

PASIVNO KORIŠTENJE SUNČEVE ENERGIJE U ZGRADARSTVU - TROMBOV ZID

PASSIVE USE OF SOLAR ENERGY IN BUILDING CONSTRUCTION - TROMB WALL

Nuridin Čehajić

Stručni članak

Sažetak: U ovom radu je opisana mogućnost podizanja razine energetske efikasnosti zgrada korištenjem Sunčeve energije kod njihovog zagrijavanja. Osim prezentacije osnovnih pojmova o Sunčevoj energiji, o njegovoj jačini, o potrošnji energije stambenog objekta, u radu je prikazan i pasivni solarni sistem zagrijavanja zgrada. U sklopu pasivnog solarnog zagrijavanja zgrada posebno mjesto je dano toplotnom sistemu - Trombovom zidu. Prikazane su varijante Trombovog zida, njegova primjena u suvremenoj arhitekturi, te je predstavljen stupanj iskorištenja takvog zida na konkretnom primjeru. Dokazano je da ovaj sistem smanjuje potrošnju energije i da je razumna investicija. Osim toga može se ugraditi i na postojeće objekte, ako su ispunjeni ostali parametri kao što su orijentacija objekta, toplotna izolacija, sjenčanje i dovoljna količina toplotne mase.

Ključne riječi: energetska efikasnost u zgradarstvu, Sunčeva energija, zaštita okoline, pasivni solarni sistem, Trombov zid

Professional paper

Abstract: This paper describes the possibility of raising the energy efficiency of buildings by using solar energy for their heating. In addition to presenting the basic concepts of solar energy, the intensity of solar radiation, the energy consumption in buildings, the paper presents the passive solar system for heating buildings. Within the passive solar heating of buildings a special place is given to a thermal system - Tromb wall. The variants of the Tromb wall are shown together with its application in modern architecture. Moreover, the degree of utilization of the Tromb wall is presented using a specific example. It is proven that this system reduces energy consumption and that it represents a reasonable investment. In addition, it can be installed on existing facilities if the other parameters are met (object orientation, thermal insulation, shading and sufficient amount of thermal mass).

Keywords: energy efficiency in buildings, solar energy, environmental protection, passive solar system, Tromb wall

1. UVOD

Istraživanja i usavršavanje tehnologija za iskorištenje obnovljivih izvora energije provode se u mnogim područjima ljudskog djelovanja pa tako i u zgradarstvu. S obzirom na to da zgrade danas potroše oko polovicu ukupne proizvedene energije, dolazi vrijeme kada će se kuće sve više promatrati kao termodinamički, a ne samo kao građevinski objekti. Prema dostupnim podacima, postojeće zgrade i individualni stambeni objekti u BiH troše energije koliko objekti sličnih karakteristika u EU tokom 90-tih godina prošlog stoljeća [1]. Kako je period upotrebe zgrada od 50 do 100 godina, njihov je utjecaj na okoliš u kojem živimo dug i kontinuiran i ne možemo ga zanemarivati. Na temelju toga može se reći da je kratkoročni i srednjoročni energetska potencijal u postojećem fondu zgrada.

Zbog niske razine energetske efikasnosti koju trenutačno imamo, naša poduzeća troše puno više energije po jedinici proizvoda nego slična poduzeća iz drugih država, zbog čega su manje konkurentna. Standardi koje postavlja EU u posljednjih dvadeset godina, s ciljem smanjenja neracionalne potrošnje

energije i emisija CO₂ [2], podržava procjenu da se trenutačna i buduća izgradnja zgrada u BiH može unaprijediti kako bi se zadovoljile suvremene arhitektonsko-energetske i biološko-ekološke potrebe ljudi.

Zadovoljenje 3E forme, kao što su energija, ekonomija, ekologija, novi je zahtjevni zadatak koji se postavlja projektantima i graditeljima. Struka danas može odgovoriti spomenutim zahtjevima i može omogućiti da današnja arhitektura postane kulturnim nasljeđem budućnosti. Svi sudionici u gradnji moraju postati svjesni svoje odgovornosti za ono što rade i za ono što su mogli napraviti, a nisu [3].

Racionalnom potrošnjom energije i postizanjem zadovoljavajuće energetske efikasnosti zgrada, korištenjem Sunčeve energije značajno bi se doprinijelo privrednom i prostornom razvoju, a posebno ublažavanju energetske i ekološke krize. U području zgradarstva Sunčeva energija se može iskorištavati aktivno i pasivno [4].

Na temelju spomenutog te istraženih podataka o dovoljnom potencijalu Sunčeve energije u BiH [2,5] i potrošnji energije u zgradarstvu [1,6], u članku su

prikazane mogućnosti i primjeri pasivnog korištenja Sunčeve energije za zagrijavanje zgrada. Također, obrađen je Trombov zid koji je nastao usavršavanjem pasivnog solarnog sistema. Kroz primjere pasivne gradnje i proračuna stupnja iskorištenja dokazano je da se Trombov zid može jednostavno ugraditi kroz rekonstrukciju postojećih ili putem gradnje novih objekata.

2. SUNČEVA ENERGIJA

Više milijuna godina Sunce daje energiju koja je sastavni dio svih suvremenih oblika energije. Na Sunce se danas gleda kao na spasioca čovječanstva od posljedica povezanih s energetsom krizom i zagađenjem okoliša, a koje je čovjek sam sebi stvorio.

