

Trombov zid (sl. 49) je obojen crnom ili nekom drugom tamnom bojom i pokriven s jednim ili više staklenih pokrivača, na rastojanju 2–10 cm. Sunčev zračenje pada na zid i u njemu se apsorbuje, što dovodi do njegovog zagrevanja. Toplota se postepeno provodi ka unutrašnjoj strani zida i, kako dan odmiče, ta strana je sve toplijia. Trombov zid, dakle, služi kao solarni prijemnik, zatim kao toplotno skladište i, najzad, kao grejno telo.

On se često izvodi i s otvorima na dnu i vrhu. Topao vazduh, zagrejan zidom, penje se uz njega i kroz gornji otvor prolazi u prostoriju, kruži kroz ovu i, pošto se rashladio na suprotnoj strani, pada i ulazi u trombov zid kroz donji otvor. Ovim se poboljšava odvođenje toplote iz zida u prostoriju. Taj proces se može pospešiti uvodenjem ventilatora u jedan od otvora. U tom slučaju je moguće topao vazduh voditi kroz kanale na tavanici, suprotnom zidu i podu, tako da se u prostoriji ne oseća suvišna ventilacija.

Masa zida (M) se određuje na osnovu količine sunčane energije koja po sunčanom januarskom danu prolazi kroz dva stakla. (Kao što smo naveli, u Beogradu ona iznosi $4 \text{ kWh/m}^2 = 14,4 \text{ MJ/m}^2$). Kad se ta energija (Q_s) apsorbuje u zidu, njegova temperatura poraste za $\Delta T = Q_s/MC$, gde je C specifična toplota zida. Taj porast temperature ne sme da bude previsok; neka je, recimo, 10°C (s 18 na 28°C). Ne treba da očekujemo, međutim, da će sva energija koja pada na trombov zid biti uskladištena u njemu. Jedan njen deo se gubi kroz staklene pokrivače, a drugi odlazi u kućne prostorije. Najviše što se može očekivati jeste da se $2/3$ te energije zadrži u zidu, te računajmo s tom vrednošću. Tada neophodna masa zida iznosi:

$$M = \frac{2Q_s}{3 \cdot C \cdot \Delta T} = \frac{2}{3} \cdot \frac{14,4 \cdot 10^6}{838 \cdot 10} = 1145 \text{ kg/m}^2,$$

što odgovara debljini zida $d = M/\rho = \frac{1145}{2300} = 0,49 \text{ m}$ (uzeli smo da je zid od betona).

Trombov zid je, dakle, znatno deblji od uobičajenih betonskih zidova, pa je i relativno skuplj. Sem toga, pri takvoj debljini javlja se i problem transporta toplote od jedne strane do druge. Što je zid deblji, to toplota kasnije pristiže u unutrašnjost kuće. U drugu ruku, deblji zid je pogodan jer smanjuje temperaturno kolebanje. Na tabeli 13 dato je vreme pojave temperaturnog maksimuma na unutrašnjoj strani zida, kao i veličina temperaturnog otklona na njoj ako zid nema ventilacione otvore.

Tabela 13.

Debljina zida cm	Temperaturni otklon °C	Čas temperaturnog maksimuma
20	8	18
30	4	20
40	2	22,30
50	1	0,30
60	0,4	4,30

Vidimo da je za debljinu zida od 50 cm kašnjenje u prenosu toplote preveliko, a temperaturni otklon nepotrebno mali.

Rešenje ovog problema leži u smanjenju debljine zida i u boljem prenošenju toplote na druge zidove u zgradbi. Ako usvojimo debljinu zida od 35 cm, onda će temperaturni otklon na unutrašnjem zidu biti dovoljno mali a zid će još uvek moći da prihvati skoro polovinu energije koja pada na njega. Temperaturni maksimum će tada doći u prihvatljivo vreme (oko 21 čas).

Ukoliko zid ima ventilacione otvore, čija površina iznosi 3 posto površine zida, temperaturni otklon se može izračunati po obrascu

$$\Delta T_o = 0,65 \Delta T_s,$$

gde je ΔT_s dato u grafikonu na sl. 46a.

U našem primeru $\Delta T_o = 0,65 \cdot 16,6 = 10,8^\circ\text{C}$, pa maksimalne i minimalne temperature u kući iznose po januarskom sunčanom danu

$$T_{\max} = -0,5 + 16,6 + 10,8 = 27,9^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\min} = -0,5 + 16,6 - 10,8 = 5,3^{\circ}\text{C}.$$

Ako je, međutim, u trombov zid ugrađena noćna zavesa, onda će temperaturno kolebanje biti veće. U tom slučaju moraće se otvarati prozori i ispuštati toplota, ukoliko nisu ugrađena pomoćna kamena skladišta koja bi primila njen višak. Solarni inženjer je u stanju da debeljinu zida optimalizuje prema datim uslovima kako bi zahvatanje energije bilo maksimalno a temperaturno kolebanje prihvatljivo.

Vodeni zid. Umesto tvrdog materijala može se u trombovom zidu koristiti metalni sud napunjen vodom, što ima više prednosti. Voda je dva puta bolji akumulator, te je zid tanji, a sem toga se, usled termalnih strujanja, toplota brzo prenosi s njegove spoljašnje na unutrašnju stranu. Ponašanje vodenog zida se, dakle, osetno razlikuje od ponašanja čvrstog.

Poznato i već pomenuto rešenje Amerikanca Stiva Bera, koji je iza staklenih prozora postavio tamno obojenu metalnu burad (za benzin) napunjenu vodom, može se smatrati i vodenim zidom.

Jednu od najnovijih varijanti vodenog zida predstavlja providan voden zid, usavršen na Univerzitetu Ejms (SAD). Voda se u tom zidu (koji nazivaju transwall) nalazi u staklenoj posudi, sličnoj akvarijumskoj. U posudu je stavljena tanka vertikalna ploča od delimično obojenog plastika. Sunčana energija se apsorbuje najviše ovom pločom, zatim u vodi i staklenim zidovima, a samo jedan njen deo prolazi u prostoriju. Na taj način se u prostoriji dobija dovoljno svetlosti, a kroz zid se vidi okolina gotovo kao kroz pravi, normalan prozor.

I voden zid i transvol su, međutim, tehnološki složeniji, pogotovu za naše uslove, pa treba dobro razmislići da li su njihove prednosti vredne dodatnih ulaganja i rizika (korozija suda, popuštanje njegove zaptivenosti, problem održavanja kvaliteta vode i dr.).

Što se tiče boje trombovog zida, upotrebe zastora, broja stakala, nadstrešnice i drugog, uglavnom važe ista pravila kao i za direktni zahvat solarne energije.

Jedan od načina da se trombovom zidu poveća zahvat Sunčevog zračenja sastoji se u upotrebi horizontalnog reflektora, postavljenog ispred zida. Ovaj način nije praktičan pri direktnom zahvatu, jer tada reflektor baca na prozore neprijatan blesak.

Korisno je da reflektor služi i kao termalni zastor, koji se danju spušta u horizontalan položaj a noću podiže uza zid, poput mosta na srednjovekovnim zamkovima, i prekriva ga. Zastor je, dakle, u ovom slučaju s unutrašnje strane pokriven reflektorem, obično aluminijumskim. To je pogodno rešenje i stoga što se po potrebi može birati ugao reflektora.

Ponekad se i sama priroda postara da postavi reflektor – u obliku snežnog pokrivača. Stepen refleksije na snegu dostiže 70 posto.

Grafikoni na sl. 45 i sl. 46 izračunati su uz pretpostavku da okolina ima prosečan koeficijent refleksije (RO) od 0,3. Zračenje okoline je uglavnom difuzno, sem kada se ispred objekta nalazi posebna površina (npr. zgrada s metalnim krovom, vodena površina i sl.). Za $RO=0,3$, količina zahvaćene energije povećava se i do 20 posto.

Posebnim, sjajnim reflektorm može se postići povećanje faktora USE i do 50 posto. Taj račun je nešto složeniji. Za Beograd, optimalni položaj reflektora prema zidu nije horizontalan, već leži pod uglom od 100° (dakle 10° ispod horizontale).

Učinak trombovog zida. Iz grafikona na sl. 45 i sl. 46 vidi se da se pomoću trombovog zida može, za istu prijemnu površinu, apsorbovati više sunčane energije nego direktnim zahvatom. Ta razlika je naročito izražena ukoliko se ne koriste noćni zastori, što se može i očekivati, jer se noću kroz prozore gubi mnogo više energije nego kroz trombov zid.

