

solarni bojler

Iz podataka za Beograd vidimo da u letnjem periodu na nagib od 45° dospeva na kvadratni metar 4590 miliona džula, odnosno $4590:183=25 \text{ MJ/m}^2$ na dan. Ako prijemnici iskoriste 40 odsto energije, to iznosi 10 MJ/m^2 na dan. Da bismo podmirili 90 odsto potrebne sume od 37674 MJ/dan, neophodno je imati ukupnu površinu prijemnika od $(0,9 \cdot 37,674):10=3,39 \text{ m}^2$, ili okruglo 4 m^2 prijemnika. Iskorišćena sunčeva energija u toku leta tada bi iznosila $4 \cdot 10 \cdot 183=7320 \text{ MJ}$. U zimskom periodu, pretpostavljajući da je moguće iskoristiti trećinu sunčeve energije, sa površinom od 4 m^2 dobili bismo energiju $4 \cdot 0,33 \cdot 2626=3466 \text{ MJ}$. Ukupni dobitak energije tada iznosi $7320+3466=10\,786 \text{ MJ}=2996 \text{ kWh}$.

Vrednost ove energije, računajući po 2 din/kWh, iznosi 5942 din. Na osnovu ovoga možemo da izračunamo pri kojoj ceni nam se isplati korišćenje solarnog grejača vode. Iako njegov vek trajanja može da iznosi 20 godina, računajmo sa manjim vekom otplate, recimo, 5 godina, koliko najčešće traje garantni rok koji daje proizvođač. Vrednost dobijene energije u tom periodu iznosi 29960 dinara. Ovo bi, u stvari, trebalo da bude realna cena solarnog grejača navedene veličine u masovnoj industrijskoj proizvodnji. Tolike su njihove cene 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 cene u našoj zemlji.

Kreditna politika

Ako bi korisnik dobio petogodišnji kredit za kupovinu solarnog grejača po ovoj ceni, onda bi, čak i sa kamatom od 10 odsto, njegova godišnja otplata kredita bila manja od uštede koju bi ostvario za električnu energiju, jer poslednjih godina cena energije realno raste za najmanje 10 odsto. Posle 5 godina korisnik bi sunčevu energiju dobijao besplatno. Ako bi, pak, dobio desetogodišnji kredit, onda bi mu se isplatilo da plati i dvostruko veću cenu solarnog uređaja. Iz ovoga se vidi značaj društvene podrške za masovniju primenu solarnog zagrevanja vode. A dobit za zajednicu od ove primene solarne energije je veoma velika. Procenjuje se da samo u Beogradu instalirana snaga električnih bojlera iznosi preko 500 MW. Ona opterećuje električnu mrežu vremenski prilično sinhronizovano (ujutro i pri povratku sa posla). Ako bi se svako četvrtoto domaćinstvo u Jugoslaviji snabdeleno solarnim grejačima, verovatno bi se mogla uštedeti investicija u dve nuklearne elektrane kao što je ona u Krškom. Prema tome, uvođenje solarnih bojlera trenutno predstavlja najjeftiniji i najprihvatljiviji način da se dođe do novih stotina megavata toplotne, a praktično i električne snage, koja bi znatno olakšala pritisak na elektrane.

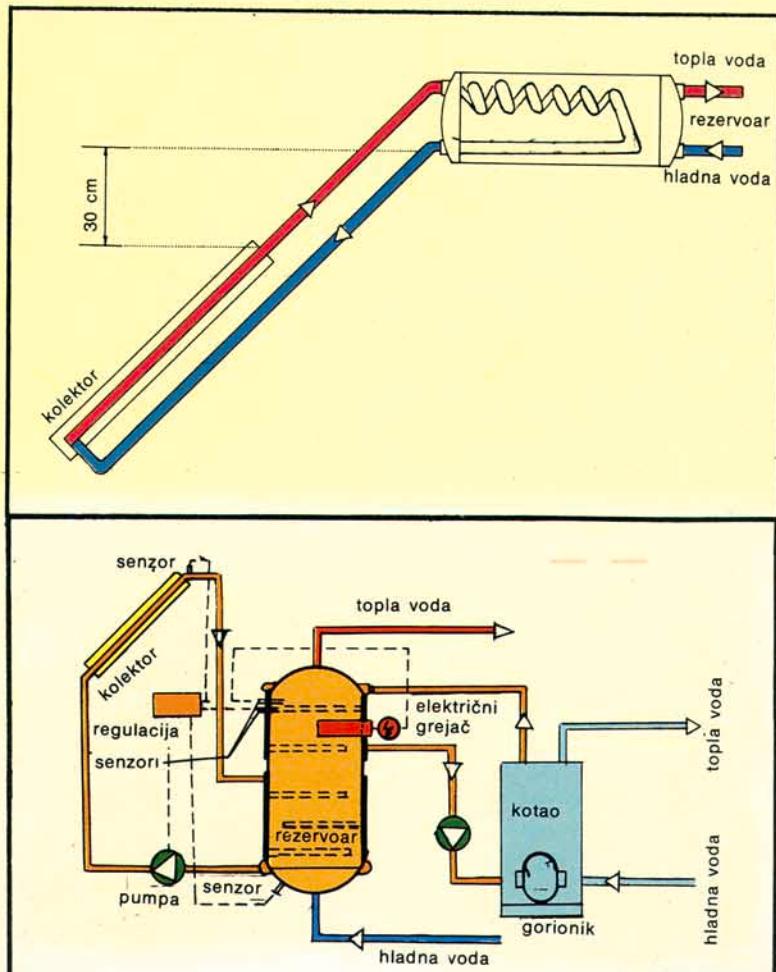
Osnovni tipovi

Kao što smo videli, solarni bojler zahteva svega nekoliko kvadratnih metara površine južnog krova zgrade i stoga se može postaviti gotovo na svaki objekat. On, takođe, može da se postavi i na ravni krov, na balkon, u dvorište, na južni zid i drugde. Sa arhitektonске tačke gledišta ne predstavlja problem uklopiti ga u bilo koji stil građevine. Jedno krilo Bele kuće u Vašingtonu, na primer, snabdeveno je povećim solarnim sistemom za grejanje vode.

Solarni bojler sastoji se od nekoliko komponenata: kolektora, rezervoara, izmenjivača topline, uređaja za pogon i kontrolu radnog fluida i dodatnog, obično električnog grejača.

Najjednostavnija i najekonomičnija varijanta solarnog bojlera je sistem sa tzv. prirodnom cirkulacijom radnog fluida (sl. 1), kod koga se procesi pogona i kontrole odvijaju spontano. Zagrevanjem vode u kolektoru dolazi do razlike u temperaturi vode u pojedinim delovima sistema a time i do razlike u gustini. Najhladnija i najgušća voda pada na dno, čime se uspostavlja protok tečnosti. Cirkulacija u sistemu postoji sve dok je kolektor

Sl. 1 Shema sistema za grejanje sa prirodnom (a) i prinudnom cirkulacijom (b); kod pravog cirkulaciju spontano uspostavlja (i zaustavlja) razlika u gustini između tople i hladne vode, a kod drugog električna pumpa; ovde sistemom upravlja diferencijalni termostat koji uključuje kolektor samo ako je temperatura u njemu viša nego u bojleru



toplji od ostalih delova, odnosno sve dok ima sunca. Efikasnost ovakvih sistema je nešto niža nego sistema sa forsiranom cirkulacijom, ali je njihov najveći nedostatak ipak ozbiljnije prirode. Da bi bojler funkcionišao, rezervoar se mora nalaziti barem trideset centimetara iznad kolektora. Problemi oko smeštaja rezervoara na krov i dodatne izolacije obično su tako veliki da potiru sve prednosti vezane za jednostavnost konstrukcije.

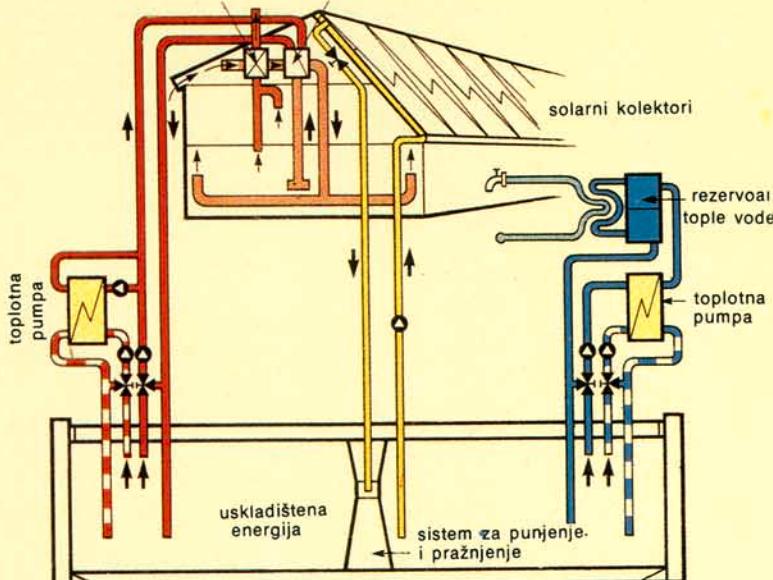
Kod sistema sa forsiranom cirkulacijom, koja se ostvaruje pomoću vodenih pumpa, rezervoar se može smestiti na bilo koje mesto u kući, a brzina protoka podešiti na najveću efikasnost prihvatanja sunčeve energije. Osim dodatnog pogona, ova vrsta bojlera zahteva i specijalni elektronski sklop, diferencijalni termostat, za kontrolu i upravljanje. Prateći temperaturu vode na više mesta u sistemu, sklop uključuje kolektor uspostavljanjem cirkulacije čim temperatura vode u solarnom rezervoaru opadne ispod određene granice i isključuje ga kad se temperature gotovo izjednače. U protivnom, kolektor bi počeo da isijava toplotu u atmosferu. Ukoliko ni u rezervoaru ni u bojleru nema dovoljno toplotne, termostat uključuje električni grejač za dodatno grejanje koji se nalazi u električnom bojleru.

Prikupljenu energiju kolektor ne predaje rezervoaru direktno već preko izmenjivača topline. Ovakav zatvoren sistem omogućuje da se kao radni fluid koristi tečnost koja ne mrzne, što proširuje sezonu rada kolektora i na najhladnije dane.

U projektima solarnih zgrada Instituta „Boris Kidrič“ i „Našeg stana“ primenjeno je originalno rešenje solarnog bojlera, u kome je prijemnik jednovremeno i toplotni rezervoar. Na taj način se sistem znatno pojednostavljuje, što se, naravno, odražava i na cenu. Ovo rešenje je detaljnije objašnjeno u okviru opisa ovih projekata. Očekuje se da neko preduzeće otkupi licencu za ovaj uređaj od Instituta u Vinči.

Topli dani za hladne skladišta toplote

91



Topli za hladnije dane: Zajednički akumulator toplote za solarno naselje porodičnih kuća daleko na severu Švedske; tokom leta toplota se skladišti u velikom rezervoaru da bi se koristila preko zime posredstvom toplotne pumpe

Prijemnici predstavljaju samo deo solarnog sistema za grejanje zgrada. Budući da je sunce čudljivo i sija po svom nađenju, a ne prema našim željama i potrebama, neophodno je imati toplotno skladište, koje može da sačuva toplotu od dana za noć, ili u toku nekoliko dana, pa čak i nedelja i meseci. Jasno je da veličina skladišta zavisi od uloge koja mu se dodeljuje.

Kamen

Najjednostavniji i najjeftiniji tip skladišta predstavlja gomila kamenja kroz koju struji topao vazduh iz vadušnih prijemnika. Da bi imalo dobru propusnu moć, kamenje treba da je približno iste gradacije, najbolje prosečnih dimenzija 3—10 cm. Razume se da skladište treba da bude propisno zaptiveno i izolovano u skladu sa predviđenim vremenom očuvanja toplote. Kameni skladište se često stavlja ispod kuće, tako da može da sadrži više desetina tona kamenja i da primi toplotu dovoljnu za podmirenje višednevnih potreba u grejanju. Tada ono može da služi i kao podno grejanje. Drugi tip jednostavnog skladišta čini zid ili pod, sa šupljinama kroz koje struji topao vazduh, ili sa ugrađenim cевима kroz koje teče topla voda.