Od svih obnovljivih izvora energije, Sunčeva energija ima niz prednosti. Iako ima mnogo mjesta na kojima nema fosilnih goriva ili urana, ni jedna zemlja na svijetu nije bez Sunčeve energije. Sunčeva energija koju prima Zemlja i njena atmosfera toliko je ogromna da u samo 15 dana iznosi onoliko koliko su zajedničke rezerve energije ugljena i nafte u svijetu.

Suvremene tehnologije Sunčevu energiju koriste u raznim oblicima, od solarne vrtne rasvjete do automobila na solarni pogon. S podizanjem svijesti o važnosti upotrebe obnovljivih izvora energije, društvo je prepoznalo brojne prednosti upotrebe Sunčeve energije, a to su smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima, smanjenje emisije stakleničkih plinova i zaštita okoline.

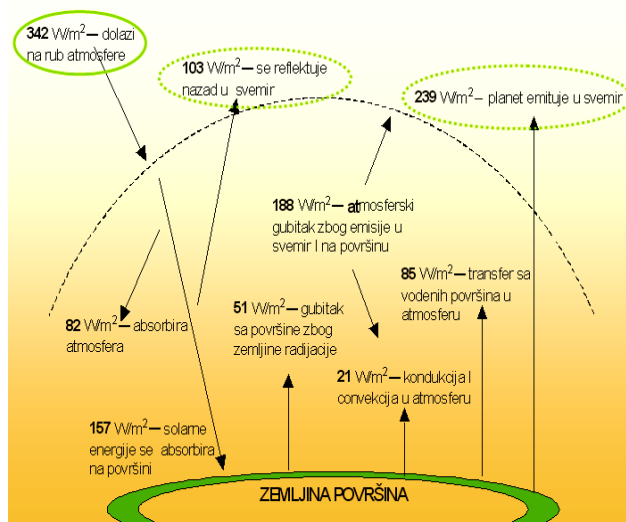
2.1. Sunčevo zračenje

Na površinu Zemlje dopijeva manja snaga Sunčevog zračenja zbog refleksije i apsorpcije Sunčevih zraka u Zemljinoj atmosferi. Ova snaga zavisi od dužine puta koju zrake prijeđu kroz atmosferu, te od kvalitete atmosfere (zagađenost atmosfere i atmosferske prilike). Utvrđeno je da 1 m^2 horizontalne površine na Zemlji primi maksimalno oko 1000 W Sunčeve snage ljeti u podne kada je najkraći put takvih zraka kroz atmosferu.

Godišnji prosjek albeda (odnos reflektiranog zračenja s nekog objekta u odnosu na zračenje koje na njega dolazi) planeta je 30%. Zbog toga je pri određivanju mikroklimе određene sredine potrebno uzeti u obzir i albedo Zemlje. Zbog drukčijeg reflektiranja Sunčevih zraka na različitim površinama Zemlje, albedo Zemlje ima promjenljive vrijednosti.

Uzimajući u obzir albedo, od ukupne energije koja dolazi do gornjih slojeva atmosfere (342 W/m^2), oko 30% (103 W/m^2) se vraća u svemir, dok oko 70% (239 W/m^2) apsorbira Zemljin sistem. Od toga Zemljina površina prima 157 W/m^2 , dok istodobno zrači u svemir 51 W/m^2 . Razlika između iznosa energije koji dolazi i koji odlazi s površine Zemlje je 106 W/m^2 . Iznos energije koja dolazi Sunčevim zračenjem i apsorbira se u atmosferi je 82 W/m^2 , a kada se ovom iznosu dodaju 21 W/m^2 kondukcijom i konvekcijom s površine Zemlje i 85 W/m^2 transfera s vodenih površina, ukupna gustoća toplotnog toka u atmosferi iznosi 188 W/m^2 . Od ovog iznosa se 82 W/m^2 zrači u

svemir. Iz spomenutog je vidljivo da neto terestrijalni gubitak energije iznosi 239 W/m^2 , pa su prema tome dobiti i gubici energije zračenja izbalansirani na rubu atmosfere (slika 1.) [7].



Slika 1. Sunčeva energija koja dolazi i odlazi sa Zemlje [7]

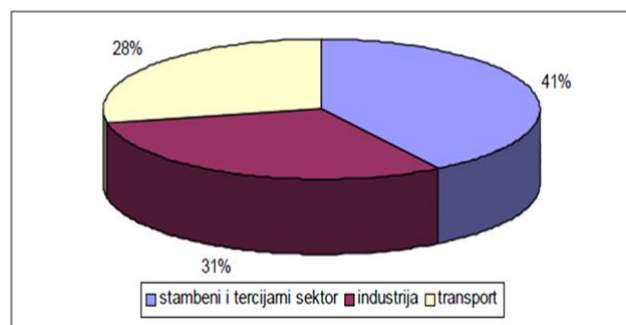
2.2. Potencijal Sunčeve energije u BiH

Bosna i Hercegovina raspolaže kapacitetima solarne radijacije od $1240\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ na sjeveru zemlje do 1650 kWh/m^2 na jugu zemlje na godišnjoj razini, što predstavlja odlične uvjete za njihovo intenzivnije iskorištenje, prije svega u svrhu proizvodnje toplinske i električne energije. Prosjek za našu regiju je $1300\text{ kWh/m}^2/\text{godini}$, a broj sunčanih dana u godini je 270 [5].

Uspoređujući naš solarni potencijal s drugim europskim zemljama (Njemačka, Poljska, Švedska i dr.) koje značajno koriste sunčevu energiju, BiH ima znatno veći kapacitet (10% – 30%) godišnje solarne radijacije, ali nedovoljno iskorišten. Prema istraživanjima potencijali solarne energije u BiH su $70,5$ milijuna GWh/godišnje – EVD, 2009.).

