

**KLIMATSKI MODEL SKUPNEGA VPLIVA OKOLJA NA ZBIRALNIK  
SONČNE ENERGIJE**

**A CLIMATIC MODEL OF THE NET INFLUENCE OF THE ENVIRONMENT  
ON A FLAT-PLATE SOLAR ENERGY COLLECTOR**

**Zdravko PETKOVŠEK,  
VTOZD Fizika, FNT, Ljubljana**

**UDK 551.5:551.58**

**POVZETEK**

Na osnovi mesečnih klimatskih podatkov in tipičnih dnevni razporeditev vplivnih meteoroloških parametrov je s prikazanim modelom mogoče izračunati letno razporeditev in letno vsoto koristne energije, ki jo da standardni zbiralnik v nekem kraju. Model je zgrajen na modelu bilance energijskih tokov in koristne energije zbiralnika in je prirejen za klimatske podatke. Poleg kvaziglobalnega obsevanja upošteva še vpliv temperature zraka, vetra in pojavov, ki močijo zbiralnik. Primeri izračunov so dani za Ljubljano in Koper.

**SUMMARY**

The model is based on the balance of energy fluxes and the removal of useful energy from a standard flat-plate solar energy collector (Petkovšek and Rakovec 1983), adjusted for climatic data and for calculation of the annual amount of expected useful energy. This also enables an estimation of the usefulness of the application of such a collector in different places or climatic conditions.

Studying the normalised distributions of quasiglobal insolation  $Q$ , air temperature  $T$ , and useful energy  $W$  under dry and low — wind conditions, it was found that the influence of air temperature can be included in the efficiency ( $\eta$ ) in a main term including  $Q$ . Thereafter practically only wind, and phenomena that wet the collector, diminish its effectiveness or production of useful energy.

Investigations of the wind-term for two climatically rather different places (Ljubljana and Koper) have shown that in different weather conditions wind influences can be very variable. In the climatic approach, however, a linear function of average wind speed is satisfactory, if multiplied by the appropriate weighting factor  $u_v$  for the chosen location.

The collector can become wet (due to precipitation, dew, fog etc.) and cooled. Additionally, a thin film of remaining water must evaporate, using some energy. The climatic influences of these phenomena on useful energy loss depend on the real frequency of wetting phenomena and their daytime distributions. It was found that it can be approximated by a parameter (although not simply determined) defined as „wetness duration“  $M$  in a typical day of the month,

Po mnenju Republiškega sekretariata za prosveto in kulturo št. 421-1574 je revija oproščena temeljnega davka od prometa proizvodov.

given in hours. Numerical experiments and comparisons have shown that the weighting factor in this term  $u_M$  is rather general (for central Europe).

The rather simple final equation (6) represents the structure of the model, and the results for the places tested, presented in the final table, show many characteristic values.

## UVOD

Energijsko-bilančni model zbiralnika sončne energije, ki smo ga izdelali in izpopolnili, ter uporabili za ugotavljanje trenutnega vpliva meteoroloških parametrov na njegov izkoristek (Petkovšek in sod., 1982, 1983 a, b), nam je omogočil izračun dnevne koristne energije pri izbranih pogojih. Pri tem je bilo treba poznati dnevne razporeditve kvaziglobalnega obsevanja (kot glavnega dobavitelja energije), kakor tudi dnevne razporeditve drugih vplivov vremenskih parametrov oz. parametrov okolja (temp. zraka, vetra, oblačnosti in drugih pojavov, ki odvajajo toploto od zbiralnika v okolico in s tem zmanjšujejo njegovo koristno moč).

Pri oceni ekonomske upravičenosti postavitve zbiralnika oziroma ugotovitvi koristi, ki jo lahko da v nekem kraju, moramo poznati poprečne ali tipične letne vrednosti koristne energije izbranega zbiralnika. Zato smo sestavili model, ki na osnovi dosedanjih spoznanj in dodatnih tu prikazanih analiz, omogoča oceno letne razporeditve in letne koristne moči, ki jo lahko da standardni modelski zbiralnik sončne energije v posameznih krajih Slovenije, na preprost način.

Na taki oceni letne vsote dobljene koristne energije je mogoče nato presojati ekonomsko korist standardnega zbiralnika ali pa, kako je treba prilagoditi njegove karakteristike specifičnim klimatskim razmeram, da bi bila korist največja.

Na koncu je podana tudi ocena napake takega določanja koristne energije. Spoznali bomo, da ta ni velika, saj je veliko manjša, kot so fluktuacije odločujočih parametrov od leta do leta. To pa pomeni, da ta klimatski model ustreza.

Za primer sta obravnavana kraja Koper in Ljubljana, kot dva klimatsko dokaj različna, a območno reprezentativna kraja Slovenije. Na osnovi izdelane metode oz. modela, je mogoče izdelati analogne ocene tudi za druge kraje, za klimatsko podobne kraje pa tega niti ni treba, saj so rezultati zanje dovolj podobni.