U praksi se, međutim, retko koristi samo jedan način zahvata. Na južnoj strani zgrade obično moramo da

ostavimo i prozore, tako da se dobija mešovit sistem – trombov zid plus direktni zahvat. U tom slučaju s grafikona treba uzimati vrednost USE za ukupni odnos TO/P kao da se sva prijemna površina sastoji od trombovog zida, zatim kao da se radi samo o direktnom zahvatu, i onda treba naći prosečni iznos ove dve vrednosti, uzimajući ih u procentima koji odgovaraju prijemnim površinama. Na primer, neka prijemna površina naše zgrade u Beogradu od 40 m^2 sadrži 24 m^2 trombovog zida i 16 m^2 prozora bez zastora. Iz grafikona na sl. 45 nalazimo da bi trombov zid od 40 m^2 dao $\text{USE}=0,33$ a direktni zahvat 0,22. Pošto trombov zid čini $24/40=0,6$, ili 60 posto prijemne površine, a prozori 40 posto, to je stvarna vrednost $\text{USE}=0,6 \cdot 0,33 + 0,4 \cdot 0,22 = 0,28$, odnosno 28 posto.

U ovoj knjizi dajemo grafikone samo za Beograd i Budvu, koje je autor do sada uspeo da izradi. Ova dva grada su izabrana kao reprezentativne lokacije za najveći deo Jugoslavije. Beograd se može uzeti kao tipično mesto za unutrašnjost zemlje, a Budva za Primorje. Bilo bi, zacelo, od velike vrednosti da se slični grafikoni, kao i mnogi drugi neophodni za projektovanje, pripreme za druge lokacije u Jugoslaviji. To je zamašan posao i zahteva ozbiljnu materijalnu i kadrovsku potporu. Nadajmo se da će se naći neka organizacija, samoupravna zajednica ili društveni organ koji će uvideti značaj tog zadatka i pomoći da se on ostvari.

SOLARNA KUĆA SA STAKLENIKOM

*Ditirambo suncu peva pčela
Sve reči od same vatre.*

Jovan Dučić

U toku proteklete decenije bilo je na hiljade pokušaja da se sunce na najbolji način uvede u kuću, i vreme je da sumiramo postignute rezultate i da iz svih tih iskustava

izdvojimo osobine koje bi prihvatljivo rešenje moralo da ima. Prvorazredni značaj pridajemo, naravno, ceni, i na tom ispitu mnoga rešenja padaju. Zatim dolazi učinak solarnog sistema, tj. njegova sposobnost da zahvati veći deo sunčane energije, i to u najtežim, zimskim mesecima. Tražimo, dalje, da rešenje bude prihvatljivo s estetske strane i da ostavlja dovoljno prostora za pogodno arhitektonsko i funkcionalno oblikovanje zgrade. Najzad, tražimo i da ne pogoršava ugodnost življena u njoj.

Iz onoga što smo do sada prikazali u ovom pregledu, a što je, nadamo se, veran odraz sadašnjeg stanja solarne tehnologije, proizlazi da prihvatljivo rešenje treba tražiti u pretvaranju kuće u prijemnik. Odgovarajuća iskustva, pak, ukazuju nam dalje šta kuća prijemnik podrazumeva: pre svega, veliku prijemnu površinu – koja u oštijim klimatskim uslovima mora da obuhvati praktično celu južnu stranu; velike mase za skladištenje toplote; izvrsnu toplotnu izolaciju s noćnim zastorima; nesmetano osunčavanje vertikalnih južnih površina. Od ovakve kuće se očekuje da zadovolji bar tri četvrtine grejnih potreba i da ne bude podložna preteranim toplotnim kolebanjima.

Videli smo da pri direktnom zahvatu imamo problema s pregrevanjem zgrada, što utiče na udobnost stanovanja i ograničava iskorišćenje sunčane energije. Trombov zid takođe ima nedostataka u tom pogledu, a sem toga se na estetskoj osnovi može zameriti slepom zastakljivanju cele južne strane.

Izgleda, stoga, da u traganju za pravim rešenjem problema konstrukcije kuće prijemnika moramo da učinimo korak dalje. Taj korak se sastoji u podeli kuće na dve klimatske zone: jednu, staklenik prigradenju južnoj strani, gde se dozvoljavaju relativno velika temperaturna kolebanja, i drugu, prostorije za dnevni boravak, gde se temperatura održava u uskim granicama. Na taj način se prevazilazi problem preteranog zagrevanja. Višak energije tada ne mora da se odbacuje, nego se iz staklenika odvodi u toplotno skladište, koje je najpogodnije postaviti ispod prostorija za dnevni boravak.

Uvođenjem staklenika kuća se, takođe, štiti od noćnog rashlađivanja s južne strane, koje se pri direktnom zahvatu ne može da spreči.

Staklenik, dakle, postaje staklena veranda, koja ne predstavlja novinu u arhitekturi. Naprotiv, ona je u mnogim tipovima kuća omiljen element. Stara balkanska ili novija engleska arhitektura kuće, na primer, ne mogu se zamisliti bez neke vrste staklene verande, i to, razume se, s južne strane. Lep izgled kuće, kao i pogled iz nje, zatim ugodna Sunčeva toplota u određenim periodima godine, prostor za malo zelene oaze u kući – to su bile ubedljive prednosti zastakljene verande. Ali, kao što ćemo videti, sve prednosti koje ona pruža nisu ni izdaleka bile korišćene, pa ni uočene. Oslanjanje jedino na iskustvo, makar ono bilo i vekovno, ni u ovom slučaju nije bilo dovoljno da se dođe do saznanja kako najbolje zahvatiti sunce staklenikom i, što je još važnije, kako sačuvati zahvaćenu sunčanu energiju. Kao i pri neposrednom zahvatu kroz prozore, rezultat će zavisiti od toga šta se nalazi iza stakala verande i kako je cela kuća spregnuta s njom. A za pravo rešenje potrebno je osloniti se na naučna saznanja. Naučni pristup dao je verandi nove kvalitete, pa je ona dobila i novo ime – *sunčani prostor* (na engleskom sun space).

Iz dosadašnjih proučavanja proizlazi da kuća sa staklenikom predstavlja složen termodinamički sistem, složeniji od drugih vrsta pasivnih solarnih sistema. Ni najveći kompjuter na svetu ne bi mogao da na egzaktan način opiše tok svih toplotnih i drugih procesa u njoj. Ipak, danas raspolaćemo približnim metodama proračunavanja ponašanja tog pasivnog sistema i u stanju smo da ga predvidimo.

S jedne strane, staklena veranda ima osobine trombovog zida, a s druge se ponaša kao prostorija s direktnim zahvatom. Stoga su u njenoj stručnoj analizi zastupljene odlike i jednog i drugog, kao i njene sopstvene.

Kao i u trombovom zidu, u okviru verande je poželjno da imamo veću, tamno obojenu masu, lociranu na mestu najveće sunčanosti. To je obično pregradni zid između verande i glavnih prostorija u kući (dnevne sobe, trpezarije,

spavaćih soba i dr.), ali može da bude i masa posebno namenjena za zahvatanje sunčane energije. Međutim, ceo prostor staklenika postaje u toku sunčanog dana veoma topao i potrebno 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 verandi koje zahvataju veći deo južne strane kuće ispostavlja se da to nije dovoljno, pa se uvodi i dodatni cirkulacioni sistem s ventilatorom, kojim se postiže jače kružno strujanje toplog vazduha i bolja izmena toplove.

U pogodno konstruisanoj zgradi topli vazduh iz staklenika može da se provodi 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 i toplotna inercija je velika.

Solaristi koji su izgradili kuće s podnim i zidnim grejanjem 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 toplotnog zračenja sa zidova i, naročito, s poda stanari imaju utisak kao da je temperatura u prostorijama viša za nekoliko stepeni (Balkom, čiju smo kuću pomenuli, u svom izveštaju o njenom ponašanju primećuje da članovi njegove porodice i posle dve godine s nevericom gledaju u termometre, koji u tako ugodnoj kući pokazuju svega 18°C). Ovo, pored ugodnosti, dovodi do znatne uštede grejne energije, jer smanjuje toplotne gubitke. A da je to veliki efekat pokazuje ova prosta računica. Za prosečnu zimsku temperaturu u Beogradu od $+6^{\circ}\text{C}$ imaćemo, pri grejanju prostorija na 22°C , temperaturnu razliku prema okolini od 16°C , a za grejanje na 18°C temperaturnu razliku od 12°C . Toplotni gubici su srazmerni ovim razlikama, te će u drugom slučaju biti manji za $(16 - 12)/16 = 0,25$, tj. za 25 posto.