3. POTROŠNJA ENERGIJE U SEKTORU ZGRADARSTVA

Zgrade troše više od 40% ukupne energije (slika 2.), ali istodobno proizvode 40% štetnih plinova koji odlaze u atmosferu.

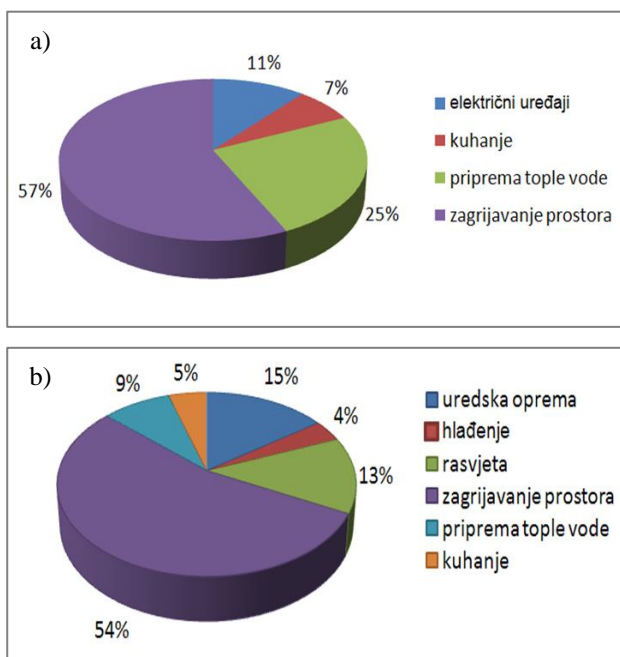


Slika 2. Potrošnja energije u EU [6]

Na slici 2. je prikazana potrošnja energije u EU po sektorima. Sa slike 2. se vidi da stambeni i tercijarni sektor prednjače u potrošnji ukupno proizvedene energije (41%), zatim slijedi industrija (31%) i transportni sektor (28%).

Odnos potrošnje energije prilikom gradnje, što obuhvaća energiju građevinskih materijala i energiju koja se potroši tehnologijom izgradnje, u odnosu na količinu energije koja se troši prilikom upotrebe i održavanja objekata je 1 : 3. Ovaj odnos ukazuje na potrebu inovacije i rekonstrukcije operativnih sistema objekata (sistemi grijanja - hlađenja - ventilacije, sistemi rasvjete) koji su i najveći potrošači energije [7].

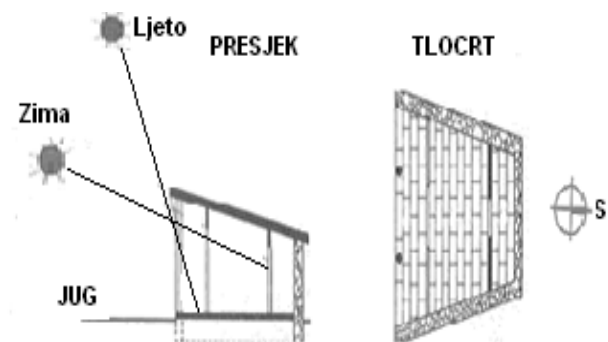
Na slici 3. je prikazana potrošnja energije po pojedinim potrošačima unutar stambenog i javnog sektora u EU.



Slika 3. Potrošnja energije u zgradama u EU [6]
a) stambeni sektor, b) javni sektor

4. PASIVNI SOLARNI SISTEM

Pasivni sistem korištenja Sunčeve energije osnovni je i najjeftiniji način korištenja energije iz okoline. Već Sokratov model kuće pokazuje da su ljudi tisućama godina razmišljali kako da se pasivnom arhitekturom zaštite od hladnoće i topline (slika 4.).



Slika 4. Sokratova solarna kuća okrenuta prema jugu [8]

Kuća je u tlocrtu bila trapeznog oblika s bazom okrenutom prema jugu, s masivnim vanjskim zidom od kamena, s minimalnim otvorima na prednjoj strani namijenjenih za provjetravanje. Trijem je bio otvoren prema jugu, što je omogućavalo da Sunčeve zrake ljeti gotovo uopće ne ulaze u prostor, a zimi, kada zrake Sunca padaju niže, griju cijeli prostor [8].

Pravila pasivnih solarnih sistema:

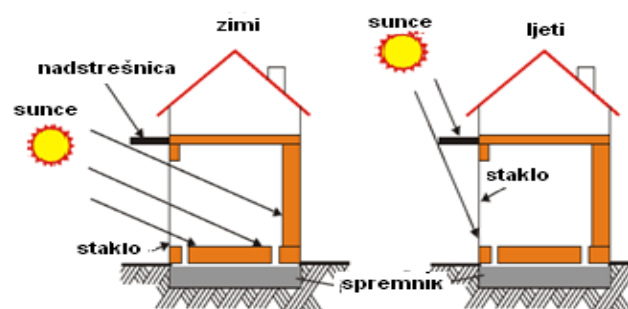
- pravilna orijentacija objekta prema stranama svijeta
- velike staklene plohe na osunčanoj strani
- nadstrešnica koja sprečava ljeti prodor svjetlosti u unutrašnjost objekta
- dovoljna količina toplotne mase
- toplotna izolacija

Na pasivne solarne sisteme utječu:

- arhitekt
- izvođač radova
- prostorno-planska dokumentacija
- raspored i međusobno rastojanje susjednih zgrada
- konfiguracija zemljišta
- klimatsko-meteorološki uvjeti

Dobar pasivni sistem za zagrijavanje pomoću Sunčeva zračenja može se najlakše ukomponirati u zgradu prilikom projektiranja, pa je pogodniji za nove, a lošiji za postojeće zgrade.