Voda

Kod vodenih prijemnika kao toplotno skladište najčešće se koristi bazen sa vodom. Kao što je poznato, voda predstavlja sredinu koja ima najveću sposobnost prihvatanja toplote po jedinici zapremine (specifičnu toplotu). U zapreminu vode od 1 m³ možemo po svakom stepenu Celzijusa da uskladištimo 4186,8 hiljada džula, odnosno 1.163 kWh. To znači da u vodenim rezervoarima zapremine 10 m³, pri povećanju temperature vode od 40 K, možemo da uskladištimo $10 \times 1.163 \times 40 = 465$ kWh. U primeru naše kuće (sa poboljšanom izolacijom) takvo skladište bi u prosečnim januarskim uslovima u Beogradu obezbedilo grejanje u toku 4 dana, pod pretpostavkom da za to vreme uopšte ne bude sunca.

Kamen je oko dva puta slabiji prijemnik toplote od vode, tako da u 1 m³ kamenog skladišta možemo da deponujemo oko 0,5 kWh/K. Međutim, ukoliko se koriste specijalni prijemnici, sa optičkom koncentracijom svetlosti, onda je kamen pogodniji, jer se može grejati i iznad 100°C.

Fazni prelaz

Najbolji i najefikasniji način skladištenja toplote ostvaruje se korišćenjem tzv. faznih prelaza, tj. prelaza iz jednog stanja materije u drugo. Da bismo, na primer, otopili 1 kg vode, moramo da utrošimo 19000 J. Kada se voda ponovo zaledi, ova energija se oslobođa. Ali to se, na žalost, odigrava na 0°C, pa je oslobođena toplota isuviše niske temperature. Međutim, ima i drugih materijala čija tačka topljenja leži na pogodnijoj temperaturi. Jedan od najpoznatijih je tzv. Glauberova so (natrijum-sulfat-dekahidrat, Na₂·SO₄ · 10H₂O). Kristalizacija ove soli odigrava se na oko 30°C, što je vrlo pogodno, jer takvo skladište predstavlja i termostabilizator. Drugim rečima, sve dok se i poslednji delić ovog materijala ne otopi (ili iskristališe, idući u drugom smeru), sud će biti na temperaturi od 30°C. Nedavno su se na američkom tržištu pojavili elementi za skladištenje toplote u obliku šipki („THERMOL 81“) na bazi faznog prelaza, sa toplotom topljenja od 232000 J/kgK i temperaturom prelaza od 28°C. U kubni metar ovog materijala može se, prema tome, uskladišiti oko 4 puta više energije nego u istu zapreminu vode.

Sa gledišta najboljeg iskorišćenja prijemnika, a ostajući u određenim granicama cene koštanja, postoji optimalan odnos između površine prijemnika i toplotnog kapaciteta skladišta. Dosadašnja praktična iskustva, koja se slažu sa računima, ukazuju na jednostavno pravilo: na svaki kvadratni metar prijemnika treba obezdati skladište od 50 do 100 litara vode.

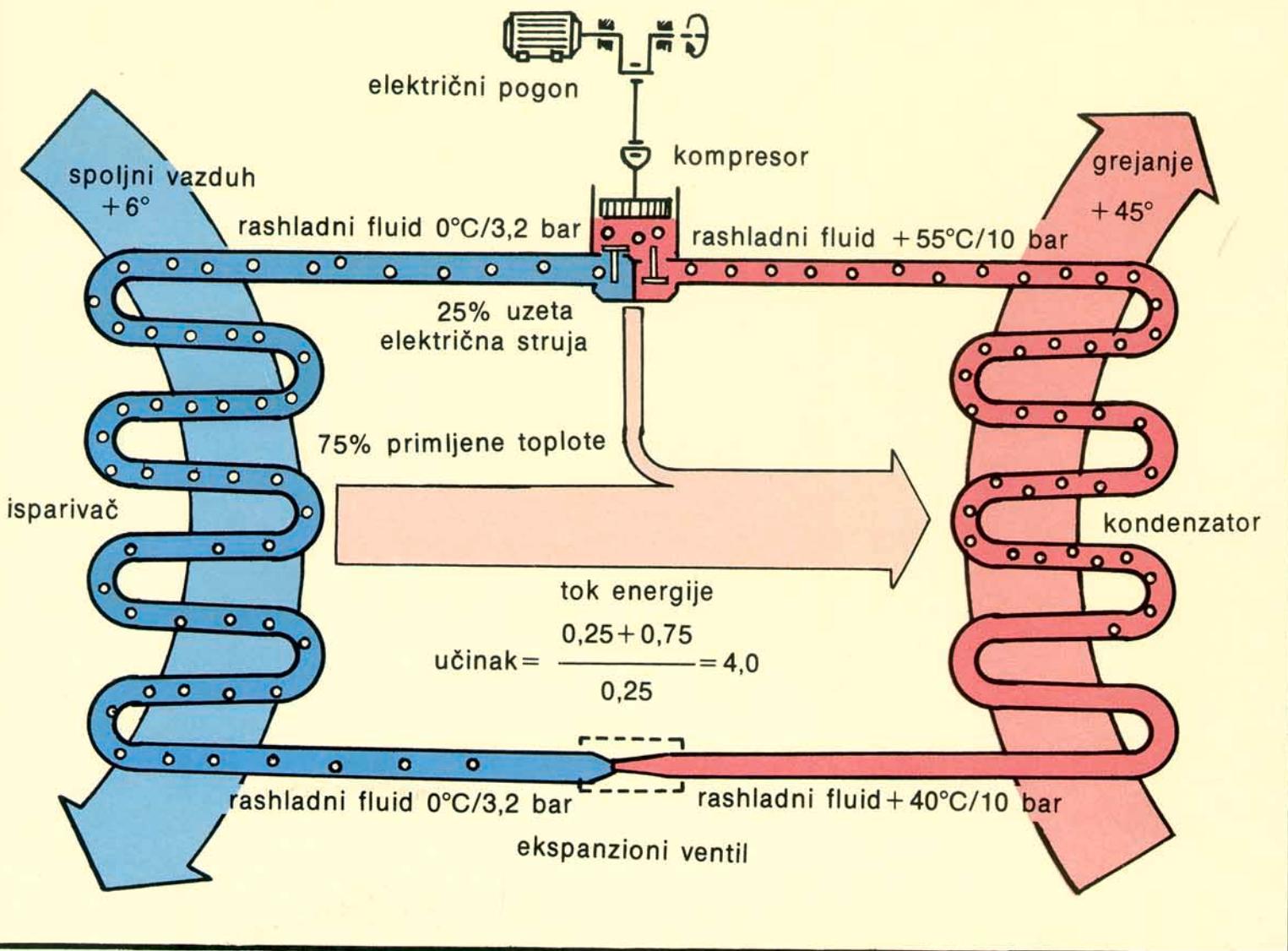
Skladište može da bude podeljeno u dva ili tri dela, koji rade na raznim temperaturama, tako da pri različitim meteorološkim uslovima može da prihvati najveći deo energije koju zahvate prijemnici.

* * *

U ostale neophodne delove solarnog sistema za grejanje zgrade spadaju pumpa ili ventilator, koji služe za pogon radnog fluida, pomoći grejač za dopunu grejanja kada prinos sunčeve energije nije dovoljan, i uređaj za automatsko uključivanje sistema u rad. Ovaj poslednji sadrži dva senzora osetljiva na promenu temperature, koji su postavljeni na prijemnik i skladište i povezani sa diferencijalnim prekidačem. Kad god je temperatura prijemnika iznad temperature skladišta, prekidač uključuje sistem koji radi sve dok skladište ne postigne temperaturu prijemnika. Posle toga prinos energije je negativan i sistem se isključuje. Ovaj uređaj je veoma važan za rad pri promenljivoj sunčanosti i neophoran je za pravilno funkcionisanje solarnih prijemnika.

mašina za toplotu toplotna pumpa

17



Sl. 1 Shematski prikaz funkcijonisanja toplotne pumpe

Toplotna pumpa predstavlja termodinamičku mašinu vrlo sličnu rashladnom uređaju („erkondišnu“), ali radi u suprotnom smeru. Rashladni uređaj, naime, oduzima toplotu iz ograničenog prostora i izbacuje je u atmosferu koja je na višoj temperaturi; a toplotna pumpa uzima toplotu iz većeg rezervoara na nižoj temperaturi (zemlja, atmosfera, solarno toplotno skladište i dr.) i ubacuje je u ograničeni prostor na višoj temperaturi.

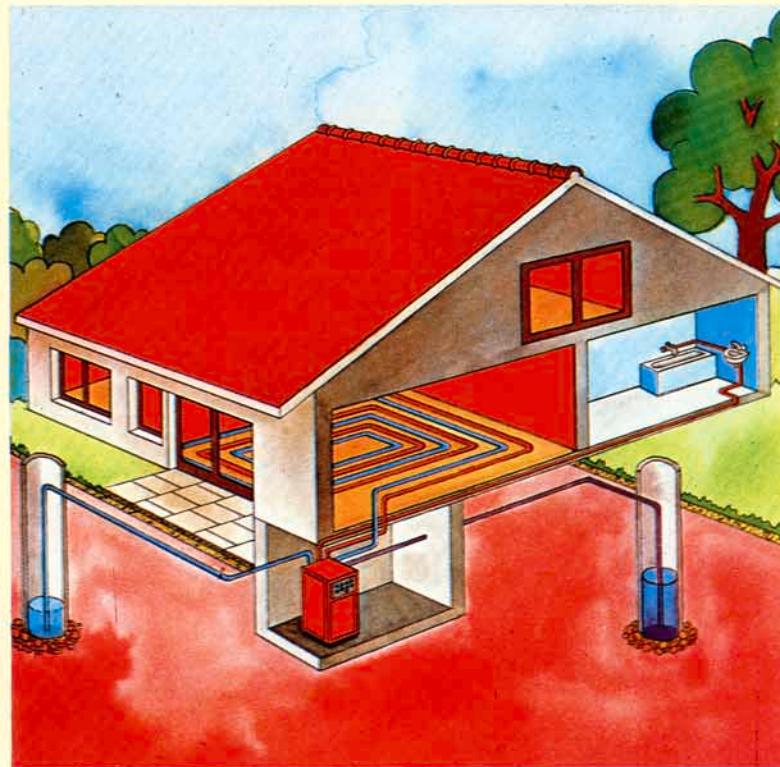
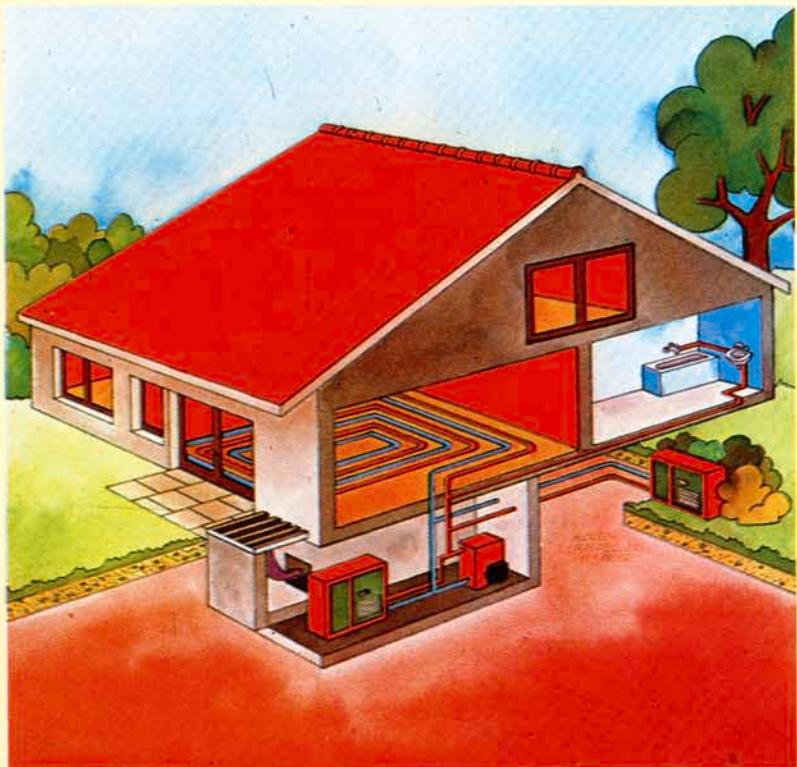
Određenje, rad toplotne pumpe zasniva se na korišćenju faznih prelaza o kojima smo govorili u vezi sa skladištenjem toplote. Tečnost koja, na primer, ima tačku ključanja na -5°C isparava u dodiru sa atmosferskim vazduhom ili nekom drugom sredinom veće mase (čija je temperatura iznad -5°C , pri čemu se oduzima toplota neophodna za isparavanje, na primer 800 kJ/kg) pa se u gasovitom stanju vodi u kompresor u kome se sabija do visokog pritiska, usled čega se zagreva, npr. do 55°C . Pošto tačka ključanja, odnosno kondenzacija zavisi od pritiska, dolazi do kondenzacije gasa, ali ovog puta na temperaturi od 55°C . Pri tome se vraća energija od 800 kJ/kg , uložena za isparavanje tečnosti, a uzeta iz vazduha. Kondenkovana tečnost se preko ekspanzionog ventila, ponovo ohlađena, vraća u isparivač, a toplota oslobođena u kondenzatoru odvodi se preko toplotnog izmenjivača u grejni sistem.

