

TOPLOTNA PRIMENA SUNČEVE ENERGIJE

Zna led zimskog sunca – pa zrno tegli mrav

*Mogu ambar sunca nemravi da straće
Sunce, ko dan sudnji, skine sve do gola.*

Skender Kulenović

Toplota dobijena pomoću sunčanih prijemnika može da ima raznovrsne primene. Zagrevanje vode i zgrada privlači najveće interesovanje šireg kruga ljudi, ali postoje i brojne druge primene: u industriji, poljoprivredi, turizmu i drugde. Pokazalo se, na primer, da je u mnogim prerađivačkim industrijama koje koriste topotlu do oko 200°C tehnički i ekonomski opravdano primenjivati sunčanu energiju. Tako se razmatra njeno korišćenje u prehrambenoj i tekstilnoj industriji, zatim u industriji piva, lekova, cigle i crepa, drvenih prerađevina i dr. U agroindustrijskom kompleksu Sunčeva toplota može da se koristi za sušenje poljoprivrednih proizvoda, za staklene bašte i dr. Godine 1978. u našoj zemlji su propale velike količine kukuruza, koji je, zbog visokog sadržaja vlage, napadala plesan u ambarima. A dr Marija Todorović, profesor Poljoprivrednog fakulteta u Beogradu, pokazala je kako se jeftinim i jednostavnim plastičnim prijemnicima može dobiti topao vazduh pogodan za sušenje poljoprivrednih proizvoda, žitarica, sena, šljiva, duvana i dr. Pomoću Sunčeve toplote moguće je, takođe, pospešiti vrenje u raznim procesima, npr. u preradi otpadaka radi dobijanja alkohola ili metana, itd. Desalinizacija morske vode sunčanom energijom može da nađe značajnu primenu u predelima koji oskudevaju u vodi, kao što su, na primer, naša ostrva.

U svetu su takve primene sunčane energije tek u začetku, te još nema pouzdanih podataka o mogućim

energetskim dobitcima u praktičnom radu niti o njegovoj ekonomskoj strani. U ovoj knjizi ćemo se stoga ograničiti na primene Sunčeve toplote za zagrevanje vode i zgrada.

ZAGREVANJE VODE

*Kojim čistim očima
sunce da ugledamo?*

Smederevski besednik

Najmanje što čovek može da učini da u svoj dom uvede sunčanu energiju jeste da se snabde uredajem za grejanje vode za svakodnevnu upotrebu. Takav solarni bojler radi preko cele godine i dosadašnja iskustva su pokazala da se njegovo korišćenje ekonomski brzo isplati, gotovo pod svim uslovima.

Lako se može proceniti koja je optimalna veličina solarnog bojlera za jedno domaćinstvo. Polazimo od podatka da se, pri relativno visokom životnom standardu, po članu domaćinstva dnevno troši od 50 do 100 litara vode zagrejane do 60°C . Pretpostavimo da imamo četvoročlano domaćinstvo s potrebama na nešto nižoj skali standarda, tj. s dnevnom potrošnjom od 200 litara vode zagrejane na 60°C . Neophodna energija da se voda iz vodovoda (temperaturе od 15°C) zagreje za dnevne potrebe ovog domaćinstva iznosi:

$$200 \times 45 \text{ K} \times 4186 \text{ J/kgK} = 37\,674\,000 \text{ J} = 10,465 \text{ kWh.}$$

Pošto solarni grejač radi preko cele godine, njegovu veličinu biramo tako da on tokom leta (tj. od aprila do oktobra) u proseku podmiruje 90 odsto potreba u energiji.

Iz podataka za Beograd vidimo da u letnjem periodu na nagib od 45° dospeva na kvadratni metar 4 590 miliona

$$\text{džula, ili } \frac{4\,590}{183} = 25 \text{ MJ/m}^2 \text{ dan.}$$

Ako prijemnici iskoriste 40 odsto energije, to iznosi 10 MJ/m^2 dan. Da bismo podmirili 90 odsto potrebne sume od $37,674 \text{ MJ/dan}$, neophodno je imati ukupnu površinu prijemnika od $\frac{0,9 \times 37,74}{10} = 3,39 \text{ m}^2$, ili okruglo 4 m^2 .

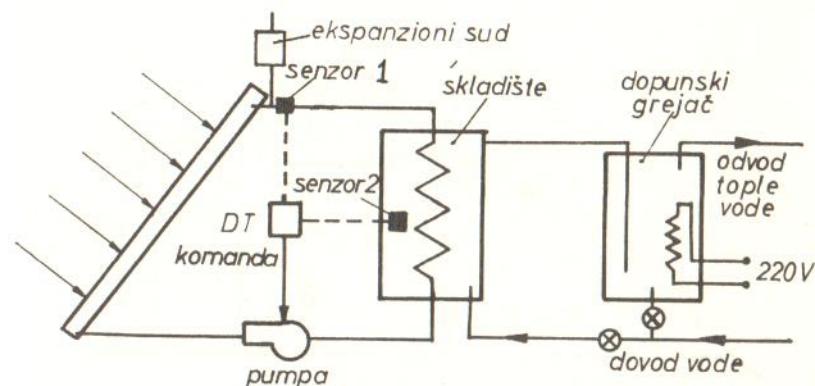
$$\text{prijemnika od } \frac{0,9 \times 37,74}{10} = 3,39 \text{ m}^2, \text{ ili okruglo } 4 \text{ m}^2.$$

Iskorišćena sunčana energija u toku leta tada bi iznosiла $4 \times 10 \times 183 = 7320 \text{ MJ}$. U zimskom periodu, pretpostavljajući da je moguće iskoristiti trećinu sunčane energije, s površinom od 4 m^2 dobili bismo energiju $4 \times 0,33 \times 2626 = 3466 \text{ MJ}$. Ukupni dobitak energije tada iznosi $7320 + 3466 = 10786 \text{ MJ} = 2996 \text{ kWh}$.

Vrednost ove energije, računajući po 2 din/kWh, iznosi: 5.942 din. Na osnovu ovoga možemo da izračunamo pri kojoj ceni nam se isplati korišćenje solarnog grejača vode. Iako njegov vek može da iznosi 20 godina, računajmo s manjim vekom otplate, recimo od 5 godina, koliki je najčešće i garantni rok koji daje proizvođač. Vrednost dobijene energije u tom periodu iznosi 29.960 din. Ovo bi, u stvari, trebalo da bude realna cena solarnih grejača navedene veličine u masovnoj industrijskoj proizvodnji. Tolika je njihova cena u nekim zemljama u kojima se oni odavno koriste. Naši proizvođači solarnih uređaja još nisu izašli na tržište sa solarnim grejačem vode za domaćinstvo te, na žalost, ne možemo navesti njegovu cenu u našoj zemlji.

Ako bi korisnik dobio petogodišnji kredit za kupovinu solarnog grejača po pomenutoj ceni, onda bi, čak i s kamatom od 10 odsto, njegova godišnja otplata kredita bila manja od uštede koju bi ostvario na računu za električnu energiju, jer poslednjih godina cena energije realno raste za najmanje 10 odsto. *Posle 5 godina korisnik bi sunčanu energiju dobijao besplatno.* Ako bi, pak, dobio desetogodišnji kredit, onda bi mu se isplatilo da plati i dvostruko veću cenu. Iz ovoga se vidi značaj društvene podrške za masovniju primenu solarnog zagrevanja vode. A dobit za zajednicu je veoma velika. Procenjuje se da samo u Beogradu instalirana snaga električnih bojlera iznosi preko 500 MW. Ona opterećuje električnu mrežu prilično sinhro-

nizovano (ujutro i rano po podne). Ako bi se svako četvrt domaćinstvo u Jugoslaviji snabdeleno solarnim grejačem, verovatno bi se mogla uštedeti investicija za dve nuklearne elektrane kao što je ona u Krškom. Prema tome, uvođenje solarnih bojlera trenutno predstavlja najjeftiniji i najprihvativljiviji način da se dođe do novih stotina megavata toplotne, a praktično i električne snage, što bi znatno olakšalo pritisak na elektrane.



Sl. 33. Sistem za zagrevanje vode.