## KLIMATSKI MODEL

Izhajamo iz postavke, da je koristna energija zbiralnika sončne energije v izbranem kraju v tipičnem dnevu nekega meseca določena z dnevno energijo kvaziglobalnega obsevanja ( $Q$ ), ki pade na ploskev izbranega nagiba in usmerjenosti, toda zmanjšana za faktor izkoristka zbiralnika ( $\eta$ ) — glede na njegove lastnosti ter dodatnega zmanjšanja za člene vpliva okolja ( $\Delta W$ ). Tako zapišemo za izbran mesec tipično dnevno koristno energijo, ki jo da zbiralnik.

$$W = Q\eta - \Delta W_T - \Delta W_V - \Delta W_M \quad (1)$$

kjer so poleg že navedenih količin, T temperatura zraka, V hitrost vetra in M padavine in dru-

gi pojavi, ki povzročajo omočenost zbiralnika. Ti trije so namreč glavni parametri vpliva okolja na zmanjšanje koristne energije, ki jo da zbiralnik.

Člene zmanjševanja bomo določili tako, da bo mogoče s čim preprostejšimi podatki o posameznih elementih in pojavih določiti oz. oceniti poprečno dnevno koristno energijo v tipičnem dnevu posameznega meseca in kraja. Razporeditev tako dobljenih mesečnih enot koristne energije, nam da tipično letno razporeditev oz. letni potek koristne energije zbiralnika sončne energije v izbranem kraju. Končno je tipična letna vsota koristne energije preprosto vsota mesečnih vrednosti.

Problem je določitev izkoristka zbiralnika in členov vpliva okolja. Posamezni členi en. (1) namreč niso neodvisni, ampak so med seboj dokaj povezani, saj je npr. od temperature zraka odvisen izkoristek zbiralnika, pa tudi vpliv vetra in padavin nanj, itd. Da bi zadevo primerno poenostavili in opravičili preprostost enačbe (1) moramo posamezne vplive ustrezno presoditi in jim določiti ustrezne utežne faktorje. Videli bomo, da je mogoče en. (1) še poenostaviti.

Celodnevna integracija koristne moči po energijsko-bilančnem modelu za različne klimatske razmere in postavljene odstope od njih je osnova za izračun utežnih faktorjev in klimatskih vrednosti posameznih členov. Omenjen energetsko-bilančni model ni preprost in je podan drugje (Petkovšek in Rakovec 1983). Delamo za standardni zbiralnik, ki je v celotnem tem delu enak: eno steklo, absorber z emisivnostjo 0,9 in delovno temperaturo absorberja  $40^\circ\text{C}$ , obrnjen proti jugu in nagnjen za  $40^\circ$  od horizontale.

Iz dosedanjih proučevanj je razvidno, da so daleč najpomembnejši členi energijskih tokov posledica sevanj, medtem ko so kondukcijski in konvekcijski členi znatno manjši. To se pozna seveda tudi v našem klimatskem modelu.

Pri uporabi tega klimatskega modela so potrebne poprečne ali tipične mesečne vrednosti in razporeditve raznih parametrov iz večletnega obdobja. Toda ker vseh takih vrednosti ni oz. je njihova določitev preobsežno delo, so potrebne nadaljne metode poenostavitve. Prek njih določimo ali ocenimo odločilne vrednosti za dva ali štiri preišljeno izbrane mesece, da dobimo vrednosti s katerimi konstruiramo potrebne letne razporeditve. Način dela, izbire, presoje in aproksimacije pa so nadaljnje značilnosti klimatskega modela, ki ga predstavljamo.

Izrazito najpomembnejši člen v energijski bilanci zbiralnika in pri dobavi njegove energije je kvaziglobalno obsevanje ( $Q$  — direktno in difuzno obsevanje nagnjene površine). V  $Q$  so že upoštevani lokalni vplivi oblačnosti, megle, motnosti ozračja, dodatnega onesnaženja zraka i.d.  $Q$  je tu dnevna vsota sončne energije, ki pade na zbiralnik, katero pa potem bolj ali manj uspešno izkoristi v odvisnosti od svojih lastnosti, položaja in od drugih klimatskih parametrov okolja.

Kvaziglobalno obsevanje je že dokaj detaljno proučeno in določeno celo za vsako uro dneva (tipičnega v mesecu) za 30 krajev Slovenije in to celo za tri različne nagibe in razne usmeritve izpostavljene površine (Hočevar in sod. 1982). Podatki spadajo med klimatske vrednosti, računani pa so na osnovi 20-letnih nizov opazovanj in so torej dovolj natančno poznani.

## IZKORISTEK ZBIRALNIKA

Koliko energije, ki pade na zbiralnik sončne energije, ta pretvori v koristno toploto in jo shrani v rezervoarju, je odvisno tako od lastnosti zbiralnika, kot tudi od klimatskih razmer izbrane lokacije. Klimatske razmere so nespremenljive, medtem ko lastnosti zbiralnika vsaj v nekaterih mejah so, zato se morajo prilagajati klimatskim razmeram. Nekaj spoznanj o vplivih karakteristik zbiralnika na njegov izkoristek ob različnih vremenskih pogojih, je razvidno iz naših prejšnjih in splošnih raziskav (Meinel 1976, Petkovšek in sod. 1982 b, 1983 a in b). Če lotnejšo sliko o teh vplivih dobimo na osnovi ugotovitev v tem delu, za povsem natančne ugotovitve pa so potrebne kompleksne obdelave klimatskih razmer (npr. z izdelavo specialnih referenčnih let), kar pa terja ogromno dela.

