Analiza ekonomske isplativosti izgradnje po principu "pasivne kuće"

Čoklec, Nikola

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:993495

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

University North Digital Repository

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište
Sjever

Završni rad br. 309/GR/2017

Analiza ekonomske isplativosti izgradnje po principu "pasivne kuće"

Nikola Čoklec, 5119/601

Varaždin, rujan 2017. Godine

Sveučilište Sjever

Odjel za Graditeljstvo

Završni rad br. 309/GR/2017

Analiza ekonomske isplativosti izgradnje po principu "pasivne kuće"

STUDENT

Nikola Čoklec, 5119/601

MENTORICA

dipl.ing.arh. Antonija Bogadi, pred.

Varaždin, rujan 2017. godine

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, HR–42000 Varaždin

UNIVERSITY NORTH

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL: Odjel za graditeljstvo

PRISTUPNIK: Nikola Čoklec | MATIČNI BROJ: 5119/601

DATUM: | KOLEGIJ: Završni radovi i instalacije u graditeljstvu

NASLOV RADA: Analiza ekonomske isplativosti izgradnje po principu "pasivne kuće"

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU: "Passivhaus" construction principle: Cost benefit analysis

MENTOR: Antonija Bogadi | ZVANJE: predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA:

1. prof.dr.sc. Božo Soldo
2. mr.sc. Vladimir Jakopec, predavač
3. Antonija Bogadi, predavač
4. dr. sc. Aleksej Aniskin, viši predavač
5.

Zadatak završnog rada

BROJ: 309/GR/2017

OPIS:

Pristupnik u Radu izlaze načela izgradnje "pasivne kuce" i povezuje ih sa sljedećim aspektima izgradnje obiteljske kuće: arhitekt ura, sustavi grijanja, hlađenja, ventilacije i upravljanje energijom, sto rezultira zaključkom o osnovnim aspektima koji definiraju gr adnju vođenu načelima "pasivne kuce". Nadalje pristupnik treba izložiti analizu troskova izgradnje po gore navedenim principima te ih usporediti sa troskovima izgradnje standardne obiteljskoe kuce slicne kubature. Zadatak se u radu treba obraditi po sljedec im točkama: 1. Osnovna načela izgradnje "pasivne kuce" , 2. Osnovni aspekti koji definiraju gradnju vodenu principima "pasivne kuce", 3. Usporedba troskova gradnje vodene principima "pasivne kuce" i standardne kuce po katrgorijama: arhitektura, sustavi grijanja, hlađenja, ventilacije i upravljanje energijom.

ZADATAK URUČEN: 10.9.2017. | POTPIS MENTORA:

SVEUČILIŠTE SJEVER

Sažetak

U ovom radu spomenut ću zašto je bitno raditi na razvijanju pasivnih i nisko-energetskih objekata u svijetu, s obzirom na to da je rast porošnje energije jedan od najvećih problema današnjih, ali i budućih generacija.

U jednom djelu ovog rada spominjat ću sva osnovna načela projektiranja kojih se mora pridržavati da postignemo koncept pasivne kuće, ali odmah ću i spomenuti da se neki od tih načela mogu koristiti i kod projektiranja ostalih objekata kod kojih tada dolazi do smanjenja uporabe energije objekta, ali usto se i poboljšava kvaliteta boravka u istom objektu.

Dotaknuti ću se problema kojih se mogu javiti kod izgradnje pasivne kuće. Baviti ću se i isplativosću izgradnje pasivnih kuća s obzirom na standardne kuće.

Ključne riječi: orijentacija, oblik zgrade, toplinska izolacija, toplinski mostovi, zrakonepropusnost, ventilacija, toplinska crpka, isplativost

Abstract

.

In this thesis I will also mention why is it important to work on developing low energy-consuming and passive objects in entire world, considering that high energy consumption is one of the biggest problems of current and future generations.

In one part of this thesis I will be writing about all of the basic principles and rules we should follow while designing passive homes, and also about application of these same rules in designing other types of objects, all in favor of reducing energy consumption and making life quality in these objects better.

I will mention various problems we could encounter while building passive house, but also profitability of building passive houses in compare with standard houses.

Key words: orientation, building shape, thermal isolation, thermal bridge, airtightness, ventilation, heat pump, profitability

SADRŽAJ:

1. UVOD 1
2. SMANJIVANJE UPORABE ENERGIJE U ZGRADAMA 2
2.1. Pasivna kuća 2
2.2. Toplinska bilanca pasivne kuće 3
2.3. Proračun za godišnje potrebne topline za grijanje 5
2.4. Ekološki osviješteno stanovanje 6
2.5. Ekološki izbor materijala 7
3. OSNOVNA NAČELA PROJEKTIRANJA PASIVNIH KUĆA 9
3.1. Orijentacija 9
3.2. Spremanje sunčeve energije 10
3.3. Oblik zgrade 13
3.4. Toplinska hijerarhija prostora – temperaturno zoniranje 14
3.5. Tehnologija gradnje 15
3.6. Toplinska izolacija 18
3.7. Prozori i vrata 21
3.8. Zaštita od ljetnog pregrijavanja 23
4. TOPLINSKI MOSTOVI 24
4.1. Posljedice toplinskih mostova 24
4.2. Vrste toplinskih mostova 25
5. ZRAKONEPROPUSNOST 27
5.1. Projektiranje zrakonepropusnog plašta 28
5.2. Zrakonepropusnost materijala 31
5.3. Vjetronepropusnost 32
6. VENTILACIJA 33
6.1. Rad kontrolirane ventilacije 33
6.2. Zemni skupljač 35
6.3. Zvučna zaštita 36
7. GRIJANJE PASIVNIH KUĆA 37

