

## VETER V SLOVENIJI Z VIDIKA VPLIVA NA ZBIRALNIK SONČNE ENERGIJE

### WIND IN SLOVENIA REGARDING ITS INFLUENCE ON SUN-ENERGY-COLLECTOR

Zdravko PETKOVŠEK  
VTOZD Fizika, FNT, Ljubljana

UDK 551.553  
UDK 551.555

#### SUMMARY

The Useful energy obtained from a sun-energy-collector also depends on the wind characteristics in the location. Wind can take away or add a considerable amount of energy by turbulent flux, but strong winds can damage or destroy the construction supporting the collector. The wind characteristics of Slovenia are treated here with respect to these influences.

First some upper level wind roses are presented because the relief of Slovenia reaches the 850 mb level over considerable areas, and to a smaller extent even the 700 mb level. The winds on peaks and ridges at these heights correspond approximately to the winds at the levels mentioned. For some details the analysis of P-B (pilot-balloon) observations are presented up to 2160 m, and vertical wind profiles are also given for Ljubljana, representing a basin-like site, and for Murska Sobota, representing flat terrain (Figs. 2-4).

Regarding wind characteristics in Slovenia, three typical regions can be distinguished: high open places, lowland valleys and basins, and the coastal region. In high districts, however, shallow basin can be found with stagnant air and low wind conditions. But in general in the high regions the winds are stronger and calms are rare — Table 2, a. Lowland unit in central Slovenia show weak average winds and high frequency of calms (2b). The coastal region has considerable winds, although due to its position on the lee side of the Alps, the whole of Slovenia has a low average wind speed, compared with the winds in the lowlands of Western Europe. Also, the number of days with strong winds in the coastal region (Table 3) is important, because the bora there is a cold wind and carries away a great amount of the collector's energy.

As the sun-energy-collector works only in the daytime, and as the energy is most welcome in the winter, the daily and yearly distributions of wind speed are important, and are presented in Figs. 7 and 8 for typical places. Finally in Fig. 9 the frequency of strong and stormy winds is presented for many places, indicating that the collector holding the construction must be solid everywhere.

## POVZETEK

Proučevanja odnosov med zbiralnikom sončne energije in vetrom kažejo, da lahko veter bistveno vpliva na koristno moč zbiralnika, saj jo lahko zmanjša za več kot četrtino. V delu so zato podane glavne značilnosti hitrosti vetra v Sloveniji. Prikazane so njegove razporeditve z višino, vrednosti pri tleh, letni in dnevni hod vetra ter močni in viharne vetrovi za nekatere kraje Slovenije.

## UVOD

Precejšen del energije, ki jo prejme zbiralnik od sonca, odda v okolje, ali pa mu jo okolje na različne načine odvzame ali doda (Petkovšek-Rakovec 1982). Koristna energija, ki jo da zbiralnik, je lahko zaradi tega precej spremenjena. Eden od parametrov okolja, ki odvaja ali dovaja energijo, je gibanje zraka ali veter. Kolikšen del energije odnese ali prinese veter, je odvisno tako od vrste zbiralnika kot od značilnosti vetra v izbrani lokaciji. Slovenija je zelo razgibana in ima v različnih krajih zelo različne vremenske in klimatske razmere. Zato je treba na eni strani poznati sovplive med zbiralnikom in vetrom ter na drugi karakteristike vetrov pri nas v Sloveniji. S tem bi lahko razmeram v okolju primerno izbrali za posamezna področja njim najbolj ustrezno vrsto zbiralnika, ki bi dal za tiste razmere optimalno možno količino energije. V tem delu bo zajeto gibanje zraka oziroma veter in prikazane bodo glavne značilnosti ter razporeditve vetrov v Sloveniji, z višino in s časom.

## ODNOS MED VETROM IN ZBIRALNIKOM SONČNE ENERGIJE

Veter je pomemben pri zbiralniku sončne energije zaradi dveh glavnih učinkov:

- veter odnaša ali prinaša energijo iz okolja,
- močan veter lahko poškoduje ali uniči zbiralnik.

Veter v naravi je vrtinčasto (turbulentno) gibanje zraka, in čeprav je mirujoč zrak slab prevodnik toplote, vendar odnašajo vrtinci oziroma vetrovi od toplejših teles znatne količine energije v atmosfero. Po najbolj razširjeni K-teoriji je toplotni fluks podan z enačbo

$$F_H = -\rho c_p K_H \partial\theta/\partial z$$

kjer je  $\rho$  gostota zraka,  $c_p$  njegova specifična toplota pri konstantnem pritisku,  $K_H$  turbulentna difuzivnost za toploto,  $\theta$  potencialna temperatura in  $z$  koordinanta — višina nad ploskvijo, ki se ohlaja (ali ogreva, če je  $\partial\theta/\partial z < 0$ ).  $K_H$  je odvisna od mnogih parametrov (hitrosti vetra, stabilnosti atmosfere, hrapavosti površin i.d.) in se s krajem in časom spreminja ter jo je mogoče le približno določiti. Pogosto jo izenačimo z difuzivnostjo gibalne količine in jo dobimo iz vetrovnih profilov. Ker tudi teh večinoma ne poznamo, podamo turbulentni fluks zaznave toplote med steklom zbiralnika in atmosfero, s približno polempirično enačbo

$$H_{sz} = -(K_1 + K_2 v) (T_s - T_z)$$

kjer sta  $K_1$  in  $K_2$  empirična koeficienta (npr. Meinel, 1976),  $v$  je hitrost vetra ter sta  $T_s$  in  $T_z$  temperaturi stekla in zraka. Očitno je pri  $T_s > T_z$  toplotni tok od zbiralnika v atmosfero in se s tem zmanjšuje njegova koristna moč, kar je sorazmerno hitrosti vetra. Ta je torej v tej zvezi precej pomembna.

Numerični eksperimenti z modelom zbiralnika sončne energije, ki sloni na bilanci energijskih tokov znotraj zbiralnika in okolice, kažejo, da odvisnost izkoristka zbiralnika od hitrosti vetra ni preprosto določljiva. Istočasno namreč sovplivajo karakteristike zbiralnika in poleg vetra še drugi parametri okolja, ker so odvisni od vetra. Vendar na osnovi teh numeričnih eksperimentov ugotovimo, da lahko zmerni vetrovi spremenijo izkoristek zbiralnika za okrog 10% (v eno ali drugo smer), medtem ko se lahko njegov izkoristek npr. pri hladni burji (in neselektivnem absorberju) zmanjša za četrtino.

