

*Milenko Milinković\**

## **SOLARNA KUĆA – GREEN TECHNOLOGY - ENERGY EFFICIENCY**

### ***Rezime:***

U radu su prikazane opšte napomene o potrebi traženja rešenja izgradnje kuća po principu energetske efikasnosti. Kroz analizu zahteva iz projektnog zadatka koji sam sam sebi zadao, tražio sam načine kako da se realizuje rešenje koje će obezbediti totalni energetski optimum - minimalni utrošak energije i u fazi izgradnje i u fazi eksploatacije kuće. Iz tog razloga usvojeno je rešenje solarne kuće u formi polulopte prečnika 18.5m realizovane u tehnologiji ferocementnih ljusaka. Na isti način izgrađena je i polucilindrična garaza 9x18m. Korišćenjem skeletnog metoda gradnje u tehnologiji ferocementa izgrađeni su bazen i vidikovac. Spiralna stepeništa su izgrađena korišćenjem metoda zatvorenog kalupa. Prikazana su usvojena rešenja za aktivni i pasivni zahvat sunčeve energije, kao i način skladištenja te energije. Obrazložen je izbor rešenja da se kuća ukopa u zemlju u cilju ostvarivanja minimalnih gubitaka toplote. Nadalje prikazani su režimi funkcionisanja solarne kuće zimi i leti. Tabelarno su prikazani proračuni očekivanog zahvata sunčeve energije, gubici toplotne energije kuće kao i energetski bilans.

*Ključne reči: solarna kuća, green tehnology, energetska efikasnost, ferocement, energija sunca*

---

\* dipl. ing. el., predsednik kompanije "Milinković Company" d.o.o. Beograd

# UVOD

Svest o ograničenim izvorima energije odavno je već u svetu nametnula potrebu za racionalnim korišćenjem energije. U tom smislu definisana je i potreba za traženjem rešenja za racionalnu potrošnju jednog od najvećih potrošača energije - grejanje prostora u kojima ljudi žive i borave.

Sunce emituje na Zemlju ogromnu energiju: godišnje  $1,5 \times 10^{18}$  kWh odnosno sunce za manje od jednog dana emituje na zemlju više energije nego što je energetski potencijal svih svetskih poznatih zaliha fosilnih goriva (nafta, gas, uglj).

Paralelno sa traženjem tehničkih rešenja za racionalnom potrošnjom energije tražena su i rešenja da se na isplativ način koristi nepresušni izvor energije - sunčeva energija.

## 1.1 PROJEKTNII ZADATAK

Pre više od trideset godina zainteresovao me izazov traženja optimalnih rešenja za zahvat sunčeve energije za grejanje kuća. Činjenica da sunčeve energije ima najviše leti, pogoduje lakom rešavanju zagrevanja sanitarne tople vode praktično tokom cele godine.

No, kod rešavanja problema zagrevanja kuća korištenjem sunčeve energije suočavamo se sa činjenicom da sunčeve energije ima najmanje kad je najviše treba - zimi.

U želji da svoja razmišljanja pretočim u realan projekat, vremenom sam sebi definisao projektni zadatak:

- A - obezbediti maksimalni zahvat sunčeve energije
- B - barem deo te energije uskladišti i koristi kada sunca nema
- C - ostvariti minimalne gubitke toplotne energije
- D- sve to realizovati u zelenoj tehnologiji

## 1.2 OSNOVNI PRINCIPI ZA REALIZACIJU PROJEKTOG ZADATKA

Proučavajući literaturu i analizirajući razna rešenja u startu sam odbacivao ona koja su bila komplikovana i skupa. Dakle, generalni princip kojim sam se rukovodio je bio da za realizaciju projektnog zadatka pronađem prirodna, jednostavna i jeftina rešenja.

### 1.2.1 Zahvat sunčeve energije

Da bi se obezbedio maksimalni zahvat sunčeve energije neophodno je osmisliti rešenja da se obezbedi što veća površina prema jugu kako bi se moglo što pasivnim što aktivnim zahvatom prikupiti u objekat što više sunčeve energije.