Kod projektiranja pasivne solarne gradnje potrebno je dobro prilagoditi dijelove površina južnih fasada objekata da dobro apsorbiraju Sunčevu energiju. Ovo se postiže tako da se spomenute površine oboje crnom bojom i na određenom rastojanju od zida zatvore staklenom ili plastičnom pločom. Sunčevo zračenje ulazi kroz velike staklene stijene i direktno zagrijava prostoriju. Dozračena toplota se uskladištava u elementima prostorije (zidovima, podu i stropu) ili u posebnim spremnicima (pijesak ili tekućina) koji se zagrijavaju danju, a daju toplinu noću (slika 5.).



Slika 5. Pasivno zagrijavanje prostora zimi i ljeti [9]

Zračenje topline sa svih strana u prostoriji ugodno djeluje na ljude. Temperatura u prostoriji zavisi od meteoroloških uvjeta, od veličine južne zastakljene površine, od mase, vrste materijala i boje zidova, te od predmeta koji apsorbiraju Sunčevo zračenje. Temperatura raste tijekom dana naročito u prostoriji s južne strane, gdje dostiže maksimum u podne, a zatim pada do jutro. Konstrukcija objekta u kojem se akumulira toplota mora biti izolirana izvana i bez direktne veze sa zemljom ili zrakom koji je na nižoj temperaturi. U suprotnom objekt ubrzano gubi toplinu.

Termički lagani materijali (lagani beton, porozna opeka, izolatori) se zagriju na višu temperaturu u odnosu na teške (armirani beton, kamen) jer imaju niži specifični toplinski kapacitet. To znači da će lagani materijali lakše i brže izgubiti akumuliranu toplinu nego teški materijali.

Pod ne bi trebalo prekrivati tepisima, a treba se pobrinuti i o razmještanju namještaja kako bi Sunce grijalo pod, a ne tepih i namještaj. Treba koristiti prozore s dvostrukim staklom, a dodatno se mogu koristiti zavjese, rolete i žaluzine za smanjenje gubitaka topline ili za smanjenje pregrijavanja prostorija.

Problemi pregrijavanja prostorija pojavljuju se ne samo u ljetnom periodu kada je neophodno hlađenje prostorija, već i u zimskom kada imamo razdoblje sunčanih dana s višom vanjskom temperaturom.

Pregrijavanje prostorija u ljetnom periodu se sprečava izgradnjom stalnih ili pokretnih nadstrešnica iznad zastakljenih površina te zasađivanjem listopadnog drveća na južnoj strani objekata.

Smanjenje pregrijavanja prostorija u zimskom periodu ostvaruje se izgradnjom zidova veće mase radi akumuliranja suvišne toplinske energije. Deblje zavjese kao termalni zastor važne su u zimskom periodu noću, jer mogu sačuvati i do 50% zahvaćene Sunčeve energije tijekom dana.

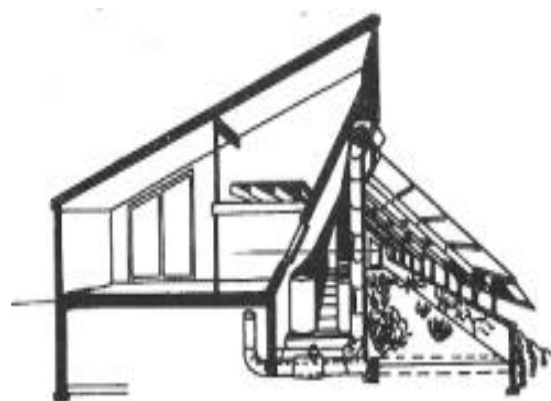
Primjena pasivnih solarnih sistema u zgradarstvu prikazani su na slikama 6., 7. i 8.



Slika 6. Obiteljska kuća - Sedona, Arizona (SAD) [8]



Slika 7. Obiteljska kuća u Njemačkoj [10]



a)



b)

Slika 8. Mogućnosti korištenja Sunčeve energije [11]
a) pasivni sistem; b) kombinacija pasivnog i aktivnog sistema

Prednosti pasivnih solarnih sistema ogledaju se u sljedećem:

- jednostavan sistem
- održavanje je minimalno
- duži vijek trajanja
- zastakljena površina ne osigurava samo skupljanje topline već je i izvor dnevne svjetlosti te je veza s vanjskim svijetom

Nedostaci pasivnih solarnih sistema:

- ultraljubičasto zračenje uzrokuje štete na tkaninama i umjetničkim djelima
- gubitak topline kroz pod, ako je u dodiru sa tlom
- narušava privatnost