7.1. Toplinska crpka 37
7.2. Način rada toplinske crpke 38
7.3. Vrste toplinskih crpki 39
7.4. Pretvaranje sunčeve energije i njezini pretvornici 41
8. USPOREDBA EKONOMSKE ISPLATIVOSTI PO STANDARDU PASIVNE KUĆE I STANDARDNE KUĆE 43
8.1. Arhitektura 43
8.2. Sustavi grijanja-hlađenja 46
8.3. Ventilacija 47
8.4. Upravljanje energijom 48
9. ZAKLJUČAK 52
10. LITERATURA 53
11. POPIS SLIKA 54
12. POPIS TABLICA 56

1. UVOD

Rast potrošnje energije predstavlja jedan od največih problema sadašnjice, ali i budućih generacija. Čovječanstvo već duži niz godina proučava na koji način smanjiti potrošnju energije. Pojedine grane industrije su se usmjerile tehnologijama koje teže štednji energije i što manjem štetnom utjecaju na okoliš. Jedna od grana koja ima ogromnu ulogu u potrošnji energije i očuvanju okoliša je građevinska industrija. Više od jedne trećine potrošene energije u industrijaliziranim zemljama koristi se u zgradarstvu i to najviše za potrebe grijanja.

Danas pozajemo više tipova nisko-energetskih kuća: nisko-energetska kuća, trolitarska kuća, pasivna kuća, nulta-energetska kuća, energetski samodostatna kuća, plus-energetska kuća. U ovome seminarskom radu odlučio sam posvetiti pozornost pasivnim kućama. Pasivne kuće sam odabrao zbog toga što imaju odličan omjer između uloženog i dobivenog. Troškovi izgradnje pasivnih kuća trenutno su veći za 10-20% od izgradnji standardnih kuća, a potrošnja energije potrebne za grijanje prostora je smanjena za oko 80%. Nakon što to uzmemo u obzir očito je da se kroz određeni vremenski period izgradnja pasivne kuće isplati i u finacijskom smislu. Standard života u pasivnoj kući nije ništa lošiji nego kod standardnih kuća, nego se postiže i kvalitetniji standard života što je osigurano tehničkim poboljšanjima na plaštu objekta i kućnoj tehnici.

2. SMANJIVANJE UPORABE ENERGIJE U ZGRADAMA

Smanjivanje upotrabe energije jedna je najbitniji stvari trenutno u gradnji. Prikazat ću kakvi gubitci topline postoje u nekom objektu, a kakvi dobitci i koji mora biti kranji rezultat između tog dvoje da bi se postigao cilj i da dođe do smanjenja uporabe energije u zgradi.

2.1. Pasivna kuća

Pasivna kuća je energetski štedivlja zgrada, a godišnja potrebna toplina za grijanje ne smije biti viša od 15 kWh/(m^2a). Pasivna kuća ne koristi standardne sustave grijanja, nego se potrebna toplina za grijanje prostora dovodi preko uređaja za prozračivanje, koji istodobno osigurava vraćanje topline istrošenog zraka. Za izgradnju nisu potrebne nikakve nove komponente, sve zahtjeve moguće je ispuniti ugradnjom inovativnih tehničkih uređaja za grijane i prozračivanje. Pristup izgradnji se razlikuje od uobičajnog načina, potrebna je suradnja i sudjelovanje različitih struka od samog početka. Potrošnja energije u pasivnim kućama je do četri puta manja u usporedbi s novoizgrađenim objektima prema trenutnim propisima. To omogućuje opskrba energijom iz obnovljivih izvora. Pasivna kuće nisu samo obiteljske kuće, mogu biti: višestambene zgrade, poslovne zgrade, škole, sportske dvorane, dečji vrtići, crkve.



Slika 1. *Poslovna zgrada inovacijskog centra Weiz, Austrija*

Izvor: http://architecturenow.co.nz

Slika 1. prikazuje poslovnu zgradu inovacijskog centra Weiz u Austriji. Objekat je izgrađen od masivnog drveta i stakla, ukupne površine 2000 m^2. Ako se tijekom zime u objektu nalazi više od 17 ljudi, objekat nije potrebno grijati.

Karakteristične specifične vrijednosti za pasivne kuće su:

→ godišnja potrebna toplina za grijanje ≤ 15 kWh/(m^2a)

→ zajednička godišnja potrošnja primarne energije ≤ 120 kWh/(m^2a)

→ zajednička potrošnja električne energije ≤ 18 kWh/(m^2a)