Opređenje da se obezbedi aktivan zahvat sunčeve energije značilo je da na južnoj strani treba predvideti veliku površinu kolektora, a da bi se obezbedio pasivan zahvat potrebna je velika staklena površina na južnoj strani objekta kako bi što više sunčeve svetlosti ulazilo u objekat da zagreva unutrašnjost objekta.

### **1.2.2. Akumuliranje sunčeve energije**

Prilikom traženja jeftinog i jednostavnog rešenja za akumulaciju toplotne energije kada je ima više nego što je u tom trenutku potrebno, za periode kada je nema dovoljno, opredelio sam se za kombinovano rešenje: da se energija nastala pasivnim zahvatom sunčeve energije (zagrevanjem vazduha) akumulira u kamenom toplotnom akumulatoru, a energija zahvaćena aktivnim zahvatom – zagrevanjem vode u sunčevom kolektoru delom uskladištiti u kameni toplotni akumulator (600 tona kamena i betona), a delom za zagrevanje vode bazena unutar kuće (60m<sup>3</sup> vode).

### **1.2.3. Minimizacija gubitka toplote**

U okviru zadane fizike objekta gubici toplote zavise od površine objekta prema vanjskom prostoru, što nameće zaključak da u okviru zadanog prostora ta površina treba da bude što manja - optimum u tom smislu je sferni oblik.

Sa druge strane gubici zavise od gradijenta temperature (razlika između unutrašnje i vanjske temperature). Ako se objekat definisane fizike nalazi u ekstremnim klimatskim uslovima -20°C, pri unutrašnjoj temperaturi od +20°C, gradijent je 40°C i srazmerno tome i gubici toplote. Ako se isti objekat, pri istoj temperaturi vazduha -20°C ukopa u zemlju, gde je temperatura u proseku +5°C, pa je to sada spoljna temperatura za taj objekat; gradijent temperature je više nego prepolovljen pa samim tim i gubici.

### **1.2.4. Ekološka gradnja**

Napred navedena rešenja obezbeđuju minimalni utrošak energije u fazi eksploatacije kuće. Da bi se obezbedio i minimalni utrošak energije u fazi izgradnje i što veće korišćenje prirodnih materijala, izabrano je rešenje solarne kuće u formi polulopte realizovane u tehnologiji ferocementnih ljsaka. To rešenje obezbeđuje minimalni utrošak materijala za čiju proizvodnju je potreban utrošak energije. Za izgradnju 2100 m<sup>3</sup> zatvorenog prostora utrošeno je najviše prirodnog kamena različite granulacije, oko 2500 m<sup>2</sup> rabica, oko 10 tona raznog železa i oko 80 tona cementa, odnosno 5.7 kg železa / m<sup>3</sup> i 38 kg cementa/ m<sup>3</sup> zatvorenog prostora.. Preračunato po m<sup>2</sup> zatvorenog prostora to iznosi 24 kg železa / m<sup>2</sup> i 160 kg cementa/ m<sup>2</sup> poda kuće.

## 2. KONSTRUKCIJA SOLARNE KUĆE

Kuća je izgrađena u formi polulopte prečnika 18,5 m, ukopane u zemlju što obezbeđuje minimum toplotnih gubitaka. Vidljiv je samo južni deo polulopte koji je u staklu (cca 100 m<sup>2</sup>) što obezbeđuje pasivni zahvat sunčeve energije. Na kupolu se nastavlja polucilindrična garaža 9 x 18 m na koju se naslanja velika površina solarnih kolektora (110 m<sup>2</sup>) koji obezbeđuju aktivni zahvat sunčeve energije.