Dobro je, da je zbiralnik sončne energije vsaj v različnih letnih časih (če že ne urah dneva) obrnjen čimbolj proti soncu. Zato je navadno nameščen na posebni konstrukciji, sam pa naj ima čimvečjo površino. Ker je upor telesa v zračnem toku

$$U = \rho c S v^2 / 2$$

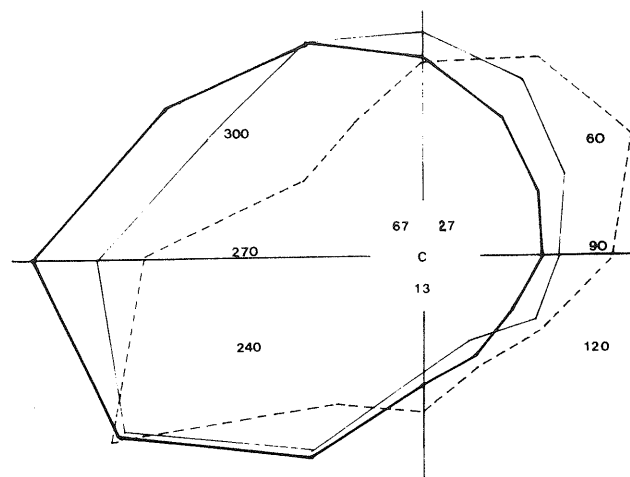
sorazmeren s površino preseka in s kvadratom hitrosti, sila upora hitro narašča. Pri močnih vetrovih je upor lahko tako velik, da zruši konstrukcijo in uniči zbiralnik. To velja posebno za vetrovne sunke ob nevihtah ali v burji. V njih doseže veter trikratno poprečno hitrost, a že ta je velika — upor pa se podeveteri. Zato je poznavanje poprečnih, prevladujočih in močnih vetrov ter njihovih karakteristik pri nas v tej zvezi dokaj pomembno.

## SPLOŠNO O VETRU NAD SLOVENIJO

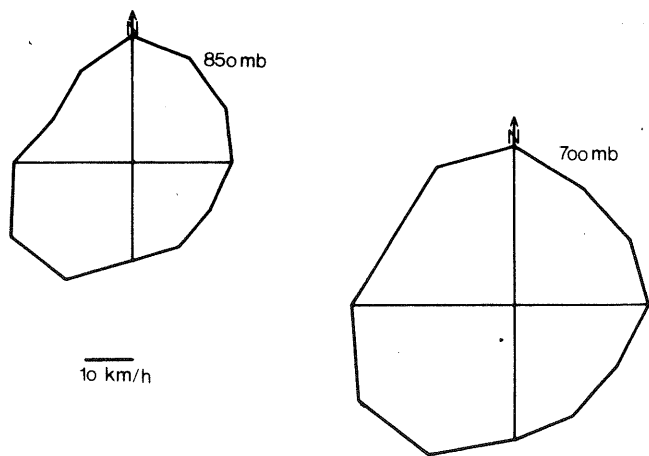
Zaradi sile trenja, je praktično vsako gibanje zraka v naravi turbulentno ali vrtinčasto. To se kaže v sunkovitosti in spremenljivosti vetra ter v tem, da je prenos toplote, raznih primesi in gibalne količine (torej samega vetra) skozi zrak zelo velik. Nastajanje in obnašanje turbulence je zelo zamotan problem, mi bomo lahko le približno ocenjevali njene posledice.

Najmočnejše je trenje navadno pri tleh, zato prevladujejo v višinah močnejši vetrovi, ki proti tlem slabijo in končno zrak med kamenčki in v dnu goste trave obmiruje — vetra ni, čeprav pihajo istočasno v višinah močni vetrovi. Zato je v zvezi z vetrom pomemben podatek tudi relativna višina nad tlemi, in to glede meritve vetra in tudi namestitve zbiralnika.

Splošni zahodni vetrovi, ki prevladujejo v zgornji troposferi zmernih geografskih širin, so nad Slovenijo v spodnjih plasteh troposfere zaradi Alp v poprečju šibkejši in odklonjeni — slika 1. Na sliki so prikazana poprečja. Toda taki splošni vetrovi so močnejši v območju ciklonov in front in znatno šibkejši v območjih anticiklonov. Poprečna doba prehoda front je vsakih 4 dni (Šegula 1976), vendar so lahko posamezna obdobja nekajkrat daljša ali krajša. V anticiklonih, ko so splošni vetrovi šibki, se razvijajo ob obalah in pobočjih lokalni vetrovi, ki so tudi šibki ali kvečjemu zmerni. Na drugi strani pa se lahko kjerkoli ob nevihtah nenadno pojavi zelo močan ali celo orkanski veter, v posebnih pogojih pa se pojavlja burja in fen ali pa nastopi doba nekajdnevnega brezvetrja (čeprav povsem zrak nikoli ne miruje) z ugodnimi ali slabimi posledicami.



Legenda: 850 mb - - - - - pogostost v %  
 700 mb ————— 40 %  
 500 mb ————— 500  
 C Primeri s hitrostjo pod 5km/uro izraženi v %



Slika 1 Celoletna roža smeri vetrov (zgoraj) in roži poprečnih hitrosti vetrov nad Slovenijo (1958–67), (po D. Furlanu 1980)  
 Fig. 1 Annual wind rose of upper wind frequency (above) and two rosses of wind speed over central Slovenia (1958–67), (after D. Furlan 1980)

Zaradi turbulentnega gibanja zraka je vsak podatek o vetru poprečje za neki čas (npr. sekundo, minuto ali uro). Krajši ko je čas, bolj je podatek natančen, a manj reprezentativen – zlasti pri tleh, kjer ustvarjajo razne ovire nove vrtince in je veter že na majhne razdalje lahko tudi v poprečju močno različen. Podatki o vetru so, skratka, močno odvisni od lokacije in časa, in le skrbna presoja omogoča ekstrapolacijo vrednosti za drug kraj ali čas. Tudi dobri instrumenti za veter (anemografi) so sorazmerno redko postavljeni, ker so dragi.