Poudarili smo že, da je najpomembnejši člen pri dobavi in zato izračunu koristne energije  $Q$  odvisen tudi od drugih parametrov okolja. Z njim skupaj se pojavlja faktor izkoristka zbiralnika  $\eta$ , ki ni konstanten ampak prav tako odvisen od parametrov okolja (temperature zraka, vetra in raznih pojavov).

Iz presoje enačbe (1) sledi, da je člen vpliva vetra in člen vpliva omočenosti zbiralnika mogoče izključiti, saj so v naravi dejansko razmere ali celo obdobja z brezvetrjem in brez takih pojavov, ki bi zbiralnik omočili. Temperatura okolišnjega zraka pa je v času delovanja zbiralnika vedno nižja od temperature absorberja, kar povzroča neogiben odvod toplote od zbiralnika v okolico in s tem zmanjševanje njegove koristne moči. Izkoristek zbiralnika je torej vedno manjši od ena in temperaturnega vpliva pri tem sploh ni mogoče izločiti.

Da bi ugotovili teži vplivov posameznih parametrov (vrednosti členov enačbe (1)), smo simulirali izračune za oba značilna kraja in za izbrane značilne mesece tako, da smo najprej izločili eksplicitni vpliv vetra in padavin (sta pa v  $Q$  implicitno že zajeta). Ker ne moremo izločiti vpliva temperature zraka, lahko le s posebej premišljeno analizo ugotovimo njen vpliv na izkoristek zbiralnika pri realnih razporeditvah kvaziglobalnega obsevanja in temperatur v posameznem kraju. Značilni klimatski letni poteki obeh količin so nam poznani. Poteka  $Q$  in  $W$  nista paralelna, in ker sta vpliv vetra in omočenosti izločena, pripisujemo različnost potekov  $Q$  in  $W$  izkoristku in temperaturi zraka. Doprinos teh vplivov pa smo ugotovili prek normiranih vrednosti.

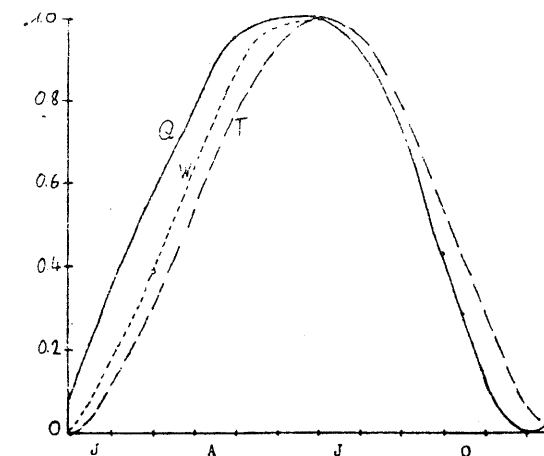
Letne poteke dimenzijsko različnih količin ( $Q$ ,  $W$  in  $T$ ) lahko primerjamo le, če jih normiramo. Tu smo normirali vrednosti na letni razpon. Normirani poteki za vse tri količine za Ljubljano so prikazani na sliki (1). Na sliki (1) je tudi lepo viden, sicer znan fazni premik temperaturnega poteka v poznejši letni čas — zlasti v pomladni polovici leta. To pa pomeni, da je npr. ob enakem  $Q$  marca in oktobra, marca bolj hladno in zato je tedaj znatno nižji izkoristek enake na zbiralnik vpadle sončne energije. Iz teh razlik tudi ugotavljamo vpliv temperature zraka na izkoristek zbiralnika.

Drug način študija vpliva temperature na izkoristek zbiralnika sončne energije je bil, da smo pri računih dnevnih vrednosti izkoristka zbiralnika (po energijsko-bilančnem modelu) poleg izračunov za tipične temperaturne razporeditve, računali tudi za primere, če bi bile razporeditve za  $10^{\circ}\text{C}$  višje ali nižje.

Prek teh analiz smo dobili potek letne srednje dejanske razporeditve izkoristka  $\eta$ . To lahko dokaj dobro aproksimiramo s sinusno razporeditvijo tipa:

$$\eta' = A [1 + \sin(aQ - \Psi)] \quad (2)$$

kjer je  $A$  amplituda,  $a$  faktor in  $\Psi$  fazni premik. Vse tri določimo iz znanih vrednosti oz. mejnih pogojev normirane razporeditve vsakega kraja posebej. Tako so za Koper:  $A = 33,0$ ,  $a = 0,557 \text{ m}^2/\text{kWh}$  in  $\Psi = 1,57$  ter za Ljubljano:  $A = 30,7$ ,  $a = 0,860 \text{ m}^2/\text{kWh}$  in  $\Psi = 2,50$ .



