

UDK 697.7:697.329

Ogrevalni sistemi za izkoriščanje sončne energije v stavbah

PETER NOVAK

1. SPLOŠNO

Pri izkoriščanju sončne energije za ogrevanje stavb moramo upoštevati vrsto vplivov, ki so si pogosto nasprotni. Med njimi so nedvomno najpomembnejši:

- jakost sončnega sevanja E ,
- zunanja temperatura t_e ,
- toplotna izolacija stavbe,
- temperaturni nivo ogrevalnega sistema t_{11} , t_{12} ,
- izkoristek sprejemnika sončne energije.

Vsak od teh vplivov ima poleg termodinamičnih tudi ekonomske vplive. Le-ti v končni fazi močno vplivajo na odločitev o izkoriščanju sončne energije kot pomožnega vira toplote za ogrevanje. Da bi dobili primerno rešitev, je treba posamezne vplive ovrednotiti in ugotoviti njihovo medsebojno zvezo.

Končni namen je oskrbovati stavbe s sončno toploto v čim daljšem obdobju ogrevalne sezone s čim manjšimi akumulatorji toplote. Zaradi tega si bomo v nadaljnjem ogledali, kakšne so pri tem možnosti, kako vse to vpliva na oblikovanje stavbe ter izbiro ogrevalnega sistema.

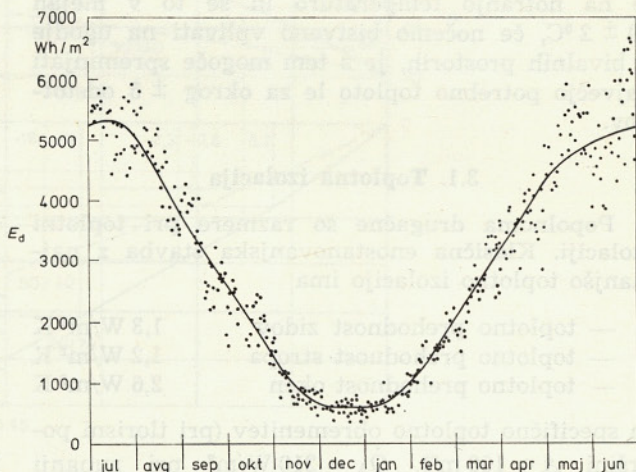
2. METEOROLOŠKI PARAMETRI

2.1. Jakost sončnega sevanja

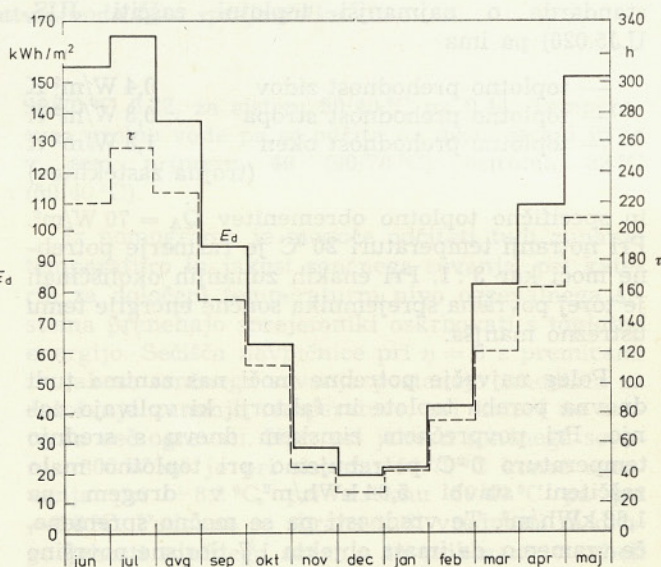
Iz literature je znano, kako se spreminja jakost E_d sončnega sevanja v odvisnosti od časa in kraja. Če pri tem upoštevamo še lokalne vplive, kakršni sta oblačnost in megla, potem lahko vidimo, da je sončno sevanje naključna veličina, katere dejansko jakost je mogoče določiti po statističnih vrednostih. Pri nas so sedaj najbolj dostopni podatki o celotnem sončnem sevanju in o številu ur sončnega sevanja [1, 3]. Na sliki 1 je prikazano povprečno celotno sevanje v Ljubljani. Za dejansko oceno delovanja naprave, ki sprejema sončno energijo, pa je treba poznati poleg povprečnih vrednosti tudi urne vrednosti sončnega sevanja hkrati s temperaturo zraka (slika 2).