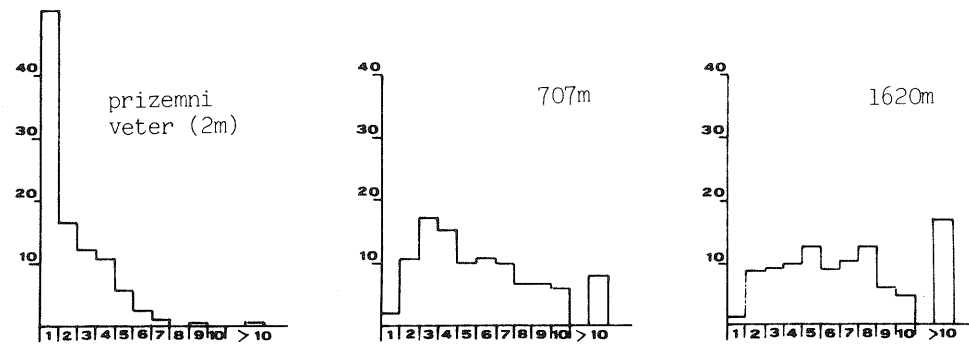
### RAZPOREDITEV VETROV V SLOVENIJI

Za potrebe v zvezi z zbiralnikom sončne energije je pomembna predvsem hitrost vetra (in le izjemoma tudi smer), zato bomo v nadaljnjem obravnavali predvsem hitrost.

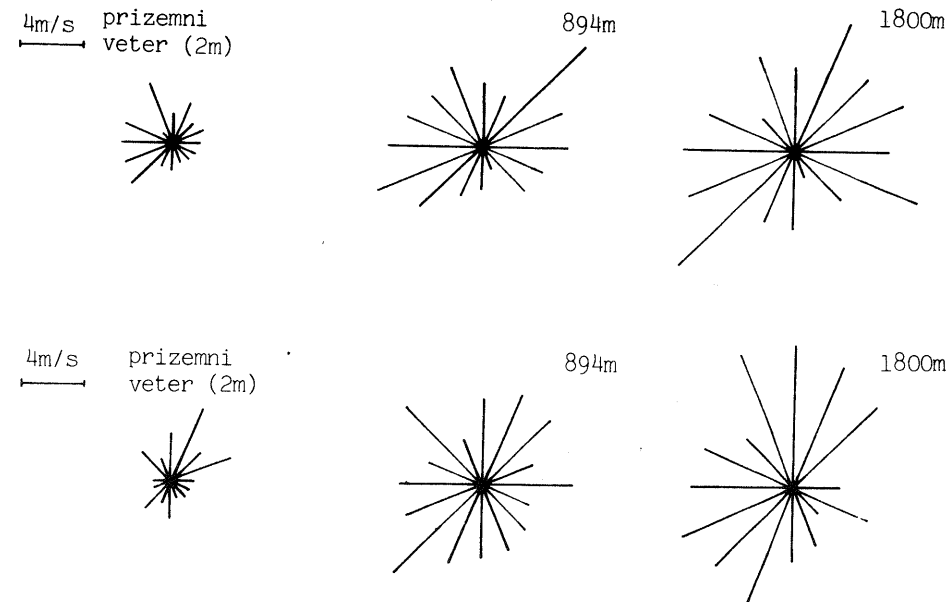
Zaradi trenja pri tleh hitrost vetra, posebno v spodnjem kilometru atmosfere navzdol hitro in vse hitreje slabi. To je npr. lepo razvidno iz analize pilot-balonskih opazovanj za Ljubljano in Mursko Soboto (Duh 1981). Iz podatkov 215 pilot-balonskih opazovanj leta 1959 je narejena slika 2, ki kaže, da so pri tleh navadno vetrovi šibki, z višino pa se najpogosteje opazovana hitrost pomika proti večjim vrednostim. Naslednja slika 3 predstavlja hitrostne rože vetrov na nekaterih višinah nad Ljubljano in M. Soboto. Tudi z nje je razvidno, da so vetrovi v višinah močnejši, poleg tega pa nam kaže tudi smeri, iz katerih so vetrovi najmočnejši in najšibkejši. Očitno je pri tleh za Ljubljano značilna zahodna komponenta, za Mursko Soboto pa vzhodna, medtem ko so na višinah razmere drugačne. Pri tem je koristno upoštevati, da so jugozahodni vetrovi navadno relativno topli, severovzhodni pa relativno hladni, zlasti v zimski dobi.

Na sliki 4 so prikazane poprečne vertikalne razporeditve hitrosti vetrov za oba kraja do višine 2160 m, in to še ločeno za vse vetrove skupaj ter posebej za šibke in močne vetrove. Pri šibkih vetrovih ( $v \leq 3$  m/s na 1080 m) (v anticiklonih) je značilen sekundarni minimum na višini okrog 1000 metrov nad tlemi in je verjetno posledica subsidenčne inverzije in vetrovnih razmer tik pod njo. Pri močnih vetrovih ( $v \geq 8$  m/s na 1080 m) pa se zlasti pri M. Soboti kaže spodnji vetrovni stržen.