Toplotni bilans kuće sa staklenikom. Inženjerska metodologija projektovanja kuće sa staklenikom još nije dovoljno razvijena u svetu. To je zbog toga što je, s jedne strane,

taj pristup zahvatanju sunca sasvim nov i, s druge, veoma složen. On se ne može adekvatno opisati samo na osnovu odnosa prijemne staklene površine prema toplotnom opterećenju, jer njegovo ponašanje zavisi u velikoj meri od opšte koncepcije zgrade. Autor ove knjige je u projektovanju zgrada sa staklenikom koristio metode proračuna za sistem sa solarnim vazdušnim prijemnicima, što staklena veranda u stvari i jeste. Pri tome su za pojedine parametre korišćeni mereni podaci o ponašanju takvih kuća objavljeni u svetskoj literaturi.

I pored ovih teškoća, moguće je dati opšta pravila, dovoljna za prvu i osnovnu orientaciju projektanta.

Najvažnije je pravilno odrediti raspodelu sunčane energije koju zahvata staklenik. A ta energija može da bude znatna, jer nema nikakvih ozbiljnih primedbi na to da staklenik obuhvati celu južnu stranu kuće ili njen najveći deo. U našem primeru, tako, prijemna površina staklenika može da bude 70 m^2 , i to postavljena pod efektivnim nagibom od 60° , koji je povoljniji nego onaj od 90° . U prostor staklenika te površine dospeva sunčanog januarskog podneva kroz dva stakla Sunčeva snaga od 50 kW ! A u toku celog dana količina prispele energije iznosi 290 KWh . Šta uraditi s tolikom energijom?

Jedan njen deo se odmah gubi iz staklenika; taj gubitak zavisi od prosečne temperaturne razlike između staklenika i okoline, kao i od osobina staklenika (broja stakala, zaptivenosti i dr.). Za ostatak se moramo postarat.

Ispostavlja se da je neophodno koristiti gotovo sva raspoloživa sredstva da bismo ovu energiju uskladištili i sačuvali za noć i hladnije dane. Kao što smo već rekli, koristimo i masivni zid u stakleniku, i prirodno strujanje vazduha kroz prostrana vrata, i prinudnu cirkulaciju pomoću ventilatora. Prema dosadašnjim iskustvima s ovim tipom kuće, izgleda da je najbolje energiju koja se zadrži u stakleniku raspodeliti na tri podjednaka dela, pa jedan deo deponovati u njegov zid, drugi u ostale delove kuće i treći u posebno skladište.

Ako prihvatimo takvu raspodelu, onda slede izračunavanja pojedinih elemenata sistema. Karakteristike zida u

stakleniku određujemo na način koji smo ocrtali za trombov zid. U ovom slučaju, međutim, ne moramo previše da brinemo ni o pregrevanju zida ni o vremenu kašnjenja dotoka toplote na njegovu unutrašnju stranu. Budući da je sad kuća dobro povezana sa staklenikom, ti se problemi rešavaju delom spontano, a delom i automatskom regulacijom. Jer pored prirodnog strujanja vazduha, koji odnosi toplotu u druge delove kuće, koristimo i ventilatorski sistem, kojim možemo da veću ili manju količinu toplote prenesemo u skladište.

*Proračun skladišta**. Odlučivši se da trećinu zahvaćene energije ($1/3 Q_s$) sunčanog zimskog dana prebacimo u skladište, učinili smo prvi korak u njegovom dimenzioniranju. Neophodna masa skladišta zavisi od količine te energije i od dozvoljenog porasta temperature. Budući da nam skladište služi za podno grejanje, ne smemo ići na temperature iznad 22°C . A koja je početna temperatura skladišta? Moramo da pretpostavimo da je bilo više uzastopnih sunčanih dana i da temperatura skladišta nije previše niska, pogotovo zato što prostoriju iznad njega održavamo na 18°C . Iz iskustva se zna da temperatura skladišta tada ne pada ispod 16°C . Porast temperature je, dakle, 6°C , pa je neophodna masa data obrascem $M = 1/3 Q_s/c \cdot \Delta T = 1/3 Q_s/c \cdot 6$.

Kameno skladište treba da ima dobru propusnu moć, a to ćemo obezbediti ako upotrebimo gradirani kamen koji je u proseku otprilike veličine pesnice. Tada popunjeno prostora kamenom iznosi 58 posto, te je, za gustinu kamena od 1600 kg/m^3 , gustina skladišta $1600 \cdot 0,58 = 928 \text{ kg/m}^3$. Pošto je specifični toplotni kapacitet kamena 886 J/kgK , skladište može da prihvati $886 \cdot 928 = 822 \text{ kJ/m}^3\text{K}$ topotne energije. Sada možemo direktno da izračunamo zapreminu skladišta: $V_s = 1/3 Q_s/C_v \cdot \Delta T = 1/3 Q_s/6 \cdot 822 = Q_s/15876$, gde za Q_s treba da uvrstimo energiju u kilodžulima.

Za naš primer, ako usvojimo površinu staklenika od 40 m^2 , imaćemo:

$$Q_s = 40 \cdot 14,6 = 584 \text{ MJ/dan}$$

i, dalje

$$V_s = Q_s / 15\ 876 = 584\ 000 / 15\ 874 = 37 \text{ m}^3.$$

Sada treba ovu zapreminu da rasporedimo ispod podova. Neka se skladište nalazi ispod poda prizemlja na površini od 60 m^2 . Tada je debljina kamenog sloja $d = 37/60 = 0,61 \text{ m}$.

Podno skladište treba da ima dobru termoizolaciju i hidroizolaciju sa svih strana osim na podu. Izolacija od poliuretana debljine 10 cm bila bi zadovoljavajuća. Ravnomerni tok vazduha kroz celu zapreminu skladišta obezbeđuje se spojnim ulaznim i izlaznim kanalima.

Skladište s rečnim kamenom prečnika od nekoliko santimetara ima dobru propusnu moć, te pad pritiska u tipičnom skladištu, kakvo je u našem primeru, iznosi svega nekoliko milimetara vodenog stuba.

*Protok vazduha kroz skladište**. Da bismo odabrali neophodan ventilator, potreban nam je podatak o protoku vazduha. Količina energije koju vazduh može da primi i prenese iznosi

$$Q_v = C_v \cdot M_v \cdot \Delta T_v = 1\ 020 \cdot M \cdot \Delta T_v,$$

i ona treba da bude jednaka $1/3 Q_s$. U januaru sunčana energija prispeva u dovoljnoj količini samo sredinom dana, te uzimamo da je treba transportovati prosečno za 6 časova. Tada je protok vazduha

$$F_v [\text{m}^3/\text{h}] = 1/6 \cdot 1/3 Q_s [\text{J}] \frac{0}{1,2 [\text{kg/m}^3] \cdot 1\ 020 [\text{J/kgK}] \cdot \Delta T_v [\text{K}]}$$

tj.

$$F_v = Q_s / 22\ 032 \Delta T = 45,4 \cdot Q_s [\text{MJ}] / \Delta T_v [\text{K}].$$

Opet imamo iskustveno pravilo da porast temperature vazduha (ΔT_v) može da bude dva puta veći od porasta temperature skladišta. Računamo, tako, da se vazduh koji iz skladišta dospeva u staklenik zagreva za, recimo, 10°C , pa je $F_v = 4,54 \cdot Q_s$.

U našem primeru $Q_s = 584 \text{ MJ/dan}$, te je $F_v = 2\ 651 \text{ m}^3/\text{h}$ ili $0,74 \text{ m}^3/\text{min}$.

Na osnovu protoka vazduha i otpora toku fluida u spojnim kanalima i skladištu, biramo ventilator odgovarajućeg kapaciteta i potisne moći. Razume se da možemo da upotrebimo i dva ili više ventilatora, u zavisnosti od toga što šta nude proizvođači.

Zidovi i tavanice kao deo grejnog sistema. Poželjno je da iskoristimo tavanice i zidove kao elemente skladišta i da kroz njih vodimo vazdušni tok. S malo dodatnog truda, to je moguće izvesti korišćenjem standardnih građevinskih elemenata kakvi se u nas najčešće upotrebljavaju u gradnji kuća. Ako gradimo tavanicu od šupljih opeka („montaopeke“), dobijemo idealne kanale duž pojedinih nosećih greda. Ali, treba obezbediti ulaz u te kanale i – dok se proizvođači tih opeka ne reše da usavrše posebne spojne elemente – spojni kanal se mora na licu mesta ugrađivati. Slično važi i za zidove, koji se grade od šupljih cigala blokova. Njih bi trebalo podizati tako da se obezbedi nesmetano pranja vazduha po vertikalnim kanalima, a pri vrhu i dnu takođe treba obezbediti pristupne kanale. U vezi s ovim, pred ciglarskom industrijom postavlja se zadatak usavršavanja šupljih blok-cigala takvog oblika koji će omogućiti da se, bez ikakvih posebnih postupaka u zidanju, dobiju potrebni kanali. Sem toga, neophodni su i spojni elementi za povezivanje zida s tavanicom i podom.