5. TROMBOV ZID

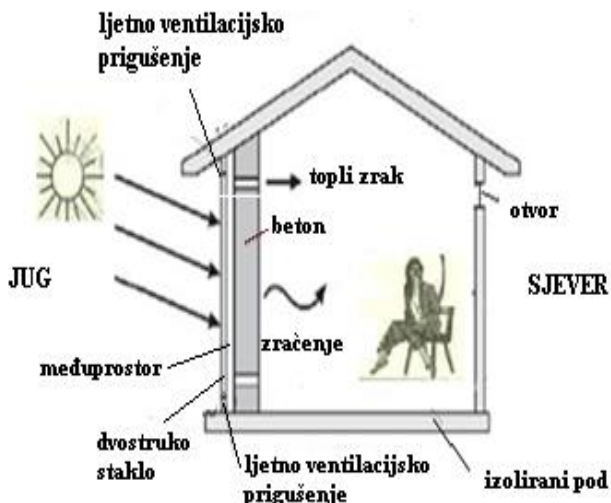
Usavršavanje pasivnog solarnog sistema za zagrijavanje prostorija zasnovanog na temelju direktnog apsorpiranja Sunčeve energije izveo je 1956. godine francuski znanstvenik i konstruktor Feliks Tromb. On je u Pirinejima sagradio solarnu kuću koja je na južnoj strani imala masivan zid obojen crnom bojom i koji je bio zastakljen, pa je istodobno bio solarni kolektor, akumulator topline i uređaj za grijanje. Matematičkom analizom je utvrdio da taj zid mora biti masivan kako bi sačuvao energiju koja dolazi do njega, pa je po njemu i dobio ime Trombov zid.

Trombov zid izrađuje se od opeke, betona ili kamena i obično je debljine od 20 do 40 cm, a sve debljine manje od 20 cm dovode do brzog zagrijavanja i pregrijavanja prostorija. S druge strane, ako je zid deblji od 40 cm neće tijekom noći zagrijavati unutrašnju stranu prostorije. Na udaljenosti od 2 do 10 cm ispred zida nalazi se staklo.

U praktičnoj primjeni su dvije varijante Trombovog zida: bez otvora i s otvorima pri dnu i vrhu zida.

Sunčeve zrake prolaze koso kroz zastakljenu površinu i padaju na Trombov zid koji se zagrijava. Oko 50% ove topline akumulira zid, a ostalih 50% zagrijava prostoriju. Brzina prenošenja topline s vanjske na unutarnju stranu zida zavisi od materijala od kojega je napravljen i od njegove debljine.

Usisani zrak kroz donji otvor zida dopijeva u prostor između zida i staklene površine. U međuprostoru zrak se zagrijava Sunčevom energijom, postaje lakši i počinje strujati prema gore. Zagrijani zrak prolazi kroz gornji otvor Trombovog zida i ulazi u prostoriju koja se grije. Zatim se zrak hladi, postaje teži, pada niže i ulazi ponovno kroz donji otvor Trombovog zida u prostor između zida i staklene površine. Tako se ponavlja opisani kružni ciklus (slika 9.).



Slika 9. Trombov zid [8]

Toplina koju je Trombov zid akumulirao prenosi se kroz zid i tijekom noći zračenjem zagrijava prostoriju. Da bi smanjili toplinske gubitke i povećali stupanj iskorištenja Trombovog zida, potrebno je u noći spustiti toplinske zastore (slika 10.).



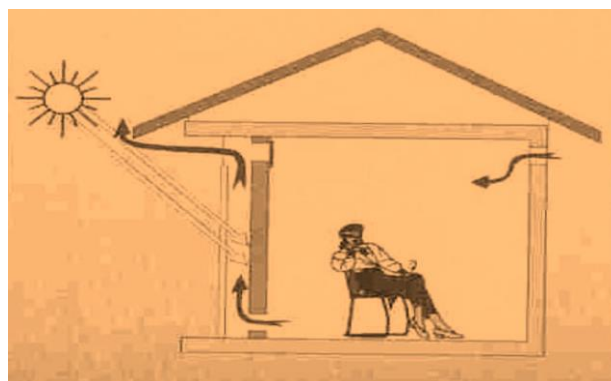
Slika 10. Zračenje Trombovog zida tijekom noći [12]

U ljetnom periodu po danu se zastori spuštaju kako bi se spriječilo pregrijavanje, a noću se podižu da bi se omogućilo hlađenje zida zračenjem (slika 11.).



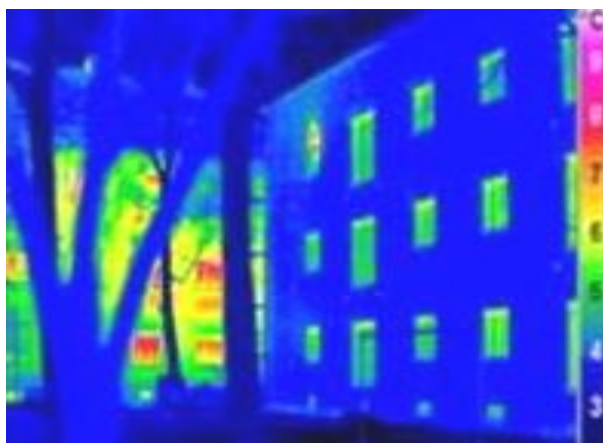
Slika 11. Hlađenje Trombovog zida zračenjem [12]

U slučaju pregrijavanja prostorija topli zrak se kroz gornji otvor u zastakljenoj površini izbacuje u atmosferu, a kroz gornji otvor u sjevernom zidu objekta se propušta svjež vanjski zrak (slika 12.). Na ovaj način je osigurano i kondicioniranje prostorija, pa nije potrebna električna klima koja osim buke što ju stvara troši i skupu električnu energiju koju treba štedjeti.



Slika 12. Kondicioniranje pasivnog solarnog sistema [12]

Sa slike 13. se vidi da je znatno manji gubitak topline kod pasivnog solarnog sistema (desno) u odnosu na tradicionalni sistem gradnje (lijevo).