Toplotna pumpa, dakle, ne proizvodi toplotu. Ona je samo prenosi (pumpa) iz jednog rezervoara niže temperature u drugi na višoj temperaturi posredstvom faznog prelaza tečnosti. U tom termodinamičkom procesu utrošen je mehanički rad za pogon kompresora, ali on ipak odlazi na zagrevanje tečnosti. Ispostavlja se da u dobro konstruisanoj toplotnoj pumpi na svaku jedinicu utrošene mehaničke energije (odносно, električne, ako se koristi elektromotor za pogon kompresora) možemo dobiti tri do četiri jedinice toplotne energije. Prema tome, ako neko koristi električnu energiju za grejanje zgrade, treba da razmisli o uvođenju toplotne pumpe, jer će za istu količinu toplote utrošiti tri do četiri puta manje električne energije. To bi, razume se, bilo korisno kako za korisnika tako i za širu zajednicu. Kod nas, na žalost, toplotnih pumpi još nema u prodaji.

Kada se toplotna pumpa spreže sa vodenim (ili vazdušnim) prijemnicima, onda se gradi veće toplotno skladište, koje se zagreva do nižih temperatura, recimo do 30°C . Tada prijemnici rade u vrlo povoljnem režimu i može se očekivati dobar prosečni stepen iskorišćenja. Toplotna pumpa podiže ovu temperaturu na vrednost koju zahtevaju grejna tela. Treba naglasiti da se ne može očekivati da toplotna pumpa proizvede više energije od one koja se uskladišti (sem doprinosa od trećine ili četvrtine koju ona unese kroz kompresor). Iako je toplotna pumpa skup uređaj, njeno korišćenje se isplati u roku od nekoliko godina.

toplotna pumpa

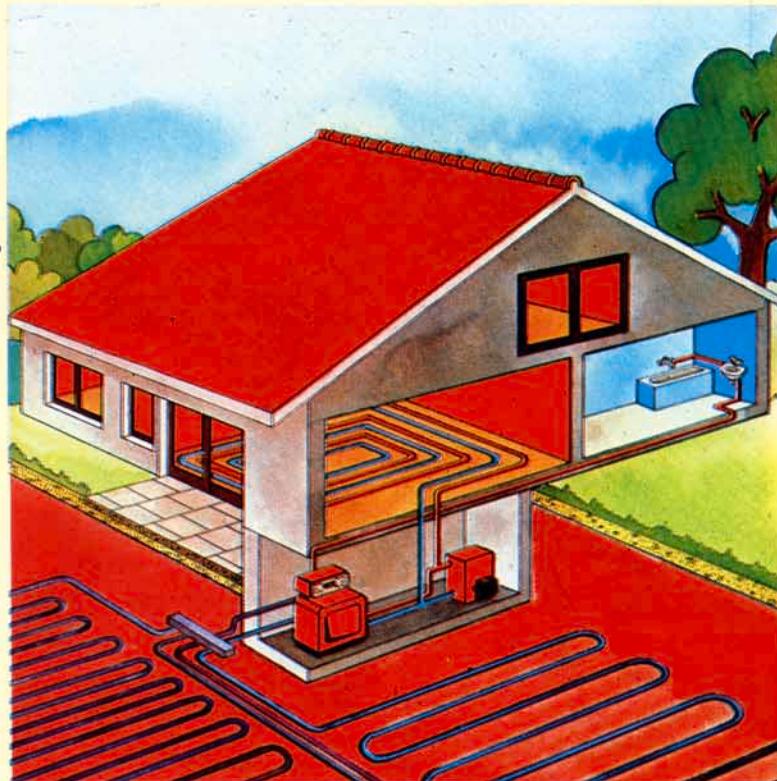
18



Sistem vazduh — voda: Potrebnu energiju toplotna pumpa cipi iz vazduha sve dok njegova temperatura ne opadne ispod 3°C; tada se u sistem uključuje klasični grejač; grejanje je podno jer toplotna pumpa, zbog relativno niske izlazne temperature (55°C) zahteva velika grejna tela (gore)

Sistem voda — voda: Toplotna pumpa koristi toploto podzemnih ili nadzemnih voda, gradskog vodovoda ili solarnog akumulatora toplote i napaja podno grejanje; dodatni izvor toplote nije potreban ako temperatura izvora ne pada ispod 6°C (gore desno)

Sistem antifriz — voda: Toplota zemlje ili solarnog akumulatora toplote prikuplja se pomoću podzemnih cevi ili kompaktnih podzemnih kolektora, čija je površina trostruko veća od površine zagrevane prostorije; sistem se može koristiti i za crpljenje energije vazduha, vlage, kiše itd., koja se prenosi pomoću antifriba; u ovom drugom slučaju potrebno je dodatno grejanje (desno)



Grejanje zgrada sunčevom energijom solarni radijatori

Primena sunčeve energije za grejanje zgrada izaziva najveće interesovanje u široj javnosti. Izdaci za grejanje su visoki, a nijedan od postojećih energetskih izvora nije sasvim pouzdan i uvek raspoloživ, niti sasvim zadovoljavajući u pogledu cene, praktičnosti ili zagadivanja okoline. Vlasnik individualne zgrade suočen je danas, odista, sa teškim problemom kako da obezbedi toplotu u svome domu, a naredne decenije izgledaju mu još neizvesnije.

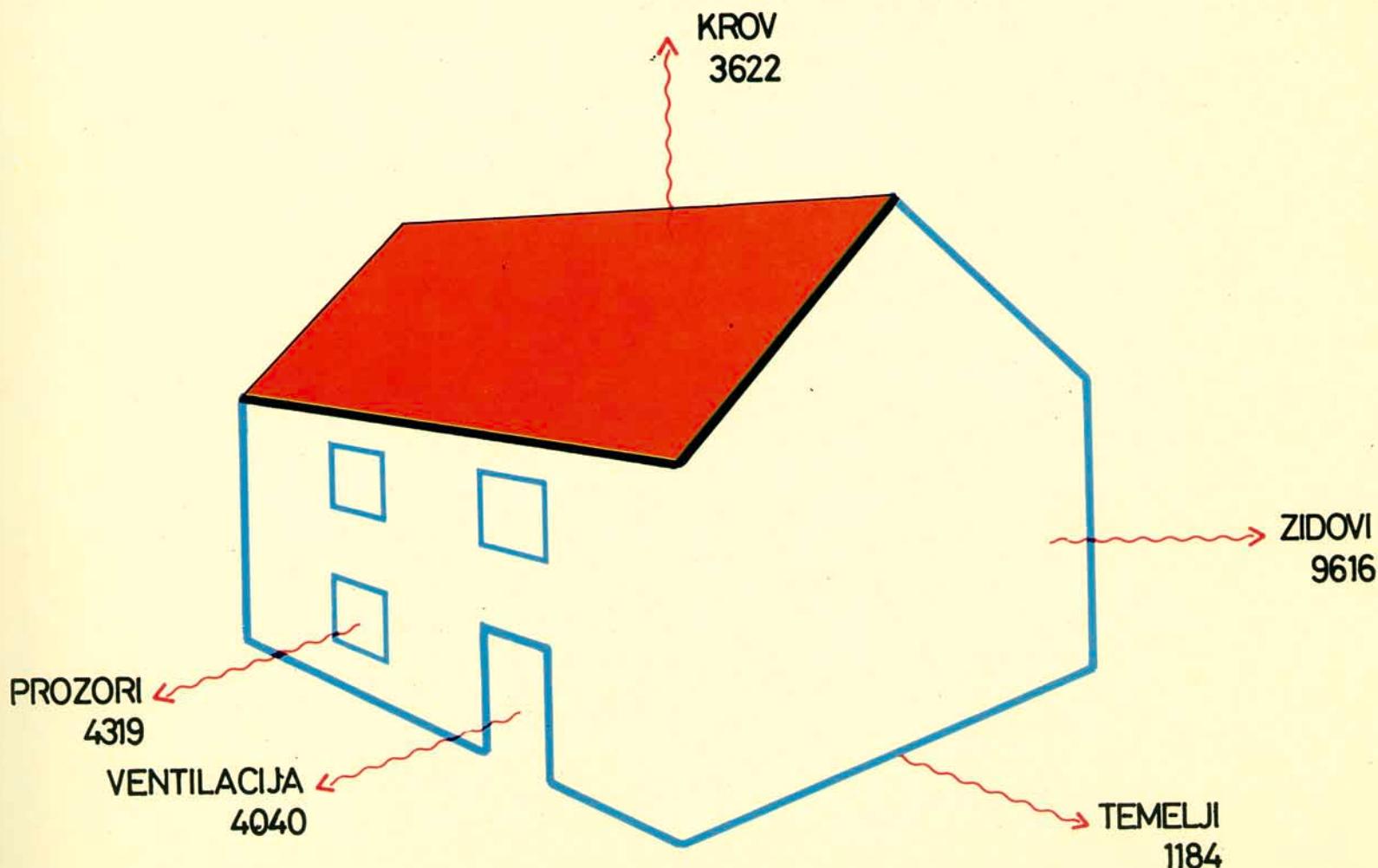
Potpuni sistem

Razmotrimo šta sunce može da nam pruži, pod kojim uslovima i sa kakvim uređajima. Ali, najpre sagledajmo veličinu problema grejanja zgrade, i to na primeru tipične individualne zgrade, korisne stambene površine 160 m^2 , na sprat, sa osnovom od $12 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} = 96 \text{ m}^2$. Pretpostavimo da je izgrađena po novijim propisima u pogledu izolacije i da se nalazi na području Beograda.

Znajući prosečne klimatske uslove, nije teško izračunati ukupnu energiju neophodnu za grejanje. Ako usvojimo da cela zgrada treba da se održava na temperaturi od 22°C i da površina prozora iznosi 10 odsto od površine zidova, dolazimo do rezultata datih na skici (sl. 1).

Vidimo da je za zagrevanje ove kuće u toku jedne zimske sezone neophodna energija od 22 780 kWh, čija bi cena iznosila, u slučaju grejanja električnom energijom, 45 562 dinara.