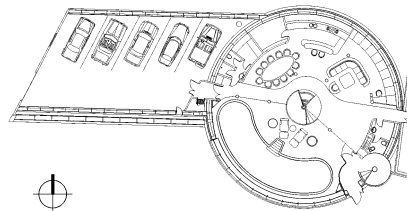
Kolektori su vlastite izrade. Konstrukcijski su izvedeni tako da je osnovna čelična konstrukcija oslonjena na ferocemenenu konstrukciju garaže. Dve čelične cevi su horizontalno postavljene duž cele dužine kolektora, jedna pri dnu, a druga pri vrhu. Međusobno su povezane velikim brojem bakarnih cevčica, koje su uvezane uz rabić mrežu, a potom utopljene u sloj maltera (2 cm).

Tako dobijena ferocementna površina ofarbana je mat zelenom bojom koja ima veliku efektivnu površinu zbog bolje apsorpcije sunčevog zračenja. Na kraju cela površina je ustakljena sa spoljašnje strane, a polistirenskim pločama izolovana sa unutrašnje strane.



*slika 1 - konstrukcija kolektora*

Konstrukciju kuće sačinjavaju dve ferocementne ljsuske na razmaku od 40 cm, spregnute ferocementnim lučnim rebrima, koji zajedno čine komore kroz koje cirkuliše vazduh. Debljina ljsusaka i rebara je 2 do 4 cm.



*slika 2 - izgled solarne kuće, osnova*

U tehnologiji ferocementa izrađeni su i garaža, bazen, spiralna stepeništa, vidikovac.

Po vertikali kuća je organizovana u četiri nivoa., dva stambena i dva tehnološka. Najniži nivo je ukopan ispod nivoa okolnog terena i predstavlja donji tehnološki nivo u kome je smešten kameni akumulator toplote, a sve je to prostor povišenog vazdušnog pritiska koji stvaraju ventilatori. U sredini tog nivoa je centralna vazдушna komora koja ima otvor u prostor dnevnog boravka - prostor normalnog vazdušnog pritiska.

Sledeći centralni nivo je izveden kao jedinstven prostor (220 m<sup>2</sup>), a organizovan kao dnevni boravak, kuhinja, trpezarija, bazen, sanitarije. Centralno spiralno ferocementno stepenište povezuje sledeći nivo-galeriju na kojoj su smeštene dve spavaće sobe sa kupatilima.

Deo kalote polulopte predstavlja četvrti nivo (tehnološki), organizovan kao dve odvojene sabirne komore koje se nastavljaju na komore između ferocementne ljsuske i rebara. Na ulazu svaka sabirne komore montirani su ventilatori čiji rad je procesorski upravljani.

### 3. REŽIMI FUNKCIONISANJA SOLARNE KUĆE

Prilikom projektovanja solarne kuće cilj je bio da se ostvare što stabilniji mikroklimatski uslovi u kući bez obzira na temperaturu izvan kuće.

Dvostruka ljuska od koje je objekat izgrađen omogućuje cirkulaciju vazduha kroz kameni akumulator toplote i vraćanje istog kroz centralnu vazдушnu komoru u unutrašnjost objekta što omogućuje zimi grejanje a leti hlađenje vazduha u objektu.