Čak i da korišćenje solarne energije ne pruža motiv za usavršavanje ovih opeka, bilo bi korisno da se one usavrše kao elementi vazdušnog grejnog sistema. Ranije smo ukazali na prednosti vazdušnog nad vodenim grejanjem. Upotrebom standardnih građevinskih elemenata u zidovima i podu kao grejnih tela izbegava se instaliranje skupog centralnog sistema s vodenim radijatorima, dobija se u korisnom stambenom prostoru, a grejna temperatura u kući se može smanjiti na 18°C . Pored toga, zidovi i pod se mogu koristiti kao termoakumulaciono skladište, obezbeđujući tako grejanje noćnom električnom energijom, bilo direktno ili preko toplotne pumpe.

Staklenik. Staklenik je najskuplji deo ovog tipa samogrejne solarne kuće i stoga, ako želimo da pojeftinimo

zahvatanje sunčane energije, treba da obratimo posebnu pažnju na njegovo projektovanje. Za većinu naših krajeva neophodno je da stakla na njemu budu dvostruka. Staklo je, međutim, u nas skupo, a ovaj zahtev se odnosi samo na najhladnije mesece – decembar, januar i februar – te treba razmišljati o tome da se u stakleniku ugrade jednostruka stakla a da se u hladnom periodu dodaju, s unutrašnje strane, jednostavni ramovi s jeftinom providnom plastičnom folijom (npr. od polietilena). Jer, pored uštede u staklu, i noseća konstrukcija za jednostruka staklą može da bude znatno jeftinija od one za dvostruka; sem toga, ta bi se konstrukcija tada mogla proizvoditi od posebnih aluminijumskih profila „na metar“, pogodnih za samogradnju. S druge strane, pošto se plastična folija dodaje s unutrašnje strane, zaštićena je od ultraljubičastih radijacija i od vremenskih uticaja, te može da bude od jeftinog plastika a da dugo traje, pogotovo što se koristi samo sezonski. U svakom slučaju, na dnevnom redu je zadatak da se konstruiše jeftin, funkcionalan i estetski prihvatljiv staklenik.

Što se tiče zida u stakleniku, njegove mase i boje, važe slična pravila kao za trombov zid. U ovom slučaju, međutim, računamo, kao što smo naveli, da u zidu uskladištimo svega 1/3 zahvaćene sunčane energije. Određenu ulogu u tome igra i pod staklenika. Ako želimo da nam staklenik služi i kao zimska bašta, onda je korisno da mu se pod danju zagreva da bi noću obezbedio u njemu temperaturu iznad nule. Dovoljno je da pod bude betonski, ubičajene debljine i izvedbe.

Termalni zastori su i ovde veoma važni, ali možemo da biramo gde ćemo ih postaviti: na zid koji deli kuću od staklenika ili na same njegove prozore. U prvom slučaju zastori su manji i lakše ih je izvesti, ali se u drugom i staklenik štiti od noćnog hlađenja.

Gajenje biljaka u staklenoj verandi iziskuje energiju, koja se najvećim delom troši na njihov proces fotosinteze i isparavanje. Balkom, o čijoj kući će biti više reči, ustanovio je da oko 10 posto energije koju zahvata staklenik ide na isparavanje. Ali ta energija nije izgubljena, jer u stambenim

prostorijama je neophodno održavati određenu vlažnost vazduha, i ovo je možda najbolji način za to, pošto svež vazduh kuća dobija preko staklenika. U Balkomovoј kući vlažnost se, na taj način, spontano održavala u granicama od 30 do 50 posto.

Uvođenje zelene oaze u stambeni prostor možda predstavlja najlepšu stranu ove vrste solarne kuće. U projektima koje nude Institut u Vinči i RO Naš stan u Beogradu, inače pioniri samogrejnih solarnih kuća u nas, pored tehničkog opisa solarnog sistema nalazi se i jedna, za takve tehničke dokumente neuobičajena poruka, koju vredi citirati u vezi s tom funkcijom staklenika: „Staklena veranda je projektovana tako da ni najhladnijih dana temperatura u njoj ne pada ispod nule. Uz to je i dovoljno prostrana, tako da se u njoj tokom cele godine može gajiti cveće i povrće. Bićete ispunjeni ponosom kada usred cice zime budete poslužili goste sopstvenom zelenom salatom, paradajzom i drugim, ili kada vaše ruže budu prkosile snežnoj vejavici. Stoga verandu ne smatrajte samo solarnim troškom nego i korisnim prostorom koji može da poboljša kvalitet vašeg življenja. Pretvorite je u staklenu baštu, jer ćete se tako vratiti prirodi preko svog doma“. „Sunčani prostor“, ako je dobro projektovan, odista predstavlja kvalitetno nov element stana, i navedenu poruku ne treba shvatiti kao frazu. Nadajmo se da u našoj arhitekturi stambenih zgrada staklena veranda neće više biti izuzetak, nego da će postati pravilo.

Učinak kuće sa staklenikom. Kao što smo naglasili, tek nam predstoji da razradimo pogodne grafikone i tabele za brzo i lako projektovanje solarne kuće sa staklenikom. Autor je izračunao ponašanje takve kuće u beogradskim klimatskim uslovima, ali za relativno mali raspon veličina staklenika, tako da se za sada mogu povući samo provizorne krive, poput onih na sl. 45 i 46. Kuća sa staklenikom daje znatno bolje rezultate od drugih vrsta pasivnih solarnih kuća. U poređenju s kućom s trombovim zidom, a za isti odnos topotognog opterećenja prema prijemnoj staklenoj površini, ideo sunčane energije u grejanju zgrade

je 20–30 posto veći, pod uslovom, razume se, da se poštuju sva pravila o kojima smo govorili.

Prosledimo primer naše kuće, prepostavljajući da se ona nalazi u Beogradu i ima staklenik površine 40 m^2 , i izračunajmo njen zahvat solarne energije. Izračunavamo priliv sunčane energije u staklenik po mesecima i oduzimamo njen odliv iz njega na osnovu prosečnih temperaturnih razlika između staklenika i okoline. Tako dobijamo korisnu zahvaćenu energiju. S druge strane, izračunavamo neophodnu grejnu energiju, takođe po mesecima. Upoređujući ovu sa zahvaćenom energijom, dolazimo do podatka o učešću sunčane energije u grejanju. Rezultati ovakvih računa dati su na tabeli 14.

Tabela 14.

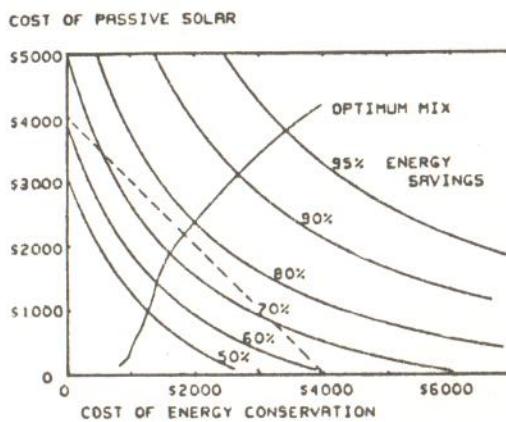
Mesec	Potrebna grejna energija MJ/mesec*	Dotok sunčane energije na staklenik MJ/mesec	Dotok sunčane energije u staklenik MJ/mesec	Gubici energije iz staklenika MJ/mesec	Zahvaćena sunčana energija MJ/mesec	Pomoćna energija MJ/mesec
Januar	10 668	13 320	9 200	4 571	4 629	6 029
Februar	8 690	17 080	11 120	3 970	7 150	1 540
Mart	6 666	21 600	13 320	3 404	9 916	
April	3 398	22 360	12 560	2 118	10 442	
Oktobar	3 175	23 200	14 400	2 112	12 288	
Novembar	6 294	13 280	8 640	3 456	5 184	1 110
Decembar	7 725	10 148	6 480	4 089	2 391	5 344
Svega	46 606	120 988	67 440	23 720	43 720	14 023

* MJ – megadžul

Vidi se da u toku grejne sezone, uglavnom u decembru i januaru, nedostaje 14 023 MJ, odnosno 3 895 kWh. Pošto je za grejanje kuće ukupno potrebno 46 606 MJ, odnosno 12 946 kWh, to proizlazi da sunčana energija doprinosi 9 051 kWh, odnosno 70 posto. Iz dijagrama na sl. 45 vidi se da bi s trombovim zidom udeo sunčane energije iznosio 53 posto.

