

Prispelo /Received: 1990, april

GDK 187:266/267: 181.233: 181.223

POSKUS MERJENJA VPLIVOV RAVNINSKIH GOZDOV NA KRAJEVNO KLIMO – PRIMER OBDRAVSKIH RAVNIC

Sašo GOLOB*

Izvleček

V raziskavi je preučen primer vpliva gozda na krajevne tokove vetra in na temperaturne skrajnosti na dveh fluvioglacialnih ravninah s peščenimi tlemi. Z enajstmesečnim merjenjem vetra osmih smeri na šestih točkah, razmeščenimi okrog gozdnega bloka, je bil količinsko ocenjen njegov vpliv na polje vetra, saj je bil celoten pretok zraka na odprti legi kar štirikrat večji kot v zavetrni. Lokacije so se razlikovale tudi po ekstremnih dnevnih temperaturah; pri tem je najzanimivejše, da se v gozdnem osredku hladen zrak zadržuje dlje kot na odprtem prostoru. Na eni izmed ravnin je bilo z merjenjem vpliva gozdnih pasov na zadrževanje vetra dokazano, da je takšne pasove treba snovati.

Ključne besede: ravninski gozd, klimatska funkcija gozda, omejek, gozdni pas, veter, temperatura

AN ATTEMPT TO MEASURE THE INFLUENCE OF FLAT LAND FORESTS ON LOCAL CLIMATE – THE EXAMPLE OF THE PLANE COUNTRY REGIONS ALONG THE DRAVA RIVER

Sašo GOLOB*

Abstract

The research deals with the example of the influence of forest on local wind currents and temperature extremes in two fluvioglacial planes with sand ground. The influence of the forest block on the wind field was evaluated as to the quantity by means of eight months lasting measurements of the wind from eight points of the compass in six points placed around the forest block. The total air flow in open sites was by four times greater than in sheltered sites. The locations differed also as regards the extreme day temperatures; it is interesting that cold air remains in a patch within a forest longer than in open space. In one of the flat land regions, the measurements of the influence of hedgerows on the keeping off of wind proved that windbreaks should be included in the plans.

Key words: flat land forests, climatic forest function, hedgerows, wind, temperature

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

1 UVOD

Nekaj več kot četrtina Slovenije je ravninske ali blago valovite in v tej krajini so gozdovi v majšini. To je namreč prostor, v katerem smo ljudje nakopičili svoje dejavnosti: v njem sta dve tretjini vseh strnjenih in skoraj polovica vseh raztresenih slovenskih naselij, skozenj vodi velika večina magistralnih cest in večina drugih koridorjev, v ravninah so skoraj vsi industrijski in energetski objekti, obenem pa je to krajina, ki je najprimernejša za kmetijsko pridelavo. Gozdovi v ravninah se zaradi vsega tega zdijo najmanj funkcionalen krajinski element, zato se njihova površina počasi in tiho nenelino zmanjšuje (Anko 1987), zaradi kmetijskih melioracij pa iz krajine izginjajo gozdni pasovi in omejki. Vendarle pa imajo gozdovi in omejki v ravnini zelo pomembne funkcije in med njimi je tudi klimatska.

1.1 Vpliv gozda in gozdnih pasov na klimo in na odnose v kmetijstvu

Že zelo dolgo je znano, da gozd z zmanjševanjem temperaturnih skrajnosti in z zadrževanjem vetra v pritalni plasti blaži klimo (Geiger 1961, Leibundgut 1975, Barner 1983, Grunert in sod. 1984, Količ 1978), saj je o tem pisal že Empedokles v 5. stoletju pred našim štetjem (Neumann 1983). Ta vpliv gozda težko dokažemo na širši, regionalni ravni, lažje pa na nekem ožjem območju (Wullschleger 1982). Očitnejši je na ravninah kot v reliefno razgibani krajini, posebno očitna pa je na aridnih območjih in tistih s peščenimi tlemi, ki so revna z organskimi snovmi. Tako Leibundgut (1975) poudarja, da je lahko v nižinah z rahlimi suhimi tlemi učinek zmanjšane hitrosti vetra najpomembnejša funkcija gozda. Posebno pomemben je vpliv zmanjšane transpiracije na povečanje donosov v kmetijstvu, vendar ta ni vsako leto enak in je lahko v izrazito "suhem" letu desetkrat večji kot v "mokrem".

Podobno ugotavljata tudi Juddeloh in Collet (1981), da so rastlinski protivetrni pasovi pomembni tam, kjer je oskrba kulturnih rastlin z vodo na spodnji meji. To velja zlasti na peščenih tleh z malo organske snovi in na tleh, kjer je nevarnost eolske erozije (puhlica, ki je ne prekriva rastlinska odeja). Veter vpliva ne le na izhlapevanje, temveč tudi na temperaturne razmere. Tako se zaradi učinka protiveternih pasov tla spomladi hitreje ogrejejo, saj se toplota v zavarovanih legah ne izloča v ozračje tako učinkovito kot v nezavarovanem prostoru. V zavetju naj bi bila tako zaradi višje temperature vegetacijska doba spomladi in jeseni daljša za osem do deset dni.

Buchwald in Engelhardt (1978) poudarjata, da so gozdni pasovi posebno pomembni v krajini, ki je osiromašena z gozdom, saj zelo vplivajo na njeno mezoklimo. V zavetju gozdnega pasu se zaradi zmanjšane hitrosti vetra povečajo rosenje, padavine in talna vlaga, vse to pa pripomore, da rastlinstvo bolje uspeva. Z zmanjšanjem hitrosti vetra se zmanjšuje transpiracija, pred katero se rastline branijo tako, da pripravijo listne reže, s tem pa zavirajo dotok CO₂ v list. Fotosinteza in z njo nastajanje organske snovi se lahko tako bistveno zmanjšata.

V svetu je razmeroma dobro preučeno, koliko protivetrni pasovi povečujejo pridelavo poljščin, značilno pa je, da se različne kulture odzivajo na zadrževanje vetra različno (Juddeloh in Collet 1981, Barth 1987, Baer 1989). Tako so v ZRN pri sladkorni pesi v zavetnih legah ugotovili 5–10–odstotno povečanje donosov v primerjavi z odprtim prostorom, pri krompirju pa so bili donosi večji kar za 20% (v Franciji pri Versaillesu celo za 43%). Manjši vpliv na donos je imelo zmanjšanje hitrosti vetra pri žitih, čeprav so tudi tu ugotovili povečanje donosa za 10 do 20%. Najbolj so za veter občutljive povrtnine. Učinek zavetja je pri fižolu povečal donos za 50%, na splošno pri zelenjavi pa celo za 70% (avstrijska raziskava). Nizozemci so večje donose v zavetju ugotovili tudi za sadovnjake (20 do 30%), pri travnikih pa večje rasti ni bilo mogoče dokazati.

1.2 Problem

Namen pričujoče raziskave je bil ugotoviti klimatski vpliv gozda v slovenskih razmerah, in to tam, kjer je ogrožen njegov obstoj. Glede na znana dejstva iz literature je namreč jasno, da je lahko na ravnini prav klimatski vpliv gozda eden tistih odločilnih dejavnikov, ki mu zagotavljajo obstanek. V zvezi s tem nas je zanimalo, ali je mogoče z instrumenti, ki jih imamo pri nas, izmeriti vpliv gozdnega otoka na ravnini na polje vetra v njej. Izmeriti smo želeli tudi temperaturne razlike med gozdom in odprtim prostorom, ki povzročajo vodoravna gibanja zraka oziroma atlantificirajo klimo na nekem območju. Prav tako smo želeli ugotoviti, kako vpliva na polje vetra omejek v nekem primeru.