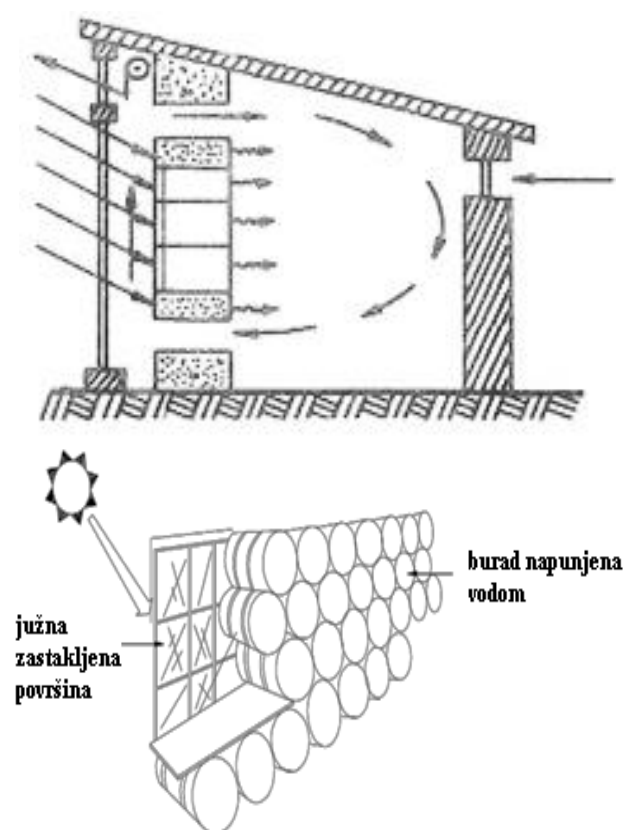


Slika 13. Termosnimka pasivnog (desno) i tradicionalnog (lijevo) sistema gradnje [10]

5.1. Varijante Trombovog zida

Od početka energetske krize 1973. godine pa do danas razvijali su se pasivni solarni sistemi za zagrijavanje prostorija na bazi Trombovog zida. Nastale su razne varijante ovog pasivnog solarnog sistema.

Kod varijante Trombovog zida umjesto masivnog čvrstog materijala postavljaju se metalni rezervoari napunjeni vodom. Rezervoari s vodom mogu se zamijeniti s više bačvi napunjenih vodom, a to je učinio Amerikanac Steve Berry [11] (slika 15.).



Slika 14. Trombov zid s vodom (vodeni zid) [11, 12]

Prednosti Trombovog zida s vodom u odnosu na čvrsti Trombov zid su [11]:

- zbog manjih nezavisnih toplinskih jedinica ovaj sistem daje bolje rezultate nego čvrsti Trombov zid
- pri istoj zapremini zida voda akumulira oko dva puta više džula (J) nego beton, a pri istoj masi oko pet puta više
- pravac prostiranja topline kroz zid nije jednosmjernan
- u vodi se toplina brže prenosi s jedne strane zida na drugu pa nema vremenskog kašnjenja u prijenosu topline s crne vanjske strane bačvi okrenutih Suncu prema unutrašnjosti prostorije koja se zagrijava

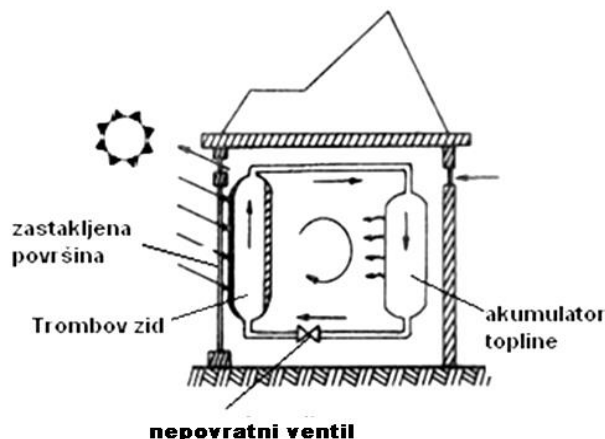
U zimskom periodu se noću spušta toplinski zastor smješten između zastakljene površine i crnih prednjih strana bačvi da bi se spriječilo zračenje topline iz njih u atmosferu, te da bi se sačuvala akumulirana toplina u prostoriji.

U ljetni se zastor noću podiže da bi se bačvama omogućilo zračenje topline u atmosferu, zbog čega se voda hladi, a time se hladi i unutrašnjost prostorije. Sprečavanje pregrijavanja prostorija danju, kada je

vanjska temperatura previsoka, također se ostvaruje spuštanjem zastora [11].

Istraživanja pokazuju da se efikasnost pasivne solarne energije zasnovane na principu Trombovog zida može povećati, ako se ostvari strujanje vode ili zraka kroz cijevi većih prečnika ili kroz kanale tako da se dobije zatvoreno kolo. Strujanje vode ili zraka kroz cijevi ili kanale može biti prirodne ili prinudne cirkulacije.

Zatvoreno kolo strujanja vode iz Trombovog zida prema akumulatoru topline prikazano je na slici 15.