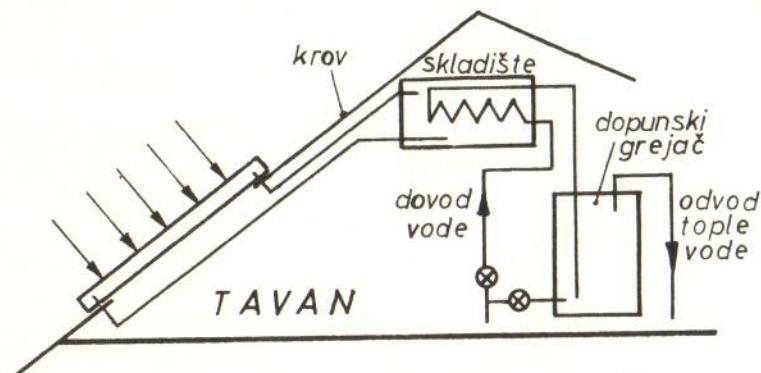
Kao što smo videli, solarni bojler zahteva svega nekoliko kvadratnih metara površine južnog krova zgrade i stoga se može postaviti gotovo na svaki objekat. Može se postaviti i na ravan krov, na balkon, u dvorište, na južni zid i drugde. S arhitektonske tačke gledišta, njegovo uklapanje u bilo koji građevinski stil ne predstavlja problem. Jedno krilo Bele kuće u Vašingtonu, na primer, snabdeveno je povećim solarnim sistemom za grejanje vode.

Prijemnici su samo jedan element sistema za zagrevanje vode i zgrada. Ostale neophodne delove čine toplotno skladište, izmenjivači topline, pumpe ili ventilatori, automatski regulatori i ventilii, termometri i razvodna vodovodna ili vazdušna mreža. Ponekad se koristi krajnje jednostavan sistem, ali se često, naročito za industrijske uređaje, usvaja suprotna koncepcija i grade vrlo složeni sistemi. Po

mome mišljenju, svaki solarni inženjer, ako želi da ostane veran duhu solarnog pokreta, treba da teži ka jednostavnim rešenjima. Samo tada se može očekivati da sunce dobije bitku i na ekonomskom planu.

Koncepcija sistema zavisi od njegove namene i od ambicioznosti zadatka koji treba da obavi.

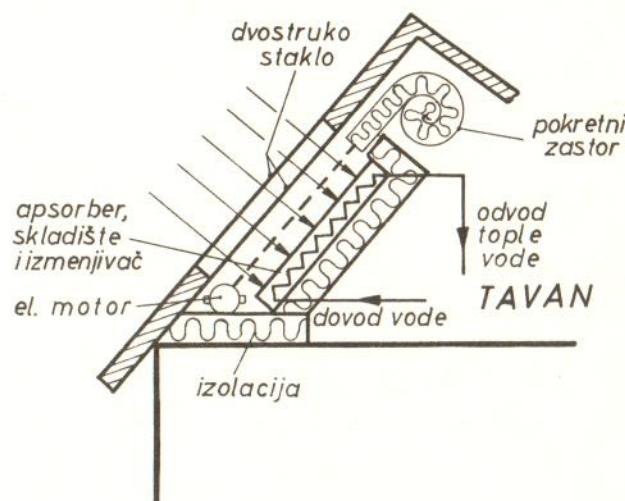
Na sl. 33 prikazan je šematski sistem za zagrevanje vode kakav se obično nudi u prodaji.



Sl. 34. Sistem za zagrevanje vode na termosifonskom principu.

Uredaj za zagrevanje vode može se izgraditi bez pumpe i automatskog regulatora ako se koristi tzv. termosifonski princip. Iznad prijemnika, na rastojanju od najmanje 30 cm, postavi se rezervoar s količinom vode određenom u zavisnosti od veličine prijemnika, prema pravilu koje dajemo na kraju ove glave (odeljak „Toplotno skladište“). Iz donjeg dela rezervoara voda se dovodi u donji deo prijemnika, u kome se zagревa (sl. 34). Iz gornjeg dela prijemnika topla voda se odvodi u gornji deo rezervoara. Budući da je voda u prijemniku i u odvodnoj cevi toplija nego u rezervoaru i dovodnoj cevi, ona obrazuje vodeni stub manje težine i potiskuje se u rezervoar. Na taj način se ostvaruje spontani tok vode dokle god se ona zagreva u prijemniku. Kad nema sunca i kad je voda u rezervoaru toplija nego u prijemniku, neće doći do termosifonskog efekta, jer se rezervoar nalazi iznad prijemnika. Vodi u

skladištu i prijemniku mora se dodati sredstvo protiv zamrzavanja, a pošto voda iz vodovoda prolazi kroz bakarnu spiralu postavljenu u sud rezervoara, ovaj ne mora da bude otporan na visok pritisak. U ovom uređaju je, međutim, stepen iskorišćenosti osetno niži nego pri korišćenju pumpe, zbog toga što se zahteva da temperatura u prijemniku bude znatno viša od temperature vode u rezervoaru.

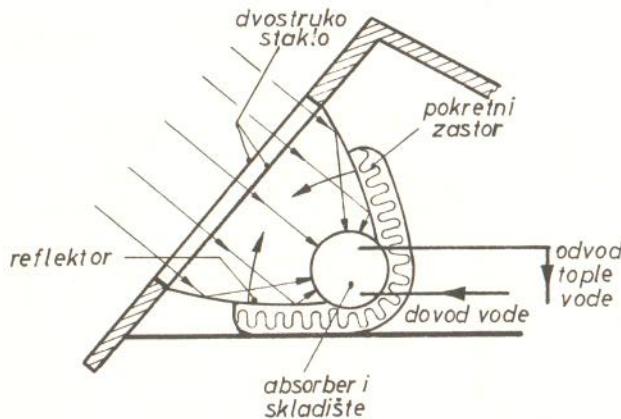


Sl. 35. Sistem za zagrevanje vode u kome prijemnik i skladište čine celinu.

Još jednostavnije rešenje zagrevanja vode, bez ikakvog snižavanja stepena korisnosti, razrađeno je u Institutu „Boris Kidrič“ u Vinči. U tom rešenju (sl. 35) prijemnik je u isto vreme i skladište toplote. On se sastoji od crno obojene metalne kutije, čija zapremina iznosi 100 litara po kvadratnom metru prijemne površine, a postavlja se pod pogodnim uglom ispod jednostruko ili dvostruko zastakljenog dela krova. Kutija je sa zadnje strane topotno izolovana, a s prednje se, automatskim putem, navlači termički zastor kad

god nema priliva sunčane energije. U kutiji je smeštena bakarna spirala kroz koju protiče voda iz vodovoda. Voda se na taj način predgreva, zatim ide u električni bojler, gde se dogreva na željenu temperaturu ukoliko nije dovoljno topla.

U ovom rešenju treba očekivati da stepen korisnosti u principu bude viši od onog u sistemu prijemnika s pumpom i odvojenim skladištem, zato što se sunčana energija bez posrednika predaje skladištu. Ono je i znatno jeftinije, pošto prijemnik i skladište zajedno nisu skuplji od samog apsorbera većine uobičajenih prijemnika.



Sl. 36. Sistem za zagrevanje vode s paraboličnim reflektorem.

Drugo rešenje, razrađeno takođe u Institutu u Vinči i zasnovano na istom pristupu, koristi nizak stepen koncentracije Sunčevog zračenja, kao u Vinstonovom prijemniku (sl. 36). Strane paraboličnog korita, koje su iznutra reflektujuće, a spolja nose termalnu izolaciju, sklapaju se oko apsorbera-skladišta kada nema dotoka sunčane energije. U ovom slučaju, zahvaljujući cilindričnoj geometriji skladišta, nije nužno koristiti bakarnu spiralu kao izmenjivač toplote, već voda iz vodovoda direktno prolazi kroz rezervoar.

SOLARNO GREJANJE ZGRADA

*Oči su mi kao u nomada
Suncima bezbrojnim večno opijene.*

Jovan Dučić

Primena sunčane energije za grejanje zgrada izaziva najveće interesovanje u široj javnosti zbog toga što su današnji izdaci za ogrev visoki i što nijedan od postojećih energetskih izvora za grejanje nije u nas sasvim pouzdan i uvek raspoloživ, niti sasvim zadovoljavajući u pogledu cene, praktičnosti ili zaštite okoline. Vlasnik individualne zgrade suočen je danas, odista, s teškim problemom kako da obezbedi toplotu u svome domu. Štaviše, naredne decenije izgledaju mu još neizvesnije.

Zato smo u ovoj knjizi najviše prostora posvetili ogrevnoj primeni sunčane energije. Napomenimo odmah da solarno grejanje zgrada predstavlja i veoma složen problem. Jer Sunce je najškrтije u periodu kad nam je potrebna najveća količina energije za grejanje i kad su najnepovoljniji uslovi za zahvatnje njegove energije. Solarni uređaji za grejanje zgrade moraju, s jedne strane, da budu visokog kvaliteta, a s druge se koriste samo u zimskom periodu, kada je, kao što smo videli, dotok sunčane energije dvaput manji nego leti. Stoga je dobijena sunčana energija u ovoj primeni u principu dva i više puta skuplja nego u primeni za zagrevanje sanitарне vode.

