

KLIMATSKI MODEL ZA OCENO ZMANJŠANJA ENERGIJE SONČNEGA
OBSEVANJA V KOTLINAH ZARADI MEGLE IN ONESNAŽENJA ZRAKA

CLIMATIC MODEL FOR ESTIMATION OF INSOLATION ENERGY
REDUCTION IN BASINS BY FOG AND AIR POLLUTION

551.521.3

551.588.2

Zdravko PETKOVŠEK, VTO Fizika, FNT, Ljubljana

SUMMARY

In lowlying areas and basins, fog lakes frequently occur, which considerably reduce the duration and energy of insolation at the ground. The reduction in duration is mainly dependent on the frequency of occurrence of fog and its duration, while the reduction of energy depends on many properties of fog, some of which are normally unknown.

Also the duration of fog in the daytime, especially for smaller basins is not always known. Hence a semi-empirical climatological model for the evaluation of the reduction in insolation in basins was constructed, based on some postulates and studies, and comparisons with measurements in those basins (especially the Ljubljana basin), where many factors are known and the reduction is considerable - see Fig. 1 for an example.

The model for evaluating reduction of insolation energy takes in account three main factors: reflection on the upper boundary of the fog, absorption in the fog and absorption in the air admixtures, since in basins the air is often heavily polluted.

Reflection is calculated on the basis of comparison with reflection on altostratus clouds, taking into account the elevation of the sun above the horizon, and the intensity of insolation at the upper fog boundary, at hour intervals (Table 1). The mean monthly solar energy values, however, are obtained considering the average relative frequency of occurrence of fog in typical days of individual months. This frequency is specially evaluated for three types of basin with different lake depths (Table 3).

The absorption factor in fog was uniformly taken as 0.10, while the absorption factor for polluted air is dependent on the season and the

place; depending on the dominant pollutant, and it varied from zero to 0.12.

With the model are finally derived equations for calculation or evaluation of the mean daily reduction in insolation energy at a given place (7); the energy that arrives at the ground in a basin (8); for its relative values (9); for the reduction of energy in a typical day of the month (10) and for its relative value (11). Examples from Table 4 show that the mean reduction of energy due to fog only, in a deep (Ljubljana) basin is 30 %, which is even greater than that due to clouds and precipitations, amounting to 28 %. In basins with shallower fog lakes the reduction is less, but still appreciable. It is negligible only in Spring and Summer in those places in basins where there is little fog.

POVZETEK

V kotlinah in nižinah razgibanega reliefa je zlasti v jeseni in pozimi megla pogost pojav, ki traja v pozne opoldanske ure, neredko pozimi pa tudi ves dan. Zato megla znatno vpliva na zmanjšanje energije sončnega obsevanja, ki pride v takih krajih do tal. Ker je neposrednih meritev jakosti sončnega obsevanja zelo malo, razlike v razgibanem reliefu pa so med posameznimi kraji velike, je bil izdelan model za oceno znižanja tovrstnih klimatskih (ne trenutnih) vrednosti energije. Model sloni na podatkih o pogostnosti megle in njenem trajanju ter ocenah refleksije na megli, absorpcije v njej in absorpcije v primesih onesnaženja, kjer je to znatno. Prikazane so enačbe za izračune in primeri ocen takega zmanjšanja sončne energije pri tleh zaradi megle.

UVOD

Pogosta megla in onesnaženje zraka v nižinah in kotlinah znatno vplivata na trajanje in energijo sončnega obsevanja pri tleh. Zmanjšanje sončnega obsevanja je odvisno od pogostnosti pojavljanja megle, njegovega trajanja v dnevnem času in od mnogih njenih lastnosti, od čistosti ozračja, višine obzorja, oblačnosti in vrste oblakov i. d. Na osnovi analize nekaterih karakteristik megle je bila ocenjena verjetnost pojavljanja megle v posameznih urah posameznih mesecev (p_n) in tudi povprečna verjetnost trajanja megle v urah za značilni dan z meglo v

posameznih mesecih (\bar{p})/1/. Določitev teh vrednosti omogoča najprej izračun povprečnega zmanjšanja trajanja sončnega obsevanja zaradi megle v kotlinskih jezerih hladnega zraka.