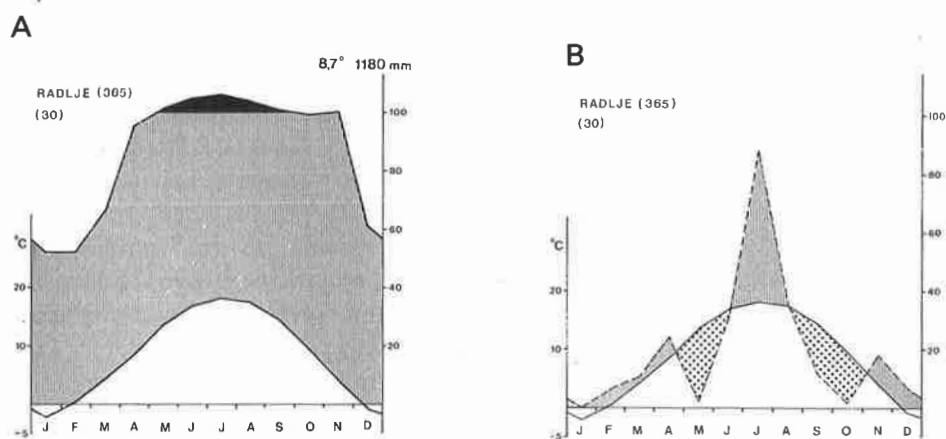
2 METODA

2.1 Izbira preučevanega območja in njegove značilnosti

Za območje preučevanja sta bili izbrani Mučka in Radeljska ravnica ob Dravi, kjer hočejo krčiti gozdove. Geološko ju sestavljajo fluvioglacialne naplavine iz zadnje, wuermske poledenitve. *Geološka podlaga* je prod, ki je v veliki večini

nekarbonaten. Prevladujejo distrična rjava tla z majhnim deležem humusa (Prus 1988), na katerih lahko kulturne rastline ob vsaki daljši suši doživijo stres zaradi pomanjkanja vode.

Klimatske razmere na obravnavanem območju je mogoče dovolj dobro predstaviti s podatki meteorološke postaje Radlje ob Dravi (Hidrometeorološki zavod 1989), ki jih ponazarjata klimadiagrama (Walter 1979) na 1. sliki. Prvi (a) kaže 30-letno povprečje gibanja temperatur in padavin po mesecih, drugi (b) pa kaže namesto povprečnih vrednosti mesečnih padavin najnižje ugotovljene padavine v obdobju 1951–1980. Namen drugega grafa je pokazati, v katerih mesecih so se v obravnavanem obdobju pojavili padavinski minimumi, in ga ne smemo razumeti kot možnost, da bi se v naravi v resnici lahko pojavilo leto s samimi 30-letnimi mesečnimi minimumi. Po tem grafu je mogoče sklepati, da lahko v dolgoletnem povprečju zelo humidna in za rastlinstvo v vegetacijski dobi zelo ugodna klima v Radljah v posameznem mesecu postane aridna. Tudi ob normalnih povprečnih mesečnih padavinah se pogosto zgodi, da dežuje v nalivih, sledijo pa daljša sušna obdobja. To je pri razmeroma peščenih tleh lahko zelo slabo za rastlinstvo. Neugodne so lahko tudi zelo izražene temperaturne skrajnosti: absolutni temperaturni minimum je bil v Radljah $-22,1^{\circ}\text{C}$, maksimum pa $36,0^{\circ}\text{C}$.



Slika 1: Klimadiagrama meteorološke postaje Radlje ob Dravi: za povprečje (a) in za padavinske minimume, ki so se v tridesetih letih (1951–1980) pojavili v posameznem mesecu (b)

Figure 1: Climatodiagrams of a meteorologic station Radlje upon Drava: for the average (a) and for the most unfavourable precipitation conditions that appeared in each of the months during the period 1951–1980

Namesto Walterjevega klimadiagrama, kjer sta lestvici povprečnih mesečnih temperatur in padavin v razmerju 1°:2mm, bi lahko na sliki 1 uporabili razmerji 1°:4mm oziroma 1°:6mm, ki približno ustrežata Thornweitovemu diagramu vodne bilance (Hočevar 1967). V Radljah v nobenem mesecu ne bi primanjkovalo vode, čeprav bi se raven evapotranspiracije za 30-letno povprečje povečala dva- do trikrat, primanjkljaj za hipotetični položaj najnižjih mesečnih vrednosti pa bi bil pri vsakem sušnem mesecu še dva- do trikrat večji. Za oba diagrama, tudi za Thornweitovega, velja, da ocenjujeta evapotranspiracijo zgolj kot funkcijo temperature in da ne upoštevata učinka vetra, seveda pa tudi ne posebnih talnih razmer; zato je vprašanje, koliko sta uporabna za ocenjevanje vodne bilance v tleh v takšnih razmerah.

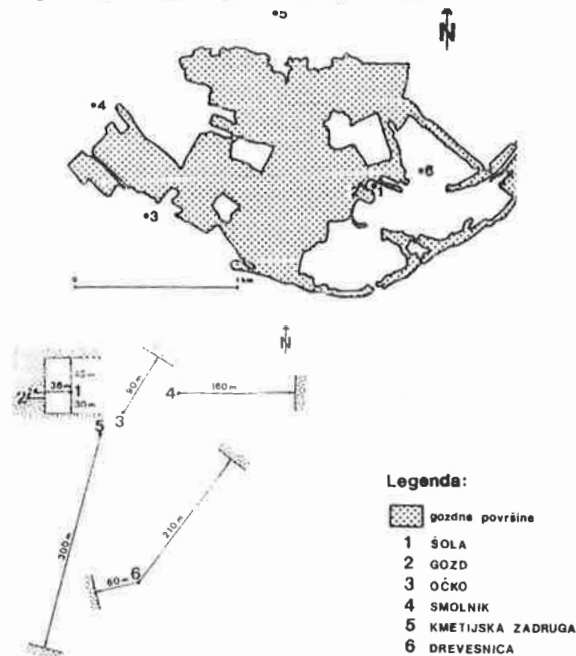
Ravnici se precej razlikujeta glede *rabe tal* in glede ekosistemov, ki so na njih. Na Mučki ravnici je gozda še 29,6%, njiv je 40%, med preostalimi ekosistemi pa prevladujejo predvsem travniki. Gozd je na ravnici v njenem središču in v obliki strnjenege bloka, v katerem pa je nekaj večjih osredkov. Na Radeljski ravnici je gozda le še 11,5%, saj je ostal povečini le na strmih ježah in na obrobju ravnice, njen razsežni osrednji del pa je povečini brez gozda in tudi brez omejkov. Izjema so krajši pasovi gozda, ki se v smeri sever-jug zajedajo v kmetijsko območje.

Glede na opisane značilnosti obeh ravnici smo se odločili, da na Mučki ravnici preučimo vpliv bloka gozda, imenovanega Mučka Dobrava, na polje vetra in na krajevne temperaturne razmere, na Radeljskem polju pa vpliv enega od za veter neprepustnih gozdnih pasov na zadrževanje vetra. Iz literature (Količ 1978) je znano, da neprepustni pas vpliva na polje vetra drugače kot polprepustni. Lastnosti slednjega smo tudi želeli spoznati, posebno zato, ker imajo pogosto lastnosti polprepustnega pasu gozda na novo osnovani omejkji v agrarni krajini, kakršni bi bili potrebni tudi na Radeljskem polju. Iz praktičnih razlogov smo za meritve izbrali pas še neolistanih listavcev na Ljubljanskem barju.

2.2 Opis razmestitve merilnih instrumentov

Na *Mučki ravnici* je bilo v okolici Mučke Dobrave izbranih šest merilnih mest v njeni okolici, na katerih smo merili pot vetra, temperaturo in relativno vlago zraka. Upoštevanih je bilo več meril: (1) Mučko Dobravo naj bi merilni instrumenti obkrožali na vseh glavnih straneh neba, (2) ena od točk, t.i. kontrolna točka, naj bi bila pod čim manjšim vplivom gozdnega otoka in (3) ena od točk naj bi bila v notranjosti gozda.

Pri izbiri merilnih mest je bilo treba upoštevati tudi vir električne energije, tako da je končno obveljala lokacija merilnih instrumentov, ki jo kaže 2. slika.