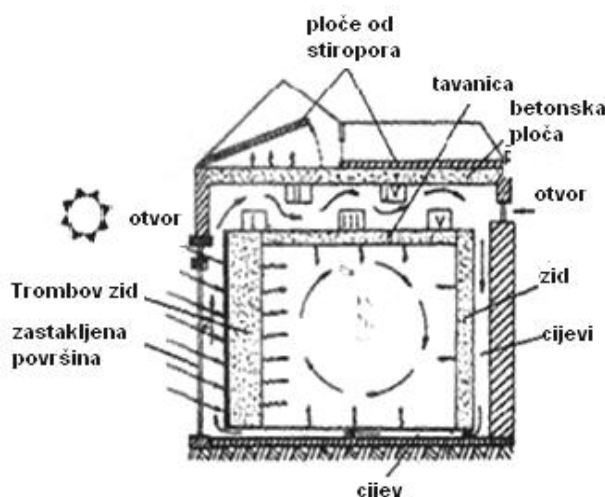


Slika 15. Trombov zid - zatvoreno kolo strujanja vode [11]

Sunčeve zrake, nakon što prođu kroz zastakljenu površinu, padaju na zacrnjenu prednju stranu Trombovog zida kojeg čini metalni cilindrični rezervoar napunjen vodom. Zadnja strana rezervoara je termički izolirana prema unutrašnjosti prostora koji se grije. Zagrijana voda kao lakša se diže i prirodnim putem dolazi u veći akumulator topline koji zagrijava prostoriju. Prirodni kružni tok vode se nastavlja kroz cijevi i vraća se u Trombov zid pa se cijeli proces ponavlja.

U slučaju da voda u Trombovom zidu nije dovoljno zagrijana za vrijeme oblačnih i maglovitih dana, strujanje u suprotnom smjeru sprečava nepovratni ventil.

Jednostavnija konstrukcija i bolji stupanj iskorištenja se postiže strujanjem zraka u zatvorenom kolu u koje je uključen Trombov zid (slika 16.).



Slika 16. Trombov zid - zatvoreno kolo strujanja zraka [11]

Sunčeve zrake prolaskom kroz zastakljenu površinu padaju na Trombov zid i zagrijavaju ga, a on dalje zračenjem zagrijava unutrašnjost prostorije. Topli zrak između zastakljene površine i Trombovog zida struji naviše i ulazi u prostor između dvije tavanice. U ovom međuprostoru su smještene posude s vodom (I-V) kao akumulatori topline. Prolaskom toplog zraka između posuda zagrijava se voda u njima, dok zrak dalje putem cijevi dolazi u međuprostor između Trombovog zida i zastakljene površine [11].

Strujanjem toplog zraka zagrijavaju se i tavanica i pod prostorije pa toplotna energija dopijeva u prostoriju sa svih strana. Preko gornje betonske ploče toplina dolazi i u potkrovlje, a ako se želi spriječiti ovaj prijelaz topline postavljaju se npr. ploče od stiropora. Dizanjem i spuštanjem ovih ploča regulira se temperatura u potkrovlju, ali i u prostoru s posudama s vodom. Temperatura ovog međuprostora može se regulirati i pomoću dva otvora, jednog na zastakljenoj površini i drugog na vanjskom sjevernom zidu.

5.3. Prednosti i nedostaci Trombovog zida

Primjeri izgrađenih objekata s Trombovim zidom su prikazani na slikama 17. i 18.



Slika 17. Obiteljska kuća - zapadni Wales, Velika Britanija [8]



Slika 18. Obiteljska kuća - Silverton, Colorado (USA) [8]

Prednosti Trombovog zida:

- nema pokretnih dijelova i održavanja
- ugodna toplina elemenata zgrade (zidova, stropova, podova)
- jeftiniji prirodni građevinski materijali

- jednostavno ugrađivanje u strukturu gradnje kao vanjski ili unutarnji zid

Nedostatak Trombovog zida:

- vanjski zidovi su izvor gubitaka topline tijekom dužeg oblačnog razdoblja

5.4. Stupanj iskorištenja Trombovog zida

Praksa je pokazala da betonski zid debljine od 40 do 50 cm pri optimalnom Sunčevom zračenju može akumulirati toplinsku energiju za idućih 24–28 sati.

Zadovoljavajuće rastojanje između zastakljene površine i Trombovog zida iznosi 10 do 15 cm. Dimenzije otvora u Trombovom zidu minimalno su $1\text{m} \times 0,1\text{m}$ [9]. Veličina kolektorske površine Trombovog zida zavisi od zapremnine stambene prostorije, od geografske širine mjesta i kvalitete toplinske izolacije objekta. Za dobro izoliranu kuću u našim krajevima na oko 45°C sjeverne geografske širine odnos između potrebne kolektorske površine A_k i zapremnine prostorije V iznosi $A_k/V = 0,1$. To znači da je za svakih 100 m^3 zapremnine prostorije potrebno oko 10 m^2 kolektorske površine. Pri odnosu $A_k/V = 0,1$, Sunčevom energijom se može pokriti 50 do 75% potrebne toplinske energije. Na osnovi odnosa $A_k/V = 0,1$ potrebno je izgraditi duževremenski akumulator topline, gdje je za svaki metar kubični zapremnine prostorije potrebno oko 10 l zapremnine akumulatora.

Na konkretnom primjeru je pokazan način proračuna kolektorske površine Trombovog zida i zapremnine akumulatora topline.