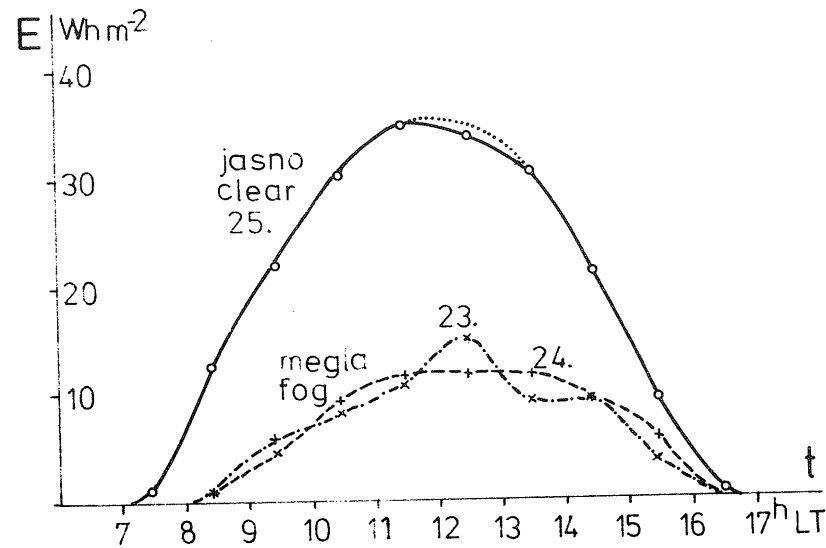
Relativno zmanjšanje energije sončnega obsevanja na enoto horizontalne površine v kotlinah samo zaradi megle je manjše kot relativno zmanjšanje trajanja. Manjše je zaradi dveh vzrokov: nekaj energije pride do tal tudi skozi meglo, in pretežno radiacijska megla se pojavlja predvsem v jutranjih urah in je sorazmerno malo opoldne, ko je obsevanje najmočnejše.

V klimatski model za izračun zmanjšanja sončnega obsevanja v kotlinah zaradi megle glede na višje lege, naj bi bile zajete le radiacijske in advektivne megle s pretežno jasnim nebom nad njimi. Frontalne megle ob padavinah namreč, z debelo oblačno plastjo nad sabo, le malo vplivajo na dotok energije k tlu in jih je pri oceni koristno izločiti. Njihovo število pa se približno izenači s številom dvignjenih radiacijskih megel /2, 3, /, ki niso med podatki o megli, ker je pri tleh tedaj vidnost večja od 1 km.

Na sipanje, refleksijo, transmisijo in absorpcijo sončnega sevanja v megli vplivajo mnoge njene lastnosti, kot npr.: tip, debelina, gostota, vodnost, velikost in porazdelitev vodnih kapljic, starost, onesnaženost, absorptivnost i. d. /4/, od katerih mnogih ne poznamo. Zato najvažnejše lastnosti skrbno ocenimo in postavimo preprost klimatski model, ki omogoča oceno zmanjšanja energije sončnega obsevanja, ki pride skozi meglo do tal v nižinah in kotlinah. Izračuni pokažejo, da je poprečno zmanjšanje energije sončnega obsevanja v zimskih mesecih do ene tretjine celotne energije, kar je torej pomemben faktor v klimatskih značilnostih kotlin. To nam potrjujejo tudi posamezne primerjalne meritve iz sosednjih meglenih in jasnih dni v nekaterih krajih - kot je primer prikazan na sliki 1, ko je zmanjšanje še dosti večje. Klimatskih značilnosti iz posameznih primerov seveda ne dobimo, zato predstavljamo tu preprost klimatski model za oceno značilnih poprečnih vrednosti zmanjšanja energije sončnega obsevanja v posameznih kotlinah.

OSNOVE MODELA IN VPLIV REFLEKSIJE

Pri zmanjšanju energije sončnega obsevanja v kotlinah ob megli, vplivajo vse njene spredaj navedene lastnosti. Toda mnogih od teh navadno ne poznamo, zato njihov vpliv po vsestranski presoji kar se da preprosto, a čim bolj natančno ocenjujemo.



