšo osjo po pobočju. Velikost odprtine je 100 m x 80 m, površina pa 83 arov. Višina obkrožujočega sestoja je ocenjena na 24 m, indeksna velikost odprtine je tako med 4,2 in 3,3 ali v povprečju 3,7 (slika 1). Približno 300 metrov južno od odprtine prehaja gozd v travnik, ki ima prav tako južno ekspozicijo. Na tem mestu smo izvedli meritve količin dežja na odprti površini.

Količino dežja smo merili z običajnimi dežemeri, ki imajo odprtino 200 cm<sup>2</sup>. Ti so bili postavljeni tako, da so bile njihove odprtine 1 m nad tlemi. Točke, kjer smo z dežemeri ugotavljali količino padavin, so ležale na linijah glavnih nebesnih smeri. Te linije so tekle skozi center odprtine in so se v njem sekale. Na vsaki od osmih smeri so bile tri meritvene točke, različno oddaljene od roba. Prva je bila na samem robu odprtine, vendar pomaknjena izpod kapa nekoliko proti sredini odprtine, drugi dve pa sta bili oddaljeni od roba za pol in eno sestojno višino. Količino dežja smo merili tudi v centru odprtine, na odprtem travniku ter na treh točkah v sestoju, ki so bile od roba odmaknjene v notranjost sestoja za pol sestojne višine.

Zemljepisni položaj in reliefne razmere proučevanega objekta - sestojne odprtine v Kolovcu

Slika 1

10 20 30m

x dežmeri



Meritve so trajale eno leto. Količina dežja je bila merjena po vsakem padavinskem dnevu ob 7<sup>h</sup> zjutraj ali po vsakem daljšem padavinskem obdobju za več dni skupaj prav tako ob 7<sup>h</sup> zjutraj. Razlog za to, da v večdnevem padavinskem obdobju meritve niso bile opravljene vsak dan, je bil v razmeroma dolgotrajnem obhodu vseh 28 dežemerov (cca 1,5 ure). Merjenje med dežjem bi privedlo do sistematične napake, saj bi se lahko do konca obhoda v zadnji dežemer nateklo značilno več padavin, kot jih je bilo izmerjenih v prvem na začetku obhoda. Taka sistematična napaka bi lahko zameglila splošno podobo, ki so nam jo pokazali podatki.

### 3. TEORETIČNE OSNOVE RAZISKAVE IN DELOVNA HIPOTEZA

Mikroklimo posameznih manjših površin ali celo točk določa vzajemno medsebojno vplivanje klimatskih elementov in površinskih lastnosti. Pri tem niso pomembne le fizikalne lastnosti površine, ki vplivajo na sevanje in zaradi njega povzročene ostale vremenske ter podnebne pojave in spremembe, ampak tudi oblika površine, ki skupaj s hrapavostjo določa in spreminja smer, hitrost, turbulentnost vetra. Premikanje zraka zavira sila trenja, ki se pojavlja tako med zračnimi plastmi kot na stiku zraka s trdno površino. Ta sila je med zračnimi plastmi neznatna, zelo velika pa je lahko na stiku zraka in torne površine, n.pr. tal. Hitrost vetra je tik ob torni površini skoraj nič, z oddaljevanjem od nje pa glede na stabilnost ozračja bolj ali manj hitro raste po logaritmičnem zakonu\*. Na golih tleh je torna površina, ki se imenuje tudi nulta ploskev, talna površina. Nulta ploskev je lahko dvignjena od tal zaradi rastlinja, ki prerasča tla. Če je rastlinje enako visoko in dovolj gosto, deluje enotno in predstavlja precej enakomerno površino določene hrapavosti.

Nulta ploskev (torna površina), katere lastnosti določajo vetrne razmere nad njo, je v tem primeru dvignjena v rastlinske vrhove. Pomik nulte ploskve nad talno površino je odvisen od višine rastja in lahko v gozdu znaša več kot deset metrov.

---

\*  $u = u/k \ln z/z_0$   
kjer so:  $u$  - dejanska hitrost vetra na oddaljenosti  $z$  od tal  
 $u$  - torna hitrost  
 $k$  - Von Kamanova konstanta in  
 $z_0$  - parameter hrapavosti

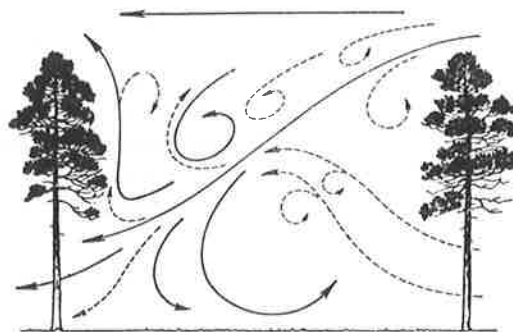
Na ravni homogeni površini se pri enakomernem vetru vzpostavijo vetrne razmere, ki določajo horizontalno slojevito vetrno polje. Tako vetrno polje se kaj hitro spremeni, če vanj postavimo oviro, ki jo mora gibajoči zrak preiti, ali pa če se spremeni hrapavost površine. Pokončna ovira - drevo ali protivetrni varovalni pas - močno spremeni zračne tokove in njihovo hitrost. V svojih še danes mnogokrat citiranih delih navaja Nägeli (16,17), da nastanejo ob delno propustni oviri kot je gozd ali varovalni pas na privetrni in zavetrni strani cone zatišja, katerih velikost je odvisna od kakovosti, predvsem pa od višine sestoja ali pasu. Zatišno področje na privetrni strani ovire nastane zato, ker ovira zajezi premikajoči se zrak. Pred oviro nastane klinasta zračna blazina, ki večji del prej vodoravno usmerjenega zračnega toka vodi poševno navzgor preko vrhov sestoja, da lahko nadaljuje svojo pot. Ostali del vodoravnih zračnih tokov prepiha sestojni prostor v skoraj nespremenjeni višini. Vzdolž mejne plasti med zračno blazino in hitrejšimi zračnimi tokovi nad njo se hitrost vetra poveča in doseže tik za sprednjim robom ovire hitrostni maksimum (7). Tudi nad krošnjami nastane zračna blazina manjših razsežnosti (8), ki pa hitro prehaja navzgor v cono močno povečane hitrosti. Na zavetrni strani ovire nastane zračna blazina zaradi "vetrne sence". Ta blazina je precej večja in poteka poševno navzdol od vrha sestoja do tal (16). Veter piha iznad krošenj po zaježenem zraku navzdol, povečuje hitrost, dokler po približno 20-kratni višini ovire (24) ne doseže prvotne hitrosti, ki jo je imel pred oviro. Zatišna cona v zavetrju ni mirujoči zrak, ampak je to področje vrtinca s horizontalno osjo in obratno smerjo gibanja zraka, ki iznad krošenj prodira proti tlom.