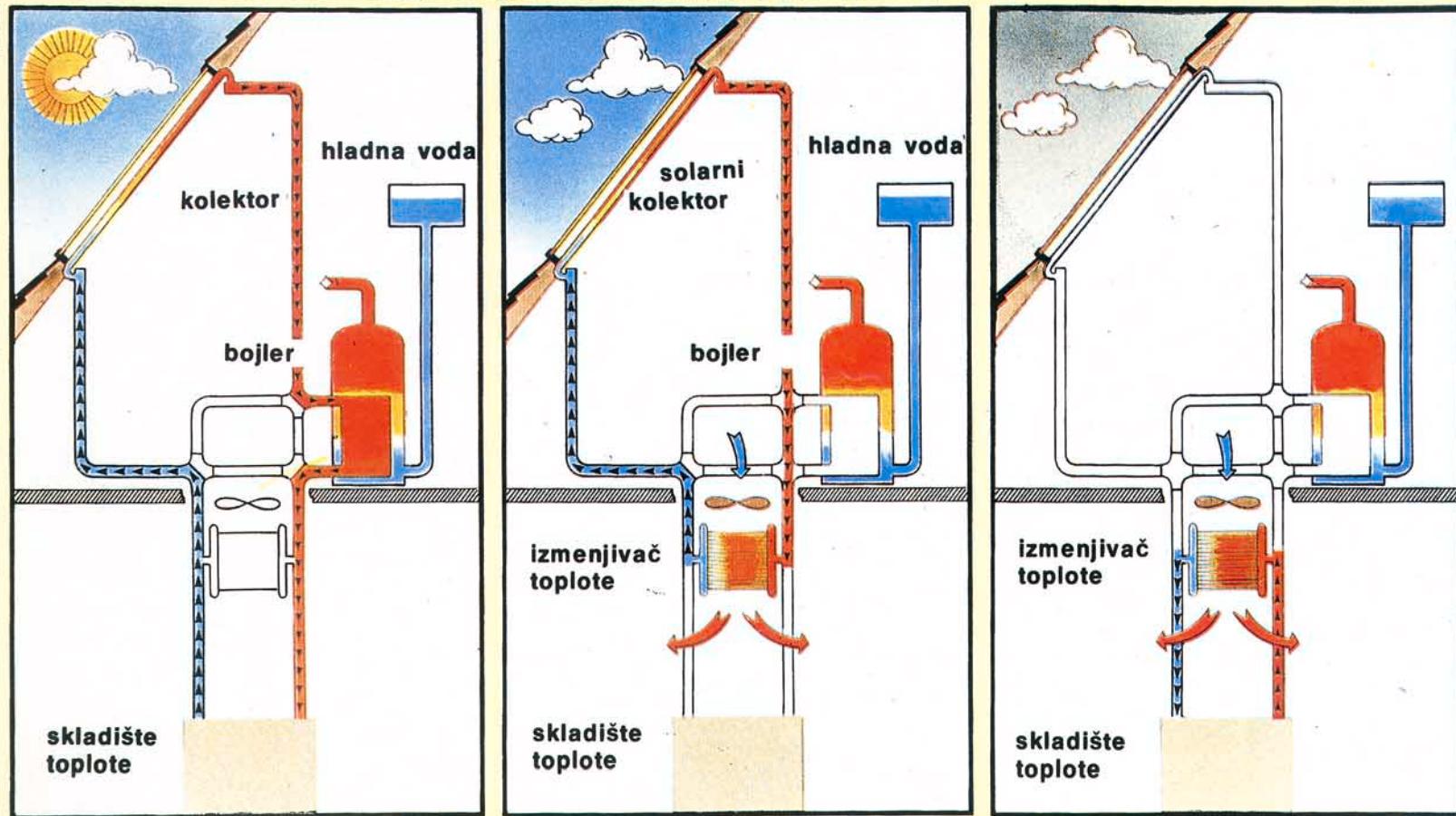
Ako bismo želeli da u potpunosti rešimo problem grejanja pomoću sunčeve energije, onda bismo morali da posmatramo najnepovoljnije mesece, decembar i januar, kada je najhladnije i kada ima najmanje sunca. U januaru, na primer, na naš objekat, koji normalno na sunčeve zrake ispoljava površinu od oko 100 m^2 , dospeva ukupna energija od 9830 kWh. To je za 53 posto veća energija od one koja je neophodna za grejanje u januaru (5208 kWh). Prema tome, ova kuća bi mogla da se greje u potpunosti solarnom energijom ako bi se njena cela južna strana prekrila prijemnicima izvanrednog prosečnog stepena iskorišćenja (oko 60 posto). To bi bilo veoma skupo i nepraktično rešenje, i do sada je u svetu bilo samo nekoliko ambicioznih projekata izgradnje takve potpuno solarne kuće.



Sl. 1 Gubici toplotne energije u zimskom periodu (u kWh); ukupni gubici za zgradu u tekstu iznose 22 781 kWh

grejanje zgrada sunčevom energijom

Sl. 2 Aktivni solarni sistem za grejanje zgrada i osnovni načini njegove upotrebe; sistem radi na principu voda — voda (za



Zagrevanje vode i akumuliranje energije iz solarnog kolektora:

Ovakav način koristi se kad ima dosta sunca i kad nije potrebno grejanje prostorija.

Direktno grejanje prostorija solarnom energijom:

Kada temperatura prostorije opadne ispod određenog nivoa, direktno grejanje toplotom iz kolektora je veoma ekonomično.

Grejanje iz skladišta topline:

Kada pri oblačnom vremenu ili noću nije moguće direktno grejanje, toplota se crpi iz akumulatora.

Tri četvrtine

Mnogobrojne stručne studije ovog pitanja i praktična ispitivanja na objektima pokazuju da solarni sistem sa prijemnicima postaje tehnički i ekonomski najracionalniji ako se projektuje tako da podmiruje, u proseku za ceo zimski period, pola do tri četvrtine potreba za grejanjem. Uzgred, napisano je pravilo da solarnom kućom treba nazivati samo objekat koji suncem podmiruje više od pola toplotne energije potrebne za grejanje. Ponovićemo račun za našu kuću, prihvatajući zadatak da pomoću solarnih prijemnika podmirimo tri četvrtine potreba.

U celom zimskom periodu na kvadratni metar površine u nagibu od 60° dospeva sunčeva energija od 740 kWh. Pretpostavljajući prosečni stepen iskorisćenja prijemnika od 40 odsto, iskoristljiva energija iznosi 296 kWh, te lako dolazimo do podatka o potreboj veličini prijemnika: $(3/4 \cdot 21\ 900 \text{ kWh}) : 296 = 55 \text{ m}^2$.

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 (vidi opis solarne kuće u Nici), izgrađene po posebnom projektu, sa prijemnicima od 50 m^2 , ukazuje na to da bi kompletan solarni sistem od 55 m^2 koštao najmanje 400 000 din. U toku 10 godina on bi proizveo

energiju od $10 \cdot 55 \cdot 296 = 162\ 800 \text{ kWh}$, čija vrednost iznosi oko 325 600 dinara. Prema tome, ovo rešenje bi predstavljalo samo dugoročno isplativu investiciju. Ako bi se ovaj 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.

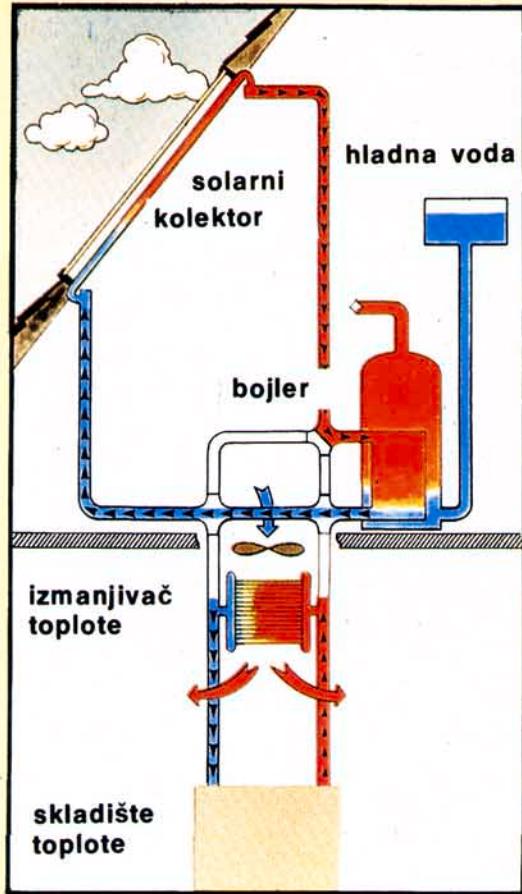
Smanjiti gubitke

Međutim, pre nego što se odlučimo da uđemo u ovako skup poduhvat, potražimo mogućnost olakšavanja problema grejanja putem smanjenja toplotnih gubitaka. Ta mogućnost postoji, jer toplotna izolacija koju smo prepostavili nije najviše što nam savremena tehnologija nudi. U svetu i kod nas je demonstrirano da se u razumnim granicama troškova može izgraditi kuća sa dvostruko boljom izolacijom od one u našem primeru. Toplotni gubici tada ipak ne bi bili dvaput manji, zbog toga što gubici na izmenu vazduha kao i oni kroz prozore ostaju isti. Grejna energija za ovu poboljšanu kuću u toku jedne zimske sezone bi, u stvari, iznosila 15 504 kWh.

Dalje, možemo da uvedemo još jedno poboljšanje u pogledu toplotnih gubitaka i da smanjimo potrošnju energije. Ono se sastoji u upotrebi noćnih termalnih zastora na prozorima, što može da smanji gubitke kroz njih

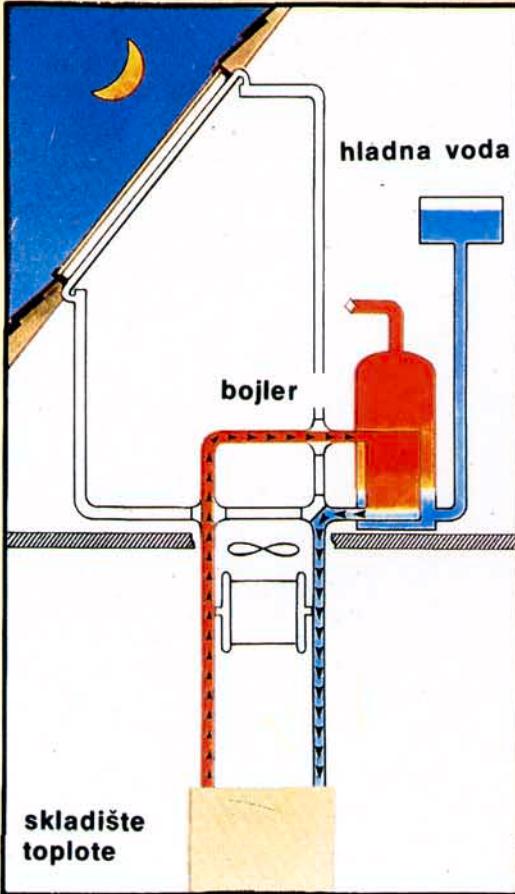
solarni radijatori

toplu vodu) i voda-vazduh (grejanje); umesto tečnosti, kroz kolektore se može propušтati i vazduh (sistem sa vazdušnim kolektorima)



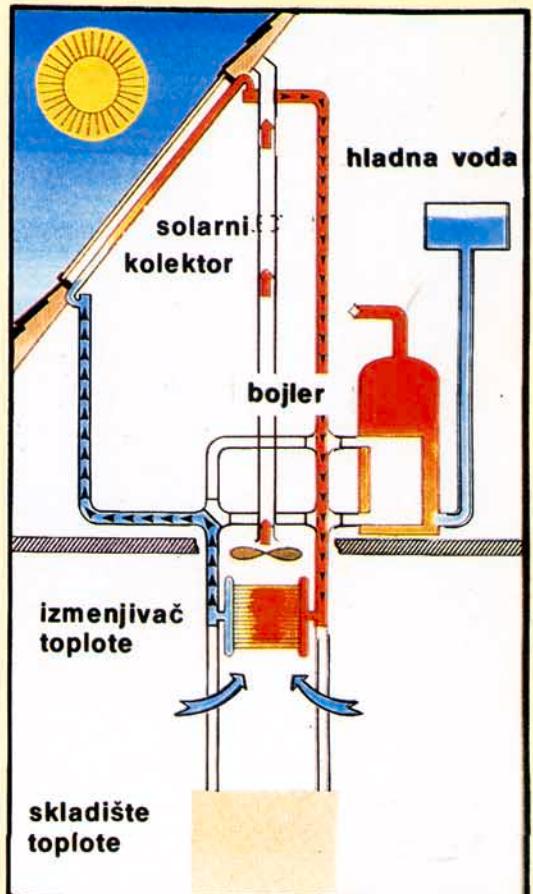
Zagrevanje vode solarnim kolektorom:

Dok se prostorije greju topotom iz skladišta topote, kolektor se može koristiti za zagrevanje vode.



Zagrevanje vode iz skladišta topote:

Ukoliko se ne zahteva grejanje prostorija u toku noći, topota iz akumulatora se može koristiti za zagrevanje vode.



Oslobadanje prekomerne energije:

Tokom leta, kada je solarna energija potrebna samo za zagrevanje sanitarnе vode, suvišna topota se pomoću ventilatora izbacuje direktno u atmosferu.

za faktor dva. Tada bi neophodna grejna energija iznosila 13 480 kWh godišnje.

Najzad, ostaje nam da iskoristimo topotu vazduha koji se obnavlja. Ako dobro zaptijemo kuću i novi, sveži vazduh uvodimo kroz jedan otvor na kome se on susreće sa izlazećim vazduhom, pomoću pogodnog izmenjivača možemo povratiti pola energije koja ide na topotne gubitke izmene vazduha. Na taj način, imali bismo kuću koja za grejanje zahteva svega 11 575 kWh godišnje.

Sa ovakvim pretpostavkama, solarni sistem sa prijemnicima, koji bi podmirivao tri četrvrtine potreba za grejanjem, imao bi oko 30 m² prijemnika i bio bi sasvim prihvatljiv kako sa tehničkog i arhitektonskog tako i sa ekonomskog stanovišta.