→ toplinski gubitci ≤ 10 W/m^2

→ zrakonepropusnost $n_{50} < 0,6\ h^{-1}$

2.2. Toplinska bilanca pasivne kuće

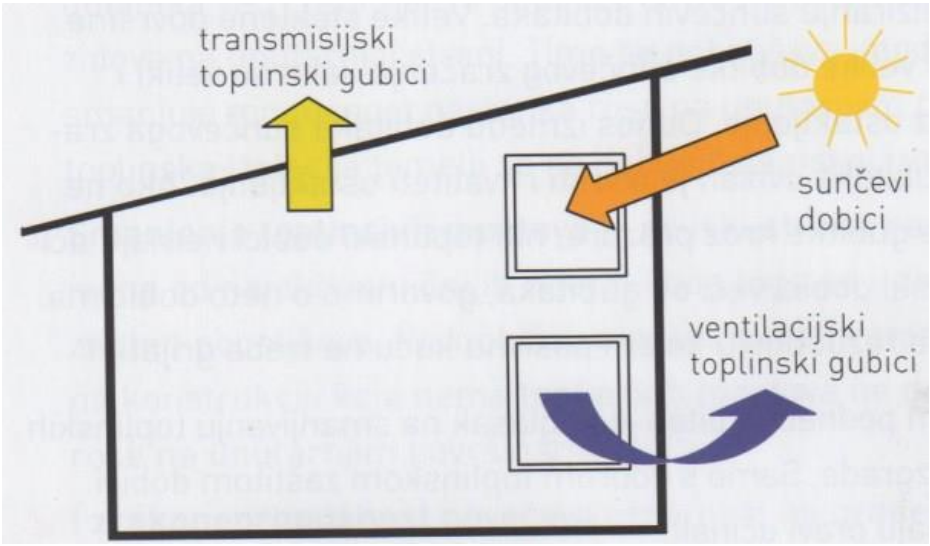
Kod pasivnih kuća što važnije je postići smanjenje toplinskih gubitaka i povećavanje toplinskih dobitaka, ako ne smanjimo toplinske gubitke tada toplinski dobitci nemaju učinak. Staklene površine omogućavaju velike količine sunčevog zračenja, ali kroz staklene površine se javljaju i veliki toplinski gubitci. Toplinski dobitci kroz staklene površine nemaju učinak ako ne smanjimo toplinske gubitke, a oni prvobitno ovise o vrsti i kvaliteti ostakljenja. Kada je odnos takav da su toplinski dobitci veći od gubitaka govorimo o neto dobitcima. Pasivna kuća gubi toplinu na dva načina: gubitkom topline kroz plašt objekta i prozračivanjem, a kada imamo dobro izolirani objekt da postignemo toplinsku bilancu važni su nam toplinski dobitci. U pasivnoj kući možemo postići toplinske dobitke iz različiti izvora: dobitci sunčevog zračenja i dobitci od unutarnjih izvora.

Transmisijski toplinski gubitci su manji ako je plašt zgrade bolje izoliran i ako imamo što manje toplinskih mostova. Transmisijski toplinski gubitci su gubitci topline zbog prolaza topline kroz građevni element. Koeficijent prolaska topline U [W/(m^2K)] označava transmisijske toplinske gubitke.

Toplinski gubitci od prozračivanja su gubitci zbog izmjene zraka između prostora u objektu i vanjske okoline. Prozračivanje može biti namjensko koje nastaje otvaranjem prozora ili

mehaničkim prozračivanjem, a može biti i nenamjensko koje se javlja kao posljedica prozračivanja kroz reške, pukotine i sl. Gubitke od prozračivanja možemo smanjiti ugradnjom zrakonepropusnih prozora i plašta objekta.

Dobitci sunčevog zračenja su dobitci koje se dovode u objekat kroz ostakljene površine. Količina dobitaka od sunčevog zračenja veomao ovisi o staklenim površinima i njihovoj orijentaciji. Najviše sunčevih dobitaka se očekuju na južnim stranama, a najmanje na istočnim i zapadnim stranama, pa treba uzeti u obzir da bi se po tome projekat trebao prilagoditi da na južnoj strani bude najviše staklenih površina. Na količinu toplinskog dobitka od sunčevog zračenja u obzir treba uzeti utjecaj o toplinskim karakteristikama staklenih površina, moguća zasjenjenja, upadni kut sunčevih zraka i prljavštinu na prozorima.