Štedeti energiju ili hvatati sunce? Iz dosadašnjeg izlaganja o problemu grejanja zgrada proizlazi da postoje dva

efektivna načina da se smanji potrošnja grejne energije, a to su minimatiziranje njenih gubitaka, prvenstveno boljom toplotnom izolacijom zgrade, i zahvatanje sunčane energije. Neki stručnjaci smatraju da je prvi način efikasniji i ekonomičniji, pa preporučuju superizolaciju zgrade kako bi se toplotni gubici sveli na minimum. Drugi pak smatraju da, pored mera konzervacije, ne treba izostaviti ni pasivni zahvat sunčane energije. Koje je shvatanje pravilnije? Ili, da postavimo pitanje preciznije, koliko treba investirati u poboljšanje izolacije a koliko u zahvatanje sunca?

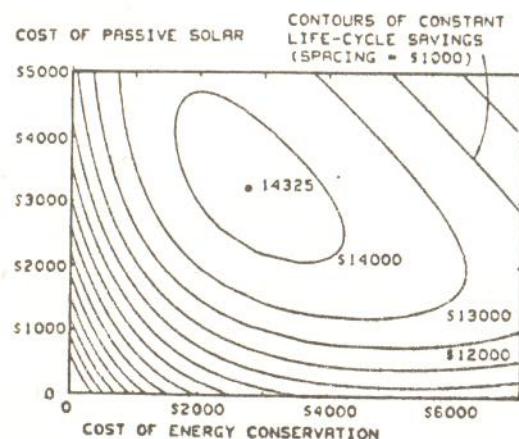


Sl. 50. Mapa ušteda energije u zavisnosti od ulaganja u očuvanje energije (apscisa) ili u pasivni zahvat sunčane energije (ordinata). Procenti na krivama označuju ukupne energetske uštede.

Ovo pitanje je bilo predmet temeljne naučne studije Dž. D. Balkoma iz Los Alamosa. Ona je pokazala da je najbolja strategija koristiti i mere konzervacije i sunčanu energiju. Pri tome se određena ušteda grejne energije postiže optimalnom podeлом (optimum mix) investicija na ta dva pristupa, koja omogućuje minimalne ukupne troškove. Njen prikaz je dat dijagramom na sl. 50. Linija optimalne podele pokazuje da u zahvat sunca treba ulagati nešto više nego u mere konzervacije (pričvršćeno u odnosu 55:45).

Balkom je obradio i pitanje kolike su očekivane uštede na izdacima za gorivo u veku jedne zgrade pri raznim

podelama fiksnih investicija u ova dva načina štednje energije. Dijagram na sl. 51 sadrži rezultate u obliku kontura određene uštede. Vidi se da je nju moguće postići različitim srazmerama investicija u konzervaciju i pasivni zahvat sunca, ali za svaku konturu konstantne uštede postoji optimalna tačka, koja pokazuje kako treba podeliti investicije. Ovaj dijagram podseća na topografsku mapu s izohipsama i u čijem je središtu prilično zaravnjen vrh. To znači da postoji maksimalno moguća ušteda, a najbolji put do nje ide linijom optimalne podele sa sl. 50. Ako želimo, na primer, da postignemo uštetu grejne energije od 80 posto, treba da u očuvanje energije investiramo 2 000 dolara, a u pasivni zahvat sunca 2 500 dolara. Tada će čista ušteda, po odbitku svih troškova, iznositi 13 500 dolara.



Sl. 51. Konture finansijskih ušteda u veku zgrade u poređenju s konvencionalnom kućom. Koordinate su iste kao na sl. 50.

Gornji dijagrami važe za Dodž Siti (Kanzas) i za američke uslove, te se ne mogu mehanički koristiti za druge, ali glavni zaključci imaju opštiju važnost i mogu se uzeti kao rukovodeće načelo u određivanju strategije u projektovanju kuća.

VIII

PRIMERI USPELIH SOLARNIH KUĆA

*Pod Učkam kućice
bele,
miće kot suzice vele.
.....*

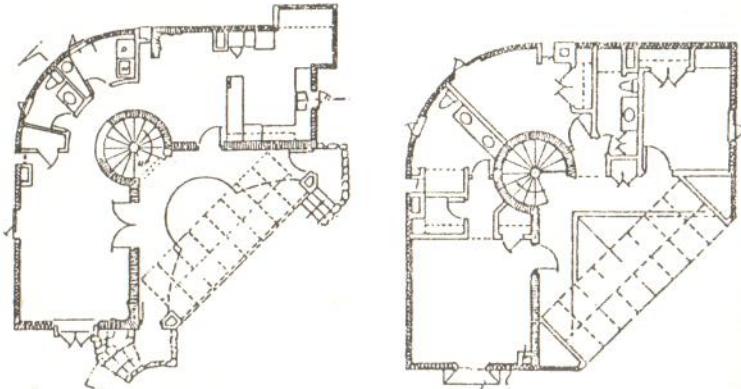
*Na sunce se kućice
griju,
na turne urice
biju.*

Drago Gervais

U specijalnom izdanju „Galaksije“ pod naslovom „Solarne kuće“ opisao sam 20 različitih solarnih kuća iz celog sveta za koje sam smatrao da predstavljaju uspela rešenja. Tehničke mogućnosti štampe, a i priroda tog izdanja, dozvolile su da se u njemu da izvrstan grafički i likovni prikaz solarnih kuća i, uopšte, primene solarne energije. U ovoj knjizi su grafičke mogućnosti mnogo ograničenije. Stoga, kao što sam naglasio u predgovoru, izdanje „Solarne kuće“ treba koristiti kao dopunu knjizi *Nasušno sunce*, mada su i jedno i drugo celina za sebe. U ovom odeljku prikazaćemo nekoliko najuspelijih kuća kao ilustraciju primene saznanja o kojima je bilo reči u prethodnoj glavi. No treba naglasiti da su ta saznanja skorašnja i da se tek sada grade kuće koje su u potpunosti bazirane na njima.

Balkomova kuća. Solarna kuća u Santa Feu, Novi Meksiko (SAD), čiju je solarnu koncepciju dao poznati američki stručnjak za pasivno korišćenje sunčane energije Dž. Daglas Balkom, spada u najpoznatije zgrade sa solarnim pasivnim grejanjem u svetu. Poznata je ne samo po tome što se u njoj devet desetina grejnih potreba podmiruje suncem već i zato što je najbolje naučno obrađena. U njoj je, na primer, korišćeno 86 raznih mernih senzora da bi se dobila kompletanatna slika njenog topotognog ponašanja. Opisaćemo ovu kuću detaljnije, jer se ona može smatrati uzorom u pasivnoj solarnoj arhitekturi.

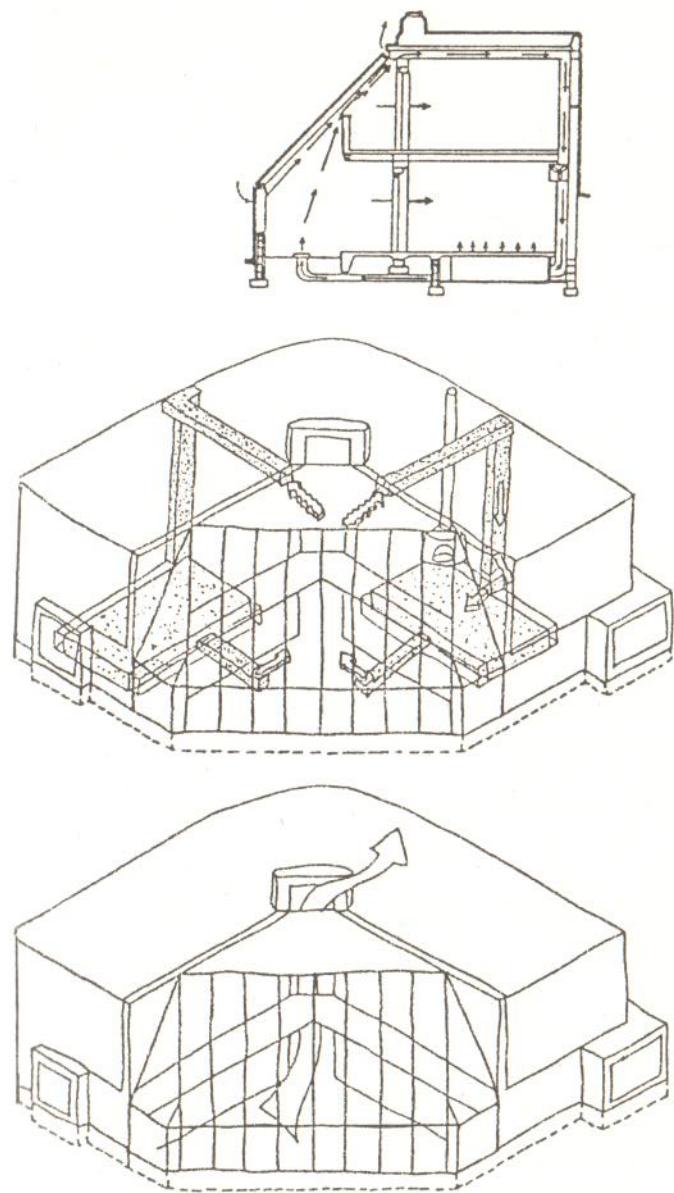
Santa Fe se nalazi na 36° severne geografske širine, na nadmorskoj visini od 2 200 m, te u njemu, iako je to predeo s dosta sunčanih časova, vlada oštra planinska klima i zimske temperature padaju duboko ispod nule. Takvi predeli, u stvari, spadaju u idealna područja za primenu sunčane energije jer, s jedne strane, imaju dovoljno sunca a, s druge, velike grejne potrebe.