Zaradi spremenjene hitrosti se spremeni tudi vlečna sila vetra (24). V zaježitveni coni pred oviro pade sprva več dežja kot v okolici (v razdalji  $2H - 0,5H$  do ovire), nato pa se količina padavin zmanjša. Hitrost zračnih tokov je nad zračno blazino tik pred oviro precej večja, zato tokovi odnašajo dežne kapljice s seboj. Na tleh nastane območje relativne suše - "dežna senca" (Kreutz, cit. 24). Tudi za oviro nastane dežna senca, ki ji je vzrok poševno padanje dežnih kapljic. Ta cona je nekoliko širša. Količina dežja je pri oddaljenosti ene sestojne višine ( $1 H$ ) enaka količini v odprti okolici, nato pa močno naraste in preseže padavine v privetrju (Lammert, Kreutz, cit. 24), ki so tudi višje kot na prostem. Obratno sorazmerje med količino z zrakom nošenih delcev in hitrostjo vetra dokazujejo tudi raziskave Kaiserja (cit. 24) in Müllerja (cit. 24), Tabler in Veal (22) pa navajata, da učinek ovire na hitrost vetra neposredno določa sposobnost zraka za prenašanje snega.

Protivetrni varovalni pas učinkuje s svojo prisotnosjo v enoličnem vetrnem polju tako, da na privetrni in zavetrni strani pasu nastaneta coni relativnega zatišja, zračni tokovi pa so precej stalni in značilni.

Kadar se ta pas razširi v strnjen kompleks gozdnega drevja, se privetrna in zavetrna cona med seboj oddaljita, zračni tokovi pa ostanejo skoraj enaki. Če zračni tokovi na privetrni in zavetrni strani gozdnega sestoja med seboj niso odvisni, potem lahko njihove značilnosti uporabimo za razlago razmer v sestojni odprtini, vendar s pridržki. Zračni tokovi na sestojnih robovih so namreč medsebojno neodvisni le pri zelo velikih sestojnih odprtinah nad 25 H, kajti vpliv zavetrnega roba se kaže celo do oddaljenosti 20 H (24). Pri majhnih odprtinah v sestoju segata vplivni področji zavetrnega in privetrnega roba eno v drugega, zato se morajo v njih pokazati glede na zaščitne pasove delno spremenjene razmere, veter pa nikjer ne more doseči svoje prvotne jakosti (10).

V sestojni odprtini se strujanje zraka spreminja s hitrostjo vetra, obliko in velikostjo odprtine. Prav zadnja je verjetno najodločilnejša. Zračni tok vstopa pod določenim kotom v odprtino vedno od zgoraj ter drsi po zavetrni mirnejši zračni blazini proti tlom. Vstopni kot je odvisen od hitrosti vetra in je tem večji, čim počasnejši je zračni tok. Če je odprtina dovolj majhna, zračni tok ne zadene tal, ampak nasprotni rob, se od nje odbije in zgradi vrtinec, ki zajame celotni prostor odprtine (9). V večji odprtini pride zračni tok do tal in se od njega odbije ali zdrsne ob njega do privetrne cone, kjer se dvigne navzgor in odteče preko krošenj. Pri majhni hitrosti vetra se zračni tokovi ne dvigajo preko sestoja, ampak prodrejo v debelni prostor in pihajo skozi sestoj. Po Krečmerju (11) se dviga zrak na privetrni strani že pri hitrosti vetera 3 Bf v odprtini z indeksom 1,88. Pri jakosti vetra 4 Bf nastanejo v sredini odprtine vrtinci s horizontalno osjo, ki se gibajo proti splošni smeri vetra. Na zavetrni strani odprtine v višini zgornjega dela krošenj pa nastane vrtinec z manjšim obsegom, kot ga ima vrtinec na privetrni strani. Pri vetru 4 Bf in več se pojavi "žaluzijski efekt" na privetrnih krošnjah, zaradi česar se del zračnih tokov usmeri iz odprtine navzgor čez sestojne krošnje (slika 2).



Slika 2

Strujanje zraka v odprtini z indeksom 1,88 (Krečmer,11)