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

Izbor sistema

Za solarnu tehnologiju u grejanju zgrada valja se opredeliti tek kad se iscrpe sva ostala sredstva. Pri tom se ona može potpuno zaobići samo kod samogrejućih solarnih kuća. U svim ostalim slučajevima, kod „osunčavanja“ postojećih stambenih zgrada, solarna oprema je neophodna. Sistem za

solarno grejanje, u principu, nije mnogo složeniji od solarnog bojlera, ako ne računamo i obavezno skladište topote, ali je znatno glomazniji. Solarni radijatori su vezani za izmenjivač topote preko koga crpe energiju iz kolektora ili topotnog skladišta. U sistem se sve češće uključuje i jedan specijalni uređaj, topotna pumpa, bez koga je funkcionisanje solarnog radijatora u nepovoljnim uslovima nezamislivno.

Izbor sistema nije nimalo lak. U najjednostavnijem slučaju, topao vazduh iz prijemnika možemo direktno ubacivati u prostorije kad god se zagreje do temperature iznad nekog praga (recimo 30°C). Tako se radi kod manjih, pomoćnih sistema, koji ni po sunčanom danu ne mogu da daju višak energije. Međutim, u stvarnim solarnim kućama neophodno je imati topotno skladište. Pomoću ventilatora topao vazduh se iz prijemnika vodi kroz kameni skladište, a odатle, po potrebi, u pojedine prostorije.

Ukoliko temperatura skladišta nije dovoljna, vazduh se dogreva pomoćnim grejačem (električnim, gasnim, uljanim ili drugim). Dogrevanje se može izvršiti centralno, za celu kuću, ili posebno za svaku prostoriju. Drugo rešenje je pogodnije utoliko što dozvoljava da se pojedine prostorije zasebno tretiraju, u zavisnosti od njihove namene i režima korišćenja (spavaće sobe se ne moraju zagrevati preko celog dana niti do temperature od 22°C, koja se zahteva u dnevnoj sobi). U svakom slučaju, sistem sa vazdušnim prijemnicima se najbolje uklapa u vazdušni sistem

solarni radijatori

22



Rasipanje toplote: Termogrami, snimljeni infracrvenom kamerom u dve hladne martovske noći, jasno pokazuju puteve oticanja toplote; na najslabije tačke izolacije zgrade ukazuju bela, crvena i žuta boja, a na najjače crna, plava i maženta

zagrevanja zgrada, jer tada nisu potrebni nikakvi posebni izmenjivači toplote.

Kod nas je, na žalost, vazdušno grejanje sasvim zanemareno, bar kad su u pitanju stambene kuće. To je, po našem mišljenju, veliki propust, jer je taj sistem znatno jeftiniji od vodenog sistema, pogotovo za naše uslove. Kod nas se objekti najčešće zidaju od šupljih građevinskih elemenata, pa bi se zidovi, podovi i tavanice mogli upotrebiti kao besplatna grejna tela, što ima velike prednosti.

Kod korišćenja vodenih prijemnika pojavljuju se dodatni problemi. Bilo bi prirodno da se tada koristi voden sistem grejanja u kući. Ali, ne možemo računati da ćemo u zimskim uslovima lako postizati temperature skladišta iznad 50°C, koja je neophodna za grejna tela (vodene radijatore). Štaviše, temperatura vode na izlazu iz radijatora je viša od prosečne temperature skladišta, tako da toplotu iz prijemnika ne možemo da koristimo ni za pregrevanje vode. Stoga se obično toplota iz vodenog skladišta predaje vazduhu preko toplotnih izmenjivača voda-vazduh, pa se u kući koristi vazdušni grejni sistem (sl. 2).

Postoji, istina, mogućnost da se koristi podno vodeno gejanje, preko metalnih ili plastičnih cevi. Tada su grejne temperature niže, što omogućuje i sprezanje ovog sistema sa solarnim prijemnicima. Međutim, ovaj sistem je dosta skup (videti primer kuće u Nici). Jedan drugi način, mada takođe skup, izgleda prihvatljiviji, jer omogućuje da se jednovremeno reši i problem dopunskog izvora toplote. On se zasniva na upotrebi toplotne pumpe.

Kućna solarna peć: Velike cevi ispunjene vodom apsorbuju toplotu preko dana, a noću zagrevaju prostoriju — rešenje Amerikanca Stiva Bera

Kuća kao
energetski
objekat

samogrejuća solarna kuća



kuća kao energetski objekat

Najprivlačnije rešenje solarnog grejanja bilo bi zahvatanjem sunčeve energije bez posebnih uređaja, korišćenjem same zgrade kao prijemnika. Takav, pasivni način korišćenja sunčeve energije za grejanje zgrade u poslednje vreme privlači sve veću pažnju stručnjaka. Obimne teorijske i eksperimentalne studije ovakvog načina grejanja, obavljane širom sveta poslednjih godina, pokazale su da je ranije poznavanje toplotnih procesa u vezi sa zagrevanjem i hlađenjem zgrada, tokovima toplotne i radijacione energije, ulogom prozora i rasporedom masa i toplotne izolacije i drugim, bilo veoma oskudno i često praćeno zabluđama. Tek poslednjih nekoliko godina nauka je, u stvari, počela dublje da ulazi u ova pitanja. Iako su ove studije tek sad u punom razmahu, dosadašnji rezultati se mogu oceniti kao vrlo ohrabrujući.

Balkombova kuća

Kao najvažnije, demonstrirano je da je i u krajevima sa dosta oštrom klimom moguće samim dizajnom i konstrukcijom kuće zahvatiti od sunca do devet desetina neophodne energije za grejanje. Pri tome je moguće o istom trošku rešiti i problem klimatizacije zgrade u letnjem periodu. Navedimo samo dva proverena primera za koja imamo podatke merene od strane nezavisnih i kompetentnih stručnjaka.

U Aptonu (Upton, New York, SAD, leži na 44° severne širine), koji ima hladniju klimu i manje sunca od Beograda, izgrađena je pretprošle godine solarna kuća sa pasivnim grejanjem, po nacrtima istraživača Brukhevenske nacionalne laboratorije. Kuća ima korisnu stambenu površinu od 200 m^2 i građena je korišćenjem standardnih materijala i tehnologije uz tipičnu arhitektonsku stilizaciju za to područje. Ali, primenjena su najnovija naučna saznanja u pogledu izolacije, zahvata sunca i skladištenja energije. Merenja u toku jedne zime pokazala su da se u toj kući za grejanje troši tri puta manje energije nego u sličnoj kući građenoj sa istom toplotnom izolacijom (koja zadovoljava najnovije propise u SAD), a pet puta manje nego u standardnim kućama ranijeg načina građenja.

Savremena kuća, drevna arhitektura

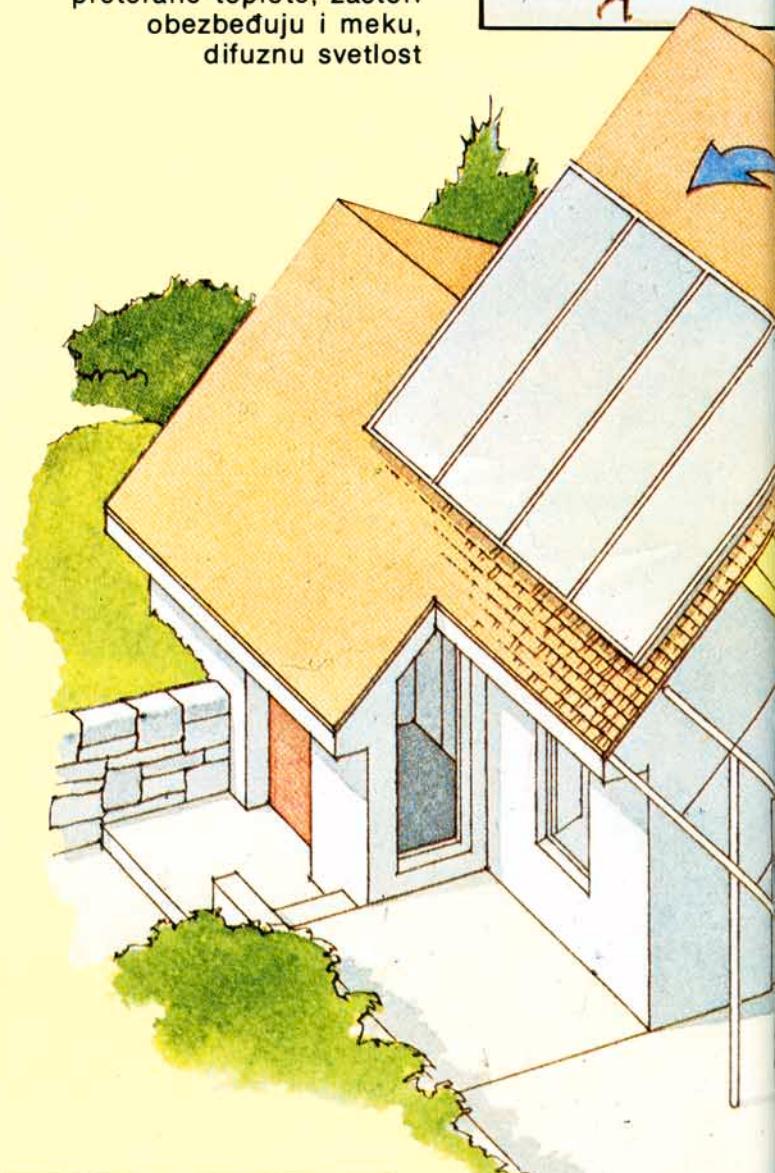
Kod gradnje samogrejućih solarnih kuća primenjuju se već zaboravljeni principi „utopljavanja“ i ventilacije koje su graditelji usavršavali vekovima. Pre nego što se posegne za moćnim ali sve „tanjim“ gorivima i termostatima, valja maksimalno iskoristiti ono što se može dobiti od prirode: sunce za grejanje, zemlju za izolaciju i vazduh za provetranje. Uz nešto malo moderne tehnike, kao što su solarni kolektori na krovu, ova prirodna sredstva su gotovo dovoljna za energetski samodovoljnu kuću.

Kuća je okrenuta prema jugu. Prozori su postavljeni tako da hvataju zračenje niskog zimskog sunca, dok nadstrešnice i zastori presecaju put visokom, toploj letnjem suncu. Integralni deo kuće predstavlja prostrana staklena veranda sa masivnim zidom od opeke i debelim slojem kamenja ispod poda. Kamenje i opeke apsorbuju toplotu u toku dana i oslobađaju je u toku noći. Otvori u zidu i pokretljivi prozori obezbeđuju potreban protok vazduha i olakšavaju grejanje zimi i hlađenje leti.

Severna strana kuće je zasuta zemljom. Toplotna stabilnost ove strane obezbeđuje održavanje prijatne temperature leti i umerene zimi. U isto vreme, zemljani nasip štiti od severnih vetrova.

Suncobran

Zastor je najjednostavniji i najpristupačniji način da se smanji sunčev zračenje. Uz zaštitu od preterane toplote, zastori obezbeđuju i meku, difuznu svetlost



Vazdušna brava

Iako u konceptu jednostavniji od višenamenskog tunela na ulazu u eskimski iglo, trem, u osnovi, služi istoj svrsi — štiti unutrašnjost od prodora hladnog i oticanja toplog vazduha.