Sl. 52. Plan prizemlja i sprata Balkomove kuće.

Balkomova kuća u osnovi ima oblik slova L, sastoji se od prizemlja i sprata ukupne korisne stambene površine 210 m^2 (sl. 52). U prizemlju su smeštene velika dnevna soba, trpezarija i pomoćne prostorije, a na spratu su tri spavaće sobe. Na južnoj strani je trouglasta staklena veranda s dvostrukim staklima, u čijem središtu je postavljeno stepenište, tako da se na sprat ide kroz nju. Glavni ulaz u kuću takođe vodi kroz nju. Njenà staklena površina iznosi 38 m^2 .

Veranda je osnova solarnog grejanja u Balkomovoј kući. Sunčev zračenje pada na zid od cigle, koji verandu odvaja od prostorija u kući, zagreva ga i, kako smo opisali u odeljku o pasivnom grejanju pomoću staklenika, ta toplota se prenosi ka unutrašnjoj strani zida da bi doprinela zagrevanju prostorija uveče i noću. Debljina ovog zida iznosi u prizemlju 35 cm, a na spratu 25 cm. Danju su vrata između verande i dnevne sobe obavezno otvorena da bi



Sl. 53. Šema rada Balkomove kuće.

topao vazduh iz verande prirodnim strujanjem prelazio u kuću. Ispod poda u prizemlju nalaze se kamena skladišta, koja imaju važnu ulogu u Balkomovom solarnom sistemu. Kad god je temperatura u verandi viša od temperature skladišta, uključuju se dva ventilatora, koji ostvaruju kružno strujanje vazduha: veranda – skladišta – veranda; pri tome, vazduh od staklenika do skladišta ide posebnim kanalima (sl. 53). Na taj način se jedan deo sunčane energije prebacuje u skladišta, koja, budući da nisu izolovana od poda, služe ne samo kao izvor energije za podno grejanje već, ujedno, sačinjavaju i sam sistem podnog grejanja. U tome je, razume se, velika ušteda u troškovima izgradnje kuće. U skladištima je deponovan sloj rečnog kamena (oblutaka veličine pesnice) čija debljina iznosi 60 cm a ukupna zapremina oko 20 m^3 . Prosečno se u zimskom periodu za jedan dan uskladišti do 20 kWh.

U stakleniku temperatura se menja u širokom rasponu. Sunčanog dana u podne dostiže i 30°C , a noću se spušta do 7°C . Međutim, u dnevним prostorijama se održava na $20 \pm 3^\circ\text{C}$. Temperatura poda u prizemnim prostorijama održavana je za sunčanih dana na 22°C , a za uzastopnih oblačnih dana opadala je do 18°C . Da nije upotrebljen ovaj sistem podnog grejanja, temperatura poda, pri navedenoj temperaturi prostorija, iznosila bi svega 14°C . Zbog toga se, kao što smo to ranije objasnili, u ovoj kući ima osećaj kao da je temperatura vazduha za nekoliko stepeni viša nego što stvarno jeste.

Za pomoćno grejanje u kući služila je električna energija, kao i jedna peć na drva. Termostati na električnim grejačima bili su postavljeni na 18°C , tako da se pomoćni sistem uključivao automatski kad temperatura opadne ispod ove vrednosti. U toku jedne grejne sezone je za dodatno grejanje utrošeno 745 kWh i 600 kg drveta. Sunčana energija je doprinela 14 149 kWh, što odgovara 2 242 l nafte; ili, kako Balkom s ponosom ističe, zahvaljujući zahvatanju sunčeve energije, u zemlji je ostalo neiskopano 8,9 tona uglja.

Najteži ispit kuća je imala u jednom desetodnevnom periodu kada je spoljna temperatura padala na -25°C . I

tada je, međutim, veći deo grejne energije dolazio od sunca. Električni grejači su uključivani samo rano izjutra, i to s ukupnom snagom od 1–2 kW.

Ponašanje Balkomove kuće proveravano je u toku tri sezone pomoću automatskog mernog sistema, koji je beležio veliki broj raznih parametara. U svom izveštaju Balkom sa saradnicima tvrdi da se izmereni rezultati slažu s projektovanim ponašanjem. Međutim, on još nije objavio metodologiju projektovanja ovog tipa pasivne solarne kuće. S obzirom da je njegov rad finansiralo Američko ministarstvo za energiju, možemo očekivati da će svi njegovi rezultati uskoro biti u potpunosti dostupni javnosti.

Na osnovu dosadašnjih detaljnih merenja, koja su još u toku, on je izvukao niz veoma korisnih zaključaka o stakleniku, prenošenju toploće kroz zidove, prirodnim strujanjima vazduha u kući i dr. Na primer, temperatura u stakleniku nikad nije padala ispod $+7^\circ\text{C}$, a za sunčanih dana rasla je ponekad i do 32°C . Za njegovo provetrvanje leti predviđen je jedan otvor na vrhu stepeništa i dva prozora na njegovom vlastitom krovu; ispostavilo se, međutim, da je sasvim dovoljan samo otvor na stepeništu; drugi prozori uopšte nisu korišćeni.

U pogledu ponašanja skladišta, Balkom navodi da nije mogao da ustanovi kuda ide jedan deo, zapravo 40 posto uskladištene energije. Verovatno postoje toplotni putevi kroz zemlju koje on nije uzeo u obzir.

Dr Balkom je ponosan na svoju zimsku baštu u stakleniku i ističe da nije fraza kada se kaže da se u ovakvoj kući podiže kvalitet življenja. Njegova staklena veranda predstavlja cvetni vrt usred zime.

Najzad, evo podataka i o ceni Balkomove kuće. Ukupni troškovi za njenu izgradnju iznosili su 104 000 dolara (5,3 miliona din.), od čega je za sâmo zemljište plaćeno 24 000 dolara. Posebni troškovi za solarne elemente zgrade iznosili su 12 000 dolara (456 000 din.), dakle 15 posto od cene kuće. Ali, u kući nije instaliran sistem za centralno grejanje, koji bi koštao 12 000 dolara. Osim toga, ona je dobila i dodatak od 30 m^2 životnog prostora u

staklenoj verandi. Prema američkom Zakonu o demonstraciji solarne energije, građevinskom preduzeću je država isplatila 8 000 dolara na ime uvođenja solarnih elemenata. Balkom je, tako, besplatno došao do trajnog i pouzdanog grejnog sistema, koji zahteva minimalne izdatke za dodatno gorivo. Nije čudo onda što on zaključuje da pasivni grejni sistem u kući predstavlja, zapravo, mudru investiciju.

Autor koristi ovu priliku da dr Balkomu zahvali za svesrdnu pomoć koju mu je pružio dajući mu potrebna objašnjenja u direktnom kontaktu, kao i stavljajući mu na raspolaganje originalne fotografije svoje kuće i sve informacije o njoj.

Energetski samostalna kuća u Karlajlu. U Glavi IX opisane su solarne ćelije koje Sunčeve zračenje pretvaraju direktno u električnu energiju. Procenjuje se da će sredinom ove decenije solarna električna energija postati u nekim primenama konkurent drugim izvorima električne energije. Kao jedna od prvih širih primena predviđa se elektrifikacija individualnih stambenih zgrada, pod uslovom da su one ukopčane u opštu električnu mrežu, iz koje pozajmljuju energiju kada same ne proizvode dovoljno i kojoj prodaju viškove. U sledećoj fazi, koja će verovatno početi naredne decenije, očekuje se da energetski potpuno samostalna kuća takođe postane rentabilna.