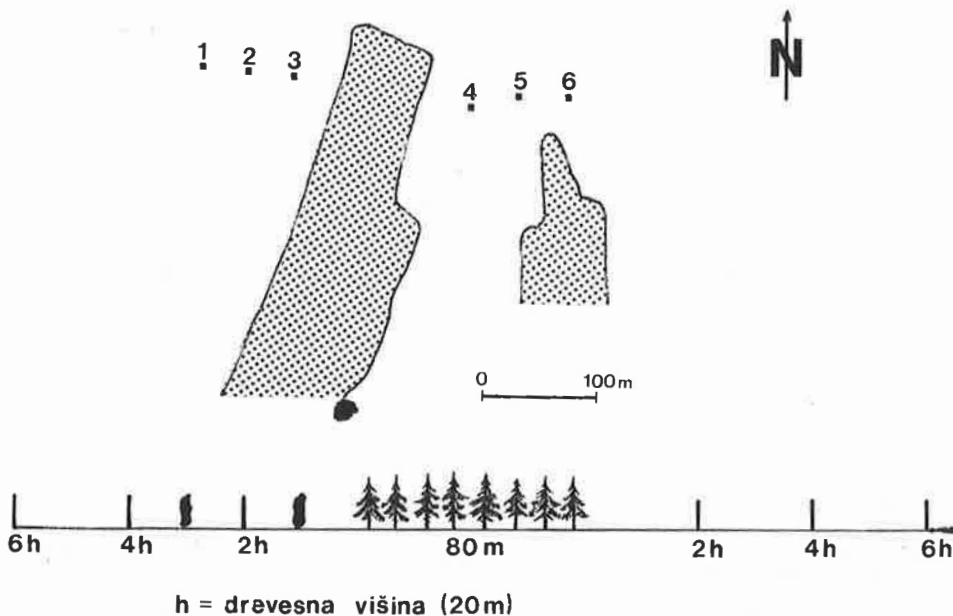
Slika 2: Lokacija merilnih instrumentov okrog Mučke Dobreve in njihova oddaljenost od najbližjega gozdnega roba

Figure 2: The location of gauges around Mučka Dobrava and the distance from the nearest forest edge

Z nje lahko razberemo, da so bili meteorološki instrumenti pri kmetijski zadrugi (lokacija 5) izpostavljeni vremenskim vplivom z vseh strani; gozdni rob je bil merilnim instrumentom najbliže na jugu, in sicer je bil oddaljen od njih 300 m ali 15 drevesnih višin (višina drevja je bila na vseh gozdnih robovih precej enotna in je znašala 20 m). Lokacija v gozdu je bila pred vremenskimi vplivi odprtega prostora najbolj zavarovana, vendarle pa je bila nekoliko izpostavljena vplivom z vzhoda, saj je bila v notanjost gozda pomaknjena le dobro drevesno višino. Vse druge lokacije so bile izpostavljene vremenskim vplivom le v določenih smereh. Merilni instrumenti na lokaciji 4 (Smolnik) so bili v zavetju vplivov z vzhoda in jugovzhoda, pa tudi s severovzhoda, saj jih je pred vplivi s te strani varovala 20 m visoka ježa. Lokacija Očko (št. 3) je bila izpostavljena predvsem vplivom iz južnih smeri, bila pa je tudi zelo blizu Drave (60 m). Ta je utegnila s svojo

sposobnostjo akumulacije toplote tudi precej vplivati na meritve. Lokaciji 1 in 6 sta bili izpostavljeni predvsem vzhodnim vplivom, toda merilni instrumenti pri šoli so bili pred njimi bolj zavarovani kot pri drevesnici. Posebnost zadnje lokacije je bila še ta, da je bila edina z vseh strani obdana z gozdom. Tudi del na jugu je bil namreč zasajen s parkovnim drevjem, tega pa slika 2 ne kaže.

Za ovrednotenje vpliva gozdnega pasu na zadrževanje vetra na *Radeljskem polju* je bil izbran jezic gozda pri Toplerju, ki se zajeda v razsežne njive približno na sredini polja. Zaradi razmeroma velike širine in razvite polnilne plasti v njem ga lahko pojmuje kot neprepustno, hrapavo pregrado v prostoru. Poteka v smeri sever-jug in je zato zelo učinkovit pri zadrževanju vetrov zahodnih smeri, ki so v Dravski dolini najpogostnejši in najmočnejši. Položaj anemometrov in razdalje med njimi kaže slika 3.



Slika 3: Razvrstitev anemometrov za ugotavljanje vpliva gozdnega pasu na zmanjšanje hitrosti vetra na Radeljskem polju

Figure 3: The distribution of anemometers for the establishing the influence of a forest zone on the reducing of wind velocity in the Radlje field

2.3 Merjenje poti vetra

Na *Mučki ravnici* smo merili pot vetra od 3. oktobra 1986 do 4. septembra 1987, vendar zaradi okvar posameznih anemometrov v določenih obdobjih na posameznih lokacijah meritve niso bile popolne. Merili smo z anemometri HPS 51, ki jih je izdelal Inštitut Jožef Stefan iz Ljubljane. Dajalniki smeri in hitrosti so bili nameščeni na 10 m visoke drogove, kot je določeno z mednarodnim standardom. Posebno pomembna je bila pravilna usmeritev dajalnikov.

Načeloma smo na vseh lokacijah merili pot, ki jo je opravil veter v enem tednu. Včasih se je zgodilo, da je meritveno obdobje trajalo nekaj dni manj ali več, zmeraj pa je bilo zaznamovano na minuto natančno. Anemometri so zaznamovali poti iz šestnajstih smeri, ki pa so bile zaradi boljše preglednosti pri preračunavanju zmanjšane na polovico. Obrazec za določitev povprečne hitrosti vetra v določeni smeri (npr. severni) je bil takle:

$$HN = (N + (1/2) * NNW + (1/2) * NNE) / \text{ČAS} * 60$$

Pri tem je:

- HN – hitrost vetra iz severne smeri v ms^{-1}
- N – pot vetra iz severne smeri v m
- NNW – pot vetra iz severno-severozahodne smeri v m
- NNE – pot vetra iz severno-severovzhodne smeri v m
- ČAS – obdobje, v katerem je veter opravil zapisano pot, praviloma 10.080 minut

Navedeni in uporabljeni način reduciranja smeri, iz katerih je pihal veter, ni povsem pravilen (prim. Kunstler 1960), a je glede na to, da so bila pomembna predvsem relativna razmerja med potmi vetra na izbranih lokacijah, dovolj natančen.

Za vsako izmed osmih smeri in za vsako lokacijo je bila izračunana statistika, in sicer za dve obdobji. V prvem, daljšem, ki je trajalo od oktobra 1986 do septembra 1987, so bile izračunane povprečne hitrosti vetra le za pet lokacij, saj je anemometer pri Smolniku vse do marca 1987 deloval nepravilno. Za čas od aprila do septembra pa so povprečne hitrosti vetra izračunane za vse lokacije.

Na *Radeljskem polju* smo merili pot vetra v februarju 1989 z anemometri, ki so bili nameščeni 1 m nad tlemi. Posamezna meritvena obdobja so bila dolga po dve minuti, tako da veljajo izračunane hitrosti kot dvominutna povprečja. Meritve smo osredotočili v obdobje, ko je pihal povečini zahodni veter, ki je bil

pravokoten na gozdni pas. Na *Ljubljanskem barju* smo merili povsem enako, le da je bil pas polprepusten, saj ga je sestavljalo le nekaj redov neolistanih jelš, pihal pa je tudi mnogo močnejši veter.

2.4 Merjenje temperature in relativne vlage zraka

Tudi temperaturo in relativno vlago smo merili po mednarodnih standardih, v vremenskih hišicah, obrnjenih proti severu, s termohigrografi v njih, 2 m nad tlemi.

Uporabili smo termohigrografe Fischer, vzhodnonemške izdelave. Pred meritvami in po njih so bili umerjeni na Hidrometeorološkem zavodu, vendar so že med meritvami, ki so trajale od 23. decembra 1986 do 4. septembra 1987, izgubili svojo natančnost. Izguba natančnosti je bila žal pri relativni vlagi zraka tolikšna, da podatki niso bili uporabni; natančnost pri merjenju temperatur je bila še v znosnih tolerancah ali pa so bili odmiki pri vseh temperaturah, od najnižjih do najvišjih, enaki.

Za vsakega od 194 dni smo za vseh šest lokacij odbrali minimalno in maksimalno temperaturo ter temperature ob sedmi, štirinajsti in enaindvajseti uri. Povprečno dnevno temperaturo smo izračunali po obrazcu $T = (T_7 + T_{14} + 2 \cdot T_{21}) / 4$, pri čemer pomenijo indeksi dnevni čas odbirka. Več pozornosti kot povprečnim dnevnim temperaturam, na katere je verjetno vplivala napaka instrumentov in popisovalcev, je bilo pri statistični obdelavi namenjene razponu med minimalno in maksimalno dnevno temperaturo. Razpon je namreč od opisanih napak neodvisen, če je napaka instrumenta linearna čez vse merjeno temperaturno območje. Za povprečne dnevne temperature je bila tako izračunana le opisna statistika, za razpon pa še analiza variance. S testom najmanjših značilnih razlik je bilo še ugotovljeno, ali so na različnih lokacijah značilne razlike med njihovimi aritmetičnimi sredinami ali ne.