O solarnom grejanju zgrada bilo je dosta reči u široj javnosti u nas. Više puta se moglo čuti kako smo na pragu uspešnog rešenja tog problema. Mnogi koji se bave primenom sunčane energije skloni su da u svom entuzijazmu previde sve teškoće na koje se nailazi pri grejanju zgrada solarnim sistemima, naročito u pogledu postizanja prihvatljive cene. Takav stav može da donese više štete razvoju solarne energije nego koristi. Jer svaki promašaj, bilo u tehničkom ili ekonomskom pogledu, predstavlja antipropagandu primene sunčane energije. Poznati američki stručnjak na ovom polju, Džordž Lef, koji već dve decenije svoju kuću zagreva

suncem, u svome govoru prilikom prijema jedne velike nagrade za uspehe u primeni sunčane energije kao glavni problem istakao je zanemarivanje ozbiljnosti teškoća solarнog grejanja zgrada. Pokušaćemo, stoga, da na bazi svetskih i domaćih iskustava damo realnu ocenu mogućnosti solarne energije u ovoj primeni.

Iako intenzivan rad na razvoju sunčane energije u svetu traje tek jednu deceniju, do sada je dato na stotine raznih rešenja za što efikasnije i što jestinije zahvatanje sunca. Proučavajući svetsku literaturu na ovom polju, čovek ne može da se ne zadivi ljudskoj ingenioznosti. Ne znam da li postoji neko drugo tehničko područje u kome je za tako kratko vreme dato toliko novih i neobičnih ideja. Pristalicama sunca očito ne manjka entuzijazma i nadahnuća.

Ta okolnost, mada zaslužuje divljenje, novodošlici u primeni solarne energije pričinjava velike teškoće. Kratak period njenog razvoja ne dopušta da se sve ideje provere strožim naučnim i praktičnim kriterijumima. Mnogi autori u ovoj oblasti nisu profesionalno dorasli da kritički sagledaju svoja rešenja, pa su njihove tvrdnje često neproverene i neopravdane. Kako se, onda, snaći u izobilju svakojakih pronalazaka i rešenja?

Što se tiče solarnog grejanja zgrada, u ovoj knjizi postavili smo zadatak da izvršimo selekciju rešenja na bazi sledećih kriterijuma: da imaju zdravu naučnu i tehničku osnovu; da su potvrđena u praktičnoj primeni i publikovana u priznatim časopisima ili proverena od kompetentnih i nezavisnih stručnjaka; da daju povoljne rezultate ne samo u tehničkom nego i u ekonomskom pogledu; i, najzad, da su prihvatljiva za naše uslove u pogledu cene, raspoloživosti materijala, mogućnosti realizacije itd. Kada se uzmu u obzir svi ovi kriterijumi, onda se pokazuje da je relativno mali broj rešenja položio ispit.

Razmotrićemo, dakle, šta sunce realno pruža u pogledu zagrevanja zgrada, pod kojim uslovima, pomoću kakvih uređaja i, razume se, po kojoj ceni. Ali najpre sagledajmo veličinu problema grejanja zgrada.

Energetski bilans kuće. Ovaj problem razmatraćemo na primeru tipične individualne zgrade u nas, jednospratne, čija je korisna stambena površina 160 m^2 a osnova $12 \text{ m} \times 8 \text{ m}$. Pretpostavimo da je izgrađena po najnovijim propisima u pogledu toplotne izolacije i da se nalazi na području Beograda.

Kolika je energija potrebna da se u svim prostorijama ove zgrade tokom jedne grejne sezone održava prosečna temperatura od 22°C , koja se obično zahteva?

Ovo nije teško izračunati ako znamo sve konstruktivne elemente zgrade – tj., od kakvih je zidova načinjena, kolike su površine prozora, kakva je izolacija krova i tavanice, i dr. Pretpostavimo da ona u pogledu toplotne izolacije zadovoljava sadašnje propise, koji definišu toplotnu provodnost pojedinih delova zgrade. (Toplotna provodnost označava snagu u vatima prenesenu kroz materijal površine 1 m^2 podvrgnut temperaturnoj razlici od 1 K , a izražava se u $\text{W/m}^2\text{K}$.) Neka zgrada ima ove koeficijente (k), odnosno vrednosti toplotne provodnosti: zidovi $k = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$; tavanica i pod $k = 0,6 \text{ W/m}^2$; prozori s dva stakla $k = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$; temelj $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Da objasnimo na primeru zida površine (A) 10 m^2 šta praktično znače te vrednosti toplotne provodnosti. Ako u prostoriji održavamo temperaturu (T_k) od 22°C , a spoljna temperatura (T_a) iznosi 0°C , onda će gubici energije u sekundi (tj. njihova snaga) iznositi:

$$\text{površina} \times \text{razlika temperaturo} \times \text{provodnost}, \\ \text{tj.}$$

$$A \cdot (T_k - T_a) \cdot k = 10 (22 - 0) \cdot 0,8 = 176 \text{ W}.$$

U toku 24 časa kroz ovaj zid izgubiće se ukupna energija (=snaga × vreme) od

$$176 \cdot 24 \cdot 3600 = 15\,206\,400 \text{ J (džula)}.$$

Ako ovu vrednost podelimo sa $3,6 \cdot 10^6$, dobijemo energiju u kilovat-časovima, tj. $4,224 \text{ kWh}$.

Na ovaj način možemo da izračunamo ukupne energetske gubitke zgrade. To činimo zasebno za zidove, pod,

tavanicu i prozore, množeći njihove površine s odgovarajućim koeficijentima provodnosti. Za našu zgradu, pretpostavljajući da prozori zauzimaju 10 posto površine zidova, dobijamo sledeće vrednosti gubitaka po stepenu temperaturne razlike:

$$\text{zidovi: } A_z = 200 \text{ m}^2, K_z = 200 \cdot 0,8 = 160 \text{ W/K};$$

$$\text{prozori: } A_p = 20 \text{ m}^2, K_p = 20 \cdot 3 = 60 \text{ W/K};$$

$$\text{krov: } A_k = 100 \text{ m}^2; K_k = 100 \cdot 0,6 = 60 \text{ W/K};$$

$$\text{temelj: } O_t = 40 \text{ m}, K_t = 20 \text{ W/K}.$$

Gubici kroz pod i temelj ovde su obračunati po

$$\text{iskustvenom obrascu } K_t = 5,4 \frac{\text{obim zgrade (m)}}{R + 10}, \text{ gde je } R = 1/k, \text{ tj. topotnom otporu temelja.}$$

Ovome treba još dodati gubitke pri izmeni vazduha (provetrvanju), jer se u kuću stalno mora unositi svež vazduh ne samo zbog potrošnje kiseonika već i zbog otklanjanja neugodnih mirisa. Iz iskustva se zna da je neophodno izmeniti sav vazduh u kući bar jednom u toku 2 časa. U stvari, to je i najmanja moguća izmena vazduha u dobro zaptivenoj kući. U većini kuća provetrvanje je veće od ovoga, jer prozori i vrata obično nisu dobro zaptiveni. Pretpostavimo da se u našem primeru vazduh minimalno izmenjuje tj. jednom u 2 časa. Gubici energije zbog ispuštanja toplog vazduha a unošenja hladnog iznose:

$$\text{masa vazduha} \times \text{specifična topota} = M_v \cdot C_v.$$

Masa vazduha je, razume se, jednak proizvodu zapremine kuće i gustine vazduha, tj. $M_v = V \cdot \rho$, te gubici iznose:

$$V \cdot \rho \cdot C_v = 4000 \text{ m}^3 \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,012 \text{ kJ/kgK} = 485 \text{ kJ/K}.$$

Ovo su gubici u toku 2 časa, a u sekundi se tako gubi energija od $K_v = \frac{485 \text{ kJ/K}}{2 \cdot 3600 \text{ s}}$, što odgovara snazi od 67 W/K.

Ukupni koeficijent topotnih gubitaka kuće prema tome je:

$$K = K_z + K_p + K_k + K_v = 144 + 60 + 60 + 20 + 67 = 367 \text{ W/K}$$

Ovaj koeficijent nam omogućuje da u svakoj situaciji odredimo kolika je snaga, odnosno energija, potrebna za grejanje kuće. Na primer, pri spoljnoj temperaturi od 0°C kuća će za temperaturu od 22°C zahtevati snagu od $22 \times 367 = 8074 \text{ W} = 8,074 \text{ kW}$.