2.2. Zunanja temperatura

Zunanja temperatura zraka se spreminja s časom in krajem. V primeru brezvetrja so od nje odvisne toplotne izgube. Zaradi akumulacije toplote v obodnih zidovih in kratkotrajnih ekstremov imamo pri prenosu toplote zakasnitve, ki jih je danes že mogoče računsko upoštevati (metoda Škloverja, metoda odzivnih faktorjev po ASHRAE itd.). Ker ne moremo vplivati na zunanjo temperaturo, moramo njene vplive zmanjševati drugače, tj. s toplotno izolacijo in akumulacijo.



Sl. 1. Povprečno celotno sevanje v Ljubljani (1965 do 1974)



Sl. 2. Povprečne mesečne vrednosti celotnega sevanja v Ljubljani za obdobje 1965–1974 in število ur sevanja

2.3. Veter

Vpliv vetra je najtežje predvidevati, saj se pojavlja zelo neenakomerno. Rezerve moči pri ogrevalnih napravah so tako velike v glavnem zaradi vetra. Pri racionalnem projektiranju ogrevalnega sistema z izkoriščanjem sončne energije je treba kolikor mogoče natančno poznati hitrost in smer vetra v odvisnosti od zunanje temperature. V naših nadaljnjih razmišljanjih vpliva vetra ne bomo upoštevali.

3. OBLIKOVANJE STAVBE

Za ogrevanje neke stavbe potrebna toplota je odvisna od temperaturne razlike in toplotne izolacije. Ker pri temperaturni razliki lahko vplivamo le na notranjo temperaturo in še to v mejah $20 \pm 2^\circ\text{C}$, če nočemo bistveno vplivati na ugodje v bivalnih prostorih, je s tem mogoče spreminjati največjo potrebno toploto le za okrog ± 5 odstotkov.

3.1. Toplotna izolacija

Popolnoma drugačne so razmere pri toplotni izolaciji. Klasična enostanovanjska stavba z najmanjšo toplotno izolacijo ima

— toplotno prehodnost zidov	1,3 W/m ² K
— toplotno prehodnost stropa	1,2 W/m ² K
— toplotno prehodnost oken	2,6 W/m ² K

in specifično toplotno obremenitev (pri tlorisni površini $A \approx 100 \text{ m}^2$), $\dot{Q}_A = 210 \text{ W/m}^2$ pri zunanji temperaturi $t_o = -18^\circ\text{C}$. Toplotno bolj zaščitena stavba (po predlogu slovenskega pravilnika o toplotni zaščiti stavb in v skladu z novim predlogom standarda o najmanjši toplotni zaščiti JUS, UJ5.020) pa ima

— toplotno prehodnost zidov	0,4 W/m ² K
— toplotno prehodnost stropa	0,3 W/m ² K
— toplotno prehodnost oken	1,8 W/m ² K
(trojna zasteklitev)	

in specifično toplotno obremenitev $\dot{Q}_A = 70 \text{ W/m}^2$. Pri notranji temperaturi 20°C je razmerje potrebne moči kar 3 : 1. Pri enakih zunanjih okoliščinah je torej površina sprejemnika sončne energije temu ustrezno manjša.

Poleg največje potrebne moči nas zanima tudi dnevna poraba toplote in faktorji, ki vplivajo nanjo. Pri povprečnem zimskem dnevu s srednjo temperaturo 0°C potrebujemo pri toplotno malo zaščiteni stavbi $5,04 \text{ kWh/m}^2$, v drugem pa $1,68 \text{ kWh/m}^2$. Te vrednosti pa se močno spremenijo, če vzamemo, da imata objekta 1/7 tlorisne površine zastekljene z vgrajenimi zunanjimi roletami, ki povečujejo toplotno izolacijo oken za 30 do 35 odstotkov. Če računamo, da so rolete spuščene od 19. do 7. ure zjutraj, tj. 12 ur, se pri srednji zunanji temperaturi -5°C v tem času zmanjšajo

izgube za 9 odstotkov. Iz tega vidimo, da uporaba rolet postaja ob takih prihrankih še kako pomembna. Ker ima večina objektov okenske površine večje od 1/7 poda, je prihranek še toliko večji.