Položaj

Zaštićeno sa severa planinskim grebenom selo Pueblo hvata zimsko sunce. Za efektivno pasivno solarno grejanje, kuća mora biti okrenuta prema jugu unutar 25° .

samogrejuća solarna kuća



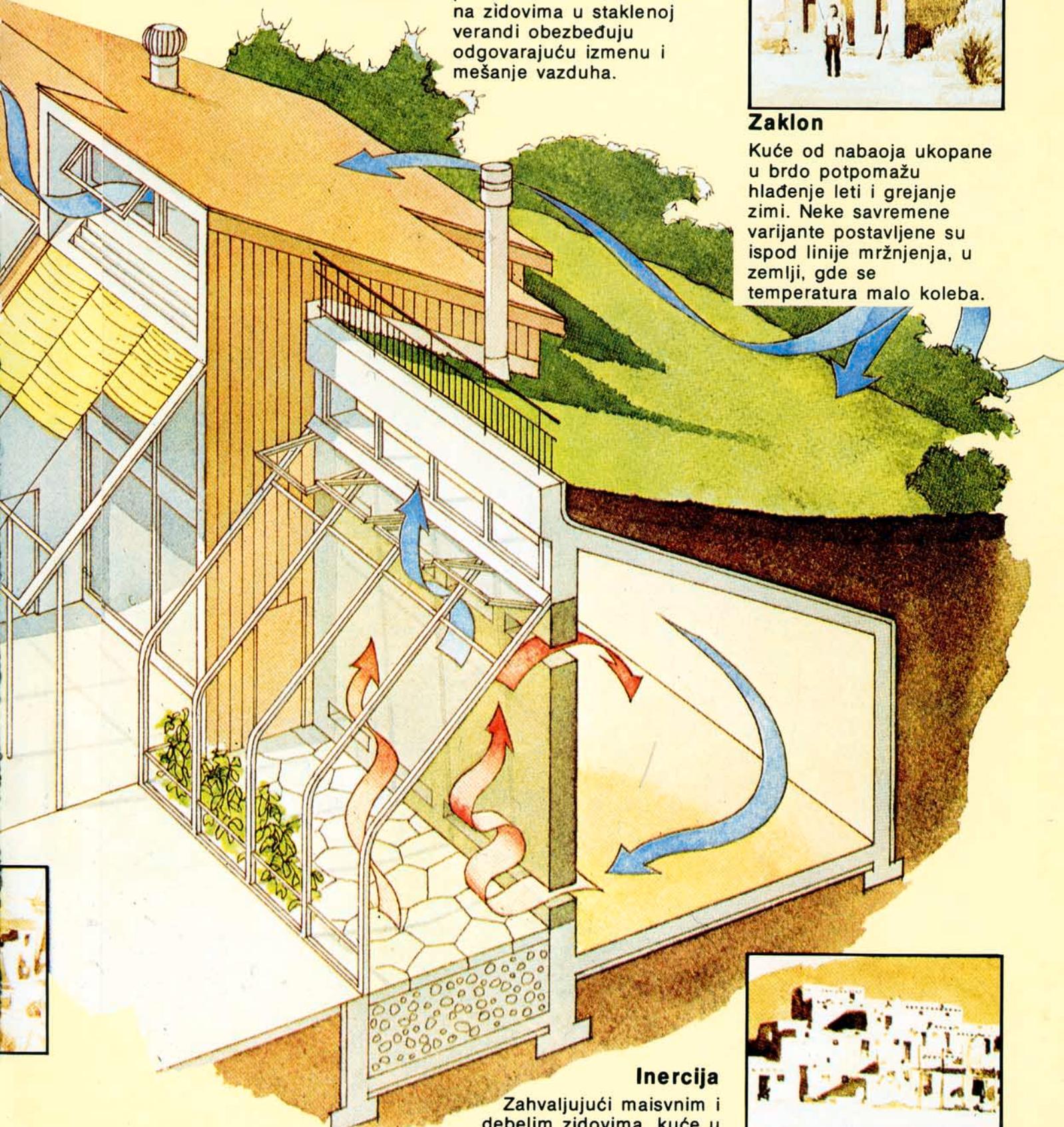
Ventilacija

U tropskim krajevima kuće su visokim stubovima izdignute iznad zemlje što olakšava provetrvanje. U savremenim kućama prozori, ventilatori i otvor na zidovima u staklenoj verandi obezbeđuju odgovarajuću izmenu i mešanje vazduha.



Zaklon

Kuće od nabaoja ukopane u brdo potpomažu hlađenje leti i grejanje zimi. Neke savremene varijante postavljene su ispod linije mržnjenja, u zemlji, gde se temperatura malo koleba.



Inercija

Zahvaljujući maisvrim i debelim zidovima, kuće u pustinji se sporo zagrevaju i hlađe — tokom čitavog dana upijaju toplotu da bi je oslobođale noću.



Samogrejuća solarna kuća

Drugi primer je kuća Daglasa Balkomba (Douglas Balcomb), vodećeg američkog stručnjaka za pasivno grejanje, izgrađena u Novom Meksiku (SAD), na visini od 2200 metara, takođe na najnovijim principima pasivne solarne arhitekture. Ispitivanja pomoću velikog broja raznih mernih instrumenata, obavljana u toku dve zimske sezone, pokazala su izvrsne performanse ove kuće. Ona je 89 posto potrebne energije dobivala od sunca, a samo 11 odsto dopunjavano je pomoću peći ložene drvima ili električnom energijom. Ova kuća je podrobno opisana u ovom pregledu (str. 76.).

Kuća kao cvet

Osnovni princip pasivnog korišćenja sunčeve energije sastoji se u tome da se kuća gradi tako da se ponaša kao cvet, kao lala ili bela rada, tj. da se otvara i okreće prema suncu kada ga ima, a da se zatvaranjem štiti kada su spoljni uslovi nepovoljni. Tek u najnovije vreme prišlo se dizajnu kuće na ovom principu. U mnogim zemljama postavljeni su naučno-istraživački zadaci konstruisanja i praktičnog ispitivanja samogrejnih solarnih kuća. Saznanja na ovom polju se brzo prikupljaju i, po svoj prilici, to će biti glavni način grejanja zgrada u budućnosti.

Dosadašnja iskustva pokazuju da se ovim putem ne samo ostvaruje efikasno korišćenje sunčeve energije, nego se u znatnoj meri poboljšava i kvalitet života, čemu savremeni čovek počinje sve više da poklanja pažnju.

Ovakva kuća, pre svega, oslobađa čoveka stalne brige za nasušnom topotom. Zatim, njeni zidovi i pod su topli, što daje poseban osećaj ugodnosti. U njoj ima dovoljno sunca i topote za gajenje cveća i povrća tokom cele zime, jer, po pravilu, sadrži staklenu baštu, a ima i niz drugih prednosti. Iznad svega, razume se, stoji osećaj da je to pravi put povratka prirodi kroz svoj dom.

Domaći projekti

Ovaj novi pristup arhitekturi i konstrukciji zgrada predstavlja, po našem mišljenju, najznačajniji dojem na polju solarnog grejanja zgrada. Stoga mu u ovom pregledu korišćenja sunčeve energije u domaćinstvu pridajemo najveću pažnju. Odabrali smo primere najuspelijih rešenja solarnih kuća sa pasivnim grejanjem u Evropi i Americi, postavljajući pri tome uslov da su prihvativija za naše prilike. Neka od tih rešenja dobila su nagrade na međunarodnim konkursima za najbolji pasivni dizajn solarne kuće.

Pored ovog, Institut za nuklearne nauke „Boris Kidrič“ iz Vinče i R O za projektovanje „Naš stan“ iz Beograda razvili su, koristeći svoja kao i svetska iskustva, nekoliko sopstvenih projekata solarnih kuća, a u toku je izrada i kataloga sa većim izborom tipova i veličina kuća. Pri tome je, kao što će se videti na primerima, dato više originalnih rešenja pojedinih elemenata pasivnih sistema.

Pošto su ovo prva iskustva u pasivnoj solarnoj arhitekturi u našoj zemlji, Institut u Vinči i RO „Naš stan“ odlučili su da, pre nego što interesentima ponude svoje projekte, izgrade izvestan broj kuća sa pasivnim solarnim grejanjem, koje bi bile izložene uvidu stručnjaka i svih zainteresovanih građana. Zahvaljujući razumevanju i podršci Skupštine grada Beograda i njenih organa kao i opštine Čukarica, izgradnja tih kuća je u toku na Banovom brdu u opštini Čukarica. One treba da budu završene iduće godine.

Fundamentalna prednost

Pre nego što opišemo osnovne načine pasivnog korišćenja sunčeve energije, naglasimo da postoji jedna fundamentalna prednost tog pristupa u odnosu na aktivne sisteme sa prijemnicima. U ovom drugom slučaju sunčev zračenje se preobraća u topot u prijemnicima, pri čemu postignuta temperatura zavisi od radnih i meteoroloških uslova, kao i od

kvaliteta prijemnika. Po oblačnom i zimskom danu jedva će se i najbolji prijemnik zagrijati iznad 30°C. Međutim, temperature ispod ove vrednosti nisu upotrebljive za uobičajene vodene grejne sisteme. Jer, topotu možemo da prebacujemo samo sa tela više na telo niže temperature, a grejna tela zahtevaju temperature iznad 30°C. Zbog toga vodenim prijemnicima u praksi daju doprinos samo kada oblačnost nije velika, kada se sunce bar nazire. Čim se sunčev zračenje smanji na polovinu pune vrednosti, postaje praktično neupotrebljivo. Situacija je nešto bolja sa vazdušnim prijemnicima, kada se topao vazduh ubacuje neposredno u prostoriju, ali oni, po pravilu, imaju manji stepen iskorišćenja od vodenih prijemnika, pa krajnji ishod ostaje približno isti.

Sasvim drugačija slika se dobija kada se sunčevi zraci neposredno zahvataju kućom kroz staklene površine. Sunce je izvor zračenja visoke temperature (5800 K) i ono, prema osnovnim fizičkim zakonima, zračenjem predaje energiju svakom telu koje se nalazi na temperaturi nižoj od ove. Pošto prostorije u kući zagrevamo do 18°C (295 K), one će uvek upijati sunčev zračenje, bez obzira na njegov intenzitet ili poreklo (tj. da li je direktno ili rasejano). Ali, i kuća odaje topotu okolini, te će neto prinos energije u kući biti pozitivan kada snaga sunčevog zračenja nadmašuje gubitke. Na primer, kroz prozore sa dvostrukim staklom gubi se oko 3 W/m² K, pa će pri temperaturi okoline od -10°C gubici iznositi blizu 100 W/m². Sunčeva snaga je retko kad po danu manja od ove vrednosti, te sledi da se gotovo svakog dana isplati, bar što se energije tiče, otvarati prozorske kapke ili zastore. Ovo je vrlo važan zaključak zbog toga što zimi najveći deo sunčeve energije koja dospeva na zemlju čini difuzno zračenje iz oblačnog neba. Dobitak energije je, razumē se, utoliko veći ukoliko je sunčev zračenje intenzivnije.

Osnovna pravila

Prema tome, zgrada koja sama zahvata sunce može, ne samo u principu, da računa sa prinosom sunčeve energije skoro svakog dana, bez obzira na to da li sunce proviruje kroz oblake ili ne. U tome je velika prednost ovog načina grejanja u odnosu na onaj koji koristi prijemnik. Ovo doskora nije bilo uočeno, pa su se mnogi koji su gradili kuće na bazi pasivnog pristupa čudili otkud praktični rezultati premašuju njihova očekivanja.

Da bi kuća zahvatila sunce, njena južna strana, razume se, mora da ima veću zastakljenu površinu. To mogu da budu prozori, zastakljena veranda (staklenik ili, pak, zastakljen zid). Ali, pre nego što detaljnije razmotrimo ova pojedina rešenja, podsetimo se nekih opštih pravila kojih se treba držati pri gradnji kuća, bez obzira na to kakvo se rešenje primenjuje, pa i na to da li je kuća solarna ili ne.

Pre svega, podrazumeva se da je za mesto gradnje zgrade odabrana najpovoljnija lokacija sa gledišta osunčavanja, po mogućству na padini okrenutoj ka jugu i zaklopjenoj od hladnih vetrova. Dalje, zgrada treba da je u letnjoj senci listopadnog drveća, a slobodno izložena suncu u zimskom periodu. Glavne boravišne prostorije treba postaviti na njenoj južnoj strani, a pomoćne (ostavu, kotlarnicu, garažu i dr.) na severnoj. Duža dimenzija zgrade treba da ide pravcem istok—zapad, kako bi deo njene površine izložen suncu bio veći. Ljudi su, u stvari, vekovima razvijali mudrost odabiranja položaja i orientacije kuća, pa i naselja, i starinske kuće su postavljane znalački, ali u najnovije vreme kao da se na to zaboravilo.

Pretpostavljamo, takođe, da je na kući primenjena propisna topotna izolacija zidova, tavanica, krova, prozora, vrata, temelja i drugog. Najnoviji propisi za izolaciju zgrada prema JUS-u dati su na priloženoj skici. Ali, smatramo da je sa tehničke i ekonomski tačke gledišta opravdano graditi kuću sa znatno boljom izolacijom od ove. Projekti koje nude „Boris Kidrič“ i „Naš stan“ predviđaju izolaciju kakva se propisuje u Americi i Zapadnoj Evropi i kakva je usvojena u većini uspešnih rešenja solarnih kuća u svetu.

pasivni solarni sistem

Ako zgrada kao celina treba da zahvati sunce, onda je, kao što smo pomenuli, najvažnija njena južna strana, na koju dospeva najviše sunčeve energije. Kod svih tipova pasivnog grejanja južna (a, eventualno i jugoistočna i jugozapadna) strana je predmet posebne studije. Odavno je, naravno, poznato da južna staklena fasada čini kuću toplijom u zimskom periodu i upotreba staklenih površina sa južne strane je i dosad često praktikovana.