Bolj ali manj stalno in značilno strujanje zraka ima za posledico neenakomerno pa tudi značilno padavinsko porazdelitev. Ovire, ki so napoti vetru, povečujejo neenakomernost padavin, saj je po navodilih mnogih meteoroloških služb točnost meritev zagotovljena šele takrat, ko je meritveno mesto od ovire oddaljeno najmanj 4 njene višine. Tudi gozd oziroma gozdni rob je ovira, ki vpliva na vetrno polje oziroma na hitrost in smer zračnih tokov. Ob gozdnem robu se zato pojavijo razlike v količini padavin na posameznih mestih. Te razlike so posledica spremenljive vlečne sile vetra ob gozdnem robu (24). Sestojna odprtina ima zato značilno padavinsko porazdelitev, ki je odvisna od lastnosti zračnih tokov (smere in hitrosti) in lastnosti padavin (oblike in jakosti) ter od lastnosti sestojne odprtine (indeksa, nagiba, oblike). Na padavinsko porazdelitev verjetno najmočneje vpliva hitrost zračnega toka. Ta namreč neposredno določa sposobnost gibajočega se zraka za prenašanje padavin. Čim hitrejši je zračni tok, tem večja je razdalja, preko katere lahko prenese padavine; zato jih lahko odnese z mesta, kjer bi v mirnejšem ozračju sicer padle na tla, ter jih odloži tam, kjer sam zadene ob tla ali izgubi svojo hitrost. Pri porazdelitvi padavin po sestojni odprtini je treba upoštevati tudi "senčenje" robnega drevja. Zaradi razmeroma velike višinske razlike med zgornjo površino krošnje in tlemi sestojne odprtine nastane v vetrovnem vremenu na privetni strani odprtine "dežna senca" ali "suhi pas", ker krošnje robnih dreves ujamejo poševno padajoče padavine. "Suhi pas" je področje s precej manj padavin, kot jih ima ostala površina odprtine. V njem se običajno pojavi tudi padavinski minimum. "Suhi pas" je glede na hitrost vetra različno širok, v povprečju pa je širok približno 1 sestojno višino (Kittredge (10) :  $3/4 - 1\ 1/2$  sestojne višine, Flemming (5) : 0,4 za dež in 2 sestojni višini za sneg). Padavinski maksimum se pojavi vedno v sredini odprtine, kar je lahko posledica vrtnicev nad tem mestom ali pa je pomaknjen v smeri prevladujočih vetrov, lahko celo na privetni sestojni rob, kadar je odprtina majhna (Slavik, Slavikova, Jenik, cit. 9). V odprtini, ki je manjša od 1 sestojne višine, je padavinski maksimum manjši od količine padavin na prostem, pri večjih sestojnih odprtinah pa jih presega. V majhnih odprtinah je zrak mirnejši kot nad krošnjami, zračni tokovi pa vanje le redko vstopajo in ne prinašajo padavin. Tudi "senčenje" je relativno močno, zato je razumljivo, da je Stälfelt (cit. 9) v malih odprtinah v smrekovem sestoju na meril le 58% padavin od tistih, na prostem, v borovem pa Geiger 87% (9) in Krečmer 98% (11). S povečevanjem velikosti odprtine nad 1 sestojno višino se v sredini odprtine pojavi presežek padavin nad padavinami, ki padajo na prostem. Padavinski maksimum doseže pri velikosti odprtine 1,5 sestojne višine svojo največjo vrednost 105% (9), nato pa spet upada. Pri velikosti 3,4 sestojne višine pade v sestojno odprtino še vedno za 2% več padavin kot na prostem (9,11).

Enakim vplivom in silam so poleg deževnih izpostavljene tudi snežne padavine. Zaradi majhne specifične teže snega je vpliv vetra močnejši. Razlike med količino snožnih padavin na posameznih mestih v sestojni odprtini ali tudi kje drugje so zato izrazitejše, njihova količina pa relativno večja zaradi zmanjšane hitrosti vetra. V sestojnih odprtinah se nabere tudi sneg s krošenj robnih dreves, ker veje zaradi vetra nihajo in odmetavajo sneg v odprtino. Krečmerjeva opazovanja (11) so pokazala, da je v sestojno odprtino padlo 14% več snega kot na bližnji prosti površini, za 9% več kot dežja v toplejšem delu leta.

Količina padavin na posameznih mestih ob sestojnem robu odprtine in v njej lahko pokaže, kako močno vpliva sestojni rob na padavine na posameznih mestih in kako daleč proti sredini sega. Porazdelitev padavin v odprtini lahko ponazori podobo zračnih tokov in obratno: iz smeri in hitrosti zračnih tokov v odprtini in njeni neposredni okolici lahko sklepamo na porazdelitev padavin v sestojni odprtini.

## 5. OBDELAVA PODATKOV

Hipotetična razlaga padavinske porazdelitve dežja po sestojni odprtini se v celoti naslanja na vetrne razmere v odprtini in okrog nje. Zato bi bilo potrebno poleg padavin opazovati in meriti tudi smer in jakost vetra na značilnih mestih v odprtini in nad krošnjami. Žal teh meritev nismo mogli izvesti, ker nismo imeli potrebne opreme. Padavinske podatke iz sestojne odprtine v Kolovcu je bilo zato treba ovrednotiti s pomočjo statističnih metod.

Osnova za statistično obdelavo je bilo 79 deževnih dni oziroma obdobj. Absolutni razpon med dnevom z največjo in dnevom z najmanjšo količino dežja je bil skoraj 55 mm (min. 0,5 mm, maksimum 55,3 mm). Da bi bilo mogoče posamezne padavinske dni primerjati med seboj, smo podatke preračunali v odstotke (glede na dežemer na prostem) in jih tako medsebojno izenačili. S tem je bilo seveda predpostavljeno, da se vplivi vetra, oziroma gozdnega roba kažejo vedno enako močno, ne glede na količino dežja. V absolutnih merah bi to pomenilo, da se razlike med posameznimi dežmeri večajo, če se povečuje količina dežja.