Slika 1 Normirani letni poteki: kvaziglobalnega obsevanja  $Q$ , koristne energije zbiralnika  $W$ , in temperature zraka  $T$ , za Ljubljano

Fig. 1 Normalised annual distributions of: quasiglobal insolation  $Q$ , useful energy of collector  $W$ , and air temperature  $T$ , for Ljubljana

Kratek račun pokaže, da se v Ljubljani vsoti obeh načinov razlikujeta le za 2 %, v Kopru pa komaj za 1 %, kar je zanemarljivo. To pomeni, da so s to aproksimacijo zajeti tudi temperaturni vplivi in jih ni treba posebej upoštevati. Z enačbo (2) predstavljen izkoristek torej omogoča, da iz enačbe (1) izpustimo drugi — temperaturni člen, ker je vpliv temperature prek  $Q$ -ja in z  $\eta'$  že upoštevan. Namesto enačbe (1) velja zdaj preprostejša enačba:

$$W = Q\eta' - \Delta W_v - \Delta W_M \quad (3)$$

Tako smo torej prišli do načina, da preprosto in dobro oziroma dovolj natančno predstavimo glavni in najpomembnejši člen za določanje izkoristka zbiralnika sončne energije na osnovi vrednosti kvaziglobalnega obsevanja za posamezne mesece, ki so znane. Konkretno vrednosti tega člena bodo skupaj z drugimi podane na koncu razprave. Zdaj je potrebno, da določimo še primerne oblike drugih dveh členov, ki predstavljata vpliv vetra in vpliv omočenosti zbiralnika na njegov izkoristek v posameznem kraju.

## VPLIV VETRA

Popolnega brezvetrja v naravi ni, saj se zrak zaradi lokalnih reliefnih in urbanih vplivov vedno vsaj nekoliko giblje. Gibanje gotovo velja za dnevni čas, ko zbiralnik deluje. Zato je

kot osnova privzeta hitrost vetra  $V = 0,7$  m/s. To po naši presoji še ustreza »brezvetrju« oz. mirnemu vremenu, a kljub temu omogoča izračun turbulentnih tokov oz. pretokov.

Ob popolnem mirovanju zraka bi sicer ne bilo čistega turbulentnega odvoda toplote od zbiralnika v okolišnji zrak, a ob toplejšem zbiralniku bi se razvila termična konvekcija, ki bi učinkovala podobno kot mehanična turbulenca.

S povečanjem hitrosti vetra se v času delovanja toplejšega zbiralnika odvaja več toplote. Zato je tudi ta člen implicitno odvisen od temperature zraka. Če npr. v Kopru prične pihati burja, se zaradi znižanja temperature ob povečani hitrosti vetra, učinek zbiralnika močno zmanjša. Klimatsko pa moramo zadevo obravnavati drugače.

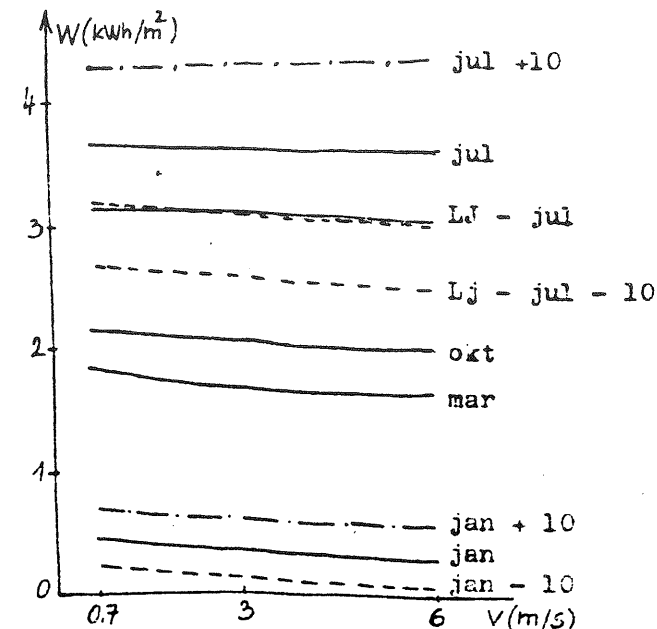
Za oceno klimatskega vpliva vetra vključno s temperaturo tudi tu uporabimo primerjalne izračune po energijsko-bilančnem modelu za izbrane pogoje, uporabimo pa tudi prej izvedeno študijo. Rezultate posebnih izračunov vidimo grafično predstavljene na sliki 2. Iz predstavitve vidimo, da se (razen v primeru nadnormalno visokih temperatur) z večanjem hitrosti vetra, koristna moč zbiralnika zmanjša. Glede na velike razlike hitrosti vetra, so absolutne vrednosti zmanjšanja koristne energije majhne: Pri spremembi vetra od 0,7 m/s na 6,0 m/s so razlike v dnevni koristni energiji komaj med 0,08 in 0,20 kWh/m<sup>2</sup>, in sicer malo več pri nižjih kot pri višjih temperaturah. Ker pa so pri višjih temperaturah absolutne vrednosti koristne energije velike, je poleti vpliv vetra skoraj zanemarljiv, saj dosega komaj 3 % vrednosti prvega člena enačbe (3). Pozimi, ko so izkoristki v splošnem majhni, pa je lahko izkoristek zbiralnika zaradi vetra tudi klimatsko relativno velik. Absolutno vzeto, pa ostane vpliv tega člena majhen.