Za područje Beograda grejni sistem se projektuje tako da temperaturu u kući može da održava na 22°C pri spoljnoj temperaturi od -16°C, pa za taj slučaj neophodna grejna snaga iznosi

$$[22 - (-16)] \cdot 367 = (22 + 16) \cdot 367 = 14 \text{ kW}.$$

Tabela 9. Topotna provodnost gradevinskih materijala

Materijal	Gustina (kg/m ³)	Provodnost (W/mK)
puna opeka	1 200 – 1 800	0,76 – 0,47
šupljia opeka	1 200	0,52
betonski blokovi	1 000 – 1 600 / / 1 000 – 1 400	0,47 – 0,80 / / 0,44 – 0,56
bez šupljine ili s njom		
kameni zid	2 000	1,06
malter krečni/cementni	1 600 / 2 100	0,81 / 1,40
zemlja/pesak	1 500 / 2 000	1,16 – 1,74 / / 1,51 – 2,56
ispuna		
perlit	100	0,05
strugotina	250	0,09
mineralna ili		
staklena vuna	50	0,046
pluta (drobljena)	50	0,04
drovo hrast./borovo	700 – 800 / 500 – 600	0,21 / 0,14
termoizolatori	300	0,04
miner. i staklena vuna (tvrdi ploče)		
pluta	120	0,04
polistirol ploče (stiropor)	15 – 30	0,04
porofen	40 – 60	0,04

Pod ovim uslovima bi u toku 24 časa naša kuća trošila grejnu energiju od $24 \times 14 = 336$ kWh. Po ceni od 2 din/kWh dnevno, grejanje električnom energijom bi tada koštalo 730 dinara. Srećom, ovako hladnih dana u Beogradu bude svega desetak u toku jedne zime.

Treba napomenuti da u proračunima toplotnih gubitaka američki autori preporučuju da se za unutrašnju temperaturu ne uzima vrednost od 22°C već od 18°C , jer se u kući uvek proizvodi toplota i upotrebom raznih uređaja (štednjaka, radio- i TV-prijemnika, pegle i dr.), kao i prisustvom samih stanovnika, tako da sve to doprinosi zagrevanju kuće za oko 4°C . U našim proračunima je ta preporuka usvojena.

Zanimljivo je da, prema tekućoj praksi, u našoj zemlji projektanti grejanja zgrada izračunavaju neophodnu maksimalnu grejnu snagu sistema, površine grejnih elemenata u pojedinim prostorijama, ali ne i potrebnu energiju za grejanje zgrade. Ni propisi jusa to ne zahtevaju. A upravo to je za potrošača najzanimljiviji podatak, koji on sazna tek iz prakse.

Grejnu energiju, odnosno toplotne gubitke, korisno je izračunati po mesecima. Izložićemo taj račun na primeru naše kuće, jer je za svakog korisnika zgrade ili stana to od interesa. Uzmimo mesec januar, u kome srednja dnevna temperatura (za Beograd) iznosi $-0,5^{\circ}\text{C}$. Energija toplotnih gubitaka za ceo mesec, E_g , iznosi:

$$E_g = K_g \cdot (T_{\text{kuće}} - T_{\text{okoline}}) \cdot (\text{broj sekundi u mesecu}) = \\ = 367 \cdot (18 + 0,5) \cdot 31 \cdot 24 \cdot 3600 = 1,82 \cdot 10^{10} \text{ J} = 5051 \text{ kWh}$$

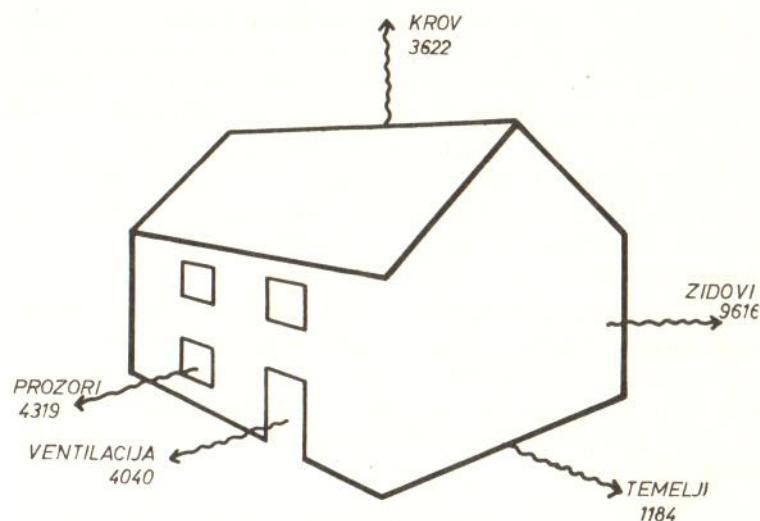
Na isti način izračunavamo gubitke i za druge mesece.

Preporučujemo svakom vlasniku da izračuna toplotne gubitke za svoju kuću. Da bismo pomogli onima koji nemaju podatke o toplotnoj provodnosti delova kuće, na tabeli 9 dajemo koeficijente provodnosti za razne građevinske materijale.

U našem primeru za celu grejnu sezonu u Beogradu, od oktobra do marta, potrebna je ukupna energija od

22 781 kWh, za koju bi izdaci, u slučaju grejanja električnom energijom po ceni od 2 din/kWh, iznosili 45 562 din.

Na sl. 37 prikazana je raspodela ovih gubitaka po pojedinim elementima kuće.



GUBICI ENERGIJE U ZIMSKOM PERIODU (U kWh)

UKUPNI GUBICI: 22781 kWh

Sl. 37. Raspodela toplotnih gubitaka u tipičnoj individualnoj kući na području Beograda.

Ako bismo želeli da u potpunosti rešimo problem grejanja sunčanom energijom, onda bismo morali da posmatramo najnepovoljnije mesece, decembar i januar, kada je najhladnije i kada ima najmanje sunca. U januaru, na primer, na naš objekat, koji normalno izlaže Sunčevim zracima površinu od oko 100 m^2 , dospeva ukupna energija od 9 830 kWh. To je skoro dvaput veća količina od one koja je neophodna za grejanje u januaru (5 051 kWh). Prema tome, ova kuća bi mogla da se u potpunosti greje solarnom energijom ako bi joj se cela južna strana prekrila prijemnicima izvanrednog prosečnog stepena korisnosti

(oko 60 posto). To bi bilo veoma skupo i nepraktično rešenje, i dosada je u svetu izrađeno samo nekoliko ambicioznih projekata za izgradnju potpuno solarne kuće.

Mnogobrojne stručne studije o ovom pitanju i praktična ispitivanja na objektima pokazuju da solarni sistem s prijemnicima postaje tehnički i ekonomski najracionalniji ako se projektuje tako da podmiri, u proseku za ceo zimski period, polovinu do tri četvrtine ogrevnih potreba. Uzgred napominjemo da je napisano pravilo da solarnom kućom treba nazivati samo objekat koji suncem podmiruje više od polovine toplotne energije potrebne za grejanje, pa ćemo ponoviti račun za našu kuću, prihvatajući zadatak da pomoću solarnih prijemnika podmirimo tri četvrtine njenih ogrevnih potreba.

U celom zimskom periodu na kvadratni metar površine u nagibu od 60° dospeva sunčana energija od 740 kWh. Prepostavljujući prosečni stepen korisnosti prijemnika od 40 odsto, dobicemo da iskoristljiva energija iznosi 296 kWh, te lako dolazimo do podatka o potrebnoj veličini prijemnika:

$$\left(\frac{3}{4} \times 22\ 781 \text{ kWh}\right) : 296 = 58 \text{ m}^2.$$

I ova kuća, mada sa tehničke strane prihvatljiva, bila bi, međutim, relativno skupa. U našoj zemlji još nisu formirane realne tržišne cene prijemnika, ali primer jedne kuće u Francuskoj (u Nici), izgrađene po posebnom projektu, s prijemnicima čija je površina 50 m^2 , ukazuje na to da bi kompletan sistem od 55 m^2 koštao najmanje 500 000 din. U toku 10 godina on bi proizveo energiju od $10 \times 55 \times 296 = 171\ 680 \text{ kWh}$, čija vrednost iznosi oko 343 360 dinara. Prema tome, ovo rešenje bi predstavljalo samo dugoročno isplativu investiciju. Ako bi se taj solarni sistem kupio na petnaestogodišnji kredit, onda bi godišnja otplata bila manja od uštede na izdacima za grejanje, pogotovo ako se uzme u obzir da će realna cena goriva i dalje rasti, najmanje za oko 10 odsto godišnje.