3.2. Toplotna akumulacija

Toplotna akumulacija obodnih zidov je zelo pomembna zato, ker izravnavo nihanje temperature na notranji površini stene in s tem tudi vpliva na zmanjšano oddajo toplote. Ni natančnih podatkov o prehodnih pojavih v stavbah, povezanih s toplotno akumulacijo sten, vendar je ta zakasnitev pri masivnih stenah nad 20 cm debeline reda velikosti nekaj ur. Pri sončnem ogrevanju je namreč pomembno, da premaknemo konico jutranje obremenitve, ko so temperature najnižje na poznejši čas, ko sonce običajno že sije in lahko uporabljamo njegovo toploto za ogrevanje.

Iz tega lahko sklepamo, da bomo dobili racionalno napravo za ogrevanje s sončno energijo, če bo objekt toplotno dobro izoliran, če se bodo pri obratovanju upoštevale vse možnosti za zmanjšanje toplotnih izgub (npr. spuščanje rolet, ventilacija) in če bodo obodni zidovi imeli ustrezno akumulacijo enakovredno vsaj 38 cm debelemu opečnemu zidu.

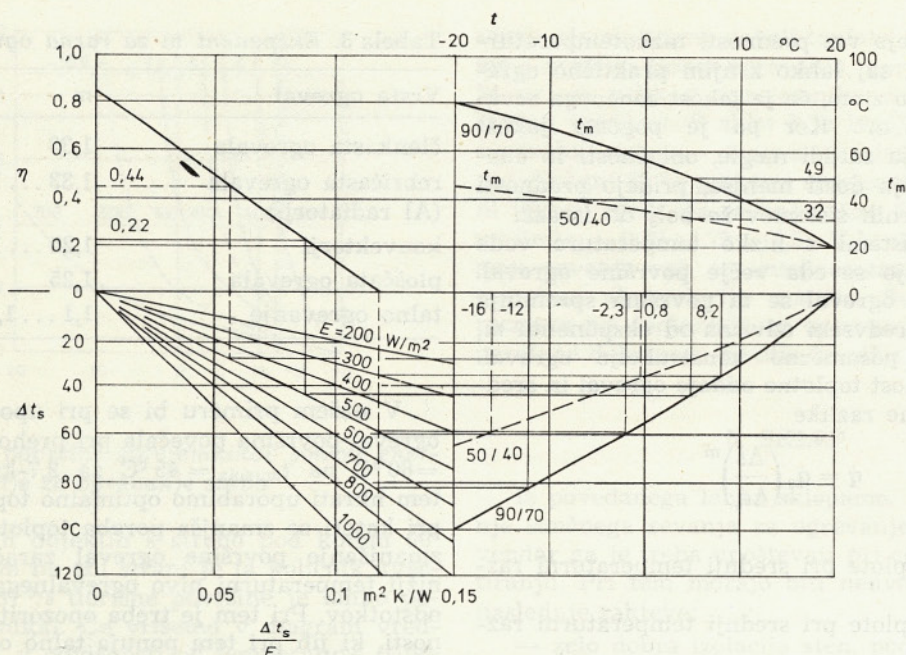
4. INSTALACIJA OGREVALNEGA SISTEMA

Pri izbiri ogrevalnega sistema imamo zelo veliko možnosti, da vplivamo na ekonomičnost naprave za izkoriščanje sončne energije. Glavni razlog za to je izkoristek sprejemnika energije, ki se pri majhni jakosti sončnega sevanja, kakršno imamo pozimi, močno zmanjšuje z zvišanjem temperaturne razlike med zunanjo temperaturo in srednjo temperaturo vode v sprejemniku sončne energije (slika 3). Čim nižja je torej temperatura vode v ogrevalnem sistemu, tem večji bo izkoristek sprejemnika.

Ce poznamo nagib sprejemnika ter časovni potek zunanje temperature, lahko pri znanem poteku sončnega sevanja zelo hitro ugotovimo povprečni dnevni izkoristek sprejemnika. Le-ta je seveda bistveno manjši od podatkov v literaturi, kjer niso upoštevani zgornji vplivi. Če izračunamo srednjo vrednost izkoristka izbranega sprejemnika v celotni ogrevalni sezoni, tj. v temperaturnem območju od -20 do $+12^\circ\text{C}$, dobimo naslednji rezultat, prikazan v tabeli 1.