Prostorija toplinski izolirane kuće s Trombovim zidom ima zapremninu od 250 m^3 , a osnovnu površinu 100 m^2 . Trombov zid je od betona debljine 40 cm, a kuća se nalazi u našim krajevima i na 1 m^2 njenog vertikalnog zida u zimskim uvjetima dolazi oko 100 kWh/danu Sunčeve energije od koje zid apsorbira oko 50%, odnosno:

$$Q = 50 \frac{\text{kWh}}{\text{danu}} = 50 \cdot 3,6 \text{ MJ} = 180 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

Kolektorska površina se dobije iz uvjeta:

$$A_k/V = 0,1 \quad (1)$$

Iz jednadžbe (1) imamo:

$$A_k = V \cdot 0,1 = 250\text{ m}^3 \cdot 0,1 = 25\text{ m}^2$$

Masa Trombovog zida je

$$m = \rho V \quad (2)$$

a na temelju (2) je:

$$m = 2500 \text{ kgm}^{-3} \cdot 25\text{ m}^2 \cdot 0,4 \text{ m} = 25000 \text{ kg}$$

Iz poznate jednadžbe

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (3)$$

dobije se promjena temperature:

$$\Delta t = \frac{Q}{m \cdot c}$$

$$\Delta t = \frac{180 \cdot 10^3 \text{ kJ}}{25 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 0,886 \text{ kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}} = 8,13 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ako je početna temperatura Trombovog zida bila 22°C, onda nakon zagrijavanja Sunčevom energijom iznosi 30,13°C ≈ 30°C, što je povoljno za zimski period. Za svaki kubični metar zapremnine prostorije potreban je akumulator topline zapremnine 10 l.

Za ovaj primjer neophodna je zapremnina akumulatora topline:

$$250 \text{ m}^3 \cdot 10 \text{ l/m}^3 = 2500 \text{ l}$$

6. ZAKLJUČAK

Istraživanjem je utvrđeno da se na temelju dovoljnog solarnog potencijala treba poduzeti sve kako bi se povećala energetska učinkovitost zgrada, a jedna od njih je i pasivno korištenje Sunčeve energije. Zbog ravnomjernog zagrijavanja svih prostorija u pasivnoj zgradi stvara se ugođaj koji je neusporediv s neugodnim toplotnim zračenjem u klasičnim zgradama grijanim fosilnim gorivima.

Standard pasivne gradnje podrazumijeva pokušaj smanjenja potrošnje energije i udovoljavanje globalnim zahtjevima: očuvanje prirodnog bogatstva i zaštita okoliša. Iskustva primjene pokazuju da se pasivnim korištenjem Sunčeve energije doprinosi i do deset puta manjim ukupnim energetske potrebama zgrada.

Pasivno korištenje Sunčeve energije u zgradarstvu ne traži nabavu nove i složene tehnologije, već sistem funkcionira tako da su elementi zgrade (kamen, beton, staklo, drvo, metal) sakupljači topline koja se prenosi prijelazom, provođenjem ili zračenjem.

Dokazano je da se Trombov zid uz razumna financijska sredstva može ugraditi pri rekonstrukciji postojećih, ali i gradnji novih zgrada. Za osrednje izoliran objekt od 100 m² Trombov zid može uštedjeti i do 30% toplinske energije.

Trenutačno u svijetu ima vrlo malo energetske učinkovitih objekata. Sa svakim novosagrađenim stambenim objektom ostvarila bi se neophodna iskustva koja bi bila osnova za buduću gradnju još boljih objekata. U budućnosti se može očekivati da se zakonskom regulativom u graditeljstvu definira poštivanje načela energetske učinkovite zgrade.

Praktična primjena pasivne gradnje će povećati vrijednost novosagrađenih objekata na tržištu. Investitori koji to na vrijeme i prije drugih shvate, i u svojim poslovnim aktivnostima primjene, imat će konkurentsku prednost u odnosu na druge.

7. LITERATURA

- [1] Kulić, E.: Korištenje energije u zgradarstvu, Mašinstvo 1(6), 2002., 41 – 50.
- [2] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm> (Dostupno: 30.01.2013.)
- [3] <http://www.savezenergeticara.org.rs/wp-content/uploads/2011/11/Energija-Ekonomija-Ekologija-5-2009.pdf>(str.67,Dostupno: 08.02.2013.)
- [4] Zbašnik-Senegačnik, M.: Pasivna kuća, Zagreb, Sunčana arhitektura, 2009.
- [5] <http://www.ekologija.ba/userfiles/./Uradi%20sam%20solarni%20kolektor...> (Dostupno: 30.01.2013.)
- [6] <http://seminar.tvz.hr/materijali11/11A03.pdf> (Dostupno: 10.02.2013.)
- [7] Bijedić, Dž.: Holizam u arhitekturi, Univerzitet u Sarajevu, Arhitektonski fakultet, 2011.
- [8] Koški, Ž.; Zorić, G.: Akumulacija Sunčeve energije u obiteljskim pasivnim kućama, e-GFOS, Vol. 1 No. 1, 2010., 80-92.
- [9] <http://www.ekologija.ba/./Obnovljivi%20izvori%20energije%20%20Studija.pdf>.(Dostupno:10.02.2013.)
- [10] <http://www.slideshare.net/IldaKoca/solarna-arhitektura> (Dostupno:11.02.2013.)
- [11] Zrnić, S.; Čulum, Ž.: Grijanje i klimatizacija, „Naučna knjiga“ Beograd, 1999.
- [12] http://www.ecoarchitects.gr/research_docs/117123697.pdf(Dostupno:11.04.2013.)

Kontakt autora:

mr. sci. Nurdin Čehajić, dipl. ing. maš.

J.U. Mješovita srednja škola Živinice

Ul. Alije Izetbegovića 12a

75270 Živinice

+387 35 772 611

nurddin_cekajic@hotmail.com