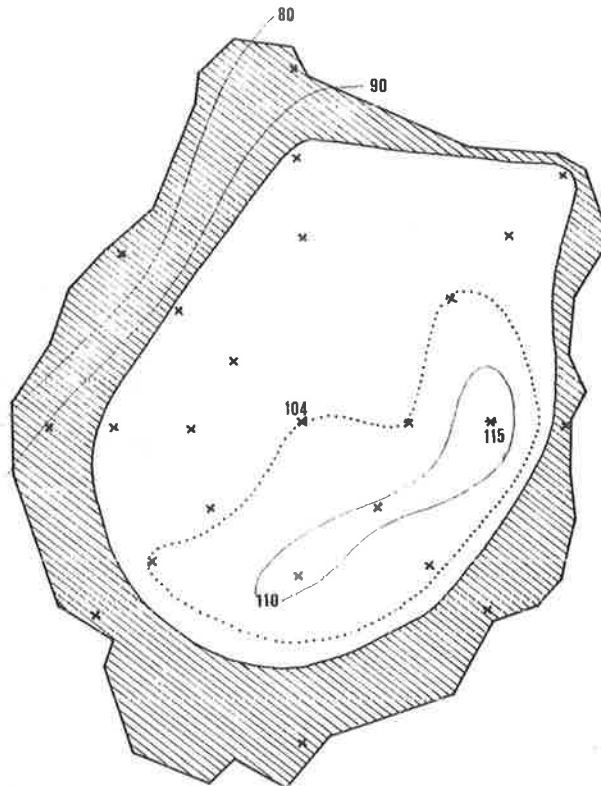
## 6. REZULTATI RAZISKAVE

Točkovne vrednosti padavin za posamezna krajša padavinska obdobja se med seboj lahko zelo razlikujejo. Razlike, ki so posledica različnega nagiba terena, oddaljenosti od ovir, različno visoko postavljenih dežemerov, ter vrtnčenje zraka okrog dežemerov zaradi njih samih, lahko zelo zamaglijo dejansko padavinsko porazdelitev. Povprečne vrednosti padavin na meritvenih mestih, ki predstavljajo daljše obdobje, pa naključne vplive in napake izključijo; razlike med njimi v tem primeru predstavljajo le prevladujoči dejavnik, ki jih je povzročil.

Srednje vrednosti količine dežja s posameznih dežemerov so vse visoko statistično značilne in kažejo splošno podobo porazdeljevanja dežja (slika 3). Padavinska karta odprtine kaže, da je v sredini odprtine padlo za 4% več dežja kot na odprtem. Količina dežja, ki je padel na robove odprtine, je bila zelo različna, v glavnem pa ga je padlo manj na severnem, severozahodnem in zahodnem robu in na ostalih več, vendar vedno manj kot na prostem, razen na severovzhodnem robu. Padavinski maksimum je izrazit in je močno pomaknjen iz sredine odprtine proti vzhodu, jugovzhodu in jugu. Na vzhodni strani je od roba oddaljen pol sestoje višine ( $1/2 H$ ), na jugovzhodni in južni strani pa eno sestojo višino ( $1H$ ).

Kljub na oko velikim razlikam med posameznimi mesti v odprtini je statistično značilnih le malo razlik. Primerjava vseh srednjih vrednosti s posameznih dežemerov je pokazala, da so s tveganjem 5% značilne vse razlike med količino dežja na severozahodnem robu ter količino dežja na ostalih točkah v odprtini. Količina dežja na severnem, jugovzhodnem in zahodnem robu se značilno razlikujejo od količine dežja na vsej ostali površini znotraj  $1/2 H$  - oddaljenosti od roba; količine dežja na južnem, vzhodnem in jugozahodnem robu so statistično različne le od treh najvišjih vrednosti, ki tvorijo padavinski maksimum. Izmed vseh ostalih je značilno različna le najvišja vrednost trotočkovnega maksimuma, ki pa se ne razlikuje značilno od ostalih dveh največjih vrednosti (tabela 1).

Razmeroma malo statistično značilnih razlik med srednjimi vrednostmi po posameznih dežemerih je pripisati veliki variaciji podatkov kljub pre-računavanju v odstotke, saj se koeficient variacije giblje v mejah 0,15 - 0,30.



- količina dežja na prostem - 100%
- ..... količina dežja v sredini odprtine
- ▨ površina v odprtini z manj kot 100% dežja
- x meritvena točka - ombrometer

Slika 3

Porazdelitev dežja v sestojni odprtini v Kolovcu - povprečje  
za celotno meritveno obdobje

Tabela 1

Značilnost razlik med srednjimi vrednostmi z vseh dežemerov za celotno meritveno obdobje

Oddaljenost od roba Smer	r	r	r	r	r	r	r	.5	.5	1	r	1	1	1	.5	1	.5	1	C	.5	.5	1	1	.5
	SZ	S	JV	Z	J	V	JZ	SZ	SV	JZ	SV	S	SZ	Z	Z	SV	S	V		JZ	JV	JV	J	V
.5 V	++	+-	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	-	-	-
1 J	++	++	++	++	++	++	++	++																
1 JV	++	++	++	++	++	++	++																	
.5 JV	++	++	++	++																				
.5 JZ	++	++	++	++																				
C	++	++	++	++																				
1 V	++	++	++	++																				
.5 S	++	++	++	++																				
1 SV	++	++	++	++																				
.5 Z	++	++	++	++																				
1 Z	++	++	++	++																				
1 SZ	++	++	++	++																				
1 S	++	++	++	++																				
r SV	++	++	++	++																				
1 JZ	++	++	++	++																				
.5 SV	++	++	++	++																				
.5 SZ	++	++	++																					
r JZ	++	++	++																					
r V	++																							
r J	++																							
r Z	++																							
r JV	++																							
r S	++	-																						
r SZ	-																							

r - dežemer na robu odprtine  
 .5 - dežemer oddaljen za pol sestojne višine od roba odprtine  
 1 - dežemer oddaljen za eno sestojno višino od roba odprtine

++ - razlika med srednjimi vrednostmi je značilna s 5% tveganjem

Obdelava podatkov je skušala tudi odgovoriti na vprašanje, ali deluje sestojna odprtina na porazdelitev dežja v njej vedno z enako močjo ne glede na njegovo količino, kar je bilo sicer predpostavljeno pri transformaciji podatkov v odstotke. Pri stalnem vetru bi bilo pričakovati, da se z naraščanjem količine dežja večajo tudi razlike med količinami dežja na posameznih točkah v odprtini in da odprtina tako stalno vpliva na nastajanje razlik. Dvofaktorska analiza variance netransformiranih podatkov, v kateri sta bila glavna faktorja, ki naj bi vplivala na nastajanje razlik, oddaljenost od roba in količina dežja, je pokazala, da na velikost razlik vplivata oba faktorja (tabela 2). Učinka oddaljenosti od roba in količine dežja na nastajanje razlik sta statistično značilna na nivoju 0,05.