Tabela 1. Povprečni izkoristki sprejemnika v sezoni ogrevanja

Jakost sevanja W/m ²	Povprečni izkoristek pri		Razmerje $\eta_2 : \eta_1$	Povečanje pri $t_m = 45^\circ\text{C}$ %
	$t_{m, \max} = 80^\circ\text{C}$ η_1	$t_{m, \max} = 45^\circ\text{C}$ η_2		
700	0,240	0,440	1,833	83,3
500	0,143	0,280	1,958	95,8
300	0,053	0,120	2,264	126,4



Sl. 3. Nomogram za določanje izkoristka η sprejemnika sončne energije v odvisnosti od jakosti sončnega sevanja E in zunanje temperature t_e pri izbrani srednji temperaturi vode t_m v sprejemniku

Vidimo, da postaja sistem z nižjo temperaturo že pri jakosti sončnega sevanja pod 500 W/m^2 še enkrat bolj učinkovit. Ne glede na to pa moramo na žalost ugotoviti, da so pri običajnih ploščatih sprejemnikih povprečni izkoristki zelo slabi. Tu bo potrebno še dosti naporov, da bomo premagali termodinamične in ekonomske prepreke.

Na nomogramu (sl. 3), ki združuje krivuljo srednje temperature grelne vode t_m v odvisnosti od zunanje temperature t_e in izkoristek sprejemnika sončne energije v odvisnosti od jakosti sončnega sevanja, je mogoče na zelo preprost način ugotoviti vpliv temperature grelne vode na izkoristek sprejemnikov sončne energije. S polno črto je vrisan potek srednje temperature grelne vode (ki naj bi jo dosegli v sprejemniku sončne energije) za ogrevalni sistem 90/70 °C, s črtkano pa za ogrevalni sistem 50/40 °C. Npr. pri zunanji temperaturi $t_e = +5 \text{ °C}$ in jakosti sončnega sevanja 500 W/m^2 je izkoristek sprejemnika sončne energije za sistem

90/70 °C 0,22, za sistem 50/40 °C pa 0,44. Temperatura grelne vode pa se odčita na desni strani in je v tem primeru 49 (90/70 °C) oziroma 32 °C (50/40 °C).

Iz nomograma je mogoče odčitati tudi zunanjo temperaturo in jakost sončnega sevanja, pri katerih za določeni temperaturni nivo ogrevalnega sistema prenehajo sprejemniki oskrbovati s toplotno energijo. Sečišča navpičnice pri $\eta = 0$ s premicami za jakost sončnega sevanja postanejo izhodišča za določanje zunanje temperature, pri kateri ne moremo več ogrevati. Npr. pri jakosti sončnega sevanja 300 W/m^2 je pri sistemu 90/70 °C konec ogrevanja pri $+8,2 \text{ °C}$, pri sistemu 50/40 °C pa pri $-0,8 \text{ °C}$. Podobno so zbrane tudi vrednosti za druge jakosti sončnega sevanja in prikazane v tabeli 2, ki veljajo za sprejemnik z enačbo izkoristka

$$\eta = 0,85 - 7,05 \frac{\Delta t}{E}.$$

Tabela 2. Zunanja temperatura, pri kateri ni več mogoče ogrevati stavbe s sprejemniki sončne energije

Jakost sevanja W/m^2	100	200	300	400	500	600	700	800	900
t_e (°C) za sistem:									
90/70 °C	16,2	12,5	8,2	3,5	-2,3	-7,5	-12	-17,5	<-20
50/40 °C	13,5	7,5	-0,8	-8	-16	<-20	<-20	<-20	<-20

Tu se pokažejo vse prednosti nizkotemperaturnega ogrevanja, saj lahko z njim praktično ogrevamo stavbo vso zimo, če je jakost sončnega sevanja nad 500 W/m^2 . Ker pa je pogosto jakost sončnega sevanja zaradi megle, oblačnosti in onesnaženosti ozračja dosti manjša, pridejo prednosti nizkotemperaturnih sistemov še bolj do izraza.

Ogrevalni sistemi z nizko temperaturo vode v dovodu terjajo seveda večje površine ogreval. Glede na vrsto ogreval se ta površina spreminja različno in je predvsem odvisna od eksponenta m , značilnega za posamezno konstrukcijo ogreval. Znana je odvisnost toplotne oddaje ogreval in srednje temperaturne razlike

$$\dot{q} = \dot{q}_0 \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_0} \right)^m$$