Međutim, pre nego što se odlučimo da uđemo u ovako skup poduhvat, potražimo mogućnost olakšanja samog

problema grejanja smanjivanjem toplotnih gubitaka zgrade. Ta mogućnost postoji, jer toplotna izolacija koju smo pretpostavili nije najviše što nam savremena tehnologija nudi. U svetu i kod nas je demonstrirano da se uz razumne troškove može izgraditi kuća s dvostruko boljom izolacijom od one u našem primeru. Njeni toplotni gubici ipak ne bi bili dvaput manji, zbog toga što gubici pri izmeni vazduha, kao i oni na prozorima, ostaju isti. Količina grejne energije za ovu bolje izolovanu kuću bi tokom jedne zimske sezone u stvari iznosila 15 504 kWh.

Dalje, možemo da uvedemo još jedno izolaciono poboljšanje i smanjimo potrošnju energije. Ono se sastoji u upotrebi noćnih termalnih zastora na prozorima, što može da smanji gubitke toplote za faktor dva. Tada bi količina potrebne grejne energije iznosila 13 480 kWh godišnje.

Najzad, ostaje nam da iskoristimo toplotu vazduha koji odlazi iz prostorija. Ako dobro zaptijemo kuću i provetranje vršimo kroz jedan otvor, tako da se u njemu svež vazduh susreće s ustajalim, pomoću pogodnog izmenjivača možemo povratiti polovinu energije koja otpada na toplotne gubitke pri izmeni vazduha. Na taj način, imali bismo kuću koja za grejanje zahteva svega 11 575 kWh godišnje.

U poslednje vreme počinje da se koristi i toplota otpadne vode, pomoću posebnih izmenjivača, te se tim putem može uštediti još nekoliko postotaka grejne energije.

Uz ovakve pretpostavke, solarni sistem koji bi podmriavao tri četvrtine ogrevnih potreba imao bi prijemnike ukupne površine oko 30 m^2 i bio sasvim prihvatljiv kako s tehničkog i arhitektonskog, tako i s ekonomskog staništa.

Dobra termička izolacija zgrade, dakle, treba da prethodi primeni solarne energije. Ulaganje u izolaciju donosi takve energetske uštede da počinje da se isplaćuje u roku od svega nekoliko godina.

Stepen ugodnosti. Pri projektovanju kuće, bilo da je ona solarna ili ne, ne sme se prenebregnuti njena stambena

ugodnost. Nije lako precizno definisati tu ugodnost, jer razni ljudi imaju različite ideje o tome šta im godi. Pored zahteva da kuća bude svetla, suva, prostrana, da ima dobar raspored itd., među najvažnije kriterijume stambene ugodnosti spada, za svakoga bez izuzetka, toplotno ponašanje kuće. Američki stručnjaci za klimatizaciju i grejanje posvetili su ovom pitanju više studija i razradili modele čovekove energetske ravnoteže u raznim uslovima ambijenta. U tim modelima se ponašanje čoveka kao termodinamičkog objekta u interakciji s okolinom opisuje dosta složenim jednačinama. Ljudska reakcija na topotnu neusaglašenost i fiziološki stres određuje se prema „procentu nezadovoljnih ljudi“ i daje se skala koja ovo definiše kvantitativno.

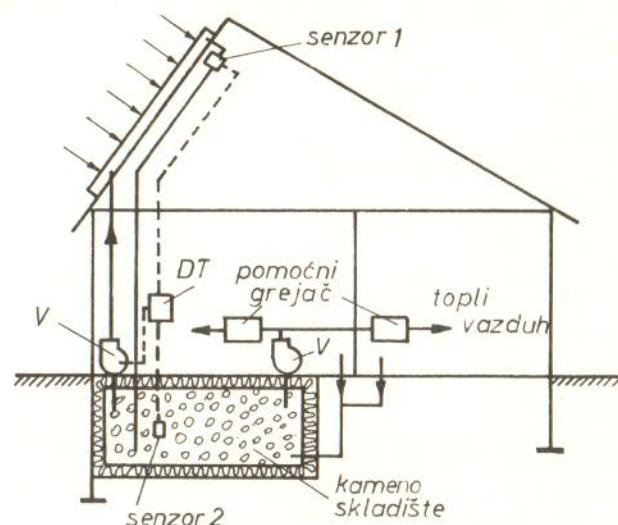
Identifikovani su razni parametri koji karakterišu topotnu ugodnost i izučen je uticaj svakog od njih. Prvenstveni faktori ugodnosti su temperatura vazduha, srednja radijaciona temperatura, relativna vlažnost, vazdušna kretanja, brzina čovekovog metabolizma i vrsta i količina odeće. Na osnovu svih ovih parametara može da se kvantitativno odredi i standardizuje topotna ugodnost.

U toku grejne sezone najvažniji parametri su temperatura vazduha u zgradbi i srednja radijaciona temperatura. Ovu drugu definiše temperatura zidova u prostorijama, koja se pri projektovanju mora pažljivo razmatrati. Pasivne solarne zgrade su u ovom pogledu povoljnije od klasičnih jer računaju s toplim zidovima i podom.

Svako odstupanje od poželjne temperature znači smanjenje ugodnosti. Američki autori preporučuju da se srednji kvadrat odstupanja od zadate temperature (tj. kvadrat standardne devijacije, odnosno varijansa) usvoji kao indeks neugodnosti. Na primer, ako je standardna devijacija $\pm 3^{\circ}\text{C}$, onda je indeks neugodnosti 9°C^2 , što predstavlja nizak stepen neugodnosti. Vrednost ovog stepena iznad 20 nije prihvatljiva.

Sistem za solarno grejanje. I kada rešimo kako da prijemnicima zahvatimo dovoljno sunčane energije, ostaje nam problem kako da tu energiju iskoristimo za grejanje kuće. Ako koristimo vazdušne prijemnike, onda je taj

problem lako rešljiv. U najjednostavnijem slučaju, topao vazduh iz prijemnika možemo direktno ubacivati u prostorije kad god se on u njima zagreje na temperaturu iznad nekog praga (recimo iznad 30°C). Tako se radi kod manjih, pomoćnih sistema, koji ni po sunčanom danu ne mogu da daju višak energije. Međutim, u solarnim kućama neophodno je imati topotno skladište, i tada se obično koristi sistem prikazan šematski na sl. 38. Pomoću ventilatora se topao vazduh iz prijemnika vodi kroz kameno skladište, a odatle,

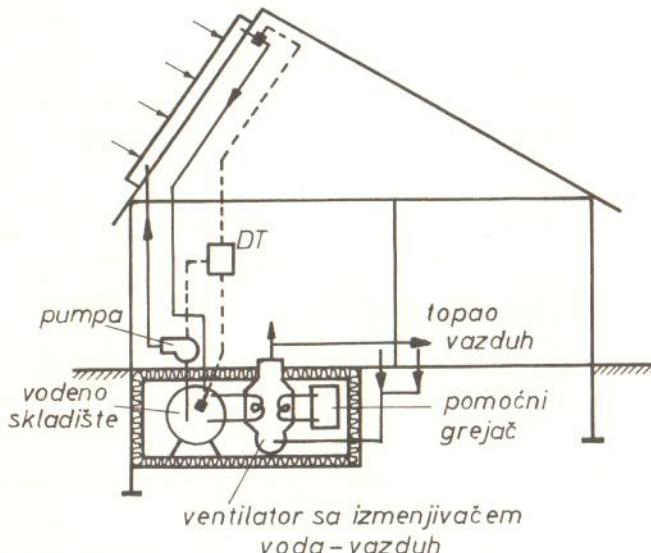


Sl. 38. Sistem za grejanje zgrade topitim vazduhom iz vazdušnih prijemnika.

po potrebi, u pojedine prostorije. Ukoliko temperatura skladišta nije dovoljna, vazduh se dogreva pomoćnim grejačem (električnim, gasnim, uljnim ili drugim). Dogrevanje se može izvršiti centralno, za celu kuću, ili posebno za svaku prostoriju. Ovo drugo je pogodnije utoliko što dozvoljava da se pojedine prostorije zasebno tretiraju, u zavisnosti od namene i režima korišćenja (npr. spavaće sobe se ne moraju zagrevati preko celog dana niti na temperaturu od 22°C , koja se zahteva u dnevnoj sobi). U svakom slučaju, sistem s vazdušnim prijemnicima se

najbolje uklapa u vazdušni sistem zagrevanja zgrada, jer tada nisu potrebni nikakvi posebni izmenjivači topote.

U vezi s vazdušnim sistemom za zagrevanje ne možemo da ovde ne primetimo da je u nas ta vrsta grejanja sasvim zanemarena, bar kad su u pitanju stambene zgrade. To je, po mom mišljenju, veliki propust, jer je taj sistem znatno jeftiniji od vodenog sistema, pogotovo za naše uslove. U nas se objekti najčešće zidaju od šupljih građevinskih elemenata, pa bi se zidovi, podovi i tavanice mogli upotrebiti kao besplatna grejna tela, što ima, kao što ćemo videti u glavi VII, i druge velike prednosti.