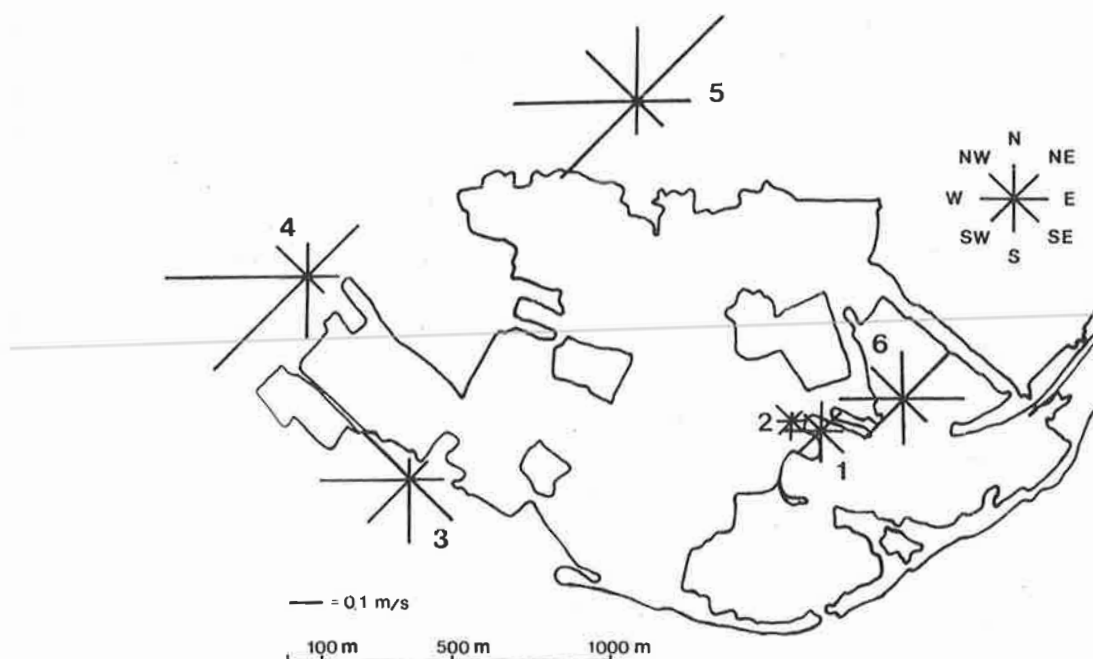
Drugi razlog, ki govori v prid računanja z razponi, je, da je z njimi lažje ugotoviti krajevno izravnano klime zaradi gozda, kjer je razpon manjši.

Opisani parametri so bili ocenjeni posebej za zimo, pomlad in poletje ter za celotno meritveno obdobje.

3 IZSLEDKI

3.1 Vpliv Mučke Dobreve na polje vetra

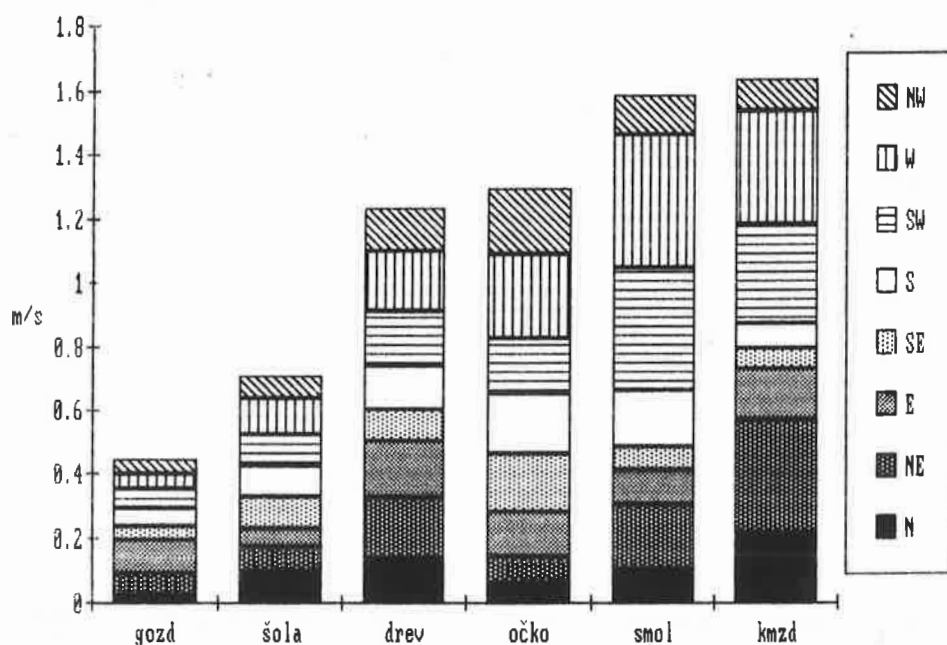
Vpliv Mučke Dobreve na polje vetra pregledno kaže slika 4. Dolžine krakov posameznih vetrnih rož pomenijo povprečno hitrost vetra osmih smeri v obdobju od aprila do septembra 1987. Jasno vidimo, da je roža tem večja, čim bolj je bila lokacija, na kateri smo merili, oddaljena od gozda. Ravno tako, posebno v primerih 3 in 4, slika nazorno pokaže deformiranost rož zaradi vpliva gozdnega bloka.



Slika 4: Vetrne rože na merilnih mestih okrog Mučke Dobreve za obdobje april – september 1987.

Figure 4: Wind-roses in measuring points around Mučka Dobra for the period from April–September 1987

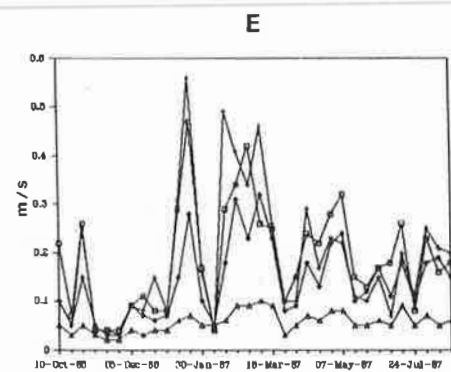
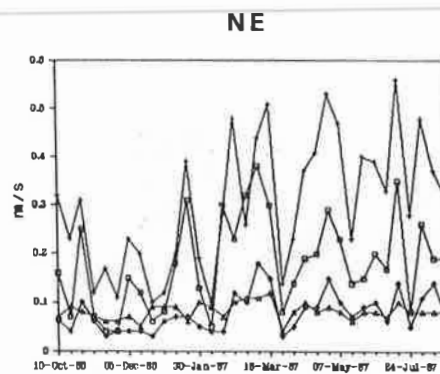
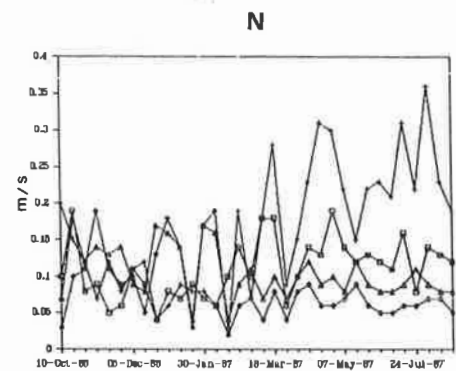
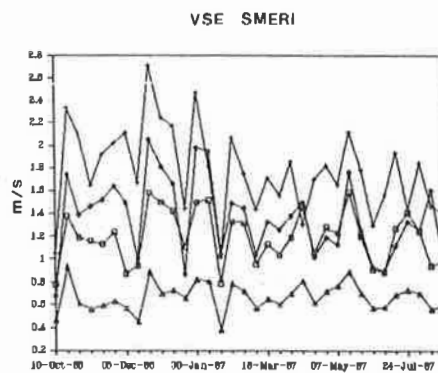
Primerjava hitrosti vseh smeri vetra za posamezne lokacije je podana na sliki 5. Vidimo, da je veter najbolj pihal pri kmetijski zadrugi; to je bilo tudi mogoče pričakovati, saj je bila že pred meritvami predvidena kot kontrolna točka. Glede na povprečno hitrost vetra pri kmetijski zadrugi je delež hitrosti vetra drugih točk za celotno meritveno obdobje takle: Očko 79%, drevesnica 71%, šola 39% in gozd le 25%. Analiza srednjih vrednosti za to obdobje pove, da so prav vse aritmetične sredine značilno različne druga od druge. Drugače je pri krajšem, le 17 tednov trajajočem obdobju od aprila do septembra 1987, v katerem se nista ločili lokaciji Smolnik in kmetijska zadruga ter Očko in drevesnica. Kljub tej razliki v razlaganju daljšega in krajšega obdobja pa so razlike v srednjih vrednostih med obema obdobjema zelo majhne. Iz tega lahko sklepamo, da nam že kratko meritveno obdobje ali malo ponovitev zadošča za dobro oceno učinkov gozda na polje vetra ne glede na smer. (Videli bomo, da velja podobna ugotovitev za vse smeri vetra.)