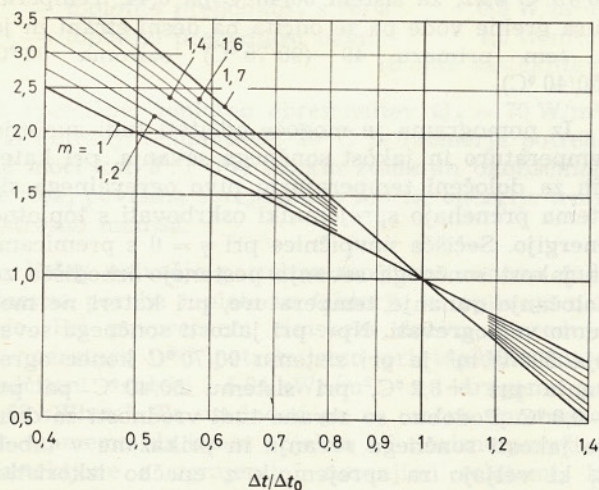
kjer pomenita:

$\dot{q}$ — oddajo toplote pri srednji temperaturni razliki Δt ,

$\dot{q}_0$ — oddajo toplote pri srednji temperaturni razliki Δt_0 .

Indeks 0 se nanaša na preizkusne okoliščine po JUS U.J5.110.

Na sliki 4 je prikazano povečanje ogrevalnih površin v odvisnosti od Δt in m .



Sl. 4. Povečanje ogrevalnih površin zaradi spremembe Δt in m

f — faktor povečanja ogrevalne površine
 $\Delta t/\Delta t_0$ — razmerje temperaturnih razlik

S slike je razvidno, da je povečanje najmanjše pri $m = 1$. Zaradi tega so za uporabo v nizkotemperaturnih sistemih predvsem primerna ogrevala z majhnim m . V tabeli 3 so podani eksponenti m za najbolj značilna ogrevala z višino 600 m.

Pri tem lahko m zelo naraste pri velikih temperaturnih razlikah delovnega medija in spodnjem priključku.

Tabela 3. Eksponent m za razna ogrevala

Vrsta ogreval	m
členkasta ogrevala	1,33
rebričasta ogrevala (Al radiatorji)	1,33 ... 1,36
konvektorji	1,25 ... 1,45
ploščata ogrevala	1,25
talno ogrevanje	1,1 ... 1,15

V našem primeru bi se pri uporabi členkastih ogreval površina povečala pri prehodu od $t_{m, \max} = -80^\circ \text{C}$ na $t_{m, \max} = 45^\circ \text{C}$ za 2,7-krat. Če pa pri tem hkrati uporabimo optimalno toplotno izolacijo, pri kateri se zmanjša poraba toplote za trikrat, je zmanjšanje površine ogreval zaradi prehoda na nižji temperaturni nivo ogrevalnega sistema le 10 odstotkov. Pri tem je treba opozoriti tudi na prednosti, ki jih pri tem ponuja talno ogrevanje, ki je praktično primerno le za nizkotemperaturne režime in omogoča celo nižjo srednjo temperaturo v prostoru ($\approx 18^\circ \text{C}$), kar zmanjšuje toplotne obremenitve in s tem potrebno površino sprejemnika za okoli 8 odstotkov.

Potrebno površino sprejemnika sončne energije, ki bi lahko oskrboval določen objekt s sončno toploto, lahko izrazimo z razmerjem te površine in tlorisne površine stavbe. Ker velja

$$\dot{Q}_0 = \dot{Q}_s z \quad (2)$$

$$\dot{Q}_0 = \dot{q}_A \cdot A_0 \quad (3)$$

$$\dot{Q}_s = A_s E \cdot \eta_t \quad (4)$$

dobi brezdimenzijsko razmerje površine sprejemnika in tlorisne površine stavbe obliko

$$\frac{z A_s}{A_0} = \frac{\dot{q}_A}{E \cdot \eta_t} \quad (5)$$

V enačbah od 2 do 5 pomenijo:

$\dot{Q}_0$ (W) — celotno toplotno izgubo stavbe

A_0 (m^2) — čisto tlorisno površino stavbe

$\dot{q}_A = \dot{Q}_0/A_0$ (W/m^2) — specifično toplotno izgubo stavbe

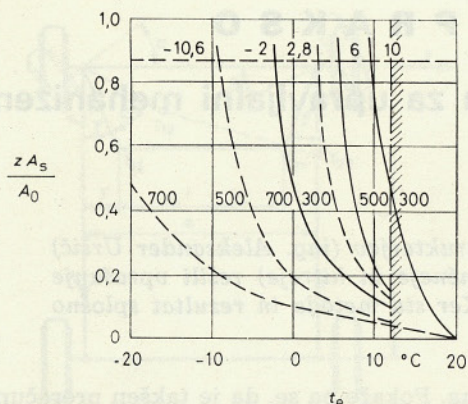
E (W/m^2) — jakost sončnega sevanja

A_s (m^2) — površino sprejemnika (bruto)