Naši enačbi (1) ali (3) podajata absolutne vrednosti, in ker so razlike teh glede na veter majhne, je zadeva preprostejša in lahko zavzame ustrezen člen preprosto obliko. Postavimo, da je odbitek koristne energije zbiralnika zaradi vetra sorazmeren hitrosti vetra, kar opravičuje skoraj linearna odvisnost med  $W$  in  $V$  na sliki 2 (kar je delno posledica postavk energijsko-bilančnega modela). Zato lahko zapišemo člen vpliva vetra v obliki

$$W_v = u_v V \quad (4)$$

kjer je  $u_v$  utežni faktor in  $V$  klimatska vrednost hitrosti vetra v izbranem kraju in mesecu. Iz slike 2 sledi, da ima utežni faktor vrednost približno: za Koper  $u_v = 0,030$  kWh/m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> in za Ljubljano  $u_v = 0,026$  kWh/m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>.

Letna poteka hitrosti vetra za obravnavana kraja Koper in Ljubljano sta znana (Petkovšek 1983 a) in kažeta dokajšnje razlike v razporeditvi in v vrednostih, čeprav imata obe razporeditvi največje vrednosti spomladi. Glede na zgornje ugotovitve in dokaj netipične oblike razporeditve gotovo ni vredno iskati funkcijskih približkov, saj bi ne bili preprosti. Za prvo oceno vpliva vetra vzamemo zato kar letno poprečni veter. Ta je v Ljubljani 1,0 m/s in je torej le neznatno nad »brezvetrjem«, z njim pa ima ta člen enačbe (3) — računajoč po enačbi (4) vrednost komaj 0,026 kWh/m<sup>2</sup>, kar je poleti zanemarljivo, pozimi pa niti ne. V Kopru je poprečna letna hitrost vetra 2,3 m/s ter ima člen dnevnega zmanjšanja koristne energije zbiralnika vrednost 0,070 kWh/m<sup>2</sup>. Produkt števila dni v letu bi dal vrednost 25,5 kWh/m<sup>2</sup> kar pa je manj, kot če računamo natančneje po posameznih mesecih, kot smo to naredili za boljši končni prikaz. Pomembnost tega člena smo tudi tako dobro ocenili.



Slika 2 Koristna energija suhega zbiralnika v odvisnosti od hitrosti vetra za razne mesece v Kopru (za Ljubljano julija — Lj), — za tipičen dnevni potek, — — za 10°C povišano in — — za 10°C znižano temperaturo

Fig. 2 Useful energy of dry collector as a function of wind speed for different months in Koper (Ljubljana July only — Lj), — for typical temperature, — — for 10°C enlarged, and — — for 10°C decreased temp.

## OMOČEN ZBIRALNIK

Padavine omočijo zbiralnik, ga ohladijo in s tem zmanjšajo njegov izkoristek na dva načina: — z neposredno ohladitvijo stekla na temperaturo padavin in — z izhlapevanjem na steklu preostale vode.

Pri tem je manj pomembna količina in bolj pogostnost padavin, ker, kar je vode več, odteče, na steklu pa ostane ca 0,2 mm debela plast vode, ki mora izhlapati. V času delovanja zbiralnika pa je jakost izhlapevanja navadno zadostna (Matičič 1983, Petkovšek in sod. 1984).

V standardni klimatski obdelavi meteoroloških podatkov imamo navadno le dnevno količino padavin in število padavinskih dni ter redkokje dnevne razporeditve padavin za krajšo dobo. Tu potrebnih podatkov o posameznih trajanjih padavin oz. številu padavin s presledki itd. ni na medijih za računalniško obdelavo. Klasična obdelava pa je zelo zamudna in jo je mogoče izvesti le za nekatera vzorčna leta. Že v prejšnji študiji (Petkovšek in sod. 1983 b) smo uvedli pojem omočenosti zbiralnika in izdelali metodo za njeno določitev. Je pa to še bolj zamudno delo (saj vključuje poleg padavin še druge pojave) ter do izdelave ustreznega referenčnega leta

za te namene, ni pričakovati boljših obdelav. Zato bomo uporabili že obdelane podatke in izdelali metodo za njihovo aplikacijo na ta klimatski model.

Pojavi, ki predvsem povzročajo omogčenost zbiralnika so:

- izpodnebne padavine (pršenje, dež, sneg)
- rosa in slana ter
- megla, katere kapljice se usedajo na zbiralnik.

Tudi vsaka nova snežna odeja in poledica imata na zbiralnik svojevrsten vpliv, ki ga v tej prvi aproksimaciji še ne bomo upoštevali, njun glavni vpliv pa je že zajet pri padavinah.

Pri študiju vpliva zgoraj navedenih pojavov v dnevnem ciklu smo upoštevali začetne jutranje omočenosti (zaradi rose, slane, megle in nočnih padavin) ter pogostnost padavin med dnevom (v času delovanja zbiralnika) npr. plohe. Ker klimatske vrednosti časovne razporeditve teh pojavov niso obdelane in znane, poenostavimo pojem omočenosti, ki je vezan na konkretne ure dneva na t. i. »trajanje omočenosti« v tipičnem dnevu posameznega meseca in kraja. Ta parameter določimo iz prejšnjih študij, v katere sta bila vključena tudi oba tu obravnavana kraja, vpliv tega parametra v klimatskem smislu pa določimo na podoben način, kot pri vetru.