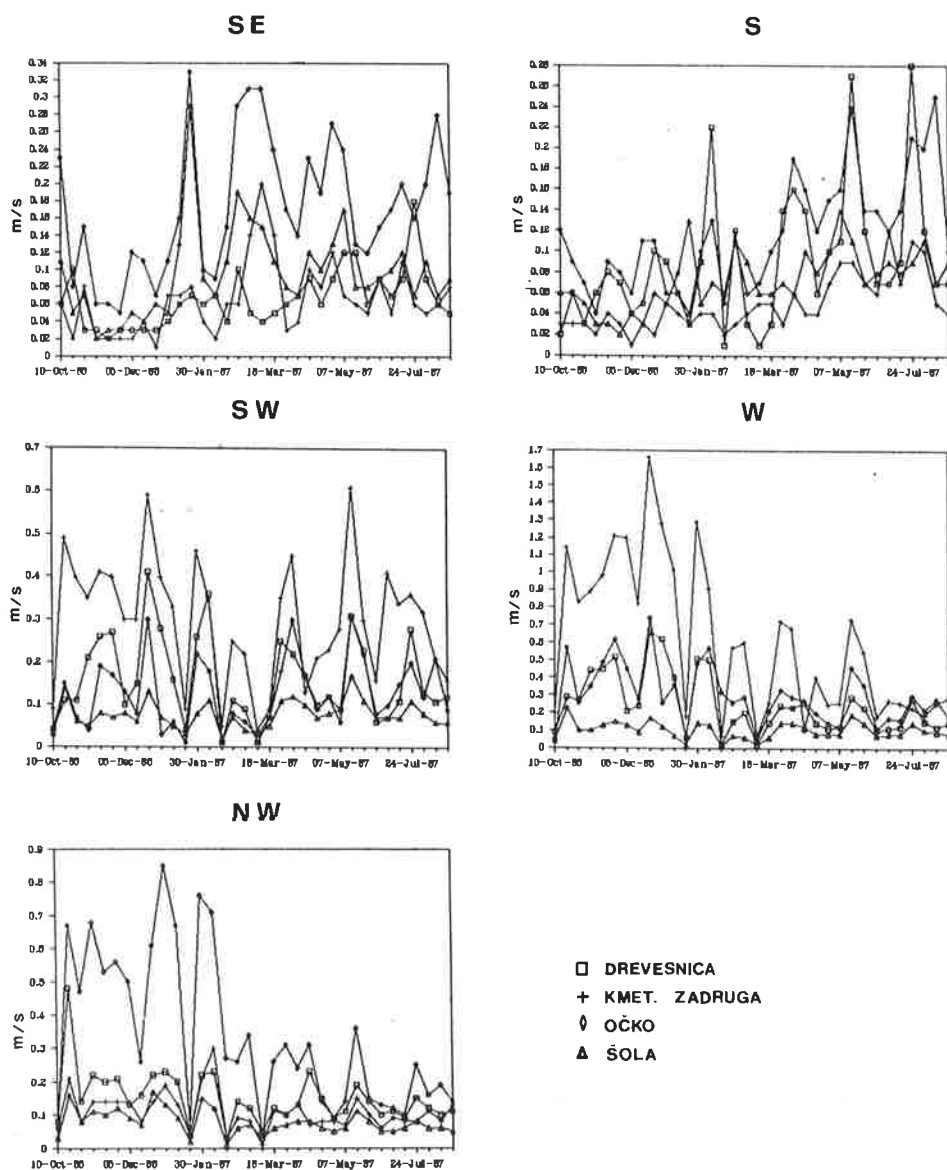
Slika 5: Primerjava hitrosti vetra po smereh na merilnih mestih okrog Mučke Dobre (lestvica velja le za vsoto vseh smeri vetra)

Figure 5: A comparison of projecting arms of wind speeds in measuring points around Mučka Dobra

Časovni potek hitrosti vetra po posameznih smereh kaže za štiri izbrana, vendar med seboj zelo različna merilna mesta 6. slika. Razberemo lahko, da je spremenljivost v časovnem poteku hitrosti vetra na neki lokaciji tem večja, čim višja je njena srednja vrednost. To dokazujejo tudi izračunani koeficienti variacije, ki tu sicer niso navedeni, so pa na vetru izpostavljenih lokacijah višji kot v zavetrnih legah. To pomeni, da srednje vrednosti hitrosti vetra, ki so navedene na 5. sliki, kažejo celo manjšo razliko v hitrostih med posameznimi lokacijami, kakršna je v resnici, če so pri tem pomembne predvsem maksimalne vrednosti.



Golob S.: Poskus merjenja vplivov ravninskih gozdov na krajevno klimo ...



Slika 6: Časovni potek povprečnih tedenskih hitrosti vetra po posameznih smereh za merilna mesta drevesnica, kmetijska zadruga, Očko in šola
 Figure 6: Frequency and duration of the average weekly wind speeds according to individual directions for the measuring points of the tree nursery, the agricultural co-operative, Očko and the school

Iz kombinacije informacij na 4, 5 in 6. sliki lahko za posamezne komponente vetra sklepamo tole:

Severna komponenta hitrosti vetra je bila največja spomladi in poleti in sicer pri kmetijski zadrugi in drevesnici, ki se od drugih lokacij v celotnem meritvenem obdobju statistično značilno razlikujeta. Nasprotno je bil veter severnih smeri najšibkejši v gozdu, med drugimi lokacijami pa ni značilnih razlik.

Hitrost severovzhodnega vetra je bila spet največja pri kmetijski zadrugi, pri Smolniku in pri drevesnici, enako majhna pa je bila pri drugih treh lokacijah, ki jih je pred to komponento vetra dobro varoval gozd (glej 2. sliko).

Pri vzhodni komponenti vetra razlike med lokacijami niso tako velike, saj pred temi vetrovi tudi točka v gozdu ni bila povsem zavarovana. Večja kot pri drugih lokacijah je bila spet hitrost vetra pri kmetijski zadrugi in drevesnici. Anemometer pri drevesnici je bil od gozdnega pasu na vzhodu oddaljen 15 drevesnih višin; to je bilo že preveč, da bi bil zadrževalni vpliv gozda na veter zaznaven. Zelo velik zadrževalni učinek pa je imel gozd vzhodno od Smolnika, ki je bil od anemometra oddaljen osem drevesnih višin, čeprav je na to nekoliko vplivala verjetno tudi ježa, ki je iz te smeri točko pri Smolniku tudi nekoliko varovala. Za vzhodne vetrove je zanimivo tudi to, da so bili močnejši v zimskem obdobju.

Jugovzhodni veter je najbolj pihal pri Očku in značilno je, da je bil na tej lokaciji najmočnejši tudi severozahodni veter, ki mu je po smeri ravno nasproten. To se ujema z usmeritvijo struge Drave na tem odseku, in očitno je, da reka krajevno bistveno vpliva na tok zraka. Zanimivo je, da je bil jugovzhodni veter močnejši še pri šoli, ki je bila ravno iz te in samo iz te smeri pred vetrom nezavarovana (glej 2. sliko).

Tudi južni veter je bil najmočnejši pri Očku in Smolniku, močneje pa je pihal v toplejšem delu leta. Ravno zato so tudi razlike med obema meritvenima obdobjema v tem primeru zelo velike, vendar pa so razmerja med lokacijami v obeh obdobjih podobna. Primer Smolnika pri jugozahodnem vetru lepo kaže, da gozd varuje merilno mesto pred vplivom vetra, ne samo če je le-to na zavetrni strani gozda, temveč tudi, če je na privetrni. Pri Smolniku namreč ni gozdne ovire v smeri jugozahod – severovzhod, tako da je veter iz teh smeri tu močnejši kot npr. pri Očku, ki je ravno tako odprt na jugozahod, a ima v svojem zaledju gozd. Za kmetijsko zadrugo lahko rečemo, da gozd, ki je v tej smeri od nje oddaljen približno 18 drevesnih višin, na hitrost vetra iz jugozahoda ni bistveno vplival.

Od vseh komponent vetra je bila najmočnejša zahodna, vendar pa to ni izrazito veljalo za toplo polovico leta (7. slika). Vidimo, da se gozd in šola tu precej razločujeta od drugih lokacij, saj ju pred zahodnim vetrom gozd tudi najbolje varuje. Tudi drevesnici se zelo pozna, da je bil gozd v to smer od nje oddaljen le dobre tri drevesne višine.