Efekat pregrevanja

Na žalost, efekat zagrevanja na ovaj način je mnogo veći u letnjem periodu, kada se, ionako, postavlja problem rashlađivanja zgrade. Čak i zimi, kada je, na primer, dan sunčan a spoljašnja temperatura relativno visoka, prostorije sa velikim južnim staklenim površinama mogu da budu preterano tople. Sem toga, velike staklene površine dovode do pojačanog hlađenja noću, pa je takva prostorija, tako, podvrgнутa velikim prirodnim temperaturskim kolebanjima.

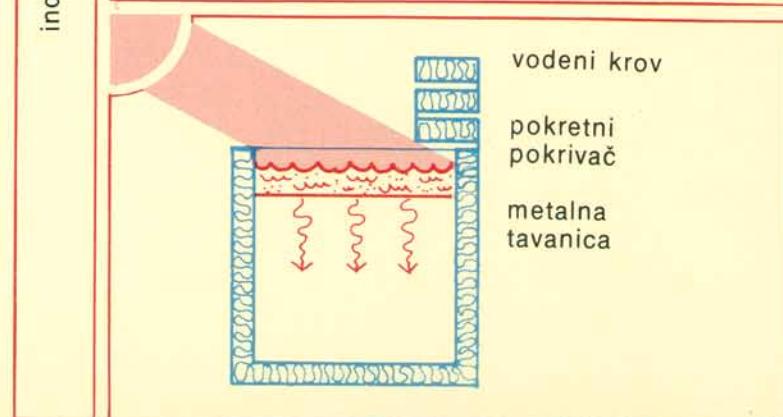
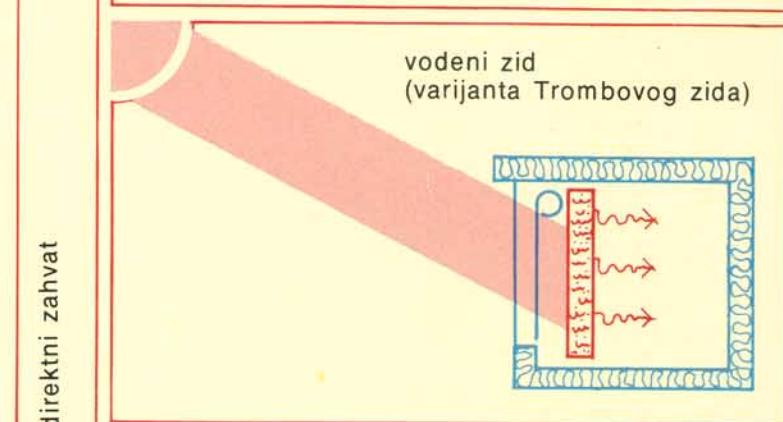
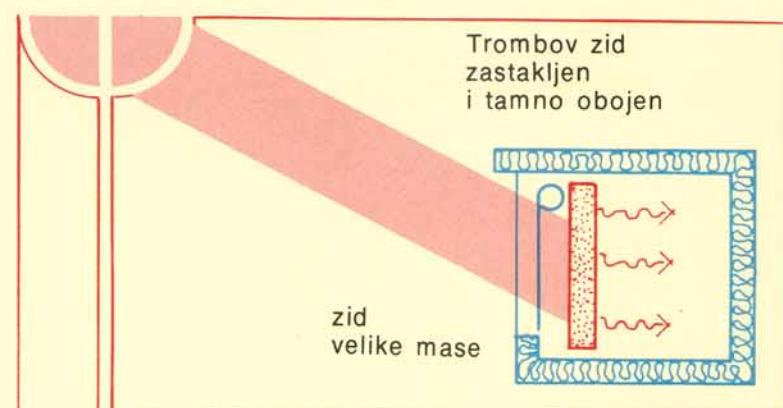
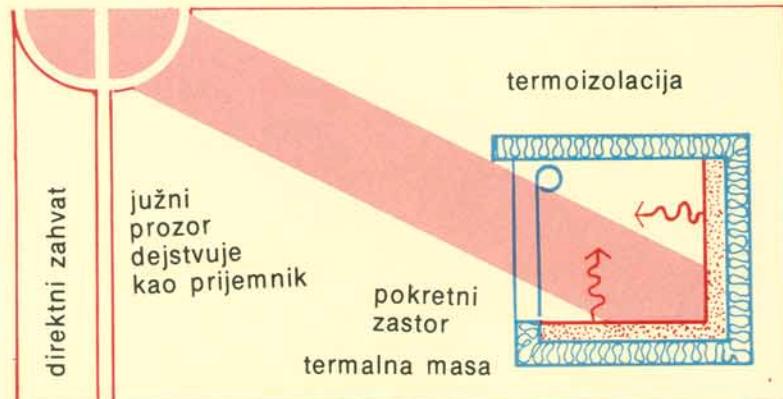
Zadatak solarnog inženjera-projektanta je da ovaj problem reši tako da se do najveće mere zahvati sunce kada je to korisno, da se pri tome prostorije ne pregreju a toplota ne ispušta, nego da se čuva i skladišti, kao i da se spreči ulaz sunčevog zračenja u letnjem periodu. Štaviše, zahteva se da se samogrejuća solarna kuća sama i rashlađuje kada je to potrebno.

Kao što smo rekli, oduvek se znalo da su prostorije sa južne strane i sa većim prozorima toplice. Ali, pokazuje se da nije dovoljno samo postaviti veće prozore prema jugu. Mora se imati jasna fizička predstava onoga što sledi kada sunčevi zraci prođu u prostoriju. Neophodno je, u stvari, proslediti ili, bolje, odrediti sudbinu svakog zraka, odnosno svakog džula unete energije i iskoristiti ga na najpovoljniji način. Drugim rečima, *ono što leži iza prozora čini da kuća bude solarna ili ne*. U tome se i sastoji novo naučno saznanje o kući kao energetskom objektu. Kad se ovome doda zahtev da nađena rešenja budu praktična i ekonomski prihvatljiva, onda se može videti koliko je ozbiljan zadatak solarnog arhitekte.

Direktno zahvatanje

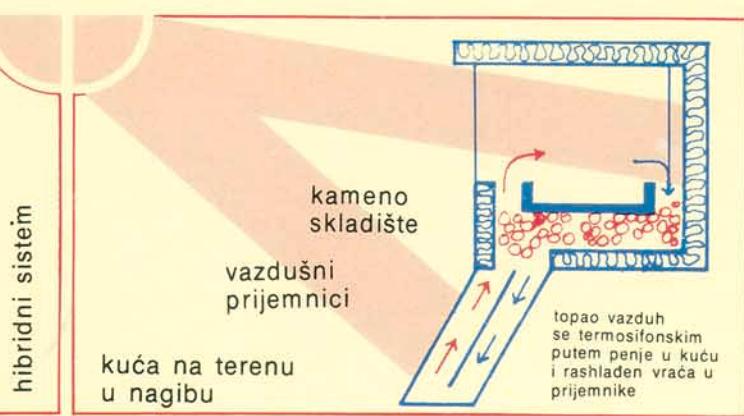
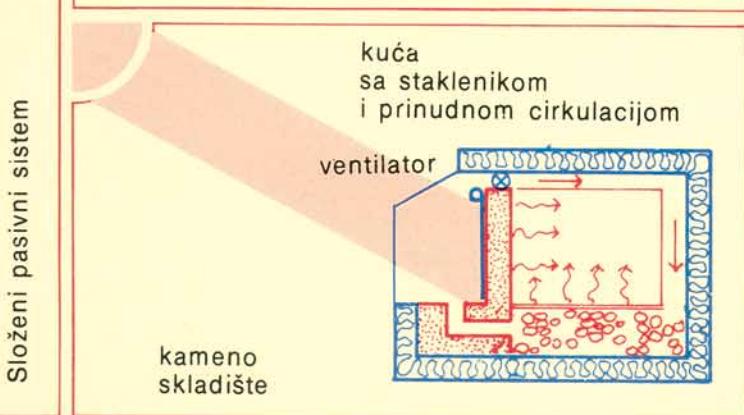
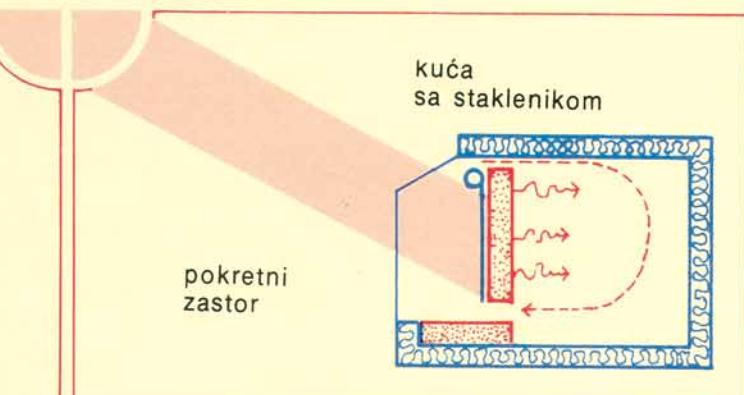
Najjednostavniji način pasivnog grejanja zgrada sastoji se u otvaranju južne strane zgrade ugradnjom prozora veće površine. U literaturi je ovaj način nazvan *direktnim zahvatanjem* sunčevog zračenja. Sunčevi zraci se tada apsorbuju na podu i zidovima prostorije, zatim na nameštaju i, usled rasejavanja, na tavanici i zidovima koji nisu na pravcu upadnih zraka. U toku dana, prema tome, temperatura u zgradi, u prvom redu u prostorijama na južnoj strani, raste, dostiže maksimum popodne, i onda opada sve do sledećeg jutra. Koliki će biti temperaturski otkloni od prosečne i poželjne temperature zavisi od veličine južnih prozora (u odnosu na veličinu zgrade, razume se), kao i od količine mase i drugih osobina materijala koji upijaju sunčev zračenje. Veoma važna je boja pojedinih površina, odnosno njihova moć apsorpcije, naročito onih na koje direktno pada ulazno zračenje. Projektant mora proračunom da odredi neophodne vrednosti koeficijenata apsorpcije svih površina, kao i nameštaja, a takođe, i njihov raspored.

Ispostavlja se da je kod direktnog zahvata najveći problem pregrevanje prostorija, i to u zimskim sunčanim danima. Tada se, razume se, moraju otvarati prozori i, na taj način, dragocena toplota se gubi. Ovaj problem se ublažuje time što se obezbeđuje ne samo veća masa koja apsorbuje zračenje, nego i ona koja



pasivni solarni sistem

28



bolje odvodi toplotu. U ovom pogledu naročito je pogodna voda, jer u njoj brzo dolazi do mešanja toplih i hladnih delova. Dobro je poznato i često navođeno rešenje Amerikanca Stiva Bera (Steve Baer), koji je iza južne staklene fasade u kući postavio metalnu burad sa vodom, dobivši tako vrlo efikasan i jeftin sistem zahvatanja i skladištenja sunčeve energije.

Drugi uobičajeni način da se spreči pregrevanje prostorija jeste ograničavanje veličine južnih prozora. U tom slučaju, međutim, ne koristimo svu sunčevu energiju koja pada na južnu stranu kuće i udeo solarne energije u grejanju zgrade smanjuje se. Ovo pitanje je detaljno razrađeno u stručnoj literaturi, u kojoj se mogu naći tabele za određivanje optimalne veličine prozora na datom objektu u određenoj klimatskoj zoni.

Ipak, ovim jednostavnim načinom može se zahvatiti od sunca i do 3/4 potrebne energije, ali u krajevima sa manje sunca i oštrijom klimom zahvat je mnogo manji.

Termalni zastori

Udeo sunčeve energije zavisi od klimatskih uslova, veličine staklenih površina, rasporeda masa u prostoriji u koju upada zračenje i, naročito, od toplotne izolacije i od zahtevane minimalne temperature prostorije.