Slika 1 Urne vrednosti izmerjenega globalnega sončnega obsevanja v Ljubljani za tri zaporedne dneve novembra 1979: 23. 11. megla (opoldne z vidnim nebom), 24. 11. celodnevna megla, 25. 11. skoraj povsem jasno

Fig. 1 Hourly values of measured total insolation in Ljubljana for three successive days in Nov. 1979: 23. fog (afternoon with visible sky), 24. fog all day, 25. almost completely clear.

Zmanjšanje energije sončnega obsevanja zaradi prizemne ali dvignjene megle (stratusa) je posledica predvsem : refleksije ali albeda (R_M), absorpcije v čisti megli (A_M) in absorpcije v aerosolu in drugem onesnaženju zraka (A_A), tako da zmanjšanje simbolično zapišemo:

$$Z_E = R_M + A_M + A_A \quad (1)$$

Refleksija se spreminja z gostoto megle, njeno vodnostjo in strukturo. Mlade megle sestojijo navadno iz drobnejših kapljic in imajo večjo refleksijo, kljub manjši vodnosti, kot stare itd. V literaturi najdemo, da je albedo megle ali stratusa med 0,55 in 0,85 /5, 6/. Naše radiacijske megle so v dopoldanskih urah sorazmerno mlade in goste, z največjo pogostnostjo velikosti kapljic okrog 25 μm /7/ in je zato verjetno albedo sorazmerno velik.

Kot so pokazala teoretična proučevanja in meritve, je refleksija oblakov in megle močno odvisna od zenitnega kota sonca oziroma obratno, odvisna od višine sonca nad obzorjem (α) /8/. Tanaka in sodelavci /9/ so grafično prikazali refleksijo (R) in transmisijo (T) različno debelih oblakov A_s v odvisnosti od višine sonca, odkoder povzemamo za 200 m debelo oblačno plast vrednosti, ki jih dajemo v tabeli 1.

Tabela 1 Refleksija (R) in transmisija (T) za 200 m debel altostratus pri različnih višina sonca (α), po /9/

Table 1 Reflection (R) and transmission (T) for 200 m thick altostratus cloud for various solar elevations (α), after /9/

α	70	60	50	40	30	20	10	5	°
R	54	56	58	62	67	72	78	82	%
T	38	37	35	31	27	23	18	15	%

Razporeditev refleksije s tabele 1 je dokaj dobro dana z enačbo

$$R = B_R - A_R \sin \alpha \quad (2)$$

kjer sta v tem primeru konstanti $B_R = 0,846$ in $A_R = 0,336$ ter veljata enako kot vrednosti iz tabele 1 za 200 m debel As z vodnostjo 0,28 g/m³ in 450 kapljicami na cm³. Znano pa je, da je lahko vidnost v megli pod 1 km že pri vodnosti samo 0,02 g/m³ /10/ ter da je sipanje svetlobe v megli zamotan in poseben problem. Gostota in refleksija megle sta močno odvisni tudi od vrste in števila kondenzacijskih jeder. Tako je npr. Twomey /11/ ugotovil, da je pri številu kondenzacijskih jeder 25 na cm³ refleksija 0,52, pri številu jeder 3000 na cm³ pa 0,85. V mnogih naših kotlinah je zrak precej onesnažen, zato ocenjujemo da je refleksija teh megel sorazmerno velika.

Za računanje refleksije po enačbi (2) potrebujemo poprečno višino sonca nad obzorjem (α_n) za posamezne ure. Te je za osrednjo Slovenijo, upoštevajoč tudi časovno enačbo izračunal Rakovec /1/, vrednosti za značilne dneve izbranih mesecev pa so prikazane v tabeli 2.

Energija, ki se reflektira na megli (R_M) in je glavni vzrok za zmanjšanje energije sončnega obsevanja pod meglo pri tleh, je v neki uri dneva (n) poprečnega dne z meglo v izbranem mesecu tedaj:

$$R_{Mn} = E_{on} (B_R - A_R \sin \alpha_n) P_n \quad (3)$$

kjer je E_{on} energija sončnega obsevanja, ki pade na enoto horizontalne površine zgornje meje megle in P_n pogostnost ali verjetnost pojava megle v tisti uri dneva z meglo. Te vrednosti so prikazane v tabeli 3, ki je dobljena ob podatkih o trajanju in pogostnosti megle v Ljubljani, upoštevajoč globine meglenih jezer /1/.