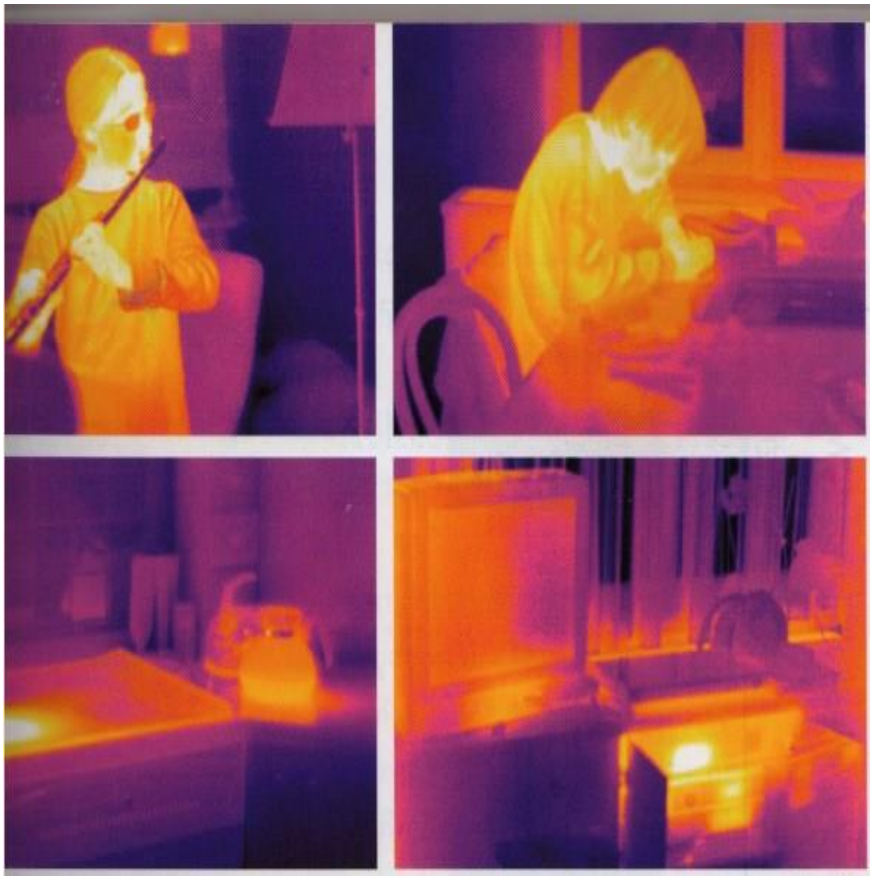


Slika 2. *Toplinska strujanja kroz plašt zgrade*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.

Dobitci od unutarnjih izvora su posljedica rada električnih strojeva i uređaja u objekt, ali toplinu daju i ljudi, zbog toga se u proračun u obzir uzima broj stalnih korisnika građevine. Količina topline koje daju električni uređaji pri radu najčešće ovisi o broju korisnika, uzimajući u obzir da prosječno ljudsko tijelo daje toplinu od otprilike 100 W (ovisi o tjelesnoj aktivnosti)

dolazimo do podatka da sezona grijanja ovisno o lokacije prosječno iznosi 225 dana kod klasičnih kuća. Kod pasivnih kuća ona prosječo iznosi 150 dana, dogrijavanje je potrebno samo od 30 do50 dana, a preostalo vrijeme dovoljna je toplina od sunčevog zračenja i unutarnjih izvora.



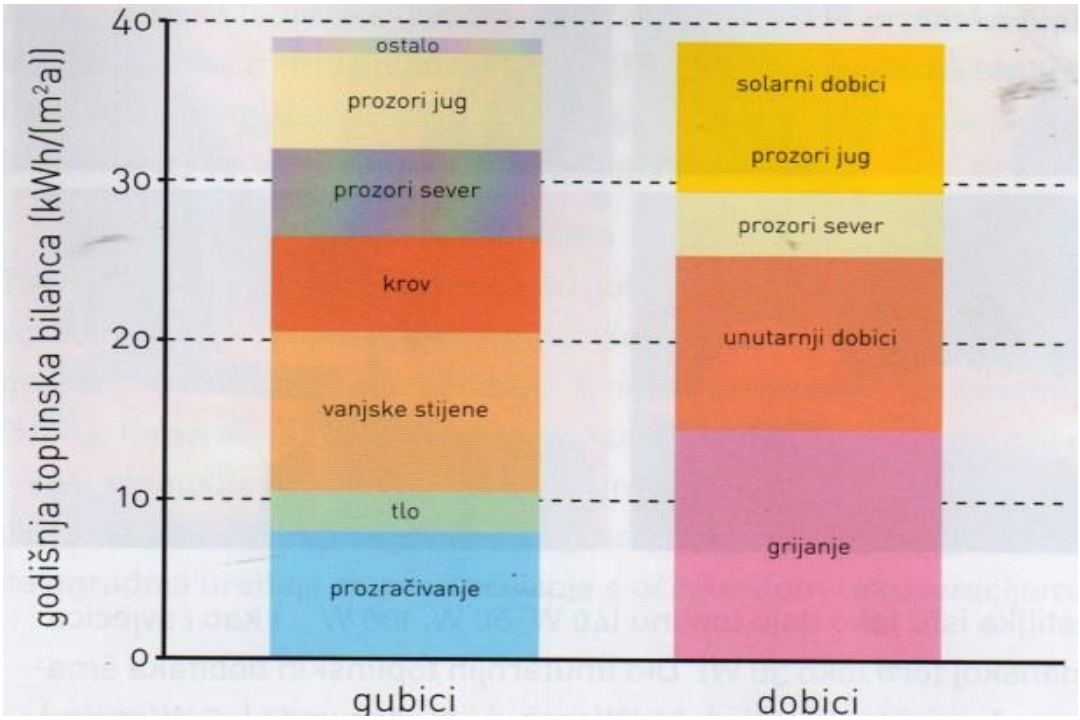
Slika 3. *Unutarnji izvori topline*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.

2.3. Proračun za godišnje potrebne topline za grijanje

Godišnja potrebna toplina za grijanje je razlika između toplinski gubitaka i toplinskih dobitaka od unutarnjih izvora i sunčevog zračenja. Potrebnu razliku za toplinom pokriva sustav grijanja,a potrošnja za grijanje ne smije preći 15 kWh/(m^2a), jer u tome slučaju toplozračno grijanje nebi bilo zadovoljavajuće, nego bih se za osiguravanje temperaturne ugodnosti trebao koristiti jedan

od klasičnih sustava grijanja. Da bih se postigla bolja toplinska bilanca u objektu jedan od načina je povečanje unutarnjih izvora topline, npr. prostorije grijati većim brojem žarulja i drugim uređajima koje rade na električnu energiju i proizvode toplinu. Radi ekoloških razloga zbog prije navednog načina na koji je moguće povečati unutarnje toplinske dobitke unaprijed se spriječava ograničenjem zajedničke upotrabe energije koja ne smije prolaziti 120 kWh/(m^2a).