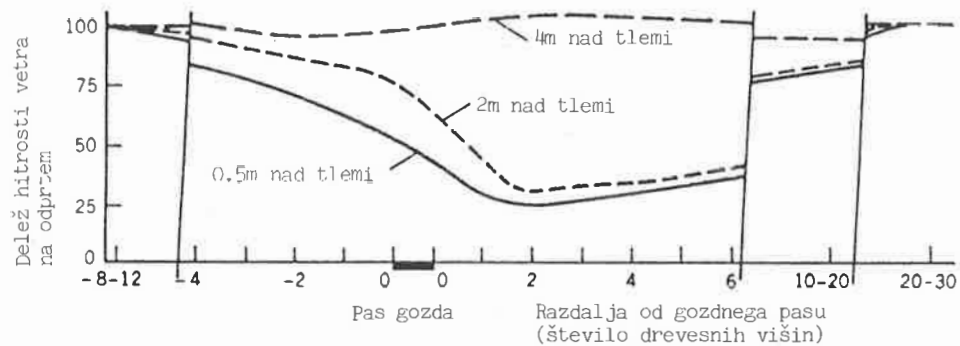
Med vsemi učinki gozda na hitrost vetra je najtežje razložiti, zakaj pri severozahodnem vetru merilno mesto Očko izrazito odstopa od vseh drugih. Ena od razlag, ki smo jo že omenili, je, da Drava s svojo lego preusmeri zahodne vetrove v severozahodne, druga pa je ta, da preseka za elektrovod skozi gozd, ki leži ravno v tej smeri, pospeši pretok zraka (vetra) iz severozahodne smeri po Bernoullijevem efektu.

Iz povedanega lahko sklepamo, da Mučka Dobrava, gledano krajevno, močno vpliva na vetrovne tokove na ravnici. Ta vpliv je lahko npr. za kmetijsko proizvodnjo pomemben že pri manjših jakostih vetra, pri večjih pa naglo narašča. Vsekakor je gozdni blok v ravnini, podoben Mučki Dobravi, stabilizirajoča krajinska prvina, ki s svojo navpično razsežnostjo sprejema nase energijo vetra ali pa veter razbija na večsmerne tokove, ki imajo vsak zase manjšo moč.

Kar zadeva krčenje Mučke Dobrave je posebno pomembna ugotovitev, da se na obravnavanem območju najpogostnejši zahodni vetrovi, in pa ugotovitev, da lahko s posegom v razmestitev gozda povzročimo kanaliziranje pretoka zraka, kot se je to zgodilo s presekom za daljnovod pri Očku. Vsekakor bi morala, kar zadeva vetrovnost, ostati v tem prostoru gozdna prepreka v smeri sever – jug, njen rob pa ne bi smel biti raven, temveč členjen.

3.2 Vpliv gozdnega pasu na hitrost vetra

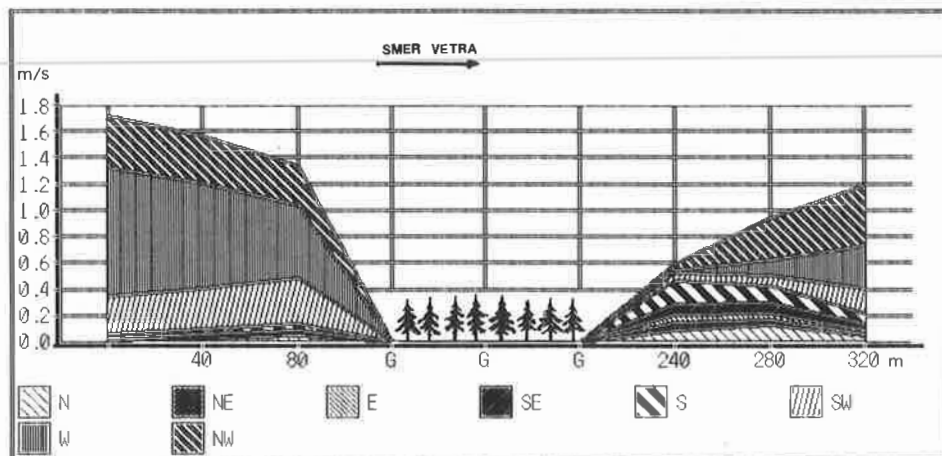
Koliko gozdni pas zmanjša hitrost vetra in kako daljnosežen je ta vpliv, so ugotavljali številni raziskovalci, njihove ugotovitve pa sta strnila Forman in Godron (1986). Graf, ki ga prikazuje 7. slika je pomemben zaradi primerjave z našimi meritvami. Model na sliki velja za neprepustno gozdno pregrado, kakršna je tudi pri Toplerju na Radeljskem polju. Vidimo, da je vpliv gozdnega pasu največji na razdalji dveh drevesnih višin za pasom, ko je hitrost vetra le dobro četrtnino hitrosti na odprtem. Vpliv gozdnega pasu potem počasi slabi, a je zaznaven vse do dvajsetih drevesnih višin.



Slika 7: Vpliv neprepustnega gozdnega pasu na hitrost vetra (po Formanu in Godronu 1986)

Figure 7: The influence of unpermeable forest zone on wind velocity (according to Forman and Godron 1986)

Izsledke naših merenj vpliva neprepustnega gozdnega pasu na zadrževanje vetra kaže 8. slika.

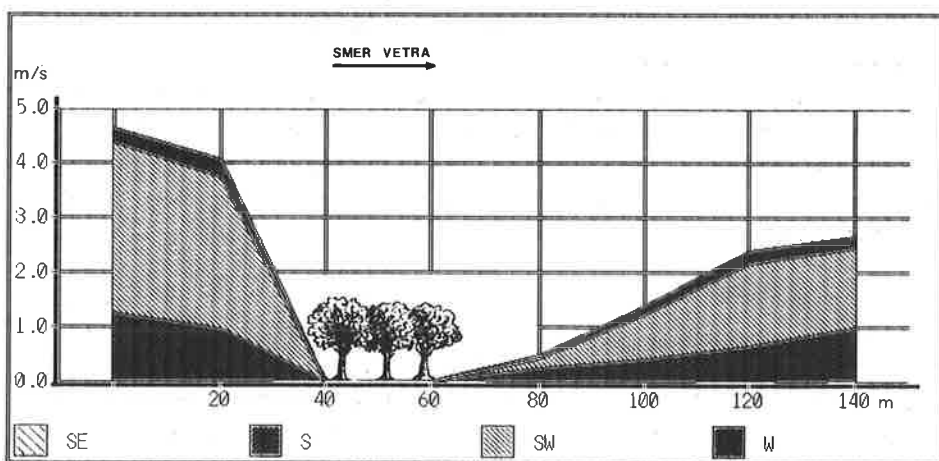


Slika 8: Vpliv neprepustnega gozdnega pasu na Radeljskem polju na zadrževanje zahodnih vetrov (lestvica velja le za vsoto vseh smeri vetra)

Figure 8: The influence of unpermeable forest zone in the Radlje field on the keeping off of west wind

Iz poteka zgornje krivulje razberemo, da nismo merili hitrosti v gozdu, je pa ta zelo majhna in smo ji zato pripisali vrednost 0. Poleg tega je treba upoštevati, da smo morali postaviti instrumente zelo na vrh gozdnega jezika (prim. 3. sliko), tako da gozd na zadrževanje severozahodne komponente vetra pri zadnjih dveh točkah ni vplival. Če upoštevamo to dvoje, vidimo, da se naši izsledki do razdalje šestih višin gozdnega pasu dobro skladajo z modelom s 7. slike, zato lahko privzamemo model tudi za večje razdalje. Vendarle pa naša slika kaže še nekaj več: zelo nazorno se namreč vidi, da za gozdom nastaja zračna turbulenca, saj se zahodne smeri vetra na privetrni strani v zavetrni spremenijo v več povsem drugih smeri. Ta vpliv je največji pri dveh sestojnih višinah za gozdom in počasi slabi proti šestim, kjer postanejo komponente zahodnih vetrov spet najpomembnejše. Značilno je, da je v zavetrju močnejša severna in posebno južna komponenta vetra, to pa zato, ker sta ta dva vetrova vzporedna z lego pasu.

Značilnost polprepustnih protivetrnih pasov je, da v njihovem zavetrju ne nastajajo večji vrtinci, zato je njihov vpliv na zadrževanje vetra daljnosežnejši kot pri neprepustnih pasovih (Forman in Godron 1986, Količ 1978). To kažejo tudi izidi naših meritev na Ljubljanskem barju (9. slika).