E_{on} so izračunane vrednosti, usklajene z izmerjenimi vrednostmi v Ljubljani za tiste ves dan sončne dneve, ko je bil zrak sorazmerno čist in so tudi prikazane v tabeli 2.

Dnevna vrednost reflektirane energije na megli v poprečnem dnevu z meglo izbranega meseca je tedaj vsota urnih vrednosti v času od sončnega vzhoda do zahoda:

$$R_M (P_n) = \sum_{n=v}^z R_{Mn} \quad (4)$$

Tabela 2 Višina sonca nad obzorjem v posameznih urah (α_n), energija sončnega obsevanja ob jasnem vremenu (E_{on}) in izmerjeno globalno obsevanje (E_{Gn}) v Ljubljani za mesec januar in julij

Table 2 Elevation of sun above horizon at individual hours (α_n), energy of insolation in clear weather (E_{on}) and measured total insolation (E_{Gn}) in Ljubljana for the months of January and July.

	ura	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	vsota
	r., esec																	
α_n	$0 \cdot 10^{-1}$					55	128	183	214	217	194	145	77					
	JAN					397	499	589	649	654	601	514	413	307	202	99		
	JUL	85	186	292	19	94	205	292	340	292	205	94	19					1900
E_{on}	Wh/m^2					332	498	632	734	782	734	632	498	332	174	47		6400
	JAN					2	26	64	108	144	157	138	99	47	7			792
	JUL	7	52	143	269	414	541	616	647	641	573	489	416	310	179	76		5383

pri čemer smo na levi poudarili, da je R_M funkcija p_n , ki je v skladu s tabelo 3 za kotline z različno globokim meglenim jezerom in torej za različne kraje, različen.

Tabela 3 Ocenjena pogostnost megle v posameznih urah v dneh z meglo v dnevnem času (v %) za tri skupine kotlin

Table 3 Relative frequency of fog at particular hours of the day in days with fog during the daytime (in%), for three groups of basins.

ura:	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
mesec													
	kotlina z globokim meglenim jezerom (h ≥ 140 m)												
JAN						100	100	90	80	75	65	60	55
APR		100	75	40	25								
JUL	100	75	40	20									
OKT			100	100	80	60	30	20					
	srednje globoko jezero (100 ≤ h ≤ 130 m)												
JAN						100	100	90	75	60	45	40	30
APR		100	60	20									
JUL	100	65	20										
OKT			100	100	70	40	20						
	plitvo jezero (h ≤ 90 m)												
JAN						100	100	90	70	50	30	20	15
APR		100	50										
JUL	100	60	100	100	60	20							
OKT													

ABSORPCIJA V MEGLI IN V ONESNAŽENJU ZRAKA

Absorpcija kratkovalovnega sončnega sevanja v stratusnih oblakih (vodni pari in kapljicah), ki so po strukturi in pogosto tudi po nastanku zelo podobni megli, je po Neiburgerju 7 % in po Robinsonu 13 do 29 % /8/, ter je torej nekajkrat manjša od refleksije. Zato izračun doprinosa tega člana poenostavimo: Privzamemo, da je absorpcija 10 % tistega, kar pride na vrh meglene plasti, upoštevamo pa tudi poprečno relativno pogostnost megle značilnega dne obravnavanega meseca. Absorpcija v megli v takem značilnem dnevu je tedaj:

$$A_M = 0,1 \bar{E}_O \bar{p} \quad (5)$$

kjer je \bar{E}_O poprečna energija, ki pride na zgornjo mejo megle v času, ko je sonce nad obzorjem in v značilnem dnevu.