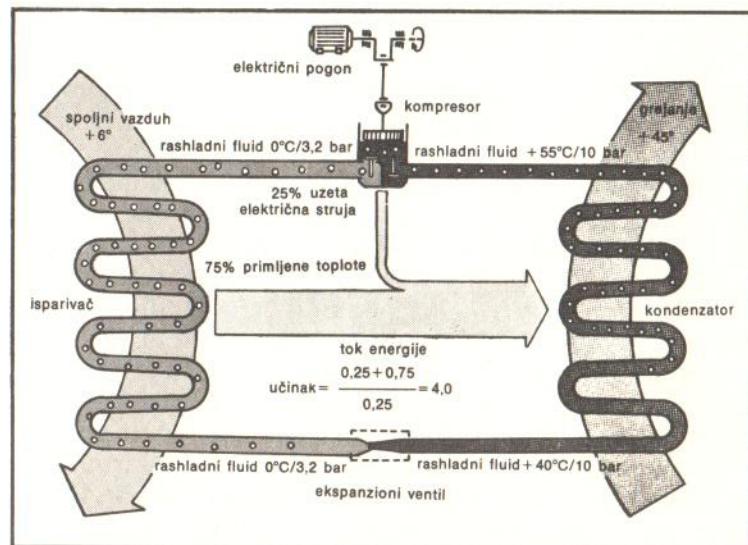


Sl. 39. Sistem za grejanje zgrade pomoću vodenih prijemnika.

Pri upotrebi vodenih prijemnika pojavljuju se dodatni problemi. Bilo bi prirodno da se tada koristi voden sistem zagrevanja kuće. Ali ne možemo računati da ćemo u zimskim uslovima lako postizati temperaturu skladišta iznad 50°C, koja je neophodna za grejna tela (vodene radijatore). Staviš, temperatura vode na izlazu iz radijatora je viša od prosečne temperature skladišta, tako da toplotu iz prijemnika ne možemo da koristimo ni za

predgrevanje vode. Stoga se najčešće topota iz vodenog skladišta predaje vazduhu preko toplotnih izmenjivača voda – vazduh, pa se u kući koristi vazdušni grejni sistem (sl. 39).

Postoji, istina, mogućnost da se koristi podno vodeno grejanje, pomoću metalnih ili plastičnih cevi. Tada su grejne temperature niže, pa dolazi u obzir i sprezanje ovog sistema sa solarnim prijemnicima. Međutim, taj sistem je dosta skup i riskantan; ukoliko dođe do kvara, korisnik je u velikoj nevolji.



Sl. 40. Šematski prikaz rada toplotne pumpe.

Jedan drugi način, mada takođe skup, izgleda prihvativiji, jer omogućuje da se jednovremeno reši i problem dopunskog izvora topote. On se zasniva na upotrebi toplotne pumpe. S obzirom na to da ova mašina u nas nije dovoljno poznata, ukratko ćemo objasniti kako ona radi.

Toplotna pumpa predstavlja termodinamičku mašinu vrlo sličnu klima-uređaju („er-kondišnu“), ali radi u suprotnom smeru. Klima-uređaj, naime, oduzima topotu iz ograničenog prostora i izbacuje je u atmosferu više temperature, a toplotna pumpa uzima topotu iz nekog većeg

rezervoara niže temperature (zemlja, atmosfera, solarno toplotno skladište i dr.) i ubacuje je u ograničeni prostor više temperature.

Određenje, rad topotne pumpe zasniva se na korišćenju faznih prelaza, o kojima smo govorili u glavi IV (sl. 40). Tečnost koja, na primer, ima tačku isparavanja -5°C i topotu isparavanja Q_i isparava u dodiru s atmosferskim vazduhom ili nekom drugom sredinom veće mase čija je temperatura iznad -5°C , pa se u gasovitom stanju vodi u kompresor, gde se sabija do visokog pritiska, usled čega se zagreva, npr. do 55°C . Pošto tačka isparavanja, odnosno kondenzacije, zavisi od pritiska, dolazi do kondenzacije gasa, ali ovog puta na temperaturi od 55°C . Pri tome se vraća energija Q_i , uložena u isparavanje tečnosti, a uzeta iz vazduha. Kondenzovana tečnost se preko ekspanzionog ventila ponovo vraća u isparivač, a topota oslobođena u kondenzatoru odvodi u grejni sistem. Topotna pumpa, dakle, ne proizvodi topotu – ona je samo prenosi (pumpa) iz jednog rezervoara niže u drugi više temperature posredstvom faznog prelaza tekućine. U tom termodinamičkom procesu morali smo da utrošimo mehanički rad za pogon kompresora, ali taj rad je otisao na zagrevanje tekućine. Ispostavlja se da u dobro konstruisanoj topotnoj pumpi na svaku jedinicu utrošene mehaničke energije (odnosno električne, ako se za pogon kompresora koristi elektromotor) možemo dobiti tri do četiri jedinice topotne energije. Prema tome, ako neko koristi električnu energiju za grejanje zgrade, treba da razmisli o uvođenju topotne pumpe, jer će za istu količinu potrebne topotne energije utrošiti tri do četiri puta manje električne energije. To bi, razume se, bilo korisno kako za pojedinca, tako i za širu zajednicu. U nas, na žalost, još nije razvijena proizvodnja topotnih pumpi.

Kada se topotna pumpa spreže s vodenim (ili vazdušnim) prijemnicima, onda se gradi veće topotno skladište, koje se zagreva do neke niže temperature, recimo do 30°C . Tada prijemnici rade pod vrlo povolnjim režimom i može se očekivati dobar prosečni stepen korisnosti. Topotna pumpa podiže tu nižu temperaturu na vrednost koju zahtevaju grejna tela. Treba naglasiti da se ne može očekivati da

topotna pumpa proizvede više energije od one koja se uskladišti (sem doprinosu od jedne trećine ili četvrtine, koji ona sama daje radom kompresora).

Iako je topotna pumpa skup uređaj, njeno korišćenje počinje da se isplaćuje u roku od nekoliko godina. U nekim zemljama, npr. u Nemačkoj i Engleskoj, planira se sve veća upotreba topotnih pumpi.

U ostale neophodne delove solarnog sistema – pored topotnog skladišta, o kome ćemo govoriti u sledećem odeljku – spadaju pumpa ili ventilator, koji služe za pogon radnog fluida, pomoći grejač za dopunu grejanja kada priliv sunčane energije nije dovoljan, i uređaj za automatsko uključivanje sistema. Ovaj sadrži dva senzora osjetljiva na promenu temperature, od kojih se jedan postavlja na izlaz iz topotnog skladišta, a drugi na izlaz iz prijemnika. Senzori su povezani s diferencijalnim pojačavačem, koji daje signal za uključivanje sistema kad god je temperatura prijemnika veća od temperature skladišta. Čim se ta razlika smanji ispod nekog praga, prethodno utvrđenog, sistem se isključuje. Taj uređaj je veoma važan za pravilno funkcionisanje solarnih prijemnika, naročito pri promenljivoj sunčanosti.

SKLADIŠENJE TOPLOTE

Pomrča sunce, večita stud.

Laza Kostić

*A nek se sunce malko skrije,
Nestane sve te čarolije.*

Dobriša Cesarić

*А ако сонцето јо снема
Во глабока земја ќе слезаи
И ќе јо ошкотаат сонцето*

Раговиан Павловски

Čim počnemo da razmišljamo o korišćenju sunčane energije, odmah se suočavamo s pitanjem: „A šta kada nema sunca?“ – Ovo je, zacelo, ozbiljno pitanje, koje nas dovodi do problema skladištenja sunčane energije, odnosno, u njenoj primeni za zagrevanja vode i zgrada, do problema skladištenje toplote.