Važno je napomenuti da u zavisnosti od klimatskih uslova biramo i broj stakala na prozorima. Dok će se, na primer, na primorju sa jednim stakлом postići zadovoljavajući rezultati, u Beogradu su neophodni dvostruki prozori, a u Ljubljani čak trostruki. Sem toga, veliku ulogu igraju termalni zastori na prozorima, koji se navlače sa zalaskom sunca. Ti zastori moraju imati mnogo bolju izolacionu moć od onih kakvi se danas obično koriste. U stvari, oni treba da su ekvivalentni poliuretanskoj izolaciji debljine bar 3 cm. Takvi zastori mogu da povećaju sunčev doprinos i za 50 odsto. Za neke zone, na primer za beogradsku, bez termalnih zastora ne mogu se uopšte postići znatniji rezultati.

Da bi se sprečilo pregrevanje zgrade u letnjim mesecima, obično se iznad prozora projektuju nadstrešnice, stalne ili sezonske, koje sprečavaju letnje sunce da prodre u prostorije. Sem toga, predviđaju se i ventilacioni otvori, koji omogućuju uspostavljanje dnevnog i noćnog režima vazdušnih strujanja i obezbeđuju neku vrstu prirodne klimatizacije. Pogodno listopadno drveće na južnoj strani zgrade, takođe, može da predstavlja veoma korisnu zaštitu od letnjeg sunca.

Ovako složen sistem, zasigurno, savršenije bi funkcionsao ako bi se toplotnim procesima upravljalo pomoću mikrokompjutera. Uostalom, oni se već naveliko ugrađuju u mašine za pranje rublja i mikrotalasne nerne. Njihov zadatak bi bio da upravljaju solarnim bojlerom, ventilacijom i dodatnim grejanjem, podešavaju nadstrešnice i prozorske kapke, navlače i sklanjaju toplotne zastore. Onima koji vole sve na gotovo, kompjutersko upravljanje svim ovim procesima učinilo bi život u solarnoj kući ugodnijim.

Skladište toplote u spoljašnjem zidu trombov zid

Neki nedostaci direktnog zahvata sunčeve energije mogu se otkloniti na način koji je pre deset godina prvi predložio i primenio francuski naučnik Feliks Tromb (Felix Trombe), konstruktor poznate sunčeve peći na Pirinejima. On je na južnoj strani svoje kuće sagradio masivan zid, koji je obojio crnom bojom i zastaklio, pretvarajući ga na taj način u prijemnik. Zid je istovremeno i toplotno skladište, kao i grejno telo u prostoriji koja je iza njega.

Zid kao skladište

Kad sunce zagreje ovaj, kako se sada naziva, Trombov zid, toplota se postepeno prenosi ka njegovoj unutrašnjoj strani, koja postaje sve toplija. Na taj način se maksimalna amplituda toplotnog talasa pomera ka unutrašnjoj površini zida i dostiže je sa zakašnjenjem od nekoliko časova, u zavisnosti od debljine zida. Ovo je vrlo pogodno, jer znači da će prostorija biti najtoplja oko 18—19 časova, što odgovara uobičajenom stilu življenja u dnevnoj prostoriji.

Pored ovog direktnog grejanja iz zida, na njegovom donjem i gornjem kraju mogu se ostaviti otvor, tako da dolazi do prirodnog strujanja vazduha preko zagrejane apsorbujuće površine. Zagrijani vazduh se, prošavši kroz gornji otvor u prostoriju, spušta niz suprotni zid i rashlađen, kroz donji otvor, ponovo ulazi u Trombov zid (sl. 1).

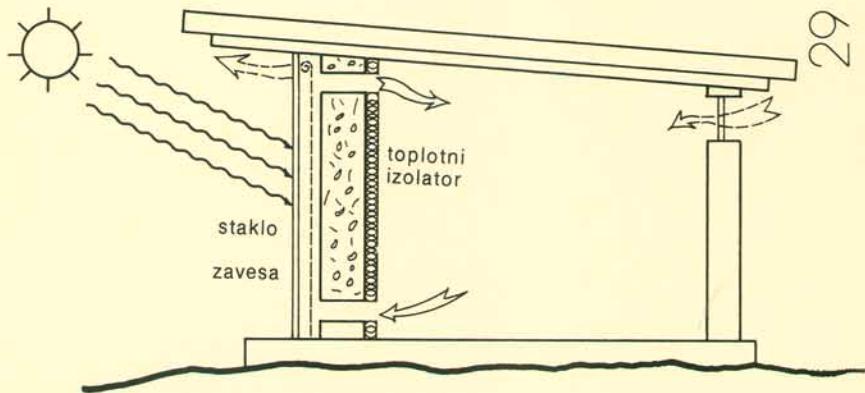
Da se zid ne bi rashlađivao noću, korisno je u njega ugraditi termalni zastor, koji se spušta čim nema priliva energije. Taj zastor ima veliku ulogu leti, i to u toku dana, kada sprečava zagrevanje zida. A noću se on podiže, kako bi se zid rashlađio zračenjem. Ukoliko zid nije snabdeven zastorom, kakav je bio slučaj u originalnom Trombovom zidu, rashlađivanje se postiže danju prirodnom cirkulacijom vazduha, koji kroz otvor na severnoj strani ulazi u Trombov zid, penje se uz toplu apsorbujuću površinu i izlazi napolje kroz poseban otvor.

Zatvoreno kolo

Najnovije studije Trombovog zida i pokušaji da se ovim putem sunčeva energija što bolje iskoristi doveli su do promena u koncepciji njegovog funkcionisanja. Pokazalo se da se bolji rezultati dobiju ako se ostvari strujanje vazduha kroz zatvoreno kolo, iz Trombovog zida kroz kanale na tavanici i suprotnom zidu i, zatim, kroz sloj kamena ispod prostorije, da bi se odatle vazduh vratio u Trombov zid. Ovo se može ostvariti bilo prirodnom ili forsiranom cirkulacijom.

Trombov zid se može izvesti i u varijanti sa vodom, tj. namesto čvrstog zida postavlja se voden zid, odnosno metalni rezervoar napunjen vodom. Kao što smo već objasnili, u vodi se toplota brže prenosi sa jedne strane zida na drugu, te nećemo imati vremensko zakašnjenje u prenošenju toplote. To ima i nepovoljn stranu zbog toga što se zid ne sme previše zagrevati, te je količina uskladištene toplote ograničena.

Debljina Trombovog zida, bilo da je on od čvrstog materijala ili voden, mora se izračunati tako da se zadovolje uslovi maksimalnog zahvatanja energije i njenog najpovoljnijeg korišćenja. Obično, debljina iznosi između 30 i 40 cm.



Sl. 1 Shematski prikaz funkcijonisanja Trombovog zida

Umesto čvrstog zida ili vode može se, najzad, upotrebiti materijal sa faznim prelazom. To je najpovoljnije, ali, za sada, i najskuplje rešenje.

Učinak zida

Razmotrimo učinak Trombovog zida na jednom primeru. Neka se nalazi na kući u Beogradu i neka njegova površina iznosi 10 m^2 . Prosečno će na ovaj zid u januaru dospevati u toku dana energija od 28 kWh , a po sunčanom danu i 60 kWh . Od toga je moguće da zid apsorbuje do 50 odsto, tj. maksimalno 30 kWh (96 MJ). Porast njegove temperature zavisiće od mase, po jednostavnom obrascu: primljena energija = masa \times specifična toplota \times porast temperature ili $Q = M \cdot C \cdot \Delta T$. Ako debljina zida iznosi 30 cm , njegova masa je $M = \rho \cdot V$ (ρ — gustina, V — zapremina), ili $M = 2500 \cdot 10 \cdot 0,3 = 7500 \text{ kg}$. Tada je $T = Q/M \cdot C = 96/7,5 \cdot 0,886 = 14,8 \text{ K}$.

Ako je početna temperatura zida bila 20°C , on će se zagraditi do $34,8^\circ\text{C}$. Ovo je, u stvari, najviše što bi se smelo dozvoliti sa gledišta pregrevanja. Mogli bismo povećati debljinu zida, ali tada bi dolazilo do usporavanja prenosa toplote ka prostoriji i ona bi stizala u nepovoljno vreme. Moramo, dakle, da izaberemo kompromisno rešenje, ali, ako toplotu uskladištimo i u drugim zidovima prostorije, izbeći ćemo navedeni problem.

Kada se sistem sa Trombovim zidom reši na najpovoljniji način, onda se, za područje Beograda, može očekivati da će se iskoristiti do 40 odsto sunčeve energije koja na njega dospeva. U našem primeru tipične zgrade, dobro termalno izolovane, ako bi se $3/4$ južne strane iskoristilo kao kombinacija Trombovog zida i direktnog zahvata, moglo bi da se solarnom energijom podmiri do 70 odsto potreba u grejanju.

veranda umesto solarnih kolektora

Kuća sa staklenikom: Pored važne uloge u regulisanju tokova topote u pasivnoj solarnoj kući, staklena veranda značajno oplemenjuje životni prostor

30



Najprivlačniji način zahvatanja sunčeve energije u kuću ostvaruje se pomoću staklene verande na južnoj strani. Oduvek su, u stvari, bile omiljene takve kuće sa verandama, naročito u staroj balkanskoj arhitekturi, ali, kao što ćemo videti, prednosti koje staklena veranda pruža nisu ni izdaleka bile korišćene, pa čak ni uočene. Oslanjanje jedino na iskustvo, makar ono bilo i vekovno, nije bilo dovoljno da se dođe do saznanja kako najbolje zahvatiti sunce staklenikom i, još važnije, kako sačuvati zahvaćenu sunčevu energiju. Kao i u slučaju neposrednog zahvata, rezultat će zavisiti od toga šta se nalazi iza fasade verande i kako je cela kuća spregnuta sa njom u toplotnom smislu.

Dve klimatske zone

Iz dosadašnjih proučavanja proizlazi da kuća sa staklenikom predstavlja složen termodinamički sistem. Ni najveći kompjuter na svetu ne bi bio dovoljan da se na egzaktan način odredi tok svih topotnih procesa u njemu. Ipak, danas raspolaćemo približnim metodima proračunavanja ovog pasivnog sistema i u stanju smo da predskazemo njegovo ponašanje.

S jedne strane, staklena veranda ima osobine Trombovog zida, a, s druge, ponaša se kao prostorija sa direktnim zahvatom. Stoga i njenja stručna analiza ima crte jednog i drugog.

Osnovno je da se u verandi nalazi masivan zid koji treba da je lociran na mestu najveće sunčanosti i, razume se, tamno obojen. Iza njega treba da se nalaze prostorija za dnevni boravak, trpezarija, spavaće sobe i sl. On, tako, deluje kao Trombov zid. Međutim, ceo prostor staklenika u toku sunčanog dana postaje veoma topao i potrebitno je toplotu iz njega prebacivati u druge delove kuće, koji su hladniji, pa i u toplotno skladište. Obično je veranda spojena sa susednim prostorijama prostranim vratima,

koja se danju otvaraju da bi se omogućilo slobodno strujanje toplog vazduha u unutrašnjost kuće. Kod prostranijih verandi ispostavlja se da to nije dovoljno, pa se uvodi i dodatni cirkulacioni sistem sa ventilatorom, koji ostvaruje jače kružno strujanje toplog vazduha i bolju izmenu topote.

Zahvatanje sunčeve energije preko staklenika znači, u stvari, podelu objekta na dve klimatske zone, jednu, u stakleniku, u kojoj se dozvoljavaju relativno velika temperaturska kolebanja, i drugu, u prostorijama u kojima se stalno boravi i u kojima se temperatura održava u uskim granicama. Na taj način se prevazilazi problem preteranog zagrevanja. Višak energije ne mora da se odbacuje, nego se iz staklenika odvodi u toplotno skladište, koje je najpogodnije postaviti ispod prostorija za dnevni boravak.

Pogodnom konstrukcijom zgrade topli vazduh iz staklenika može da se odvodi kroz tavanicu, zatim kroz suprotni zid i, tek onda, kroz kameni skladište ispod poda. Na taj način, cela kuća služi kao skladište, svi zidovi su topli, što obezbeđuje veliku topotnu inerciju.

Kuća bez peći

Solaristi koji su izgradili kuće sa grejanjem preko poda i zidova zapazili su jedan nov i zanimljiv efekat. U takvoj kući, naime, nije potrebno održavati temperaturu vazduha na 22°C , kako je inače uobičajeno, već svega na 18°C . Zbog zračenja sa toplih zidova i poda, stanari imaju utisak da je temperatura u prostorijama viša za nekoliko stepeni. Ovo, pored ugodnosti, dovodi do znatne uštede u potrebnoj grejnoj energiji, jer smanjuje topotne gubitke.

Solarne kuće koje projektuju „Boris Kidrič“ i „Naš stan“ većinom koriste upravo ova najsavremenija rešenja.