Tabela 2

Analiza variance pred transformacijo podatkov

Vir variance	Stopinje prostosti	Srednji kvadrati	F	Nivo značilnosti
Oddaljenost od roba	2	29,293	16,12	0,0000 ****
Količina dežja	3	13,842	7,62	0,0001 ****
Interakcija	6	5,347	2,94	0,0118 ***
Napaka	84	1,817		

Analiza variance transformiranih podatkov

Vir variance	Stopinje prostosti	Srednji kvadrati	F	Nivo značilnosti
Oddaljenost od roba	2	4422,406	18,66	0,0000 ****
Količina dežja	3	251,778	1,06	0,3696
Interakcija	6	450,128	1,90	0,0904
Napaka	84	237,002		

Analiza variance transformiranih podatkov pa je pokazala statistično značilen učinek le za faktor oddaljenost od roba, ne pa tudi za faktor količina dežja. To pomeni, da je bila transformacija osnovnih podatkov v odstotke upravičena in potrebna.

Eno od osnovnih vprašanj raziskave je tudi bilo, kako daleč v odprtino sega vpliv sestojnega roba. Ta se kaže kot "dežna senca" ali "suhi pas", torej kot pas ob robu odprtine, ki prejema manjšo količino dežja, kot ga pade na prostem. Ker so bili dežmeri postavljeni na robu odprtine ter v oddaljenosti od njega  $1/2$  in  $1$  sestojno višino, bi nam morala razlika med količinami dežja v teh oddaljenostih pokazati vpliv senčenja sestojnega roba. S primerjavo srednjih vrednosti za vse padavinske dni smo ugotovili, da sega vpliv sestojnega roba največ pol sestojne višine v notranjost odprtine, verjetno pa še manj. Statistično značilna je bila le razlika med prvima dvema srednjima vrednostima (na robu in na oddaljenosti  $1/2$  H), med drugima dvema pa ne (tabela 3). Gornja ugotovitev obenem pojasnjuje tudi vpliv oddaljenosti od roba sestoja na medsebojne razlike. Na splošno se razlike z oddaljevanjem od roba manjšajo, značilne so le do oddaljenosti  $1/2$  H, naprej pa ne.

Obdelava podatkov je skušala pokazati tudi na morebitne razlike v padavinskih porazdelitvah deževnih dni z različnimi jakostmi padavin. Vse padavinske dni smo zato razvrstili v padavinske razrede (široke 5 mm, 7 razredov) in nato proučevali vsakega zase (slika 4). Z metodo korelacije rangov smo ugotovili podobnost porazdelitev vseh padavinskih razredov. Od sedmih se je razlikovala eden, peti (20,1 - 25,0 mm), ki pa so ga sestavljali le trije padavinski dnevi, tako, da je ta razlika lahko posledica napake zaradi premajhnega števila dni. Sicer pa so med seboj primerljivi le prvi štirje razredi, ki vsebujejo 26 - 12 padavinskih dni, primerjava z ostalimi je preveč tvegana, ker vsebujejo le 3 - 5 padavinskih dni. Za vse razrede so bile napravljene primerjave srednjih vrednosti padavin za različne oddaljenosti od roba odprtine. Te razlike so bile statistično značilne v vseh razredih le med padavinami na robu in na oddaljenosti  $1/2$  H, razlike v padavinah med oddaljenostima  $1/2$  H in  $1$  H pa niso značilne, razen v prvem padavinskem razredu (do 5,0 mm padavin).

Pri razvrščanju padavinskih dni v razrede smo posebno pozornost posvetili prvemu razredu, ki obsega najmanjšo količino padavin. Padavine so tudi pri nas v Sloveniji pojavljajo kot rastiščni dejavnik, ki je lahko v minimumu. Po Lundegardu in Mitscherlichu tedaj že najmanjše povečanje tega dejavnika povzroči močan odziv rastja. To tudi pomeni, da so izredno pomembne že najmanjše krajevne razlike v padavinah, kadar nastopajo kot rastiščni dejavnik v minimumu.

Tabela 3

Razlike med srednjimi vrednostmi količine dežja na različni oddaljenosti od sestojnega roba za posamezne padavinske razrede v celotnem meritvenem obdobju

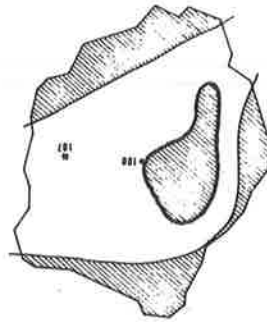
Padavinski razred mm	O D D A L J E N O S T		
	Rob razlika	o.5 sest.viš. razlika	1 sest.viš. razlika
do 5,0	78,5% 13,8% <sup>+++</sup>	92,3%	107,2% 14,9% <sup>+++</sup>
5,1 - 10,0	91,3% 10,2% <sup>+++</sup>	101,5%	101,1% 0,4%
10,1 - 15,0	95,4% 8,5% <sup>+++</sup>	103,9%	104,9% 1,0%
15,1 - 20,0	93,1% 9,3% <sup>+++</sup>	102,4%	103,1% 0,7%
20,1 - 25,0	107,7% 6,9% <sup>+</sup>	114,6%	113,3% 1,3%
25,1 - 30,0	99,8% 3,0%	102,8%	104,1% 1,3%
skupno vsi razredi	89,5% 15,0% <sup>+++</sup>	104,5%	104,7% 0,2%

+++ - razlika je značilna s tveganjem 0,01 %

+ - razlika je značilna s tveganjem 0,1 %

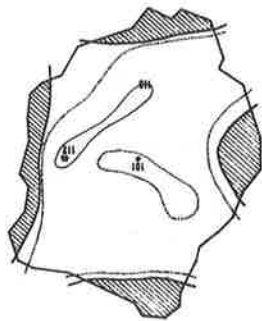


\* pedavinski makelium  
 površina v odprtini z manj kot 100% padavin  
 površina odprtine  
 količina dežja v sredini  
 100%  
 količina dežja na prostem -  
 na prostem  
 Gleda na posamezne pedavinske  
 rezede v % od količine dežja  
 na prostem