Prav naša kotlinska jezera hladnega zraka so večinoma tudi področja z največjo onesnaženostjo zraka. Onesnaženost zraka nad mesti lahko ob jasnem vremenu zmanjša energijo sončnega obsevanja do 15 %, v UV delu spektra pa celo do 50 % /12, 13/. Onesnaženost zraka v naših kotlinah pa žal nič ne zaostaja za onesnaženostjo velikih mest ali jo celo prekaša. Seveda pa je glede tega tudi velika razlika med posameznimi kraji in kotlinami. Republiška služba za varstvo zraka SRS je v dopolnilu k zakonu o varstvu zraka /14/ razdelila Slovenijo po štirih stopnjah glede onesnaženosti z SO_2 , ki je predstavnik tudi za onesnaženje z delci. V skladu s tem bomo postavili, da je absorpcija v 4. coni 12 % (npr. Ljubljana, Celje i. d.), v 3. coni 8 % in v 2. coni le 4 %; kar pa velja le za zimsko obdobje oziroma za čas ogrevanja, medtem ko bomo postavili, da je v poletnem času tudi zaradi labilnosti atmosfere, ta vpliv zanemarljiv. To pa seveda ne velja za posamezne industrijske kraje in večja mesta sama.

Z večjim številom aktivnih kondenzacijskih jeder vpliva onesnaženje zraka tudi na pogostnost megle in na njeno trajanje ter je v tem že tudi delno upoštevano. V zimskem obdobju ostane pogosto zrak onesnažen pod inverzijo še potem, ko se megla razkroji (izhlapi), zato bomo vpliv onesnaženja zraka v dneh z meglo šteli kot stalno navzoč dejavnik. Ta zmanjša vpadlo energijo sončnega obsevanja za dodatni faktor vpliva onesnaženja, ki je $f_A = 0,04, 0,08$ ali $0,12$ glede na cono onesnaženosti področja - kotline ali njenega dela. Tako je absorpcija zaradi onesnaženja zraka

$$A_A = \bar{E} \cdot f_A \quad (6)$$

Pri tem se izkaže, da je tudi ta člen enačbe (1) nekajkrat manjši od prvega člana (refleksije).

CELOTNO ZMANJŠANJE IN PRIMERI

Upoštevajoč dobljene enačbe lahko sedaj prikažemo dnevno zmanjšanje energije sončnega obsevanja v nekem kraju v kotlinskem meglenem jezeru z enačbo

$$Z_E = R_M(p_n) + \bar{E}_o(0,1\bar{p} + f_A) \quad (7)$$

pri čemer so urna in poprečna pogostnost megle p_n in \bar{p} ter faktor onesnaženja f_A za različne kraje različni.

Dnevna energija sončnega obsevanja v dnevu z meglo poprečnih značilnosti obravnavanega meseca v nekem kraju je tedaj energija obsevanja, ki pride na zgornjo mejo megle dE_{on} (dnevna vsota) zmanjšana za vpliv megle in onesnaženja

$$E_M = dE_{on} - Z_E \quad (8)$$

ali relativno glede na to, kar pride na zgornjo mejo megle, je

$$E_{MR} = 1 - \frac{Z_E}{dE_{on}} \quad (9)$$

Zmanjšanje, ki smo ga določili z enačbo (7) velja za tipičen meglen dan v izbranem mesecu (npr. januarja). Različni kraji Slovenije pa imajo v tem mesecu lahko zelo različno število meglenih dni (N_M), ki je seveda manjše od števila dni tistega meseca (N_S), zato se pojavlja v nekem mesecu vpliv megle le v delu dni, podanim z njunim razmerjem. Znižanje energije sončnega obsevanja pri tleh pod meglo v poprečnem dnevu meseca je končno

$$\bar{Z}_E = Z_E \cdot N_M/N_S \quad (10)$$

ter je za različne kraje različno. Za primerjave med kotlinami so primernejše relativne vrednosti: del (celotne energije sončnega obsevanja na zgornji meji megle), ki ne pride do tal zaradi megle v posameznih krajih in mesecih. Tedaj je relativno zmanjšanje energije sončnega obsevanja zaradi megle in onesnaženja zraka

$$Z_{ER} = \bar{Z}_E / dE_{on} \quad (11)$$

ki je zelo primerna vrednost tudi za kartografski prikaz in oceno možnosti izrabe sončne energije v kotlinskih meglenih jezerih predvsem v jeseni in pozimi.

Za ilustracijo vrednosti izvedenih količin dajemo v tabeli 4 vrednosti za Ljubljano za januar. Te vrednosti zmanjšanja so v Sloveniji in med letom blizu največjih, ker je globina meglenega jezera in onesnaženje zraka med največjimi prav v Ljubljani.