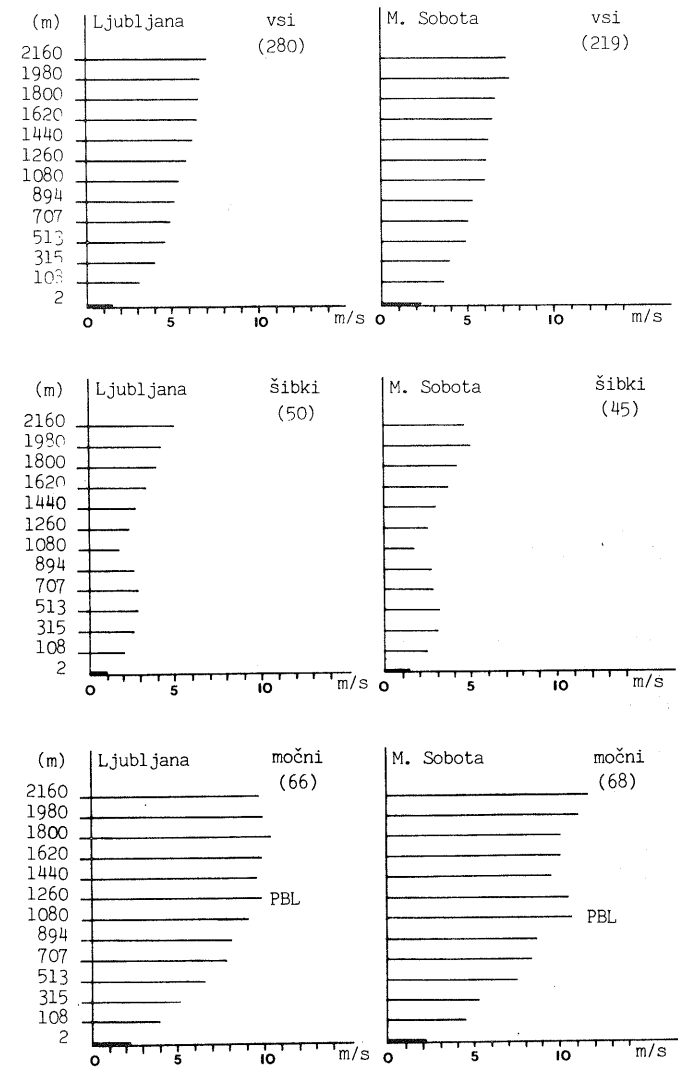
Podatke pilot-balonskih opazovanj lahko dobimo predvsem ob lepem vremenu in veljajo za spodnji del t.i. proste atmosfere, vendar na vetrove v Ljubljani že vplivajo obrobni grebeni, na obe postaji pa seveda tudi Alpe kot celota. Večina meteoroloških postaj z zanesljivimi podatki o vetru je v nižinah – dolinah in kotlinah, kjer vladajo tudi glede vetra posebne razmere. Zato nam služijo navedeni podatki kot dobra pomoč pri oceni hitrosti vetra v višjih legah – na vrhovih, pobočjih in planotah, kjer bi lahko nameščali zbiralnike sončne energije. Vendar paj je treba biti pri prenosu podatkov o vetru iz proste atmosfere v lokacijo pri tleh na enaki nadmorski višini zelo previden, ker je lahko pri tleh veter šibkejši ali pa tudi močnejši. O tem odloča oblikovitost terena, smer vetra in drugi atmosferski pogoji. Konkretni primeri, ki so nam na razpolago, so z malo večjih višin, vendar pokažejo bistvo. Tako je npr. enakost vetra na isti višini v prosti atmosferi ali na grebenu bolj izjema kot pravilo, kakor je razvidno s tabele 1.



Slika 2 Frekvenčna razporeditev vetrov nad Ljubljano po hitrostnih razredih za tri višine pilot-balonskih opazovanj 1959  
 Fig. 2 Frequency distribution of wind speed above Ljubljana in speed-classes for three heights of P-B observations in 1959



Slika 3 Hitrostne rože vetrov nad Ljubljano in Mursko Soboto za tri višine pilot-balonskih opazovanj leta 1959  
 Fig. 3 Wind speed roses above Ljubljana and Murska Sobota for three heights of P-B levels in 1959



Slika 4 Vertikalni profili vetra nad Ljubljano in Mursko Soboto za vse vetrove skupaj ter posebej za šibke ( $v \leq 3$  m/s) in močne ( $v \geq 8$  m/s) vetrove in njihova pogostnost ( )  
 Fig. 4 Vertical wind profiles for Ljubljana and Murska Sobota for all winds together, and for low ( $v \leq 3$  m/s) and high ( $v \geq 8$  m/s) winds separately, and their frequency ( )

Tabela 1 Relativna pogostnost razlik hitrosti vetra ( $\Delta v > 2,5$  m/s) za triletno dobo ob 14. uri v prosti atmosferi in na grebenih (po Pristovu 1959)

Table 1 Relative frequency of wind speed differences in the free atmosphere and on ridges for three years at 14 CET

postaja	enak	močnejši	šibkejši	na grebenu
Sonnblick (3106 m)	5	35	60	%
Kredarica (2515 m)	7	26	67	%

Očitno prevladuje zaviralni vpliv tal na veter s trenjem; toda približno tretjina primerov z večjo hitrostjo na grebenu kaže pogoste dinamične vplive (Bernoullijev efekt), a tudi termodinamični vplivi, npr. konvekcija, termalni veter i.dr. niso zanemarljivi.

Na osnovi študija razpoložljivih podatkov in presoje reliefnih in klimatskih značilnosti neke lokacije lahko strokovnjak približno oceni navedene vplive, pri čemer se je mogoče v osnovi nasloniti tudi na sliko 4. Na ta način je mogoče dobiti oceno vetrov za lokacije nad 250 m nad dnom dolin in kotlin. V njih samih pa vladajo specifične razmere, ki si jih bomo ogledali pozneje.

V mikroskali velikostnega reda 100 m in manj je pri oceni lokacije zbiralnika sončne energije in vpliva vetra nanj treba upoštevati razne ovire (hiše, drevje, oblikovitost tal ipd.) predvsem v smeri prevladujočih vetrov. Poleg tega pa je pomemben prizemni vetrovni profil. Večina meritev in teoretičnih rešitev kaže, da je prizemni profil vetra približno logaritmičen, vendar močno odvisen tudi od atmosferskih pogojev (zlasti stabilnosti atmosfere), od konfiguracije okolice in hrapavosti tal – slika 5. Tu so pri oceni poprečnih ali značilnih vetrov v neki lokaciji zbiralnika sončne energije možne največje napake. Že višinska razlika namestitve za nekaj metrov ali napačna ocena kakega vplivnega parametra lahko zgreši pravo vrednost hitrosti vetra ob zbiralniku za faktor 3 ali več. Pri tem je zato tudi pomembno vedeti, s katere višine nad tlemi in iz kakšne lokacije so podatki o vetru, ki jih upoštevamo oziroma jemljemo kot osnovo svojih ocen. Vsekakor ocena vetra v neki mikrolokaciji ni preprosta zadeva in površnost pri tem lahko privede do velikih napak.

#### RAZPOREDITEV VETROV PRI TLEH

Glede na vetrove naj v grobem razdelimo Slovenijo na naslednja tri območja:

- odprte lege,
- kotline in doline v notranjosti,
- Primorska.

Meje med njimi niso ostre in je to le doprinos k možnosti ocene vetra in njegovega vpliva na zbiralnik ter podajanja raznih značilnosti področij.