Rosa, megla in padavine se lahko pojavijo isti dan ali celo hkrati (Roach 1974, Petkovšek in sod. 1984), zato njihove vsote včasih presegajo število dni meseca in direktno niso uporabne. Toda z njihovo pomočjo in na osnovi drugih spoznanj, najprej ocenimo število ur (trajanje) omočenosti zbiralnika v tipičnem dnevu posameznega meseca — čeprav je dejansko pozimi v Ljubljani pogosto megla ves dan (Petkovšek 1971). Nato pa na osnovi analiz prejšnje študije, določimo tipično dnevno razporeditev omočenosti zbiralnika v izbranih krajih in mesecih. Tako dobljene dnevne razporeditve omočenosti so podane v tabeli 1. Vrednosti so seveda ocenjene in smiselno prirejene: npr. popoldanska rosa ali megla prviloma ne moreta nastati v času, ko zbiralnik še deluje (zlasti pa ne rosa na njem), in tudi pozno popoldanske padavine na izkoristek zbiralnika skoraj nimajo vpliva.

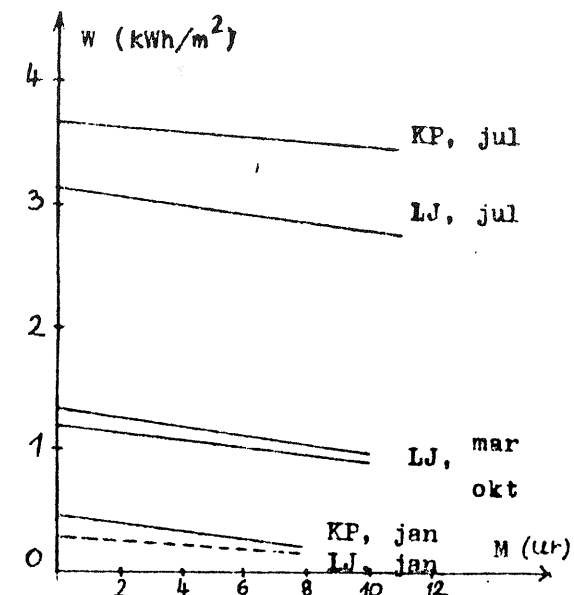
Tabela 1 Tipične dnevne razporeditve omočenosti zbiralnika sončne energije v Kopru in Ljubljani za izbrane mesece (ocena)

Table 1 Typical daily distributions of wetness of collector in Koper and Ljubljana for chosen months (assessment)

Ura	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	11—12	12—13	13—14
<b>KOPER</b>										
januar	M	M	M	M				M		
julij	M							M		
<b>LJUBLJANA</b>										
januar	M	M	M	M	M		M	M		
marec	M	M	M					M		
julij	M	M							M	M
oktober	M	M	M	M	M		M	M		

S tako ocenjenimi razporeditvami omočenosti smo računali dnevni izkoristek zbiralnika pri tudi sicer tipičnih pogojih za vsak izbran kraj in mesec. Poleg tega smo računali še za primere,

da bi bil zbiralnik omočen stalno do 14 ure. Rezultati teh izračunov so podani na sliki 3, ki prikazuje koristno energijo v odvisnosti od trajanja omočenosti M. Pri tem smo za trajanje omočenosti v tipičnem dnevu šteli ure, začeni ca. 2 uri pred sončnim vzhodom, ker mnoge ure omočenosti npr. pozimi ponoči, na izkoristek zbiralnika seveda nimajo vpliva in je bilo treba podatke časovno smiselno urediti.



Slika 3 Koristna energija zbiralnika v odvisnosti od trajanja njegove omočenosti v različnih mesecih (Koper — KP, Ljubljana — LJ)

Fig. 3 Useful energy of collector as a function of duration of its wetness in different months (for Koper — KP, and Ljubljana — LJ)

Iz slike 3 je tudi očitno, da je koristna energija najbolj odvisna od letnega časa (Q in T), kar je zajeto v prvem členu na desni enačbe (3). Vpliv same omočenosti, pa dobimo iz nagiba linij, saj je očitno tudi tu (podobno in še bolje kot pri vetru) odvisnost linearna. To linearno zmanjšanje koristne energije v odvisnosti od trajanja omočenosti zbiralnika, je v Kopru in v Ljubljani približno enako in znaša 0,036 kWh na m<sup>2</sup> in uro omočenosti, kar že predstavlja utežni faktor vpliva omočenosti. Iz te linearne odvisnosti sledi zdaj preprosta določitev zadnjega člena na desni strani enačbe (3), ki je