Slika 4. *Godišnja toplinska bilanca pasivne kuće*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.

Slika 4. nam prikazuje prosječnu godišnju potrošnju pojedinih načina na koji gubimo toplinu i na koji dobivamo toplinu, uzimajući u obzir da je na desnom stupcu kod dobitke uzeto grijanje koje ne prelazi 15 kWh/(m^2a). Gledajući sliku dolazim do zaključka da su godišnji gubitci – (godišnje dobitke + grijanje) = 0

2.4. Ekološki osviješteno stanovanje

Ispitivanja su pokazala da su se navike stanara koji nekoliko godina žive u nisko-energetskim, pasivnim ili ekološkim naseljima promjenio njihov odnos prema očuvanju okoliša. U takvima naseljima javljaju razne aktivnosti koje utječu na očuvanje okoliša, a također i na poboljšanje

kvalitete života. Neke od aktivnosti koje su javljaju su primjerice: sakupljanje kišnice u naseljima, odlaganje organskih tvari na zajednička kompostišta, čišćenje otpadnih voda iz kućanstva pomoću vodenih biljaka. Ove aktivnosti zahtjevaju poštivanja pravila i dogovora između stanara, s čime se može zaključiti da se u takvim naseljima javlja i kvaletitetan društveni život i međusobno poštovanje izmeđ stanara.

2.5. Ekološki izbor materijala

Posljednih godina, kada je čovjek počeo sve više uviđati kako su ljudska djelovanja imala posljedice na okoliš, čovjeka te njegovo stanje i zdravlje, okrenuo se energetski štedljivoj gradnji koja ima veliki doprinos poboljšanju stanja. U Europi je više od 40% potrošnje energije vezano za zgrade. Ne radi se samo o energiji koja je potrebna za grijanje, prozračivanje, uređaje, osvjetljenje u objektu, nego i o energiji koja je potrebna za proizvodnju materijala koji se koriste u gradnji. Većina suvremenih materijala vrlo je energetski rastrošna – u fazi proizvodnje, i u fazi uklanjanja materijala kada građevni element izgubi svoja svojstva i namjenu, tada materijal postaje građevni otpad. Neki od materijala još tijekom svojeg životnog ciklusa uzrokuju štetne ili čak otrovne emisije i opterećuju stambeni prostor. Radi nedostatnog prozračivanja te koncetracije često prelaze nedopuštenu granicu i korisnicima uzrokuju različite probleme i bolesti od kojih neke mogu biti i smrtonosne. Radi ovoga štetnog utjecaja sve više država traže materijale za čiju proizvodnju nije potrebna velika količina energije i uz to su ugodniji za život i nemaju negativan utjecaj na korisnika toga objekta po pitanju ugodnosti boravka i zdravlja.

U posljednim godinama izvedeno je nekoliko zgrada koje su izvedene u standardu pasivne kuće, ali i u ispunjavanju ekoloških mjerila prilikom izbora materijala. Pasivne kuće su građene kombinacijom slame i ilovače, a nosivu konstrukciju preuzima drvena građa i koriste se u različitim namjenama: stambena kuća, kuća za odmor, poslovna kuća. Sve zgrade neovisno o namjeni građene su sličnom tehnologijom i u njima još dan danas se vrše mjerenja koja potvrđuju dali zadovoljavaju uvjetima o stambenoj ugodnosti i niskoj potrošnji energije. Pravokutni blokovi od slama se ugrađuju između nosive drvene konstrukcije i stisnu se poliporpilenskim vrpcama. Na blokove od slame se nanosi žbuka od ilovače, koja ujedno štiti slamu od vanjskih utjecaja i povećava njezinu požarnu sigurnost. Žbuka od ilovače je odličan izbor jer veoma dobro

izjedničava vlagu u prostoru i sprema toplinu, a na taj način izravnava količinu vlage i izjednačava odnos temparature u prostoru.