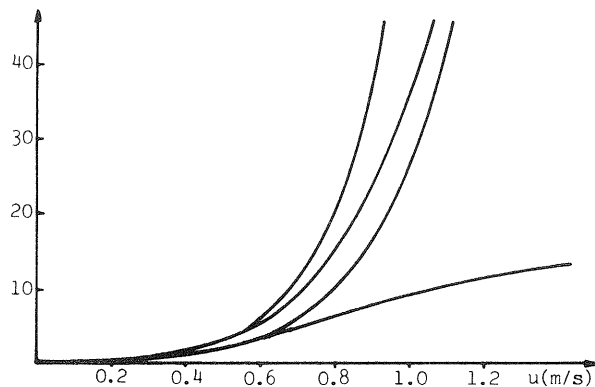
a) Za odprte lege bomo tu šteli lokacije, ki so sorazmerno dobro dostopne vplivu splošnih vetrov nad deželo. Zato lahko mednje štejeemo večji del Primorske, čeprav ima majhno nadmorsko višino in jo bomo pozneje še posebej obravnavali zaradi burje. Na drugi strani pa so kotline na visokih planotah (npr. deli Komne), ki kljub velikim nadmorskim višinam ne spadajo v to področje. Vendar pa za večino velja, da so višje lege navadno tudi bolj odprte oz. prevetrene, kot je razvidno s tabele 2.

Na odprtih oziroma višjih legah imamo v Sloveniji malo postaj z dobrimi podatki o vetru, saj je celo postaja Jezersko v dokaj zaprti legi. Zato je pomoč slike 4 toliko bolj koristna. Iz tabele 2 pa je tudi očitno, da so v višjih legah pri tleh neredka brezvetrja, ki jih v prosti atmosferi skoraj ni. Primerjava podatkov s tabele 2 in slike 4 kaže, da bi za oceno vetra pri tleh morali zmanjšati hitrost vetra s proste atmosfere skoraj za polovico. Toda upoštevati je treba, da so podatki s tabele 2 poprečja s klimatoloških terminov ob 7., 14. in 21. uri, za zbiralnike sončne energije pa so predvsem pomembni podatki čez dan. Dopolnitve spoznanj glede tega nam bodo dale poznejše obravnave časovne razporeditve vetra.

Tabela 2 Poprečne hitrosti vetrov na nekaterih meteoroloških postajah v Sloveniji za 20-letno dobo (1956–75) v m/s in odstotki brezvetrja

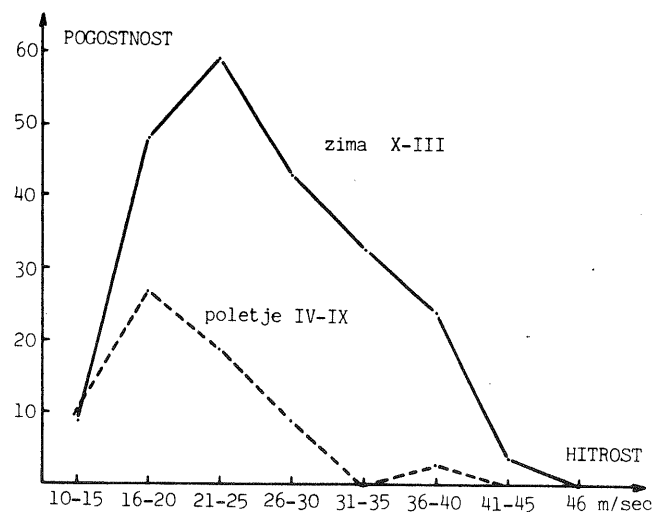
Table 2 Average wind speeds in m/s and percentage of calms for some places in Slovenia for the period 1956–75

	hitrost	brezvetrje
a) odprte lege		
Dom na Komni (1520 m)	2,5 m/s	10 %
Kredarica (2515 m)	2,8	22
Pleša-Nanos (1260 m)	3,9	17
b) nižine notranjosti		
Celje (244 m)	1,0 m/s	41 %
Ljubljana (300 m)	1,0	33
Maribor (275 m)	1,5	37
Murska Sobota (184 m)	0,9	53
Novo mesto (220 m)	1,3	21
Rateče-Planica (864 m)	0,5	69
Šmartno-Sl. Gradec (452 m)	1,7	23
Jezersko (960 m)	1,6	43
c) Primorska		
Ajdovščina (110 m)	1,7 m/s	41 %
Hirska Bistrica (420 m)	1,8	38
Koper (27 m)	2,3	29
Postojna (533 m)	2,4	26



Slika 5 Prizemni vertikalni profili vetra ob raznih približkih v stabilni atmosferi (po J. Rakovcu 1972)

Fig. 5 Surface wind profile at different approximations to atmospheric stability



Slika 6 Pogostnost vetrovnih sunkov burje po jakostnih razredih v Ajdovščini za dobo 1968-73 (po Petkovšek-Paradiž 1976)

Fig. 6 Frequency of bora gusts in speed-classes in Ajdovščina for the period 1968-73

Nižine in kotline v notranjosti Slovenije zlasti v zimski dobi pogosto zapolnjujejo jezera hladnega zraka, ki so ločena od višje atmosfere z izrazitimi temperaturnimi inverzijami. Te so navadno na relativnih višinah med 70 in 250 m (Petkovšek 1979). Pogosto pihajo nad inverzijami zmerni ali celo močni vetrovi, medtem ko vlada v kotlinah brezvetrje ali pa se razvije šibko lokalno gibanje zraka ob pogočjih in/ali pod vplivom toplotnih otokov naselij. Kljub temu, da se megla v zimski polovici leta čez opoldne razkroji, jezera hladnega zraka navadno ostanejo in preprečujejo vpliv višinskih vetrov k tlom. Iz podatkov tabele 2 b) vidimo, da so tu poprečni vetrovi večinoma pod 1,5 m/s in s tem trikrat šibkejši kot na ravninah zahodne Evrope (npr. Dresden 4,9, Hamburg 4,2 m/s), kjer je tudi brezvetrja komaj med 1 in 5% (Wallen 1977). V naših nižinah pa je brezvetrja veliko in dosega v Planici skoraj 70% vseh opazovalnih terminov. Prav zaradi pogostnega brezvetrja lahko štejemo tudi našo gorsko postajo Jezersko med „nižinske“ zaprte lege.

c) Primorska, kot smo že omenili, spada pretežno med odprta področja, razen izrazitih dolin in kotlin, ki imajo pogosta brezvetrja. Posebnost večjega dela Primorske je burja, ki je bolj pogosta in relativno hladna v zimski polovici leta (Petkovšek-Paradiž 1976). Burja lahko bistveno vpliva na zbiralnik sončne energije tako glede odvajanja toplote kot glede potrebe po posebno trdnih konstrukcijah, da ne nastanejo lomi zbiralnikov. S tega vidika je treba posebej upoštevati sunkovitost burje, kjer dosegajo hitrosti trikratno poprečno vrednost, a že ta ni majhna. Največja izmerjena hitrost vetra ob sunku burje v Ajdovščini je bila 47 m/s, sicer pa je pogostnost burij z maksimalnimi hitrostmi po razredih razvidna s slike 6.