#### 3.1. REŽIM ZIMA-DAN

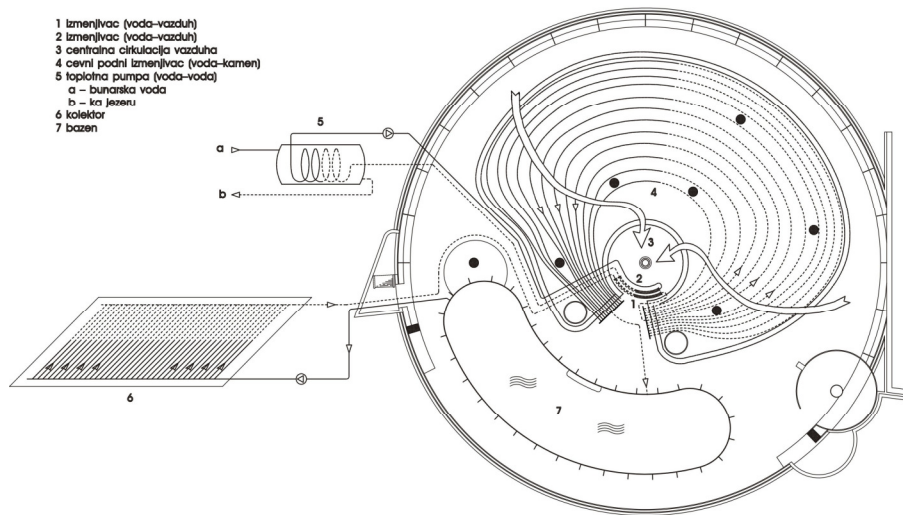
Kada postoji sunčevo zračenje, svetlosna energija kroz staklenu površinu ulazi u objekat, zagreva vazduh koji se kao lakši diže prema vrhu objekta, gde ga ventilator(i)<sup>2</sup> kroz gornje sabirne komore potiskuju između ferocementnih ljusaka objekta u donji tehnološki nivo gde prolazi kroz kameni toplotni akumulator i tako ga zagreva. Sav taj vazduh se sabira u centralnoj vazdušnoj komori kroz čiji izlaz dolazi ponovo u prostor dnevnog boravka. Na taj način centralnom unutrašnjom cirkulacijom vazduha toplota nastala sunčevim zračenjem se skladišti u kameni toplotni akumulator.

Istovremeno automatika uključuje vodenu pumpu koja potiskuje vodu iz bazena u nižu horizontalnu cev kolektora, puni solarni kolektor, voda se zagreva, pa se iz gornje horizontalne cevi odvodi u izmenjivač voda-vazduh koji je montiran u otvor između centralne vazdušne komore i prostora dnevnog boravka, nalazi se dakle na putu centralne unutrašnje cirkulacije vazduha, pa tako predaje deo toplote vazduhu.

Daljim prolaskom vode kroz cevni izmenjivač ugrađen u podu kamenog akumulatora toplote, deo toplote predaje akumulatoru, pa se nakon toga voda vraća u bazen zagrevajući i njega.

---

2) Automatika uključuje prvi ventilator koji iz svoje sabirne komore potiskuje vazduh putem koji ne obuhvata zidove spavaćih soba kako se prostor u sobama ne bi previše zagrejavao. Samo kada taj ventilator ne može pri maksimalnom broju obrtaja da odvede sav višak toplote u kameni akumulator toplote, automatika uključuje i drugi ventilator iz čije sabirne komore vazduh prolazi putevima koji obuhvataju i zidove spavaćih soba.



*slika 3 - osnova tehničke etaže solarne kuće, šema funkcionisanja*

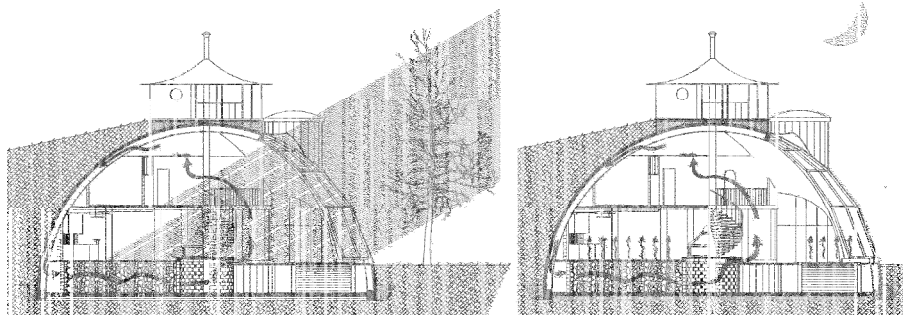
Na taj način se ostvaruje ujednačenje temperature vode i vazduha, a to onemogućuje stvaranje prevelike relativne vlage u objektu.

Kada prestane sunčevo zračenje diferencijalni termostat isključuje vodenu pumpu, nakon čega se sva voda iz kolektora vraća u bazen, što zimi onemogućuje zamrzavanje kolektora (tako su konstruisani padovi cevi).