Američka preduzeća već su pristupila gradnji solarnih kuća za tržište koje svu potrebnu energiju, toplotnu i električnu, dobijaju od sunca. Na pomolu su, dakle, energetski samodovoljne kuće. Zahvaljujući predusretljivosti dr S. Dž. Stronga, rukovodioca u preduzeću Solar Design Associates iz Linkolna (Masačusets, SAD) dobili smo dokumentaciju o jednoj od šest takvih kuća koje je ovo preduzeće izgradilo. Opisaćemo kuću koja se nalazi u Karlajlu, država Masačusets (severoistočni deo SAD).

Ukupna potrošnja električne energije u domaćinstvima stalno raste s usavršavanjem i uvođenjem sve novijih električnih aparata. Kada se izračuna primarna energija neophodna za proizvodnju kilovat-časa električne energije utrošene u kući, onda se ispostavlja da savremena domaćin-

stva, čak i u hladnijim predelima, utroše više goriva za električnu nego za toplotnu energiju. To pogotovo važi za dobro projektovane pasivne solarne kuće. Stoga sada u prvi plan dolazi proizvodnja električne energije na licu mesta, tj. kod samog potrošača. Takav pristup ima dve značajne prednosti: prvo, domaćinstvo postaje energetski nezavisno; drugo, smanjuje se ukupna potrošnja primarnih energetskih izvora. Stoga se opravdano računa da budućnost pripada energetski samodovoljnim kućama.

Šest kuća koje su projektovali i izgradili stručnjaci preduzeća Solar Design Associates nalaze se u raznim krajevima SAD. Očigledan je cilj ovog preduzeća da stekne iskustvo u projektovanju i izgradnji takvih kuća za razne klimatske uslove. Svih šest kuća spadaju u pasivan tip solarnih stambenih zgrada s izvanrednom toplotnom izolacijom. Vrlo su prostrane i građene tako da pružaju sve udobnosti na koje su Amerikanci navikli; dakle, to su prave rezidencije.

Na njihovim krovovima smeštene su solarne ćelije, koje su visokog stepena korisnosti i gusto upakovane, tako da zauzimaju skoro sav raspoloživi prostor krova. Veličina tih solarnih generatora određena je u zavisnosti od geografske lokacije i načina potrošnje energije, ali s osnovnom koncepcijom da se zadovolji najveći deo elektroenergetskih potreba. Kućne elektrane su spregnute s elektromrežom. Posebno je značajno što su ove kuće građene za određene naručioce i što se u njima živi.

Solarni električni generator se u funkcionalnom pogledu izvrsno dopunjuje sa sistemom pasivnog solarnog grejanja. U arhitektonskom smislu, međutim, između njih postoji izvesno rivalstvo, pošto i jedan i drugi sistem zahtevaju osunčani prostor. Stoga se od arhitekte zahteva brižljivo razmatranje namene pojedinih površina pri oblikovanju kuće. Srećom, za veće geografske širine, na primer one na kojima se nalazi Jugoslavija, zimsko sunce je nisko, te pasivna arhitektura koristi uglavnom južnu vertikalnu površinu kuće. Tako krov ostaje slobodan za solarni generator.

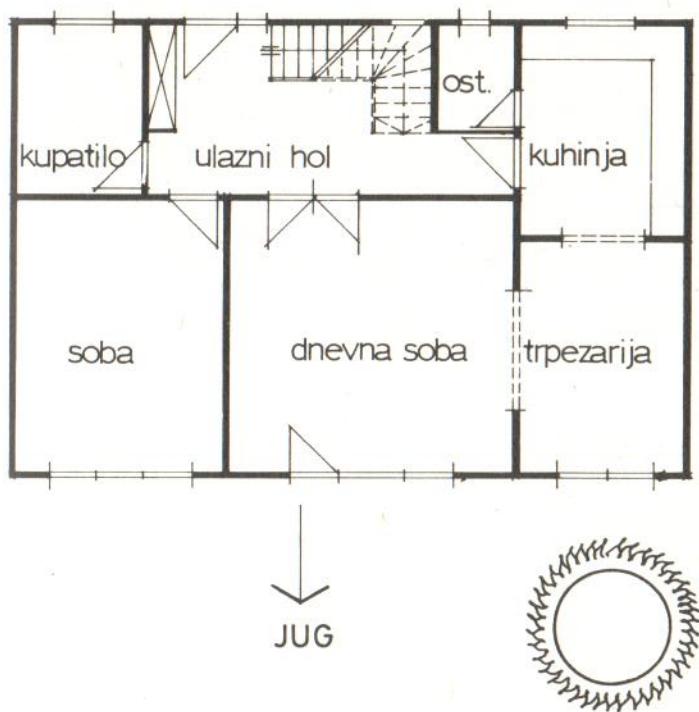
Budući da je optimalni ugao za celogodišnje zahvatanje sunčane energije isti za solarni generator i za prijemnike za zagrevanje sanitарне vode, krov može da bude pod jedinstvenim nagibom, pri čemu se manji njegov deo dodeljuje sistemu za zagrevanje vode.

Karlajl leži 30 kilometara severoistočno od Bostona, na geografskoj širini od 43° , tako da je za južni krov zgrade, na kome se nalazi generator, izabran nagib od 45° . Južna strana zgrade je dobrom delom u staklenim vratima (ukupne površine $32,5 \text{ m}^2$), kroz koja ulazi sunce, zagrevajući prostorije za dnevni boravak, trpezariju itd. Podovi ovih prostorija su od betonske mase ukupne zapremine $11,5 \text{ m}^3$, a pokriveni su tamnim keramičkim pločicama. U ovoj masi se skladišti najveći deo sunčane energije koja dospeva kroz prozore. U središtu dnevne sobe nalazi se velika peć (kamin) sa znatnom masom zidova dimnjaka, a u dečjoj dnevnoj sobi metalna peć na drva. Kuhinja i druge pomoćne prostorije su takođe u prizemlju, dok su četiri spavaće sobe i dva kupatila na spratu (sl. 54).

Spoljni zidovi kuće i pod izolovani su tablama od fiberglasa, debljine $20,5 \text{ cm}$, i stiropora, debljine $2,5 \text{ cm}$, a krov fiberglasom debljine $30,5 \text{ cm}$. Prozori na istočnoj, zapadnoj i severnoj strani imaju trostruka stakla. Temelji su takođe izolovani sa spoljne strane. Koeficijent gubitka energije za ovu kuću je, tako, sveden na $0,8 \text{ W/K}$ po m^2 stambene površine, što je oko 2,5 puta niža vrednost nego u standardnim kućama.

Dopunsko grejanje ostvaruje se pomoću toplotne pumpe vazduh – vazduh, snage $11,3 \text{ kW}$. Vazduh iz pumpe ulazi u kuću kroz otvore pored prozora, a vraća se niz posebne kanale u centralnom dimnjaku. Ventilator u tom sistemu služi i za raspodelu vazduha u kući kada se ovaj zagreva suncem. Sem kroz velike prozore na južnom zidu, sunce se zahvata i kroz niz manjih prozora duž gornje ivice krova. Leti su ti prozori zaštićeni nadstrešnicom, a mogu i da se otvore radi provetrvanja. Ako je potrebno, i toplotna pumpa može da radi kao rashladni uređaj.

Južni krov je podeljen na tri dela: dva spoljna, ukupne površine $98,4 \text{ m}^2$, na kojima su postavljeni moduli s



Sl. 54. Plan prizemlja kuće u Karlajlu.

fotonaponskim čelijama, i unutrašnji, od 10 m^2 , na kome se nalazi solarni sistem za zagrevanje sanitарне vode.

Upotrebljene solarne čelije su proizvod firme Solarex; načinjene su od polukristalnog silicijuma, a kvadratnog su oblika, tako da je njihovo pakovanje u module veoma efikasno. Solarni generator ima ove karakteristike:

- snaga – $7,3 \text{ kWp}$ (58 Wp po modulu);
- energija – 10 MWh godišnje;
- napon – 190 V jednosmerne struje od 38 A ;
- raspored – 126 modula (18 redova po 7 modula i 9 nizova po 14 modula).

Jednosmerna struja se transformiše u naizmeničnu preko jednofaznog invertera od 8 kW , izlaznog napona od 240 V i stepena korisnosti od 95% .

Generator ima nominalnu vršnu snagu od 7,3 kW, ali po zimskom suncu proizvodi nešto veću, a leti manju, zbog zavisnosti stepena korisnosti celija od temperature. U kući nije postavljen nikakav uređaj za akumulaciju električne energije, tako da se ona pozajmljuje iz mreže kada nema dovoljno sunca, a višak se, opet, isporučuje mreži kada solarni generator proizvodi više od kućne potražnje.