Vplive burje vključujejo podatki o vetru tabele 2 primorskih postaj. Pri tem očitno izstopa nesmisel upoštevanja samo poprečnih hitrosti vetrov, ki so obenem po pogostnosti manj številne. Kadar je burja, so vetrovi znatno močnejši oziroma hitrosti bistveno večje od poprečnih, v preostalem času pa so vetrovi znatno šibkejši ali pa je brezvetrje. Zato podajamo v tabeli 3 za dva kraja Primorske še dodatne podatke, za nekatere druge kraje pa še pozneje na sliki 9.

Tabela 3 Število dni močnih vetrov ( $v \geq 6 \text{ Bf} \approx 12 \text{ m/s}$ ) in viharnih vetrov ( $v \geq 8 \text{ Bf} \approx 19 \text{ m/s}$ ) za Koper in Ajdovščino po mesecih in za vse leto (poprečno v 20-letni dobi 1956-75)

Table 3 The monthly number of strong ( $v \geq 6 \text{ Bf}$ ) and stormy ( $v \geq 8 \text{ Bf}$ ) winds in Koper and Ajdovščina - average for a period of 20 years (1956-75)

mesec:		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Leto
Koper	$\geq 6 \text{ Bf}$	8	7	8	7	4	4	4	5	3	6	7	8	73
	$\geq 8 \text{ Bf}$	4	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	3	25
Ajdovščina	$\geq 6 \text{ Bf}$	10	8	9	7	6	4	5	6	5	8	10	9	87
	$\geq 8 \text{ Bf}$	6	4	5	3	2	2	3	3	2	4	5	5	44

Velika večina močnih in viharnih vetrov je posledica burje, zato daje tabela 3 obenem približno sliko letne razporeditve burje. Ta je seveda v poletnih mesecih precej manj pogosta kot v zimskih.

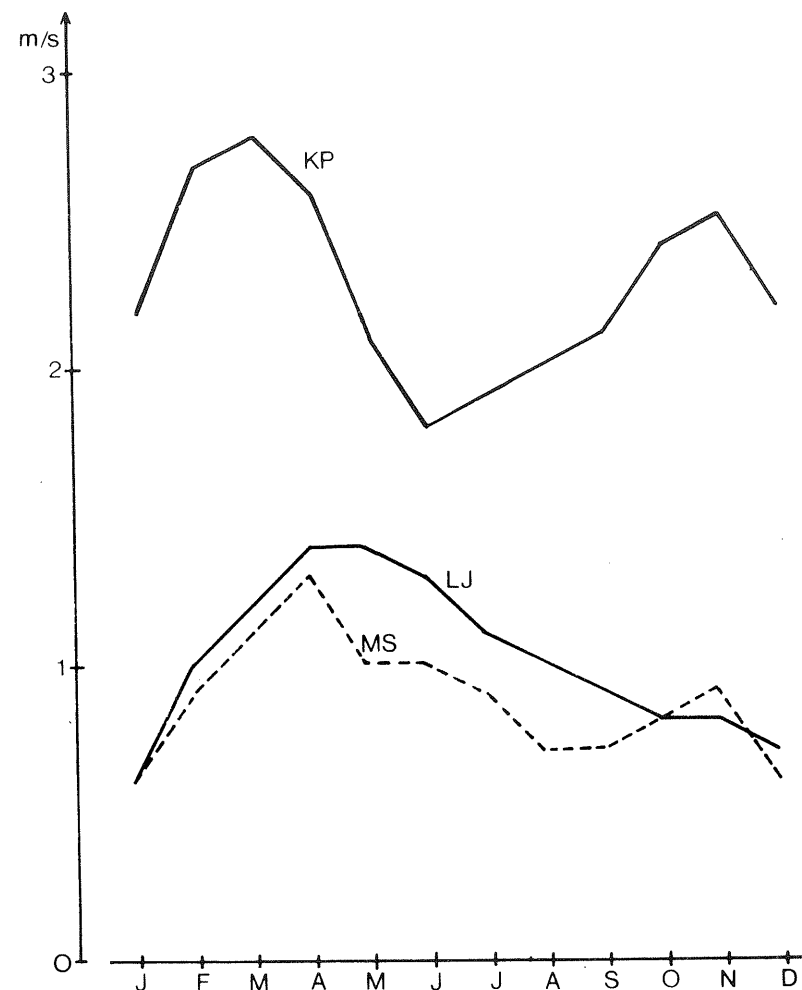
### ČASOVNE RAZPOREDITVE VETROV

Obdobja, za katera bomo podali časovne razporeditve hitrosti vetrov v Sloveniji, bodo periodična: leto in dan. Kvaziperiodično pa je menjavanje ciklonalnih in anticiklonalnih vplivov s povprečno periodo 4 dni, ki smo jo že omenili.

Letna razporeditev hitrosti vetrov za tri kraje — slika 7 — kaže bistveno razliko med Koperom, kot predstavnikom Primorske, in Ljubljano, kot predstavnikom nižin oziroma kotlin. Ob povečani labilnosti atmosfere spomladi narašča vpliv višinskih vetrov k tlam, zato hitrosti pri tleh proti pomladi naraščajo. Pri tem je maksimum v Kopru, kjer so vetrovi vseskozi močnejši, dosežen prej. Od maksimuma v Kopru hitrost vetra v Kopru naglo pade na minimum v juniju (vpliv etezijskega podnebja) in nato proti novembru počasi, a stalno narašča. Nasprotno pa v Ljubljani hitrost vetra od maksimuma v maju vse do konca leta stalno in dokaj enakomerno pada zaradi vse večje stabilnosti atmosfere in v jeseni dalj časa trajajočih jezer hladnega zraka. Murska Sobota kaže v skladu s svojo bolj odprto, a vendar velikokotlinsko lego, značilnosti obeh prejšnjih potekov. Ta slika nam skupaj s spredaj navedenimi povprečnimi letnimi vrednostmi omogoča presojo in oceno letne razporeditve hitrosti vetra tudi za druge kraje oziroma lokacije zbiralnikov sončne energije ter relativno oceno njihove izrabe v posameznih letnih časih.