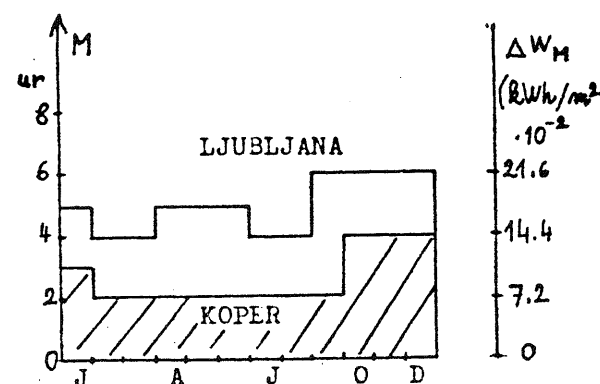
$$W_M = u_M M \quad (5)$$

pri čemer je M trajanje omočenosti v urah v času od ca. 2 uri pred sončnim vzhodom do 14 ure v tipičnem dnevu posameznega meseca; utežni faktor pa je  $u_M = 0,036 \text{ kW/m}^2$ . Ta je splošen, kajti če velja za tako različna kraja kot sta Ljubljana in Koper, velja dovolj dobro tudi za druge kraje Slovenije. Glavna težava pri oceni člena omočenosti je v tem, da parameter M iz klimatsko obdelanih podatkov o padavinah, slani, rosi, megli itd. ni preprosto določljiv.

Podobno, kot člen vetra, je tudi ta člen enačbe (3) v primerjavi s prvim majhen, saj znaša dnevna vrednost zmanjšanja koristne energije zaradi omočenosti zbiralnika večinoma pod 0,2 kWh/m<sup>2</sup>. Pozimi je lahko vrednost dvakrat tolikšna, kar pomeni pri koristni energiji, ki je tedaj v celoti majhna, relativno veliko. Sicer pa bomo absolutne in relativne vrednosti posameznih členov pregledali in presodili skupaj ob zaključku.

Za ugotovitev celoletnih vrednosti vpliva tega člena moramo poznati letno razporeditev tipične omočenosti (posameznih mesecev). Te seveda nimamo, toda njen dokaj dober približek lahko dobimo za obravnavana kraja na osnovi ustrezne presoje klimatskih razmer (letne razporeditve megle, rose in števila padavinskih dni). Tako ocenjeni letni razporeditvi trajanja omočenosti zbiralnika sta prikazani na sliki 4. To so zares grobe ocene, a več za zdaj ni mogoče storiti (do izdelave zadevnega referenčnega leta). Ker pa je vpliv tega člena sorazmerno majhen, tudi absolutna ocena celotne koristne energije ne bo bistveno trpela.

Ker je zmanjšanje izkoristka zbiralnika zaradi omočenosti sorazmerno parametru M, predstavlja razporeditev na sliki 4 približno tudi letni potek zadnjega člena enačbe (3), vrednosti pa je možno razbrati na desni skali te slike.



Slika 4 Ocenjeni letni razporeditvi parametra „trajanje omočenosti“ M — leva skala in dnevno zmanjšanje koristne energije zaradi omočenosti zbiralnika W<sub>M</sub> — desna skala

Fig. 4 Assessed annual distribution of parameter „wetness duration“ M — left scale, and daily decrease of useful energy due to wetness of collector W<sub>M</sub> — right scale

## KONČNA OBLIKA IN SKLEP

Glede na navedene transformacije zadnjih dveh členov enačbe (3), lahko zdaj z enačbama (4) in (5) zapišemo enačbo za izračun koristne energije zbiralnika sončne energije v tem klimatskem modelu v obliki, ki omogoča neposredne izračune. Ta je zdaj za dnevne vrednosti

$$W = Q\eta' - u_v V - u_M M \quad (6)$$

pri čemer je treba poznati tipične oz. klimatske dnevne vrednosti vplivnih parametrov v posameznih mesecih.

Ker sta zadnja člena na desni zgornje enačbe glede na prvega majhna, lahko v skladu s prejšnjimi ugotovitvami vzamemo faktorja u<sub>v</sub> in u<sub>M</sub> čez vse leto konstantna — u<sub>M</sub> je celo za oba kraja enak.

Mesečne in celoletne vrednosti posameznih členov in koristne energije dobimo z množenjem in seštevanjem. Rezultati tako dobljenih izračunov in letne vsote za oba kraja in izbrane mesece so podani v tabeli 2.

Tabela 2 Mesečne in letne vrednosti koristne energije W in členov enačbe (6) za standardni zbiralnik in tipične klimatske razmere v Kopru in Ljubljani v kWh/m<sup>2</sup>. V oklepajih so relativne vrednosti v % glede na Q.

Table 2 Monthly and annual values of useful energy W and separate terms of eq. (6) for standard collector and typical climatic conditions in Koper and Ljubljana — kWh/m<sup>2</sup>. Relative values regarding Q in % are in parenthesis.