Za celu godinu solarni generator proizvede u proseku gotovo onu količinu energije koja se u kući utroši, ali, dok se u letnjem periodu javlja višak, u toku zime kuća dosta zavisi od električne mreže. Po mesecima to izgleda ovako:

Mesec	Proizvodnja generatora KWh/mesec	Procenat zadovoljenja potreba
januar	521	40
februar	619	58
mart	862	77
april	885	95
maj	1 011	123
jun	1 071	145
jul	1 007	140
avgust	927	131
septembar	933	140
oktobar	732	85
novembar	507	54
decembar	459	37
Svega	9 534 kWh	Prosek 94%

U praktičnom radu solarni generator je pokazao izvrsne rezultate. Najsunčanijeg dana u maju proizveo je 39,9 KWh, a najtmurnijeg 2,6 KWh. Najveću snagu imao je u martu – 7,87 KW.

Autori ove kuće, S. Dž. Strong i R. Dž. Osten, ukazuju na činjenicu da se kuće danas uglavnom grade na kredit, i to s rokom vraćanja od dvadeset do trideset godina. U tom periodu će, po njihovom mišljenju, doći do znatnih promena u načinu proizvodnje, raspodele i potrošnje energije u svetu. Niko ne zna kakve će se sve promene desiti, ali jedno

je sigurno: era obilnih i jeftinih fosilnih goriva i električne energije je prošla.

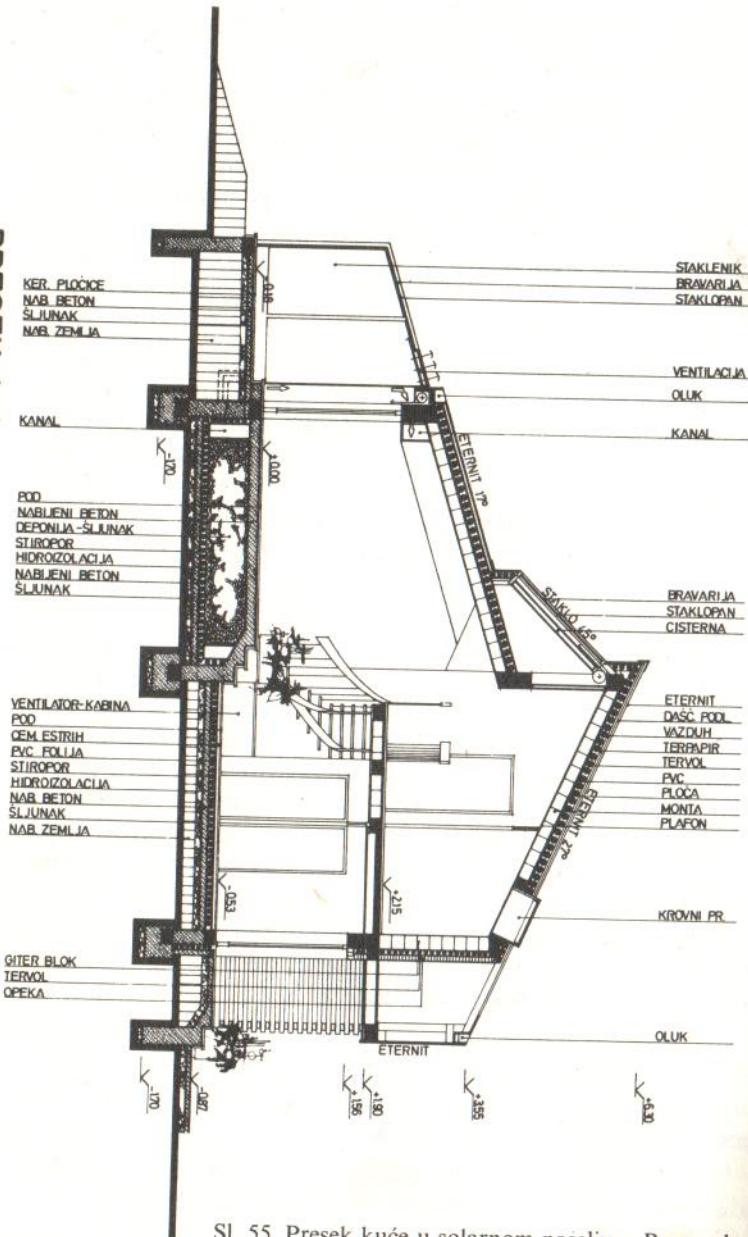
Kuće solarnog naselja u Beogradu. Institut „Boris Kidrič“ u Vinči i RO Naš stan u Beogradu projektovali su nekoliko kuća za eksperimentalno solarno naselje u Beogradu. One su detaljno opisane u specijalnom izdanju časopisa „Galaksija“ pod naslovom „Solarne kuće“. Ovde ćemo izneti samo njihove osnovne karakteristike i princip rada.

U tim kućama je predviđena gotovo tri puta bolja toplotna izolacija nego što zahtevaju sadašnji jugoslovenski propisi (za zidove, npr., $k=0,35 \text{ W/Km}^2$), ali se ostalo u granicama opravdanim kako s tehničke, tako i s ekonomski strane. Kada bi to tehničke mogućnosti dozvoljavale, bilo bi čak opravdano koristiti još bolju izolaciju. Predviđenom izolacijom se toplotni gubici smanjuju za gotovo dva puta u poređenju sa standardnim kućama iste veličine.

U svim ovim projektima sunčana energija se zahvata preko staklene verande, na sličan način kao u Balkomovoj kući, koja je služila kao naučno verifikovan uzor. Takođe se koristi kameni toplotno skladište kao element podnog grejanja. U poređenju s Balkomovom kućom, međutim, učinjena su dva dodatna poteza. U verandama i na prozorima predviđeni su termalni zastori za noćnu zaštitu kuće, koji doprinose boljem očuvanju toplotne energije u njoj. Zatim, topli vazduh iz staklenika vodi se kroz šuplje elemente u tavanici i zidovima, a ne posebnim kanalima, kao kod Balkoma. Na taj način se zidovi efektivnije koriste za uskladištenje sunčane energije, služe i kao grejna tela, što je posebno važno za pregradne zidove, a dobija se i veliki poprečni presek vazdušnih vodova.

Na sl. 55 dat je poprečni presek jedne od tih kuća. Iz verande se zagrejani vazduh, pošto prođe kroz tavanicu i suprotni zid, vodi kroz masivno kameni skladište ispod poda i zatim vraća u staklenik.

Ove solarne kuće projektovane su prema principima izloženim u glavi VII. Rezultati detaljnih proračuna njihovog ponašanja su vrlo ohrabrujući. Očekuje se da one u



Sl. 55. Presek kuće u solarnom naselju u Beogradu.

grejnoj sezoni donesu prosečnu uštedu energije od 70 do 90 posto, i to u poređenju s kućama iste toplotne izolacije. U poređenju sa standardnim kućama, ovde treba, razume se, računati i s uštedom koju donosi sama toplotna izolacija. Procenjuje se da dodatni solarni trošak učestvuje u građevinskoj ceni s oko 10 do 15 procenata.

Izgradnja ovog naselja je u toku i ono će poslužiti za sticanje iskustva u projektovanju i gradnji stambenih zgrada na bazi pasivne solarne arhitekture. U njegovim kućama će biti instalirani merni uređaji za praćenje njihovog praktičnog ponašanja, te će već posle jedne sezone biti moguće oceniti ispravnost principa na kojima su zasnovane.

PRIMENA SUNČANE ENERGIJE U VELIKIM ZGRADAMA

*O sonce je! Je, ker ga slutimo,
ker v globini duše čutimo.*

Oton Župančič

Naučna saznanja i postignuća u korišćenju sunčane energije za grejanje na principu pasivne arhitekture velikim delom su primenjiva ne samo u porodičnim kućama već i u bilo kom objektu – većoj stambenoj zgradbi, hotelu, bolnici, kasarni, školi, poslovnom ili sportskom centru, fabričkoj hali i drugde. U nekim od tih objekata mogućnosti primene sunčane energije su čak veće nego u manjim zgradama. Što je objekat veći, to je njegova spoljna površina manja u odnosu prema zapremini i korisnoj površini, pa su i relativni toplotni gubici manji. U nekim objektima, kao što su fabričke hale, površina izložena suncu je, s jedne strane, relativno veća, a zahtevana temperatura u radnom prostoru, s druge, manja nego kod individualnih stambenih zgrada; sem toga, u fabričkim halama često dolazi i do velike dissipacije toplote pri proizvodnim procesima, a ta se