Slika 9: Vpliv polprepustnega gozdnega pasu na Ljubljanskem barju na zadrževanje vetra (lestvica velja le za vsoto vseh smeri vetra)

Figure 9: The influence of a semi-permeable hedgerow in the Ljubljansko Barje (the Ljubljana marshes) on wind reduction

Pri razmeroma močnem vetru, ki je pihal 4,7 m/s, je bil vpliv omejka na zadrževanje vetra velik, saj je bil veter še na razdalji šestih drevesnih višin na zavetrni strani kar za 50% manjši od tistega na odprtem, na razdalji osmih drevesnih višin pa za 43%. Na privetrni in na zavetrni strani so navzoče iste komponente vetra. Ker je gozdni pas potekal pravokotno na smer jugozahodnih vetrov, je bil učinek prav na te vetrove največji. S slike vidimo, kako malo vpliva omejek na preostali komponenti vetra. Vpliv je tem manjši, kolikor bolj se od gozda oddaljimo.

Povzamemo lahko, da so izidi naših meritev povsem v mejah teoretičnih modelov, ki izhajajo iz številnih meritev. To pomeni, da imajo gozdni pasovi v odprti krajini daljnosežen vpliv na zadrževanje vetra, ki je zaznaven do dvajsetih drevesnih višin. Za zadrževanje vetra ni nujno, da je pas zelo širok in neprepusten, ugodnejši učinek imajo celo polprepustni pasovi gozda v krajini. Ta vidik gozdnih funkcij kaže, da v krajini Radeljske ravnice manjkajo gozdni pasovi, ki bi zadržali vetrove, s čimer bi se zmanjšalo tveganje zaradi pustošenja močnejših vetrov in bi se zmanjšala transpiracija kulturnih rastlin.

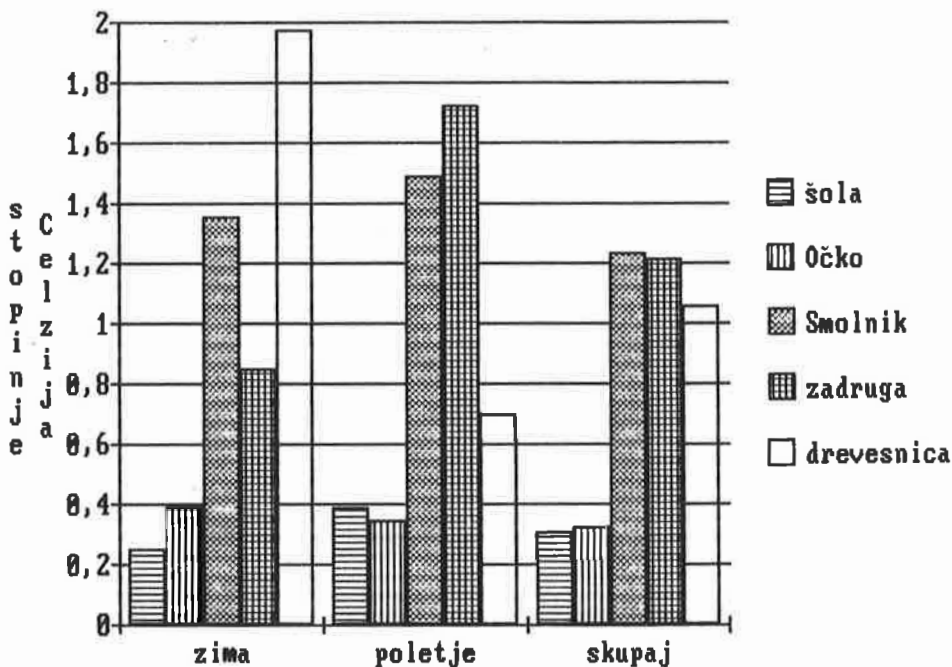
3.3 Vpliv Mučke Dobrave na temperaturo zraka

Razlike razponov v času od 23. decembra 1986 do 31. avgusta 1987 so bile na posameznih merilnih mestih obdelane z analizo variance. Ničelna hipoteza o enakosti temperaturnih razmikov med lokacijami je za celotno obdobje zavržena s tveganjem 0,7% ($F(5,1158)=3,19$), za zimsko obdobje s tveganjem 3% ($F(5,365)=2,50$) in za poletno obdobje s tveganjem 5% ($F(5,342)=2,21$). V pomladanskem obdobju so bili razponi med temperaturnima skrajnostma na vseh lokacijah enaki.

Slika 10 kaže, koliko so bili na posameznih lokacijah razponi v obdobjih, v katerih smo zavrgli ničelno hipotezo, večji od razpona v gozdu, ki je bil v vseh primerih v vseh obdobjih najmanjši. Logično in statistično utemeljeno razlago te slike omogoča šele 1. preglednica, na kateri so z zvezdicami označene dvojice lokacij, ki se glede razmika med temperaturnima skrajnostma v različnih obdobjih značilno razlikujejo s tveganjem 5% (*) ali 1% (**).

Ugotovimo lahko, da moramo posebej obravnavati skupino lokacij gozd, šola, Očko in posebej skupino Smolnik, kmetijska zadruga, drevesnica. Znotraj teh dveh skupin se namreč v nobenem obdobju po dve lokaciji glede razpona med seboj ne razlikujeta. V celotnem meritvenem obdobju imata od vseh lokacij prve

skupine značilno večje razpone Smolnik in kmetijska zadruga, drevesnica pa se loči le od gozda. Lokaciji torej, ki sta od Mučke Dobrave najbolj oddaljeni oziroma ki ju gozd z nobene strani ne obkroža, imata tudi največje temperaturne razpone.



Slika 10: Povprečni odkloni od razpona v gozdu za posamezne lokacije in za različna obdobja

Figure 10: The average deviations from the temperature span in a forest for individual locations and different periods

Zakovitosti so nekoliko drugačne, če posebej razčlenimo najhladnejše obdobje, zimo, in najtoplejše, poletje. Pozimi ima namreč lokacija pri drevesnici, ki leži na večji krčevini sredi gozda, daleč največji razpon, ki izhaja predvsem iz najnižjih temperatur. Pojav si lahko razložimo tako, da je pozimi na večji jasi, ravno tako kot na odprtem prostoru, dolgovalovno sevanje večje (zaradi večjega albeda – prim. Hočevnar 1987, str.3) kot v gozdu. Ker je odtok hladnega zraka z jase, ki jo obkroža gozd, otežen, so lahko temperature v takih razmerah sorazmerno nižje (podobno ugotavljata tudi Juddeloh in Collet 1981). V poletnem času se med vsemi lokacijami iz prve skupine razlikuje kmetijska zadruga, razponi pri Smolniku pa se značilno ločijo le od gozda.

Preglednica 1: Pregled statistično značilnih razlik med razponi različnih lokacij po obdobjih (povzetek testa najmanjših značilnih razlik)

Table 1: A survey of statistically significant differences between the spans of extreme temperatures in different locations according to periods (a summary of the test of the least significant differences)

		šola	gozd	Očko	Smol	Kmz
drev	skupaj	n.z.	**	n.z.	n.z.	n.z.
	zima	*	**	*	n.z.	n.z.
	poletje	n.z.	n.z.	n.z.	n.z.	n.z.
Kmzd	skupaj	*	**	*	n.z.	
	zima	n.z.	n.z.	n.z.	n.z.	
	poletje	*	**	*	n.z.	
Smol	skupaj	*	**	*		
	zima	n.z.	*	n.z.		
	poletje	n.z.	*	n.z.		
Očko	skupaj	n.z.	n.z.			
	zima	n.z.	n.z.			
	poletje	n.z.	n.z.			
gozd	skupaj	n.z.				
	zima	n.z.				
	poletje	n.z.				

Kar je veljalo pri vetru, lahko ponovno ugotovimo tudi pri temperaturnih skrajnostih, namreč to, da je klimatski pomen gozda največji prav v skrajnih vremenskih razmerah. Meritve tudi kažejo, da osredki določenega obsega v gozdu, kakršni v Mučki Dobravi že obstajajo, niso primerni za tiste kmetijske kulture, ki so občutljive na zgodnje ali pozne pozebe.

4 SKLEPNE UGOTOVITVE

Ugotovitve raziskave lahko strnemo v tehle sklepih:

1. Meritve, ki so bile opravljene na Mučki ravnici kažejo, da gozdni blok, ki je sredi nje, krajevno zelo zmanjšuje energijo vetra in preusmerja vetrne tokove. Ta učinek je večji pri močnejšem kot pri šibkejšem vetru, dokazati pa ga je mogoče že v krajših meritvenih obdobjih.

2. Vetrna roža enajstmesečnega merjenja vetra kaže, da so na obravnavanem območju najpogostejši in obenem najmočnejši zahodni vetrovi, ki so vzporedni s potekom doline Drave, zato moramo biti glede varovanja pozorni predvsem nanje.