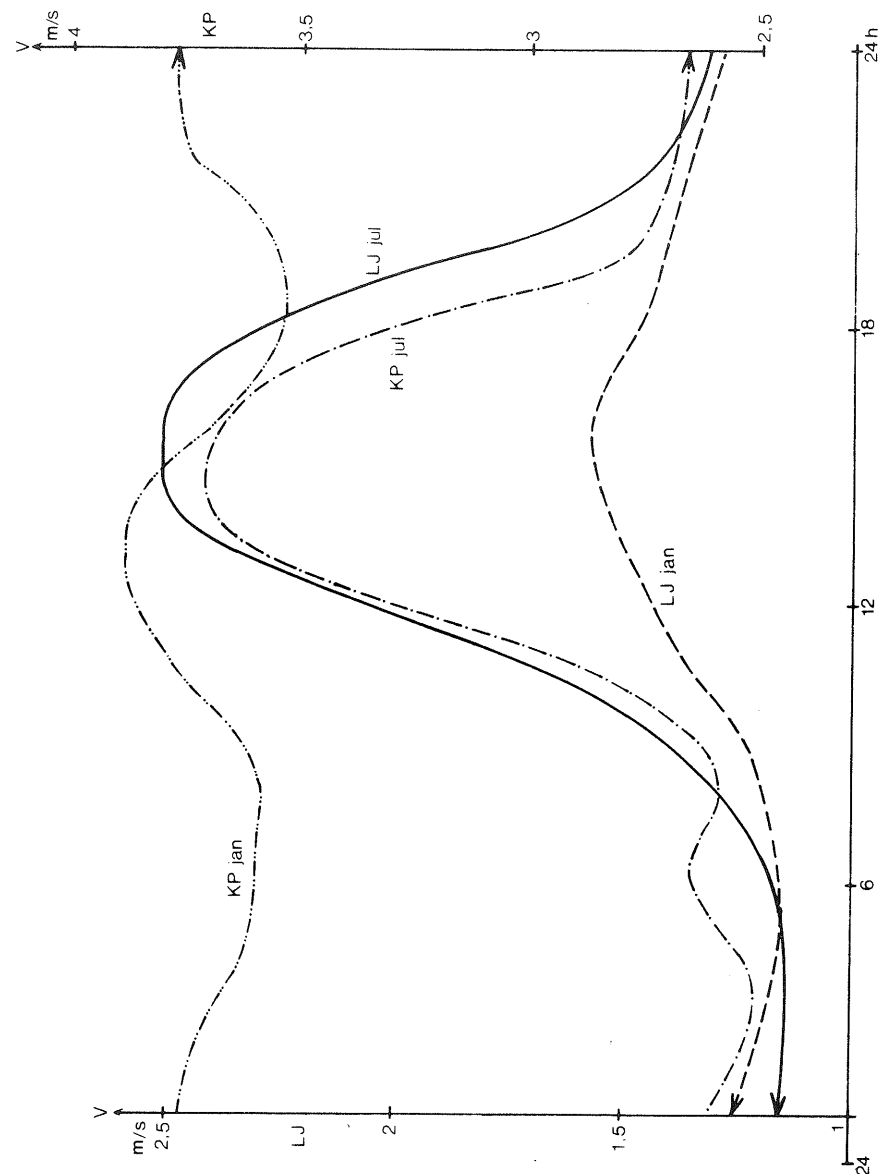
Dnevna razporeditev hitrosti vetra je logična posledica labilizacije atmosfere v dopoldanskem času, kar omogoča vse boljši in čišči vpliv splošnih vetrov k tlam. Vetrovi pri tleh so zato okrog poldne najmočnejši, najšibkejši pa ponoči, ko se atmosfera pri tleh stabilizira. Na to pa seveda dodatno vplivajo reliefni in splošni klimatski pogoji. Za ilustracijo podajamo na sliki 8 izglajene dnevne poteke za januar in julij za Ljubljano in Koper. Krivulje so izrisane na osnovi 24-urnih vrednosti za dan, vrednost vsake ure pa je povprečje petletnega obdobja in vsebuje čez 2000 podatkov. Kljub temu je bilo za naše potrebe smiselno krivulje izgladiti.

Slika 8 nam kaže, da so v Ljubljani (leva skala) ponoči vetrovi zares šibki in se čez dan poleti znatno okrepijo, čeprav so še kljub temu dvakrat šibkejši, kot v zahodni Evropi. Pozimi so celo v zgodnjih popoldanskih urah le malo nad 1,5 m/s. A tudi tu je treba biti pri uporabi povprečja previden: kadar se kotlinsko jezero hladnega zraka ne razkroji, so vetrovi tudi popoldne večinoma pod 1 m/s, medtem ko je ob prehodih front ali širšem času njihovega vpliva precej vetrovno. Oblačno in deževno vreme ob frontah pa tudi sicer, a zlasti pozimi, ne daje veliko možnosti za izrabo sončne energije. V preostalem času pozimi so pogoji za izrabo sončne energije boljši v višjih legah, medtem ko je v nižinah ob sicer šibkem vetru zaradi megle sonca izredno malo (Hočevar in sod. 1982).