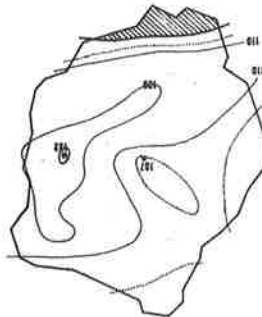


nad 30,0 mm

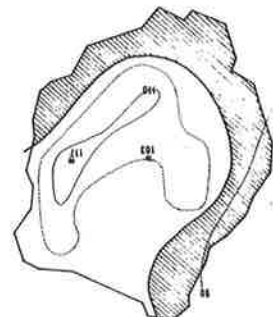
Slika 4



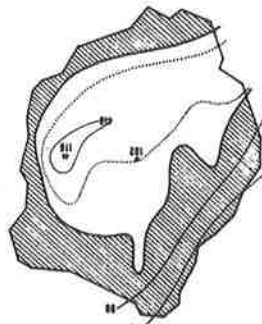
25,1 - 30,0 mm



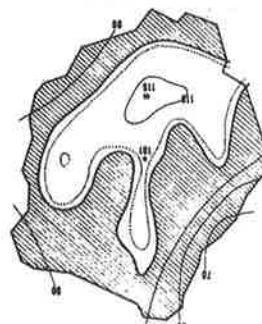
20,1 - 25,0 mm



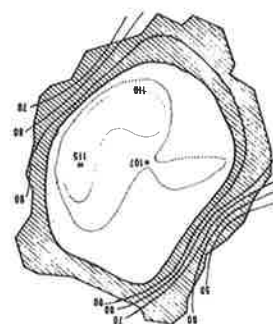
15,1 - 20,0 mm



10,1 - 15,0 mm



5,1 - 10,0 mm



do 5,0 mm

Padavine so pomembne še posebej v tistih razvojnih fazah dreves, ko tudi s kompenzacijo drugih rastiščnih dejavnikov rastlina ne more nadomestiti manjkajočega (faza drevesne klice ali mladja, zlasti pri sadnji). Te ekstremne razmere oziroma fiziološko pomembne razlike naj bi po naši presoji predstavljal prvi padavinski razred.

Padavinska slika sestojne odprtine za prvi padavinski razred ni drugačna od ostalih, razen od razreda 20,1 - 25,0 mm, in tudi ne od splošne porazdelitve. Značilna zanj pa je močna padavinska senca na severozahodni in jugovzhodni strani.

## 7. ZAKLJUČKI

Nepoznavanje vetrnih razmer je onemogočilo poglobljeno proučevanje padavinskih porazdelitev kot posledico vpliva sestojne odprtine na zračne tokove. Zaključki se zato naslanjajo le na s statističnimi metodami ovrednotene rezultate in padavinsko karto.

Zaključki so naslednji:

1. Količina dežja v sredini sestojne odprtine kljub njeni velikosti ( $I=3,7$ ) za 4% presega količino dežja s primerjalne točke na travniku. Ta presežek je presenetljivo velik glede na rezultate drugih raziskovalcev. Pri tej velikosti odprtine je Geiger (9) n.pr. nameril le 2% več padavin, kot jih je padlo na prostem. Kaže, da je tudi pri tako veliki odprtini ozračje mirnejše in tako še vedno močno vpliva na nošenje oziroma odlaganje padavin.
2. "Suhi pas" (manj kot 100% padavin) je izrazit na severozahodni in jugovzhodni strani odprtine. Širok je 1/3 do 1/2 sestojne višine in je širši na severozahodni strani.
3. Padavinski maksimum ima obliko grčbena in je na južni do vzhodni strani odprtine. V povprečju je tam padlo za 12% več dežja, kot na prostem. Od roba je maksimum oddaljen 1-1/2 sestojne višine, manj na vzhodni strani. Njegov pomik je verjetno posledica prevladujočih vetrov.
4. Na severozahodni polovici odprtine je padlo 3 - 4% več dežja kot na prostem. Kaže, da na tej površini ni močnih sprememb zaradi mirnejšega ozračja.

5. Z oddaljevanjem od roba odprtine proti sredini se količina dežja veča; največje in statistično značilne razlike v količini dežja so le med robom in točkami, oddaljenimi od roba pol sestojne višine, ostale razlike so neznačilne.
6. Sestojni rob oziroma odprtina vedno enako močno vpliva na porazdeljevanje dežja. Razlike med posameznimi točkami so sorazmerne količini dežja v enem padavinskem dnevu. Ta ugotovitev velja le za prve štiri padavinske razrede (do 20,0 mm padavin). Večja količina padavin običajno ne pade v enem dnevu ali v krajšem padavinskem obdobju, ampak pade v daljših obdobjih, za katere je značilno, da niso izrazito vetrovna. Zato tudi ni primarnega dejavnika - vetra, ki bi ustvaril neenakomerno padavinsko porazdelitev, s tem pa tudi razlike med posameznimi oddaljenostmi od sestojnega roba.
7. Uvrščanje padavinskih dni v razrede in njihovo proučevanje ni prineslo dodatnih novih spoznanj. Ugotovljeno je bilo le, da se prvi štiri padavinski razredi, ki so imeli dovolj veliko frekvenco, med seboj bistveno ne razlikujejo. Le v prvem padavinskem razredu sta se pokazali statistično značilni obe zaporedni razliki med količinami dežja na različnih oddaljenostih od roba.
8. Na osnovi zbranih podatkov je le delno mogoče potrditi postavljeno delovno hipotezo - odnos med sestojno odprtino, zračnimi tokovi in porazdelitvijo padavin v tej odprtini.