U periodu kada sunca nema dovoljno, na raspolaganju je kamin u centralnom delu dnevnog boravka čijim loženjem se zagreva vazduh koji cirkuliše oko ložišta i uključuje se u centralni tok cirkulacije vazduha.

Ne treba strahovati od pregrevanja prostora jer se sav višak toplote akumulira u kamenom akumulatoru toplote.

Pored toga ugrađuje se i toplotna pumpa koja će toplotu vode iz bunara (+10<sup>0</sup>C) prenositi u drugi izmenjivač koji je smešten ispred prvog, dakle, takođe na putu centralne cirkulacije vazduha pa se ostvaruje isti efekat - zagreva se vazduh unutar objekta, a višak toplote akumulira u kamenom spremniku.



*slika 4 - režim zima dan - zima noć*

Sanitarna topla voda za potrebe kuće zagreva se većinskim delom korištenjem energije sunca (cca 85% potrebne energije). Oko 10% sunčevog kolektora je organizovano kao zasebna celina. Cevi kolektora konstantno napunjene tečnošću koja ne mrzne do -50°C. Kada ima sunčevog zračenja automatika uključuje cirkulacionu pumpu koja gura zagrejanu tečnost u 500-to litarski izmenjivač gde zagreva sanitarnu vodu. Samo u slučaju da sunečva energija ne može da zgreje vodu na zadanu temperaturu ona se dogreva električnim grejačem (do 15% energije potrebne za zagrevanje sanitarne vode).

### **3.2. REŽIM ZIMA-NOĆ**

Noću toplota akumulirana u kamenom akumulatoru toplote koji se nalazi ispod dnevnog boravka po principu podnog grejanja održava toplotu u dnevnom boravku a centralnom cirkulacijom vazduha koju sada stvara drugi ventilator , greju se spavaće sobe i nadoknađuju se gubici toplote iz objekta preuzimanjem toplote iz akumulatora toplote.

### **3.3. REŽIM LETO-DAN**

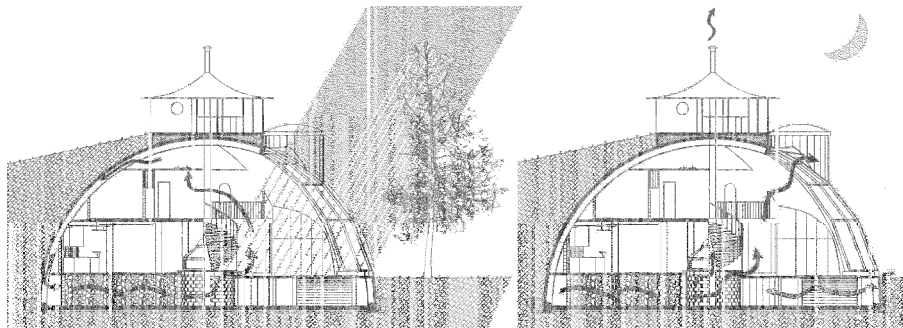
Velika staklena površina kuće leti može dovesti da previše sunčeve energije uđe u kuću i iz tog razloga se ta energija značajno reducira tako što se početkom proleća postavi polutransparentni zastor na za to predviđena mesta sa spoljašnje strane stakla.

Toplota koja uđe u kuću odvodi se centralnim cirkulisanjem vazduha u akumulator toplote pa se temperatura vazduha u kući održava na zadanom nivou.

Ukoliko je potrebno automatika propušta bunarsku voda kroz prvi centralni izmenjivač i tako hladi vazduh u kući.

U toku leta sanitarna topla voda se zagreva isključivo sunčevom energijom.





*slika 5 - režim leto dan - leto noć*

### **3.4. REŽIM LETO-NOĆ**

Kada temperatura spoljašnjeg vazduha tokom noći padne ispod  $20^{\circ}\text{C}$ , aktivira se treći ventilator koji ubacuje spoljašnji vazduh kroz akumulator toplote, vazduh izlazi iz objekta kroz otvorene prozore i dimnjak i hladi akumulator toplote.