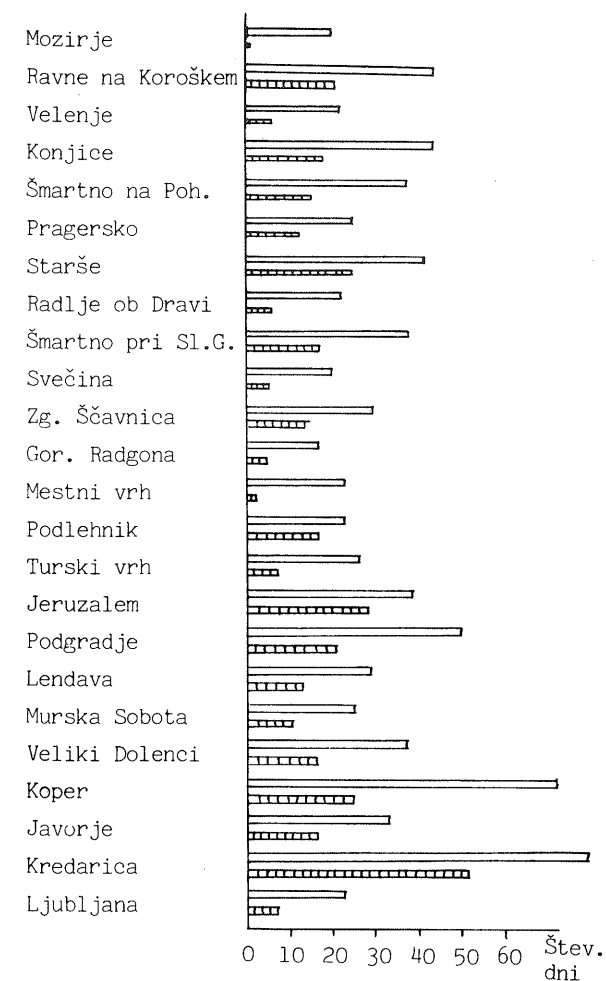


Slika 7 Letna razporeditev povprečnih hitrosti vetrov za Koper, Ljubljano in Mursko Soboto za 6-letno dobo (1975–80)

Fig. 7 Annual distribution of average wind speed in Koper, Ljubljana and Murska Sobota for a 6-year period (1975–80)



Slika 8 Izglajeni dnevni poteki hitrosti vetrov za Ljubljano in Koper za mesec januar in julij  
 Fig. 8 Smoothed daily courses of wind speed for Ljubljana and Koper in months of January and July



Slika 9 Pogostnost močnih ( $v \geq 6$  Bf) in viharnih ( $v \geq 8$  Bf) vetrov v nekaterih krajih Slovenije za dobo 1956–75 (po D. Furlanu 1980)  
 Fig. 9 Frequency of strong ( $v \geq 6$  Bf) and stormy ( $v \geq 8$  Bf) winds in some places in Slovenia for the period 1956–75

Koper spada med odprte lege, poleg tega pa se tu pozna vpliv burje in še obalnih vetrov z izrazitim dnevnim ciklom. Julijski dnevni potek hitrosti vetra v Kopru je podoben ljubljanskemu, le da so hitrosti za okrog 1,3 m/s večje (desna skala slike 8). Pozimi pa je povsem drugače. Tudi nočni veter je v Kopru močan in ima ugoden učinek na zbiralnik



sončne energije. Z dovajanjem toplote iz zraka, ki je ponoči znatno toplejši kot kolektor (posebno s selektivnim absorberjem), preprečuje premočno nočno ohlajevanje zbiralnika in mu zvišuje štartno temperaturo ob sončnem vzhodu, ko prične z absorpcijo zbirati sončno energijo. Posebnost zimske dnevne razporeditve vetra v Kopru je posledica večje ciklonske sredozemske aktivnosti in seveda burje.

## MOČNI VETROVI V SLOVENIJI

Zaradi na splošno šibkih vetrov v zavetrju Alp in zlasti v kotlinah, štejemo pri nas med močne vetrove tiste z vrednostmi nad 6 Bf (45 km/h), ki so npr. na holandskem blizu poprečnim. Zelo močni ali viharne vetrovi pa so nad 8 Bf (65 km/h).

Močni in viharne vetrovi se pojavljajo pri nas najčešče ob burji, ki pa je lokalno omejena in smo jo že obravnavali. Kjerkoli pa se lahko nenadno pojavi viharne veter ob prehodu fronte z nevihtami, včasih pa tudi kot kratkotrajni viharne piš pri termični nevihti. Tako kot same nevihte, so taki primeri dokaj sporadični, vendar ne izjemni in lahko naredijo veliko škodo — med drugim tudi na slabo pritrjenih ali nezaščitenih zbiralnikih sončne energije. Pogostnost pojavljanja močnih in viharne vetrov v nekaterih krajih Slovenije je prikazana na sliki 9 (in v tabeli 3). Vsekakor pa ni kraja, kjer se ne bi občasno pojavili.

---

Delo je del raziskovalne naloge RP: Nekonvencionalni viri energije, 02-2166-486-82, ki ga je financirala Raziskovalna skupnost Slovenije.

## LITERATURA

- Arhiv Hidrometeorološkega zavoda SRS, Ljubljana  
Duh F., 1981, Vetrikalne razporeditve vetra v Sloveniji, dipl. delo (neobjavljeno), VTO Fizika, FNT, 85 str.
- Furlan, D., 1980, Klimatski prikaz severovzhodne Slovenije, Hidrometeorološki zavod SRS, 324 str.
- Hočevar, A., in sod., 1981, Sončno obsevanje v Sloveniji — trajanje in energija, Bioteh. fakulteta, VTOZD Agronomija, 96 str.
- Meinel, A. B., 1976, Applied solar energy, Addison-Wesley Pub. Comp., Reading, Massachusetts, 647 str.
- Petkovšek, Z., 1965, Oblačnost, vetrovi in megla ob hladnih frontah v Sloveniji, Razprave-Papers VI, DMS, 23–31
- Petkovšek, Z., and Paradiž B., 1976, Bora in the Slovenian Coastal Region, Local Wind Bora, Univ. of Tokyo Press, 135–144
- Petkovšek, Z., 1979, Emisijski potencial SO<sub>2</sub> za večino kotlin Slovenije, Razprave-Papers 23/1, DMS, 37–49
- Petkovšek, Z., in Rakovec, J., 1982, Zbirnik sončne energije in njegovo okolje — numerični model, SITHOK posvet. o izrabi sončne energije, II. del, 311–321
- Pristov, J., 1959, Abweichungen des Windes auf den alpinen Beobachtungstationen in Bezug auf die Strömung in der freien Atmosphäre, Berich. Deutsch. Wetterd., B. 8, Nr. 54, 241–243
- Rakovec, J., 1972, Vertikalni profili vetra v prizemni turbulentni plasti, Razprave-Papers XIV, DMS, 3–13
- Šegula, A., 1976, Hladne fronte v območju Alp, Razprave-Papers 20/2, DMS, 89–99
- Wallen, C. C., 1977, Climates of Central and Southern Europe, World Survey Clim. V. 6, Elsevier Pub. Comp, 248 str.