	Q	U <sub>v</sub> V	u <sub>M</sub> M	W	Q
<b>KOPER</b>					
januar	12,4(20)	2,1(3)	3,4(6)	6,9(11)	61,8
julij	114,7(65)	1,8(1)	2,2(1)	109,5(63)	174,6
na leto	808,1(55)	25,2(2)	36,2(2)	746,6(51)	1458,5
<b>LJUBLJANA</b>					
januar	0	0,5(.5)	5,6(16)	0	36,1
marec	43,4(42)	1,0(1)	4,5(4)	37,9(37)	103,1
julij	96,1(60)	0,9(1)	4,5(3)	90,7(57)	159,4
oktober	37,2(43)	0,6(1)	6,7(8)	29,7(34)	86,1
na leto	604,8(50)	9,5(1)	65,8(5)	529,5(44)	1211,4

Iz table 2 vidimo, da sta druga dva člena enačbe (6) glede na prvega znatno manjša, vendar ne povsem zanemarljiva. V obeh krajih je pozimi ob majhnem kvaziglobalnem obsevanju Q, tudi koristna energija, ki jo da glavni člen majhna, toda tudi poleti ne preseže v Kopru 65 % in v Ljubljani 60 % Q-ja. To je predvsem posledica velike (a realne) emisivnosti absorberja.

Dodatno znižanje koristne energije zaradi vetra je absolutno in relativno večje v Kopru, ki ima več vetra. Obratno pa člen omočenosti zbiralnika mnogo bolj zniža koristno energijo v Ljubljani, kjer so pogostejši pojavi, ki omočijo zbiralnik.

V tipičnem januarskem dnevu (in zato po tem modelu januarja) tak zbiralnik sploh ne da koristne energije. Dejansko je kako leto v izjemno sončnem dnevu lahko tudi nekaj da, vendar kaže izračun, da bi pri zbiralniku z manjšo emisivnostjo absorberja, člen omočenosti pobral kar 16 % kvaziglobalnega obsevanja in za 5,6 kWh/m<sup>2</sup> zmanjšal koristno energijo, ki bi bila v celoti le nekajkrat večja.

Končni podatki letne vsote koristne energije v tabeli 2 kažejo, da nam dá tak standardni zbi-

ralnik v Kopru na leto ca. 750 kWh/m<sup>2</sup> koristne energije, v Ljubljani pa le ca. 530 kWh/m<sup>2</sup>, kar je ca. 30 % manj kot v Kopru. V Kopru znaša skupni izkoristek 51 %, v Ljubljani pa le 44 % kvaziglobalnega obsevanja, ki pade na — proti jugu orientirano in za 40° nagnjeno enotno ploskev.

Ker so te vrednosti tako rekoč ekstremne glede na klimatske razmere v Sloveniji, pričakujemo, da je v večini krajev koristna energija, ki jo lahko pričakujemo od takega zbiralnika nekje vmes.

Preprost zmnožek izračunane koristne energije in cene npr. električne energije, nam omogoča oceniti, v kolikem času se investicija zbiralnika v kakem kraju amortizira.

Klimatskih razmer, kot je bilo že rečeno, ni mogoče spreminjati. Z izboljšanjem lastnosti zbiralnika (npr. emisivnostjo absorberja, dvojno zasteklitvijo i.d.) pa bi bilo mogoče dobiti tudi več energije — vendar seveda dokaj pod vrednostjo  $Q$  v posameznem kraju in mesecu.

Letni odkloni globalnega obsevanja v 12 letih (1966—77) znašajo npr. v Ljubljani do +11 % in do -16 % od poprečja. ti so torej mnogo večji kot napake izvedenih izračunov po predloženem modelu. To pa pomeni, da je model, kljub svoji preprostosti, dovolj dober in natančen. Večja natančnost je, glede na fluktuacijo  $Q$  iz leta v leto, celo nesmiselna.

## LITERATURA

- Hočevar A. in sod., 1982, Sončno obsevanje v Sloveniji — Trajanje in energija, Bioteh. fak., VTOZD Agronomija, 96 str.
- Matičič B., 1983, Annual Research Report on Crop-Yield Evapotranspiration, Biot. Faculty, Agric. Eng. Dept., Ljubljana, No. 3
- Meinel A. and Meinel M., 1976, Applied Solar Energy, Addison Pub. Comp., Reading, Mass. 647 str.
- Petkovšek Z., 1971, Celodnevne megle v Ljubljani, Razprave-Pepers, 11, DMS, 31—45
- , 1981, Veter v sloveniji z vidika vpliva na zbiralnik sončne energije, Razprave-Papers, 26/1—2, DMS, 19—34
- Petkovšek Z. in sod., 1982b, Dopolnitev numeričnega modela izkoristka zbiralnika sončne energije glede na okolje — vpliv padavin, Bioteh. fak., VTOZD Agronomija, 17 str.
- Petkovšek Z. in Rakovec J., 1983, The Influence of Meteorological Parameters on Flat-Plate Solar Energy Collector, Archiv Met., Goph, Biokl, Ser. B, 33, 19—30
- Petkovšek Z. in sod., 1983b, Vpliv omočenosti in vetra na zbiralnik sončne energije v raznih krajih Slovenije, Bioteh. fak., VTOZD Agronomija, 30 str.
- , 1984, Klimatski vidiki poselitve Ljubljanske kotline, VTOZD Fizika, FNT, 72 str.
- Roach W. T., 1974, the Physics of Radiation Fog — A Field Study, Quart. Junr., RMS, 102, 313—333
- Stringer E. T., 1972, Techniques of Climatology, W. H. Freeman and Co., San Francisco, 539 str.