## 8. DISKUSIJA IN SKLEP

Dobljeni rezultati so premalo za dokončno potrditev postavljene hipoteze, vseeno pa je na njihovi osnovi mogoče sklepati in ugotavljati odnose med dežnimi padavinami, zračnimi tokovi in odprtino. Padavinsko porazdelitev v odprtini v Kolovcu namreč lahko razložimo takole: Široka padavinska senca in globok padavinski minimum na severozahodni strani odprtine ter padavinski maksimum in ožja, a še vedno močna padavinska senca na jugovzhodni strani odprtine nakazujejo, da bi lahko bila prevladujoča smer vetrov severozahodna. Severozahodni veter naj bi na zavetrnem robu ustvaril široko cono mirujočega zraka, ki bi segala skoraj do sredine odprtine. To bi bila površina majhnih sprememb v ozračju in enakomerne porazdelitve padavin. (103 - 104%). Manjša in ožja zračna blazina naj bi nastala na privetrnem robu, preko nje bi se v odprtino prodrli zračni tokovi dvigali nazaj nad sestojne vrhove, pri tem pa izgubljali padavine.

Na tem mestu bi zato nastal padavinski maksimum.

S pomočjo podatkov o vetrovih z meteorološke postaje v Volčjem potoku, ki je od poizkusnega objekta oddaljena 2 km, ni bilo mogoče pojasniti padavinske porazdelitve v sestojni odprtini v Kolovcu, čeprav se nakazuje povezave med deležem severnih in zahodnih vetrov (55% od vseh) in v nasprotno smer premaknjen greben padavinskega maksimuma. Vetrna roža iz Volčjega potoka kaže le splošno podobo vetrov, iz nje ni mogoče izločiti močnejših vetrov (n.pr. nad 3 m/sek), ki verjetno najmočnejše vplivajo na porazdeljevanje padavin v sestojni odprtini. Najbrž bi bila vetrna roža močnejših vetrov bistveno drugačna od splošne in bi z njo morda lepše pojasnili padavinsko sliko v Kolovcu. Najprimerneje bi seveda bilo imeti meritve smeri in jakosti vetrov iz Kolovca. Ker teh ni, je bilo treba opustiti vsakršno razlago padavinske slike s pomočjo pogostnosti vetrov, ki ni bila beležena na mestu eksperimenta. Lahko smo le ugotovili, kakšna je bila porazdelitev padavin v meritvenem obdobju, nismo pa je mogli povezati z vetrnimi razmerami. Še manj bi jo smeli uporabiti za potrditev postavljene hipoteze o strujanju zračnih tokov v sestojni odprtini. Na podlagi zbranih podatkov niti ni mogoče potrditi, da je padavinski maksimum na 1/2 - 1 H oddaljenosti od južnega do vzhodnega roba posledica vetrov s severozahoda. Prav lahko bi bil tudi rezultat vpliva jugovzhodnega roba na jugovzhodne vetrove. Podatki tudi niso mogli potrditi v delovni hipotezi postavljene trditve, da bi se morali padavinski maksimumi pojaviti na mestu vzdigovanja zračnih tokov na privetrnem robu. To naj bi bilo na oddaljenosti približno 1/2 H ali manj. Količina padavin na tej oddaljenosti od vseh robov se značilno razlikuje le od padavin na robu, ne razlikuje pa se od padavin na vseh ostalih točkah.

Z eksperimentom torej ni bilo mogoče potrditi niti zavreči postavljene hipoteze. Raziskovalni problem pa je zanimiv in bi ga bilo potrebno obdelati širše, kot je bilo to zastavljeno v Kolovcu. Sestojne odprtine kot posledica različnih posegov v sestoj gozdnega drevja niso le okrogle ali eliptične, so tudi manjše in večje kot odprtina v Kolovcu. Da bi spoznali njihovo vlogo in vpliv na obkrožujoči sestoj, na uspešnost obnove sestoja v odprtini in ne nazadnje njihovo vodnogospodarsko vlogo in vpliv na vodni režim in gospodarstvo zlivnih območij, je potrebno še naprej iskati splošne zakone in odnose med meteorološkimi in klimatskimi dejavniki in gozdnim rastjem. Da bi to dosegli, bi bilo potrebno začete raziskave razširiti in predvsem dopolniti z meritvami vetra v sestojnih odprtinah in v njihovi okolici, pri teh meritvah pa zajeti kar se da različne velikosti odprtin in vse značilne oblike.

Poznavanje mikroklimatskih razmer in zakonitosti v sestojni odprtini bo tudi praktično koristno, saj bo mogoče z oblikovanjem sestojnih odprtin uravnavati in usmerjati vznikanje in rast mladja ter v njih tudi uravnavati zmes drevesnih vrst.

#### SUMMARY

In the experiment it was assumed that the distribution of rainfall in a forest opening is dependent on wind conditions and built of air streams as well as the dimensions and shape of the opening.

A forest or stand opening is that part of a stand which is not covered by trees, either temporarily or permanently, but at the same time is surrounded by them. It is a break in the forest cover which results in an abrupt change of roughness in the friction surface due to a fall and rise of over ten meters. These large changes cause special wind conditions and streams which in turn significantly affect the distribution of precipitation. Irregular distribution of rain and snow was already noted (9,11, 14, 23,26). Among other features, the most significant are the "rain shadow" along the borders of the opening and the center which has up to 5% more precipitation than out in the open (9).

During the course of the experiment, the following assumptions were used for an opening with a diameter greater than 1.0 stand height (H). A zone of standing air is formed on the leeward side of the opening. Air currents flow over this and carry rain drops into the opening. On the windward side, a smaller zone of calm air is formed which partly deflects the downcoming air currents back up and over the windward edge, while the remainder enters the forest stand on this side. With these conditions, the rain shadow will be wider on the leeward side and the maximum will be in the middle of the opening or shifted in the direction of the prevailing wind.

The experiment was carried out in a stand opening with an average diameter of 3,7 H, the average H being 24 meters. Rainfall was measured at 25 points arranged concentrically, with one point in the center and sets of three points along each of the 8 major compass points. The first point in a set was placed on the border of the opening, while the second and third were placed  $1/2$  H and 1 H in from the border respectively.