Slika 5. *Kuća građena slamom kao izolacijski materijal*

Izvor: www.gradnja.rs

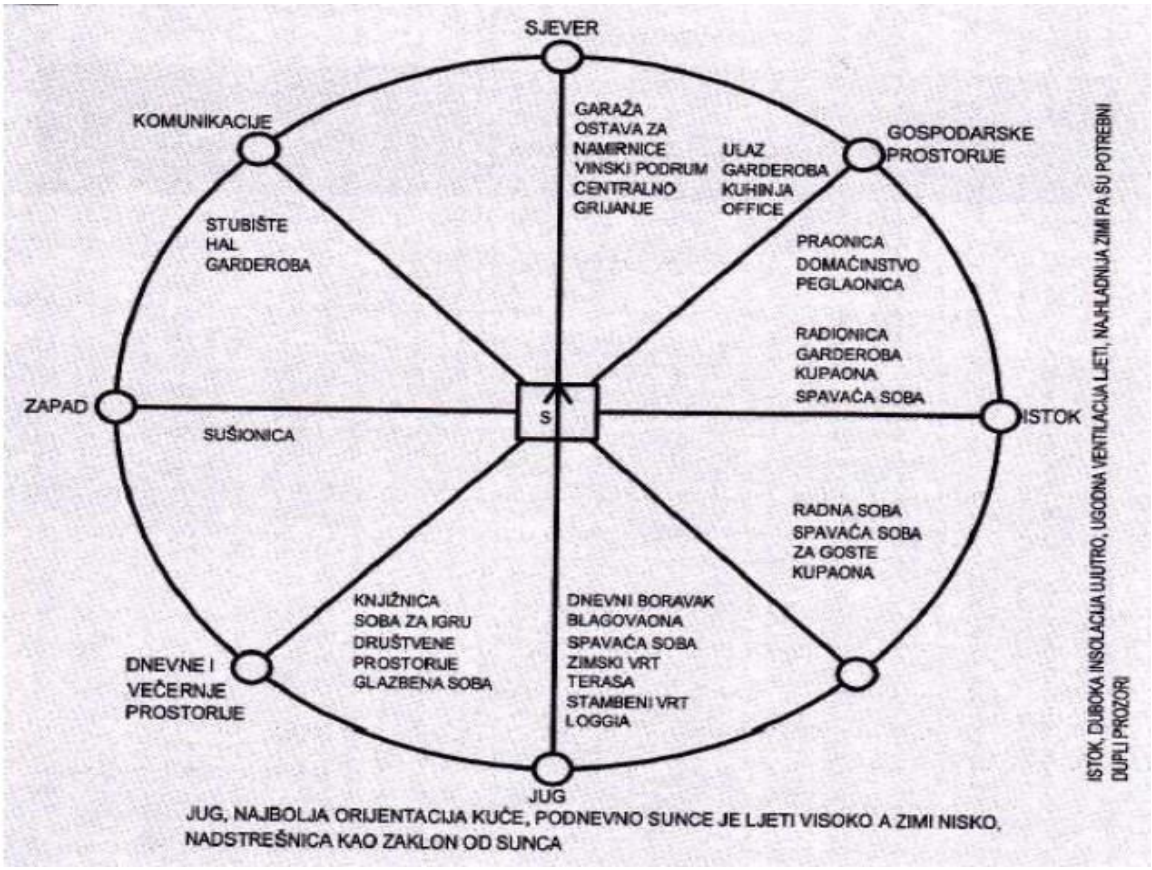
3. OSNOVNA NAČELA PROJEKTIRANJA PASIVNIH KUĆA

Osnovna načela projektiranja pasivnih kuća proizlaze iz osnova projektiranja standardnih obiteljskih kuća u koje su ugrađeni dodatni zahtjevi i preporuke.

3.1. Orijentacija

Orijentacija objekta jedna je značajnijih problema kojim se treba baviti već u samom početku projektiranja, možemo čak reći da ne u samom početku projektiranje nego već prilikom odabira zemljišta na kojemu ćemo graditi objekat. Količina sunčeve topline koju ćemo dobiti ovisi o godišnjem dobu i kretanju sunca te orijentaciji pročelja. Prozori na južnoj strani objekta ljeti su manje obasjani od prozora na istočnoj i zapadnoj strani. Tijekom zimskog razdoblja južna strana je bolje obasjana nego istočna i zapadna. U hladnijim vremenskim dijelovima godine južna strana omogućuje maksimalnu iskoristivost sunčeve energije i time do 40% doprinosi grijanju zgrade. Upravo to je razlog zašto je prednost da imamo što više staklene površine na južnoj strani pročelja. Otklon zgrade za 10° od južne orijentacije smanjuje zaprimanje topline potrebne za grijanje za 0,1 kWh/(m^2a). Radi toga razloga preporučuje se otklon od juga za najviše ±20°.

Prilikom projektiranja treba uzeti u obzir položaj orijentacije prostorija u objektu s obzirom na strane svijeta, čime postižemo kvalitetniji i ugodniji boravak unutar objekta s obzirom o namjeni pojedinih prostorija. Na slici 6. prikazane su preporučane strane prostorija s obzirom na strane svijeta.



Slika 6. *Smještaj prostorija u odnosu na strane svijeta*

Izvor:Biondić, Lj.(2011). Uvod u projektiranje stambenih zgrada. Zagreb, Golden marketing