Tabela 4 Primeri računov obravnavanih količin za Ljubljansko kotlino in za dve drugačni kotlini januarja

Table 4 Examples of calculations of treated quantities for the Ljubljana basin and two other basins in January.

Enačba	Izračun
	Ljubljanska kotlina (globoko megleno jezero)
(7)	$Z_E = 1075 + 230(0,1 \cdot 0,76 + 0,12) = 1120 \text{ Wh/m}^2$
(8)	$E_M = 1900 - 1120 = 780 \text{ Wh/m}^2$
(9)	$E_{MR} = 1 - 1120/1900 = 41 \%$
(10)	$\bar{Z}_E = 1120 \cdot 16/31 = 578 \text{ Wh/m}^2$
(11)	$Z_{ER} = 578/1900 = 30 \%$
	kotlina s srednje globokim jezerom
(7)	$Z_E = 938 + 230(0,1 \cdot 0,76 + 0,08) = 974 \text{ Wh/m}^2$
(11)	$Z_{ER} = 503/1900 = 26 \%$
	kotlina s plitvim meglenim jezerom
(7)	$Z_E = 825 + 230(0,1 \cdot 0,76 + 0,08) = 860 \text{ Wh/m}^2$
(11)	$Z_{ER} = 444/1900 = 23 \%$

SKLEP

Iz celotnega dela sledi, da po tem klimatskem modelu torej megla zmanjša energijo sončnega obsevanja v Ljubljanski kotlini v povprečnem dnevu januarja do 30 %. Primerjave izračunanih vrednosti ob jasnem vremenu in izmerjenih vrednosti - tabela 2 - nam kažejo, da pride povprečno januarja v Ljubljani do tal le 42 % sončne energije. Od tod lahko sklepamo, da je preostalih 28 % zmanjšanja sončne energije zaradi oblakov in padavin. To pa pomeni, da ima januarja megla celo večji vpliv.

Delo je del raziskovalne naloge "Razporeditev potenciala sončne energije v Sloveniji" BTF za RSS - 481/43-79

LITERATURA

- /1/ Hočevar A. in sodel.: Razporeditev potenciala sončne energije v Sloveniji, Bioteh. fakulteta za RSS, Ljubljana 1980 (neobjavljeno)
- /2/ Petkovšek Z.: Pogostnost megle v nižinah in kotlinah Slovenije Razprave-Papers 11, DMS, Ljubljana 1969
- /3/ Petkovšek Z.: Celodnevne megle v Ljubljani, Razprave-Papers 13, DMS, Ljubljana 1971
- /4/ Pilič R. J. et al.: The Life Cycle of Valley Fog, Journal Appl. Meteor. Vol. 14, No. 3, 1975
- /5/ Charney J.: Radiation, Handbook of Meteorology, McGraw Hill Book Co. 1945
- /6/ Haltiner and Martin: Dynamical and Physical Meteorology, McGraw Hill Book Co. 1957
- /7/ Petkovšek Z.: Meritve in primerjave v zvezi z velikostjo megljenih kapljic v Ljubljani, Meteor. zbornik 2, DMS, 1959
- /8/ Paltridge and Platt: Radiative Processes in Meteor. and Climatology, Elsevier Sc. Pub. Co. 1976
- /9/ Tanaka M. et al.: Transfer of solar radiation through water clouds, Radiation in the Atmosphere, Science Press, 1977
- /10/ Zupančič T.: Horizontalna vidnost v prizemni atmosferi, dipl. delo, FNT, Ljubljana 1969
- /11/ Charlak T. P.: and Sellers W. D.: Aerosol, Cloud Reflectivity and Climate, Journal Atm. Sc., V. 37, No. 5, 1980
- /12/ Viskanta R. et al.: Radiative Transfer in a Polluted Urban Planetary Boundary Layer, Jour. Atm. Sc., V. 34, No. 7, 1977
- /13/ Collier L. R. and Lockwood J. G.: The estimation of solar radiation under cloudless skies with atmospheric dust, Quart. Jour. RMS, V. 100, No. 426, 1974
- /14/ Izvršni svet SRS: Odlok o razvrstitvi območij SRS v območja onesnaženosti zraka, U. L. SRS. Št. 21, 1975