Priroda nam je dala veliki izbor mogućnosti da toplotnu energiju uskladištimos i sačuvamo za kasniju upotrebu, za noć ili za periode kada je sunčanost smanjena. Svako telo ima veću ili manju sposobnost upijanja toplote, odnosno toplotni kapacitet. Pri upijanju toplote ono se zagrevā, i njegov toplotni kapacitet cenimo upravo prema porastu temperature pri datom dotoku toplote. Određenje, količina toplotne energije potrebna po jednom kilogramu mase tela da bi se ono zagrejalo za 1 K ili 1°C nazivamo specifičnom toplotom, a merimo je jedinicom J/kgK. Na tabeli 10 dati su podaci o specifičnoj toploti nekih najčešće korišćenih materijala. Vidi se da najveću specifičnu toplotu ima voda, 4 186 J/kgK, koja je na prvom mestu i u pogledu prihvatanja toplote po jedinici zapremine. Jedna tona vode zagrevana za 80°C (npr. s 20 na 100°C) primi i akumulira energiju od 93 kWh. A to je energija kojom bismo mogli da zagrevamo stan tri dana. Pored visoke specifične toplote,

Tabela 10. *Toplotni kapacitet nekih materijala*

Veličina	Materijal				Fazni prelaz
	suva zemlja	cigla	kamen	voda	
specifična toplota J/kg°C	838	837	838	4 190	2 000
toplota faznog prelaza J/kg	–	–	–	–	232 000
gustina kg/m ³	1 260	1 700	2 300	1 000	1 600
masa za uskladištenja 1 GJ* tona	60	60	60	12	3,6
relativne mase	16,4	16,4	16,4	3,27	1
zапремина m ³	47,9	36,0	26,6	11,9	2,27
relativna запремина	21,05	15,82	11,70	5,25	1

* Za temperaturni porast od 20°C.

voda je pogodna i za transport toplote iz skladišta do grejnih tela, a uz to je i najjeftiniji materijal od svih koje čovek koristi. No voda ima i ozbiljnih mana: rezervoar u kome je držimo je skup, ona izaziva koroziju, lako isparava, maksimalna temperatura do koje je smemo zagrevati ograničena je relativno niskom tačkom ključanja.

Ipak, voda predstavlja najpopularniji medijum za skladištenje toplote. Dosetljivi pronalazači su uspeli da nađu rešenje i za jeftin rezervoar: polovna benzinska burad, boce koje se inače bacaju i zagađuju okolinu, plastični sudovi i, možda najdomišljatije, plastične vreće – sve se to koristi za smeštaj vode.

I kamen je često korišćen materijal za toplotnu akumulaciju. Iako za prihvatanje iste količine toplote, pri jednakom porastu temperature, kameno skladište zahteva dva puta veću zapreminu od vodenog, ono je jeftino, a po potrebi se može zagrejati i do nekoliko stotina stepeni. Kod solarnih sistema s vazdušnim prijemnicima ono se gotovo isključivo koristi, jer je pogodno kao vazdušni toplotni izmenjivač budući da se sastoji od kamenih komada čija je ukupna dodirna površina velika. Obično se koristi rečni oblatak prosečnog prečnika 3–10 cm. Skladište od tako gradiranog kamena ima i veliku propusnu moć, tako da se za vazdušni protok ne zahteva veća snaga ventilatora.

Zemlja je, međutim, materijal koji ima najveće izglede da posluži za dugoročno skladištenje toplote. Svaki se objekat gradi na tlu, te je zemlja dostupna u praktično neograničenim količinama. U poslednje vreme sve se više razmatra mogućnost da se tlo ispod zgrada koristi za skladištenje toplote preko leta za zimu. Izračunato je, na primer, da se u sloju zemlje debljine 6 m ispod četvorospratne zgrade s 50 stanova može akumulirati i sačuvati dovoljno toplote za grejanje u toku cele zime.

Sve više se razmatra i mogućnost skladištenja toplote u zidovima zgrade. Individualna zidana zgrada od 100 m² sadrži u proseku oko 100 tona materijala, što zaista predstavlja veliki toplotni rezervoar. Ovo je, kao što ćemo videti u glavi VII, naročito značajno pri pasivnom solarnom grejanju zgrada.

Najbolji i najefikasniji način skladištenja toplote sastoji se u korišćenju tzv. faznih prelaza, tj. prelaza iz jednog stanja materije u drugo. Da bismo, na primer, otopili 1 kg leda, moramo da utrošimo 19 000 J. Kada se voda ponovo zaledi, ova energija se oslobađa. Ali to se, na žalost, odigrava na 0°C, pa je oslobođena toplota isuviše niske temperature. Međutim, drugi materijali imaju tačku topljenja na pogodnijoj temperaturi. Jedan od najpoznatijih je tzv. glauberova so (natrijum-sulfat-dekahidrat, $\text{Na}_2\cdot\text{SO}_4\cdot10\text{H}_2\text{O}$), koju je potrebno mešati sa 3 do 4 posto boruksa da bi se otopljena so potpuno kristalizovala. Njena kristalizacija odigrava se na oko 30°C, što je vrlo pogodno za grejne elemente u stambenoj prostoriji; u tom slučaju skladište predstavlja i termostabilizator. Drugim rečima, sve dok se i poslednji delić soli ne otopi (ili, obrnuto, ne iskristališe) sud napunjen njome biće na temperaturi od 30°C. Nedavno su se na američkom tržištu pojavili šipkasti elementi za skladištenje toplote („thermol 81“), na bazi faznog prelaza, s toplotom topljenja od 232 000 J/kg i temperaturom prelaza od 28°C. U kubni metar ovog materijala može se, prema tome, uskladištiti oko 4 puta više energije nego u vodi.

Toplotno skladište se može koristiti za dnevno, sedmično ili još dugoročnije izravnavanje proizvodnje i potrošnje energije, i veličina mu zavisi od namene. S gledišta najbolje iskorišćenosti primljene sunčane energije, a u granicama ekonomičnosti, postoji optimalan odnos između ukupne površine prijemnika i toplotnog kapaciteta skladišta. Dosadanja praktična iskustva, koja se slažu s izračunavanjima, ukazuju na jednostavno pravilo: *na svaki kvadratni metar prijemnika treba obezbediti skladište od 50 do 100 litara vode ili onu količinu drugog materijala koja ima ekvivalentan toplotni kapacitet*.

VI

SAMOGRADNJA SOLARNIH UREĐAJA

Al' istrajaču sve dotle dok sjaj iz mene izgreva da opet prigrim sunce pri njegovome rođenju . . .

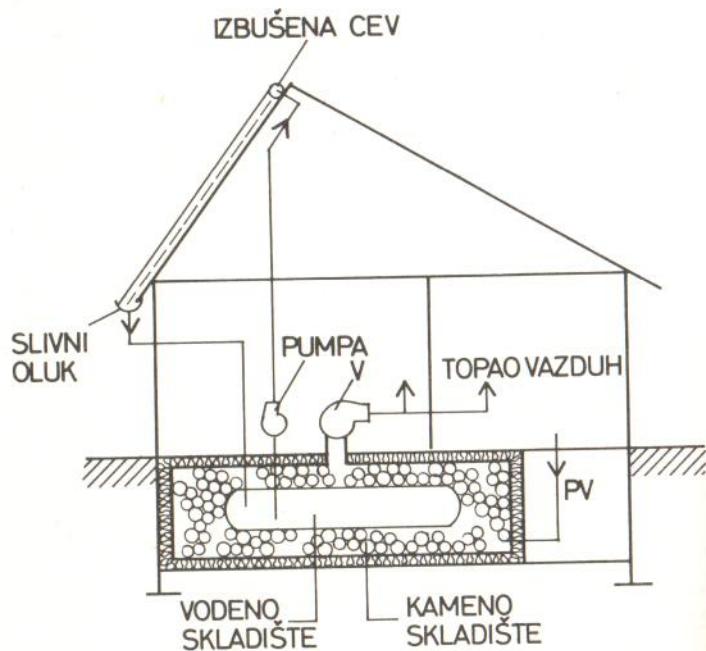
Milan Dedinac

Jednoga letnjeg popodneva 1959. dr Hari Tomason, činovnik Patentnog ureda u Vašingtonu, boraveći kod svoje tazbine na selu, doživeo je iznenadan pljusak u polju. Požurio je da se skloni od kiše i, dok je utrčavao pod krov ambara, nekoliko kapi vode palo mu je s krova na glavu. Iznenadilo ga je koliko su kapi bile zagrejane. Pogledao je na krov i odmah shvatio uzrok; u istom trenutku sinula mu je i ideja o jednostavnom solarnom prijemniku. Krov ambara bio je, naime, pokriven talasastim limom, koji se zagrejao na suncu, i prve kišne kapi su odnosile njegovu toplotu. Trebalo je samo umesto kiše dovesti vodu na vrh krova, pustiti je da teče niz njega i preko oluka je skupljati u toplotni rezervoar. Tomason je doneo termometar i, čim se sunce ponovo pojavilo, konstatovao da se krov zagreva do 50°C. A još nije bio obojen crnom bojom niti pokriven stakлом. Tomason je shvatio da bi s tim dodacima metalni talasasti krov predstavlja dobar prijemnik. Tako se rodila zamisao o jednom od za samogradnju najpopularnijih solarnih sistema.