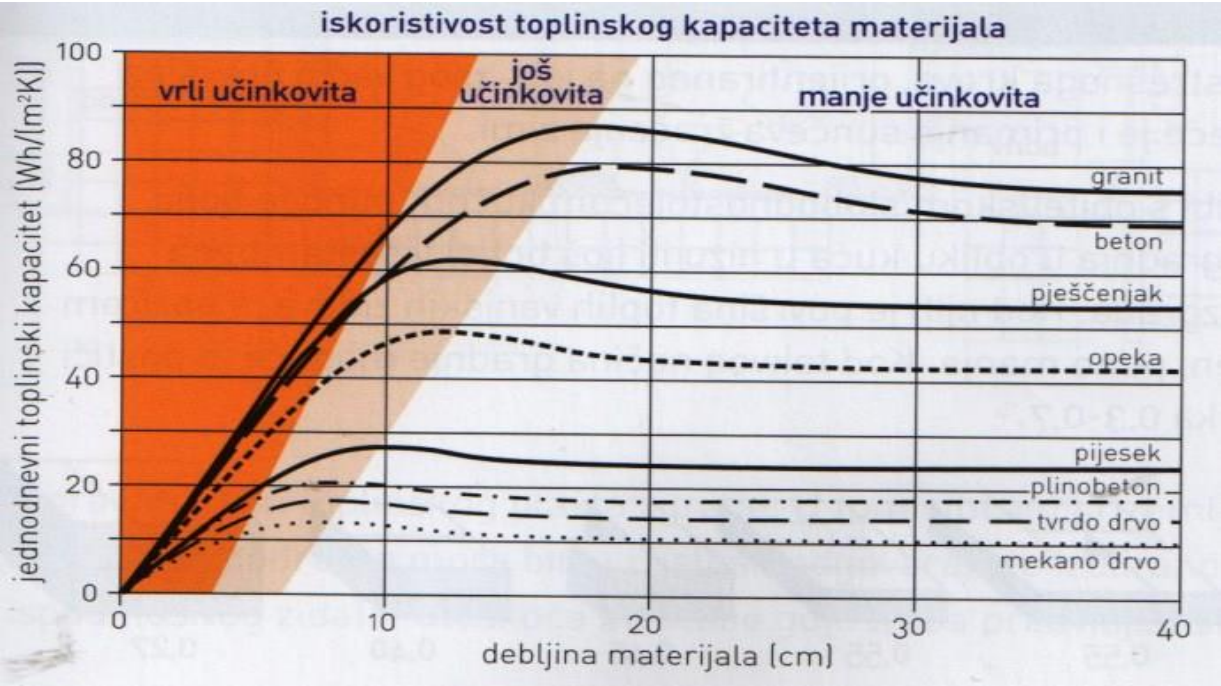
3.2. Spremanje sunčeve energije

Sposobnost materijala da apsorbira i spremi toplinu može imati veliku iskoristivost kada dođe vremenski dio dana kada više nema sunčevog zračenja. Takvim načinom se dolazi do toga da se sunčeva energija još bolje i kvalitetnije iskoristi, a često se i smanji količina potrebne energije za grijanje.

Sunčeve zrake prodiru kroz staklene površine pri čemu dolaze na građevne elemente. Jedan dio toga sunčevog zračenja apsorbira se u građevni materijal (primarna spremanja), a drugi manji dio se refliksira (sekundarna spremanja). Materija koji ima što višu specifičnu toplinu i prolazak topline materijala, te čim je njegova površina tamnija, to je već količina moguće spremljene energije. Ta sposobnost poboljšava ugodnost boravka u prostoru, jer se pri sunčevu zračenju

temperatura u prostoru samo malo povisi, ne dolazi do pregrijavanja prostora. Prilikom prestanka sunčeva zračenja temperatura u prostoru pada, kada je temperatura u prostoru manja od temperature u masivnom materijalu, spremljena toplina iz materijala počnije grijati zrak u prostoru. Na taj način toplina koju imamo na raspolaganju kroz dan se sprema za korištenje tijekom večeri i noći. U prijelaznom vremenu, kada vanjska temperatura još nije vrlo niska, spremljenja toplina dostatna je za potrebe grijanja i za pokoji kišni dan. [4]

Velika prednost masivnih zidova je to što vrlo dobro spremaju toplinu zbog toga jer imaju veliku specifičnu toplinu. Da bi se smanjili toplinski gubitci kroz sloj toplinske izolacije i iskoristili mogućnost spremanja topline, debljina zida može se ograničiti samo na statičke zahtjeve. Neki od povoljnih materijala za spremanje topline su: beton, opeka ili silikatna opeka.