Procesorski se upravlja radom svih izvršnih jedinica: ventilatori, vodena pumpa, toplotna pumpa, otvaranje i zatvaranje prozora i elektromagnetnih vodenih slavina.

## 4. ENERGETSKI BILANS

Veliki toplotni kapacitet kuće (da bi se u unutrašnjosti promenila temperatura za 10<sup>0</sup>C potrebno je dovesti-odvesti preko 2100 kWh toplotne energije) omogućuje vrlo stabilne klimatske uslove u kući.

### 4.1. ZAHVAT SUNČEVE ENERGIJE

| mesec | prosečna temp. (°C) | energija / dan (kWh/m <sup>2</sup> ) | veranda          |                      |                     | kolektori        |                      |                     |
|-------|---------------------|--------------------------------------|------------------|----------------------|---------------------|------------------|----------------------|---------------------|
|       |                     |                                      | iskorišćenje 90% | za 90 m <sup>2</sup> | energija za 30 dana | iskorišćenje 50% | za 80 m <sup>2</sup> | energija za 30 dana |
| X     | +12,5               | 3,1                                  | 2,8              | 252                  | 7560                | 1,6              | 128                  | 3840                |
| XI    | +6,7                | 1,5                                  | 1,3              | 117                  | 3510                | 0,8              | 64                   | 1920                |
| XII   | +2,0                | 1,1                                  | 1,0              | 90                   | 2700                | 0,5              | 40                   | 1200                |
| I     | -0,5                | 1,4                                  | 1,3              | 117                  | 3510                | 0,7              | 56                   | 1680                |
| II    | -1,3                | 2,3                                  | 2,0              | 180                  | 5400                | 1,1              | 88                   | 2640                |
| III   | +6,4                | 3,3                                  | 3,0              | 270                  | 8100                | 1,6              | 128                  | 3840                |

(Tabela 1)

### 4.2. GUBICI TOPLOTNE ENERGIJE

| mesec | prosečna temp. (°C) | ΔT(°C) | GUBICI kWh/dan |        |              |                |               |
|-------|---------------------|--------|----------------|--------|--------------|----------------|---------------|
|       |                     |        | zid            | staklo | prema zemlji | izmena vazduha | ukupno dnevno |
| X     | +12,5               | 6      | 5              | 28     | 80           | 29             | 162           |
| XI    | +6,7                | 12     | 9              | 57     | 80           | 55             | 201           |
| XII   | +2,0                | 16     | 12             | 76     | 80           | 75             | 243           |
| I     | -0,5                | 19     | 14             | 90     | 80           | 89             | 263           |
| II    | -1,3                | 20     | 15             | 95     | 80           | 93             | 283           |
| III   | +6,4                | 12     | 9              | 57     | 80           | 55             | 201           |

(Tabela 2)

### 4.3. ENERGETSKI BILANS

| mesec | gubici ukupno mesečno | dobijena solarna energija iz kolektora i kroz verandu | potrebna dodatna energija (kWh) |
|-------|-----------------------|---|---------------------------------|
| X     | 4860                  | 11400   |                                 |
| XI    | 6030                  | 5430  | 600                             |
| XII   | 7290                  | 3900  | 3390                            |
| I     | 7890                  | 5190  | 2700                            |
| II    | 8490                  | 8040  | 450                             |
| III   | 6030                  | 11940   |                                 |
|       |                       |   | <b>Σ 7140 kWh</b>               |

(Tabela 3)

Iz gornje tabele vidljivo je da će prema proračunima pored energije sunca za grejanje kuće biti potrebno iz drugih izvora cca 7000 kWh toplotne energije ili cca 20 kWh/m<sup>2</sup> na godišnjem nivou, što ukoliko se kroz merenje koja će se izvoditi tokom zime pokaže tačnim svrstava ovu solarnu kuću u sam vrh energetski efikasnih kuća u svetu.



slika 6 - enterijer