3. Na primeru meritvenega mesta "Očko" je bilo dokazano, da lahko ravni in kratki koridorji v gozdu pospešijo pretok zraka; to je lahko slabo, če je tam objekt, občutljiv na močan veter.

4. Na primerih neprepustnega in prepustnega pasu smo z meritvami potrdili iz literature znane zakonitosti. Za neprepustnim pasom je bilo preprosto dokazano, da tam nastajajo večji vrtinci, pri polprepustnem pasu pa je bil pretok zraka istosmeren, toda bistveno zmanjšan zaradi vpliva pasu. Zaradi zadrževanja vetra je na Radeljskem polju nujno osnovati vsaj še en pas, ki bi potekal pravokotno na smer zahodnega vetra.

5. Z meritvami temperatur smo na splošno pokazali, da so na točkah, ki jih varuje gozd, temperaturna nihanja manj izražena kot na odprtih legah. Vpliv gozda je bil na posameznih mestih v različnih letnih časih različen. Točka, ki je bila povsem na odprtem, se je od drugih razlikovala predvsem po večjih skrajnih temperaturah poleti, točka na jasi sredi gozda pa pozimi. Slednje lahko razložimo tako, da gozd preprečuje odtok hladnega zraka z osredka; to je lahko za nekatere poljščine slabo.

6. Klimadiagram za Radlje, ki velja za povprečje tridesetih let, lahko kaže za kak sušni mesec ali sušno leto napačno sliko o količini padavin. V obdobju 1951–1980 so bili na obravnavanem območju posamezni meseci na začetku in na koncu vegetacijske dobe povsem sušni; to je nedvomno vplivalo na uspevanje kulturnih rastlin. Če je v tem obdobju pihal tudi veter, je gozd rastline obvaroval pred stresom pomanjkanja vode. Podoben, čeprav manj izrazit, je bil lahko vpliv gozda tudi pri temperaturnih skrajnostih.

7. Z našimi izsledki smo dokazali, da so krajevni klimatski vplivi gozda vendarle tolikšni, da jih lahko izmerimo tudi s povprečnimi instrumenti. Dokazali smo tudi, da gozd blaži klimo; to je na splošno seveda že dolgo znano, toda glede na obstoj gozda, ki smo ga preučevali, morda odločilno.

5 SUMMARY

The climatic function of forests in flat land is generally acknowledged considerable significance, which is, however, not well known in case the characteristic conditions of a country are not known in detail. In Mučka flat land along the Drava river an attempt was made to clear land for cultivation which might have been prevented if the climatic significance of the forest and forest zones had been known enough. It is a well known fact that the forest as a vertical element in the environment exerts great influence on the wind in the surface layer and it also considerably alleviates temperature extremes.

From physiological point of view, wind means drought for agricultural plants. In sand ground of the flat land dealt with which has low water capacity the influence of the reduced wind velocity on the increase of yield may be considerable, which especially holds true of long drought seasons.

In six measuring points the average weekly wind speeds were measured throughout eleven months. The selected locations were the following: one of them was only poorly sheltered from wind, one of them was well sheltered and some of them were exposed to speeds from all directions. In the sheltered location wind speeds from all directions were four times smaller than in a control location during the whole measuring period. The analysis of individual components of wind speeds from eight points of compass showed that wind velocity increased with the distance between the location and the forest. The forest had influence on wind velocity even if it was in a sheltered position of a location. It was established that the coefficient of wind velocity variation was greater in those locations which were less sheltered from wind so it could be stated that the protection of forest is the greater the stronger the wind is. Thus a long measuring period was not necessary for a relative comparison between points because already 2,5 times shorter periods provided very similar results. A relative long measuring period, however, does say something about the annual distribution of individual components of the wind in a valley; the longest way was performed by the west wind in a period of eleven months. The fact that the Drava bed changes the direction of wind as to the location is also important.

The research also dealt with the influence of a windbreak on the keeping off of wind. Its influence in the shelter can be felt up to twenty tree lengths. The unpermeable windbreak which was the object of our research caused air turbulence in its shelter and divided the principle wind direction into a series of multidirectional air currents. In a permeable, relatively narrow windbreak, wind direction remained equal to the input direction also in the shelter.

The establishing of the influence of forest on air temperature dynamics was a difficult task in regard of the persistency of accuracy of thermographs used. In order to evade wrong conclusions due to errors of measuring devices only the average intervals between extreme temperatures in different locations were compared, which are, however, identical with those achieved in wind measurements. The intervals in three locations which were situated closer to the forest were smaller than those in more remote locations. Slight yet measurable alleviating influence of the forest on temperature extremes could be established. In major clearings in the middle of a forest, winter temperatures are even lower than in open sites. On the basis of temperature curves of two locations it was established that the duration of temperature differences persisted a longer period; during this time minor horizontal air circulations might develop yet these were not included in our observations.

The significance of the research is greater from the methodological point of view than from theoretical one because it indicates that it is possible to prove the influence of the forest or its zones on the local climate of a certain area by means of average gauge instruments. Such influence may be a sufficient argument for preventing the forest from disafforestation in flat land or to start new afforestation plots in places where there is no more forest.

6 ZAHVALA

Raziskava je bila opravljena z instrumenti, s strokovno in s tehniško pomočjo VTOZD-a za gozdarstvo Biotehniške fakultete. Denar sta prispevali Raziskovalna skupnost Slovenije in Medobčinska raziskovalna skupnost koroške regije. Postavitev meteoroloških instrumentov je predlagal prof. dr. Andrej Hočevar, ki je članek tudi recenziral. Podatke je zbirala Marina Herman – Planinšek, pri njihovi obdelavi pa je sodelovala še Karmen Vogelnik. Vsem najlepša hvala.

7 REFERENCE

- ANKO, B., 1987. Posegi v gozdni prostor v obdobju 1981–1985. V: Problematika vnašanja tujkov v gozdni prostor. VTOZD za gozdarstvo BF in SIS za gozdarstvo SRS, Ljubljana, str. 137–160.
- BAER, N.W., 1989. Shelterbelts and Windbreaks in the Great Plains. *Journal of Forestry*, 87(4):32–36.

- BARNER, J., 1983. Experimentelle Landschaftsoekologie. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 196 str.
- BARTH, W. E., 1987. Praktischer Umwelt- und Naturschutz. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 310 str.
- BUCHWALD, K., ENGELHARDT, W. 1978. Handbuch fuer Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt – die Belastung der Umwelt. BLV Verlagsgesellschaft, Muenchen, Bern, Wien, 432 str.
- FORMAN, R.T.T., GODRON, M., 1986. Landscape Ecology. John Wiley & Sons, New York, 618 str.
- GEIGER, R., 1961. Das Klima der bodennahen Luftschicht. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, 646 str.
- GRUENERT, F., BENNDORF, D., KLINGBEIL, K., 1984. Neuere Ergebnisse zum Aufbau von Schutzpflanzungen. Beitr. Forstwirtsch. 18(3):108–115.
- HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD SRS, 1988. Klimatografija Slovenije. Temperaturne razmere in padavine na območju SR Slovenije v obdobju 1951–1980, 724 str.
- HOČEVAR, A., 1967. Prispevek k problemu cennitve vodne bilance v tleh. Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, 14:33–41.
- JUDELLOCH, H., COLLET, G., 1981. Die Wirkung von Windschutz in der Landschaft. Der Holz- und Forstwirt, 36(2):40–41
- KOLIČ, B., 1978. Šumarska ekoklimatologija (Mikroklima šumskih staništa). Naučna knjiga, Beograd, 300 str.
- KUNSTLER, P., 1960. Navodila za redukcijo podatkov o vetru iz 16 na 8 smeri in iz 8 na 4 smeri. Hidrometeorološki zavod LRS, Ljubljana, 4 str.
- LEIBUNDGUT, H., 1975. Wirkungen des Waldes auf die Umwelt des Menschen. Eugen Rentsch Verlag, Erlenbach–Zuerich, 186 str.
- NEUMANN, J., 1983. Der Philosoph Empedokles (5. Jahrhundert v. Chr.) als Erfinder von Windschutzanlagen? Wetter und Leben, 35(2):91–92
- PRUS, T., 1988. Pedološke raziskave pri Muti. VTOZD za agronomijo BF, Ljubljana, 14 str.
- WULLSCHLEGER, E., 1982. Die Erfassung der Waldfunktionen. Eidgenoessische Anstalt fuer das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, 80 str.
- WALTER, H., 1979. Vegetation of the Earth. Springer Verlag, New York, 274 str.