$\dot{Q}_s$ (W) — v sprejemniku sprejeto toploto

η_t — izkoristek sprejemnika, odvisen od temperature

z — število sprejemnikov



Sl. 5. Potrebna površina sprejemnikov sončne energije za ogrevanje stavb

Pri pritličnih objektih s streho pod kotom 60° in sprejemnikom na eni strani je ta količnik kvečjemu 0,87 (tj. 87 % tlorisne površine je lahko površina sprejemnika). Če vrišemo v diagram vrednosti za zA_s/A_0 v odvisnosti od temperature (slika 5), vidimo, da lahko pri omejitvi površin sprejemnikov na 0,87 tlorisne površine zagotovimo ogrevanje do vrednosti, ki jih podaja tabela 4.

Tabela 4. Zunanja temperatura, iznad katere je mogoče ogrevati stavbe s sprejemniki sončne energije glede na razpoložljiv prostor (pri vrednosti $zA_s/A_0 = 0,87$)

Jakost sevanja (W/m^2)	300	500	700
t_e $t_m = 80\text{ °C}$	+10	+6	+2,8
$t_m = 45\text{ °C}$	—2	—10,6	pod —20

Iz tabele 4 je razvidno, da so zunanje temperature v tem primeru dosti višje, kakor jih prikazuje tabela 2, zato moramo pri projektiranju instalacij upoštevati tudi razpoložljivi prostor.

Ob vsem tem pa je treba poudariti, da v večini naših krajev, zaradi majhnega števila ur sončnega sevanja pozimi ni mogoče ogrevati stavb, ne da bi imeli v objektu akumulatorje toplote.

V Ljubljani imamo npr. vsega skupaj 582 ur sončnega sevanja v celotni ogrevalni sezoni 210 dni. Preračunano na polno moč ogrevanja bi potrebovali najmanj 2016 sončnih ur sevanja z močjo okoli 680 W/m^2 . Torej morajo biti površine sprejemnika za okrog 3,5-krat večje, da v času, ko sije

sonce, akumuliramo dovolj toplote. Če se zadovoljimo s krajšim časom ogrevanja, npr. 12 ur namesto 24 ur, se velikost sprejemnika zmanjša na 1,75-kratno vrednost. S slike 5 je lepo razvidno, da bi ogrevalni sistem s temperaturnim nivojem 50/40 zadoščal pri 87 % površini sprejemnika in povprečni jakosti sončnega sevanja blizu 700 W/m^2 (črtkana linija — $0,87 : 1,75 = 0,5$). V krajih, kjer je sončnega sevanja več, so seveda razmere drugačne in potrebna akumulacija manjša. Še ugodnejše so razmere pri toplozračnem ogrevanju, kjer so temperature delovnega medija še nižje.

5. SKLEP

Iz povedanega lahko sklepamo, da je izkoriščanje sončnega sevanja za ogrevanje stavb mogoče, vendar ga je treba upoštevati pri celotnem projektiranju. Pri tem morajo biti nedvomno izpolnjene naslednje zahteve:

- zelo dobra izolacija sten, podov in stropov,
- zunanje rolete ali drugi ukrepi za zmanjšanje izgub skozi okna ponoči,
- dobra akumulacija obodnih zidov, da se zmanjšajo konice obremenitev,
- čim nižji temperaturni nivo ogrevalnega sistema,
- akumulatorji toplote za premostitev pri manjkljavi sončne energije predvsem v decembru in januarju.

Vsekakor pa morajo biti dostopni še meteorološki podatki o trajanju in jakosti sončnega sevanja.

LITERATURA

- [1] P. Novak: Obrnimo se k soncu, Naše okolje 4/78.
- [2] P. Novak: Pogodnost zgrada i sistema za grijanje kod korištenja sunčeve energije, II. simp. o korišćenju sunčeve energije, Rijeka 1978.
- [3] Anderlić: Seminar, Ogrevanje s soncem, Fakulteta za strojništvo 1978.
- [4] P. Novak: Pitanja daljeg razvoja sistema za grejanje, Interklime 77, Zagreb 1977.

Avtorjev naslov: prof. dr. ing. Peter Novak,
Fakulteta za strojništvo
v Ljubljani