---

A control point was placed in a meadow 300 meters removed. Wind measurements were not made in the opening. Data for a one year period were transformed into percentages of control and then analysed statistically.

The following conclusions were derived from the experiment:

1. Rainfall in the center of the opening exceeded that of the control point by 4%. This excess is large considering the result of former experiments. In an opening of 3.2 H, Geiger (9) reported an excess of 2%. It seems that openings of larger dimensions further reduce wind speed which affects the influx and deposition of precipitation.
2. The "rain shadow" was wider on the northwest and southeast sides of the opening, ranging from  $1/3$  H to  $1/2$  H wide, and was widest on the northwest side.
3. The precipitation maximum was along the south and east sides, extending over three adjacent points. It was 1 H to  $1/2$  H in from the border, being closer on the east side. The shift from the center is probably due to prevailing winds. The maximum had an average value 112% with respect to the control point.
4. The northwest half of the opening received 3 to 4% more rainfall than the meadow. In an opening of this size, large changes in rainfall distribution due to calm air were not noticed.
5. Rainfall increased as the distance from the border increased. The largest and also statistically significant differences were noted between border points and those  $1/2$  H in from the border. Other differences were not significant.
6. The rainfall periods were also arranged into 5 mm classes. Only the first four had frequencies large enough for analysis, and these did not differ between themselves significantly. But within the first class, a significant difference was observed between successive points within a set.

7. The surrounding stand always has the same effect on the rainfall distribution. Absolute differences between points were proportional to the depth of rainfall. This was only noted for the first four classes (20 mm or less). Small amounts usually fall in a short period accompanied by a strong and more or less invariant wind. Therefore the effect of wind is noticeable in these lower classes. On the other hand, larger quantities usually fall over a longer period with a weak and inconsistent wind. Thus the effect of wind on rainfall distribution was not observed in the larger classes.
8. From the results obtained, the assumed relationships between forest opening, wind conditions and rainfall distributions were only partly confirmed.

#### LITERATURA:

1. Berényi D.: Mikroklimatologie, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1967
2. Berndt, H.W.: Snow accumulation and disappearance in lodgepole pine clearcut blocks in Wyoming, Journal of Forestry, vol. 63, no. 2, 1965
3. Businger, J.A.: Aerodynamics of vegetated surface, Heat and Mass transfer in the biosphere, Scripta Book Comp., Washington, 1975
4. Chow, Ven Te: Handbook of applied Hydrology, Mc Graw-Hill, New York, 1964
5. Flemming, G.: Wie weit reicht der klimatische Einfluss des Waldes in das offene Feld hinaus? Socialistische Forstwirtschaft, vol. 21, no. 2., 1971
6. Flemming, G.: Strahlung und Wind an Waldbestandrändern, Archiv für Forstwesen, vol. 11, 1962
7. Flemming, G.: Die Windgeschwindigkeit auf waldumgebenem Freiflächen, Archiv für Forstwesen, vol. 17, no. 1, 1968
8. Forest Influences, FAO Forestry and Forest products studies, no. 15, Rim, 1962

9. Geiger, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1961
10. Kittredge, J.: Forest Influences, Mc Graw-Hill, New York, 1948
11. Krečmer, V.: Das Mikroklima der Kieferlochkahlschläge, Wetter und Leben, vol. 18, no.7-8, 1966; vol. 18, no. 9-10, 1966; vol.19, no.5-6, 9-10, 1967; vol.20, no. 3-4, 7-8, 1968
12. Leibundgut, H.: Wirkungen des Waldes auf die Umwelt des Menschen, Eugen Rentsch Verlag, Erlenbach-Zürich, Stuttgart, 1975
13. Mitscherlich, G.: Wald, Wachstum und Umwelt, 2. Band (Waldklima und Wasserhaushalt), J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 1971
14. Mitscherlich, G.: Wald und Wind, Allgemeine Forst - und Jagdzeitung, vol. 144, no.3, 1973
15. Monteith, J.L.: Principles of Environmental Physics, Edward Arnold Ltd., London, 1973
16. Nägeli, W.: Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Windschutzstreifen, Mitteilungen der Schweizerische Anstalt für das Versuchswesen, vol. 23, no.1, 1943
17. Nägeli, W.: Weitere Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Windschutzstreifen, Mitteilungen der Schweizerische Anstalt für das Versuchswesen, vol. 24., no.2, 1946
18. Päivänen, J.: The distribution of rainfall in different types of forest stands, Acta forestalia fennica
19. Plate, E.J.: The aerodynamics of shelterbelts, Agricultural Meteorology, vol.8, no.3, 1971
20. Snedecor, W.G. in Cochran, W.G.: Statistical methods, The Iowa state university press, Ames, 1967
21. Sopper, W.E. in Lull.H.W.: Forest Hydrology, Proceedings of a national science foundation advanced science seminar 1965, Pergamon Press, Oxford, 1967
22. Tabler, R.D. in Veal, D.L.: Effect of snow fence heilth on wind speed, Bulletin of the international association of scientific hydrology, vol.16, no.4,1971



23. Vezina, P.E.: Recherches sur les condition de lumière et de précipitation dans les forêts traitées par la coup progressive par groupes, Thèse no.2924, École Polytechnique Fédéral a Zurich, 1960
24. Weihe, J.: Benetzung und Interzeption von Buchen - und Fichtenbeständen in Nordrhein - Westfalen, Allgemeine Forst - und Jagdzeitung, vol. 145, no. 1,2,1975
25. Winer, B.J.: Statistical principles in experimental desing, McGraw-Hill, London, Mladinska knjiga, Ljubljana, 1970
26. Woelfle, J.: Waldbau und Forstmeteorologie, Neudamm, 1939
27. Woodruff, N.P.: The spacing interval for supplemental shelterbelts, Journal of Forestry, vol.54, no.2, 1956