Tomason se dao na posao da konstruiše i demonstrira solarni grejni sistem zasnovan na toj ideji. Uz pomoć cele svoje porodice počeo je, posle radnog vremena i preko vikenda, da gradi solarnu kuću. Uspeh nije izostao. Kuća je, zaista, veći deo potrebne grejne energije dobijala od sunca, iako je locirana blizu Vašingtona, koji ima klimu nešto oštriju od beogradske. Po Tomasonovom tvrdjenju,

peć na lož-ulje, koja je služila za dopunsko grejanje, koristi se samo po nekoliko časova nedeljno. On u ovoj kući živi već petnaest godina.

Tomason je razradio detaljna uputstva za samogradnju ovog sistema i, po američkom običaju, dao ih u prodaju (po ceni od 10 dolara). Tako je ne samo brzo isplatio troškove izgradnje solarne kuće nego i ostvario dobru zaradu. (Njegova uputstva mogu se dobiti od preduzeća Edmund Scientific Co, Book 9487, Barrington, New Jersey, USA). Tomasonov sistem prikazan je šematski na sl. 41.



Sl. 41. Šema Tomasonovog sistema za zagrevanje zgrade.

Tomasonu treba odati priznanje što je uočio i realizovao jednu izuzetno važnu stvar u primeni solarne energije za grejanje kuće, a to je njeno skupljanje i korišćenje na niskoj temperaturi. Zagrejanu vodu on, naime, odvodi u veliki toplotni rezervoar, mnogo veći u odnosu prema

površini prijemnika nego što to je skustveno pravilo propisuje, o čemu smo govorili u glavi V. Rezervoar se nalazi ispod čitave kuće i iz njega se, pomoću vazdušnog toka, toplota prebacuje u nju, i to na relativno niskoj temperaturi. Na taj način toplota od 30°C postaje korisna, i Tomasonovi prijemnici rade na niskoj temperaturi, pa i pored jednostavne konstrukcije daju dobar učinak.

Ovaj sistem ima i veliku prednost u tome što je izbegnut problem zamrzavanja vode. Pošto se voda slobodnim padom vraća u rezervoar, ona sva, čim pumpa prestane da radi, otiče s krova.

Tomasonov sistem, isprobani na nekoliko kuća u okolini Vašingtona, dao je iznenadujuće dobre rezultate. Tomason tvrdi da od 75 do 85 posto ogrevnih potreba podmiruje suncem. Mada treba s izvesnom rezervom uzeti ovu tvrdnju, jer sistem nije ispitivan od nezavisnih stručnjaka, ili pod njihovom kontrolom, ipak postoji dovoljno dokumentovanih podataka o njegovoj vrednosti.

U letnjem periodu sistem može da služi i kao rashladni uređaj, jer se noću voda iz rezervoara može puštati preko krova da bi se rashladila. Ukoliko to nije dovoljno, Tomason je predviđeo manji rashladni uređaj koji noću hlađi vodu u rezervoaru.

U Tomasonovom sistemu je duž gornje ivice, zapravo slemena kuće, postavljena bakarna cev prečnika 12 mm, na kojoj su izbušene sitne rupe (prečnika 1,5 mm, a na rastojanju od 60 mm). Kroz ove rupe pumpa istiskuje vodu na krov, načinjen od rebrastog aluminijumskog lima obojenog crnom bojom. Iznad lima, na rastojanju od 20 mm, krov se pokriva s jednim ili dva sloja stakla, u zavisnosti od klimatske zone. Voda zagrejana na aluminijskom limu sliva se slobodnim padom u oluk i odatle odlazi u skladište (čelični rezervoar zapremine $6,5 \text{ m}^3$ za površinu prijemnika od 70 m^2). Oko rezervoara nalazi se sloj kamena, ukupne mase od 50 tona, na koji se prenosi toplota iz vodenog skladišta. Kao što smo pomenuli, kuća se zagreva na taj način što se pomoću ventilatora ostvaruje kruženje vazduha iz prostorija, preko kamenog sloja, pa nazad u prostorije.

Sistemi s vodenim prijemnicima. Samogradnja sistema za grejanje s vodenim prijemnicima zahteva vodoinstalatersku veština, te se može preporučiti samo onima koji imaju takvo iskustvo. Jer nepropisno izveden sistem, ako počne da popušta, može da doneše mnogo glavobolje, pa i neplanirane materijalne izdatke.

Prvo pitanje koje se u vezi s vodenim sistemom postavlja jeste kakve prijemnike upotrebiti. Poželjno je da se koriste isprobani prijemnici, građeni industrijski. Ali takvi prijemnici su po pravilu skupi i, u stvari, čine najveću stavku u ceni solarnog sistema.

Kako da čovek sâm izgradi jeftin i dobar vodeni prijemnik? Osnovni problem u samogradnji prijemnika predstavlja apsorber, koji nije lako načiniti. Navećemo dva rešenja koja su se u praksi dobro pokazala.

Po prvom (sl. 13, glava IV), apsorber se sastoji od dve aluminijumske table, debljine 0,5 mm, između kojih se stavlja zmijasta bakarna cev prečnika 10–15 mm. Da bi se ostvario dobar kontakt između cevi i tabli, ona se s njima čvrsto spaja zakivcima ili zavrtnjevima. Jednu od aluminijumskih tabli treba, razume se, sa spoljne strane obojiti crnom bojom, i ta strana je izložena suncu. Kao boja može da posluži svaki crni lak, koji izdržava temperaturu do 150°C, ali treba se potruditi da površina bude mat. To može da se postigne tako što se boji doda oko 10 posto talka, koji se dobro izmeša s njom.

U samogradnji, najbolje rešenje za površinu apsorbera bila bi upotreba niklene samolepljive trake, obrađene tako da ima selektivna svojstva (videti glavu IV). Takva traka se može dobiti u inostranstvu po pristupačnoj ceni (npr. Maxorb Solar Foil, koeficijent apsorpcije Sunčevog zračenja 0,90, koeficijent emisije toplotnog zračenja 0,10; proizvod engleske firme MPD Technology Ltd, Wiggin Street, Birmingham).

Druge rešenje apsorbera je lakše ostvariti. Zapravo, u pitanju je nabavka gotovog uređaja. Pokazalo se da ravna grejna tela (pločasti radijatori) mogu da posluže kao dobri solarni apsorberi ako se s jedne strane oboje crnom bojom.

Ti radijatori nisu skupi, jer se proizvode u velikim količinama u automatizovanim fabrikama. (U nas takve radijatore proizvodi, pored drugih, fabrika Jugoterm, Gnjilane, Kosovo).

Ukoliko se i ovde primeni selektivna folija, dobiće se apsorber izvrsnih osobina ravan komercijalnim proizvodima.

Ostale delove prijemnika opisali smo u glavi IV, i sve što je tamo rečeno o njima mora se imati u vidu pri samogradnji prijemnika. Po autorovom iskustvu, kutiju prijemnika je najbolje praviti od tankog lima (npr. aluminijumskog ili crnog, debljine 0,5 mm), s tim da se ona iznutra pojača drvenim ramom, koji je nosač prednjeg staklenog pokrivača. S prednje strane drvo treba dobro zaštititi od padavina, najbolje profilisanim aluminijumskim elementima, tehnikom uobičajenom u konstrukciji metalnih prozora.

Najčešće praktične teškoće u samogradnji prijemnika pričinjava prednji pokrivač. Kao što smo ranije istakli, za sada nema adekvatne zamene za staklo, pogotovo ne u nas. A na prijemnicima staklo je izloženo velikim topotnim naprezanjima, jer može da se zagreje i do 150°C. Naročito je nepovoljno kada se toplog, sunčanog dana iznenada spusti pljusak, koji na staklu može da izazove pravi termalni šok. Posledice su utoliko ozbiljnije ukoliko se koristi samo jedno staklo. Zbog toga ono mora da bude debljine 5 mm, da leži na savršeno ravnom ramu, da sa svake strane ima toleranciju od oko 5 mm, a ne da bude stegnuto ili uklješteno. Najbolje je pronaći specijalno profilisano zaptivnu gumenu ili plastičnu traku pa u nju ubaciti staklo.

Pumpa za cirkulaciju fluida bira se prema veličini sistema i vrsti prijemnika. Za svaki kvadratni metar prijemnika potrebno je ostvariti protok vode od 1 do 3 litra u minutu, a pad pritiska na prijemniku (kod apsorbera koje smo preporučili za samogradnju) iznosi od 1 do 2 metra vodenog stuba. Kapacitet pumpe i njena potisna moć određuju se prema broju prijemnika u sistemu, koji mogu biti vezani na red ili paralelno.