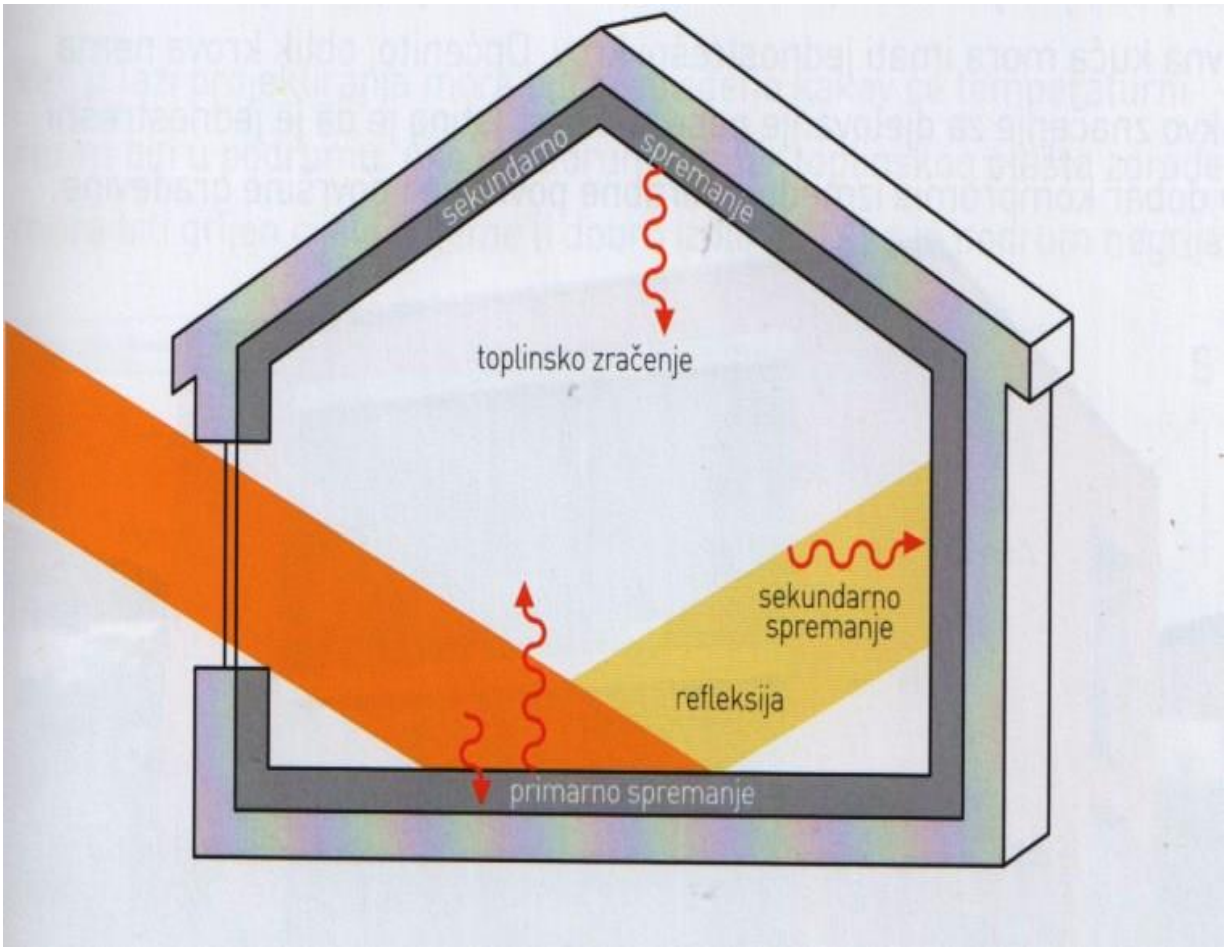


Slika 7. *Specifični toplinski kapacitet pojedinih materijala*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.

Najveću ulogu kod spremanja topline dobivenu od sunčevog zračenja imaju podovi. Sa južne strane orijentacije prostora veliki dio poda je obasjan neposredno, dakle nema velikog odbijanja. Za što učinkovitije iskorištavanje sunčeve energije preporučaju se masivni materijali s velikim toplinskim kapacitetom, takvi materijali su s obzirom na opip hladni, što s gledišta stambene

ugodnosti nije uvijek ugodno. Stanari žele podnu oblogu koja je na dodir topla, a takve podloge trajno smanjuju spremanje topline, npr. tepisi ili parket.

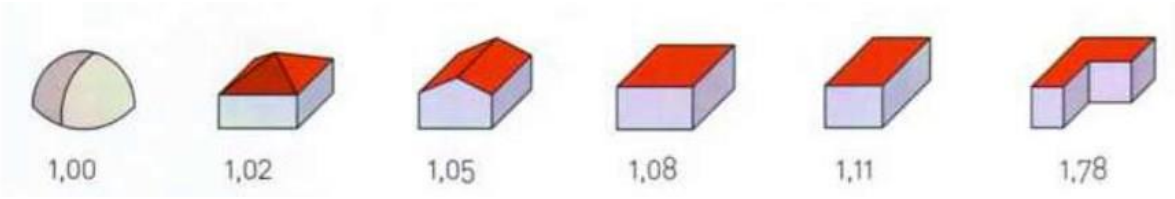


Slika 8. *Prikaz ulaska sunčeva zračenja te apsobiranje topline*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.

3.3. Oblik zgrade

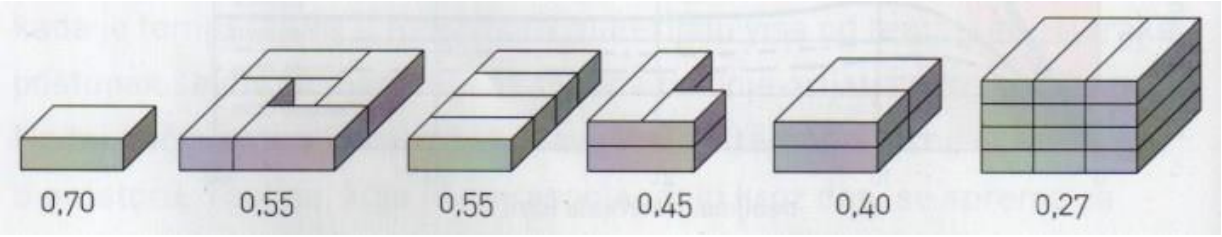
Ograničavanje transmisijskih gubitka na što manju moguću mjeru jedna je od glavnih postavka pasivnih kuća. Do transmisijskih gubitaka kuća dolazi po cijelom plaštu zgrade. Da bismo smanjili transmisijske gubitke veoma je važno da je vanjska površina s obzirom na volumen građevine što manja. Odnos između površine i volumena izražava se tzv. faktorom oblika. Faktor oblika je najugodniji kada je građevina kompaktna i jednostavnog oblika. Posebno dobri faktori su kod kvadratnih, okruglih, osmerokutnim i eliptičnim oblicima. Na slici 9. prikazani su objekti različitih oblika ali s istim udjelom volumena, ispod svakog oblika je izražen odnos izmežu površine oblika i volumena.



Slika 9. *Faktor oblika geometrijskih tijela s jednakim volumenom*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.

Ovo ne znači da standarde pasivne kuće nije moguće postići i kod raščlanjenog plašta zgrade, ali u tome slučaju cijena za to je nešto viša. Oblik krova kod pasivnih kuća općenito nema nikakvo značenje, ali često postoji uvjerenje kako pasivna kuća mora imati jednostrešni krov. Istina je da kad jendostrešnog krova koji je orijentiran na jug, zbog većih površina pročelja veća je i površina primanja sunčeva zračenja tijekom zime.



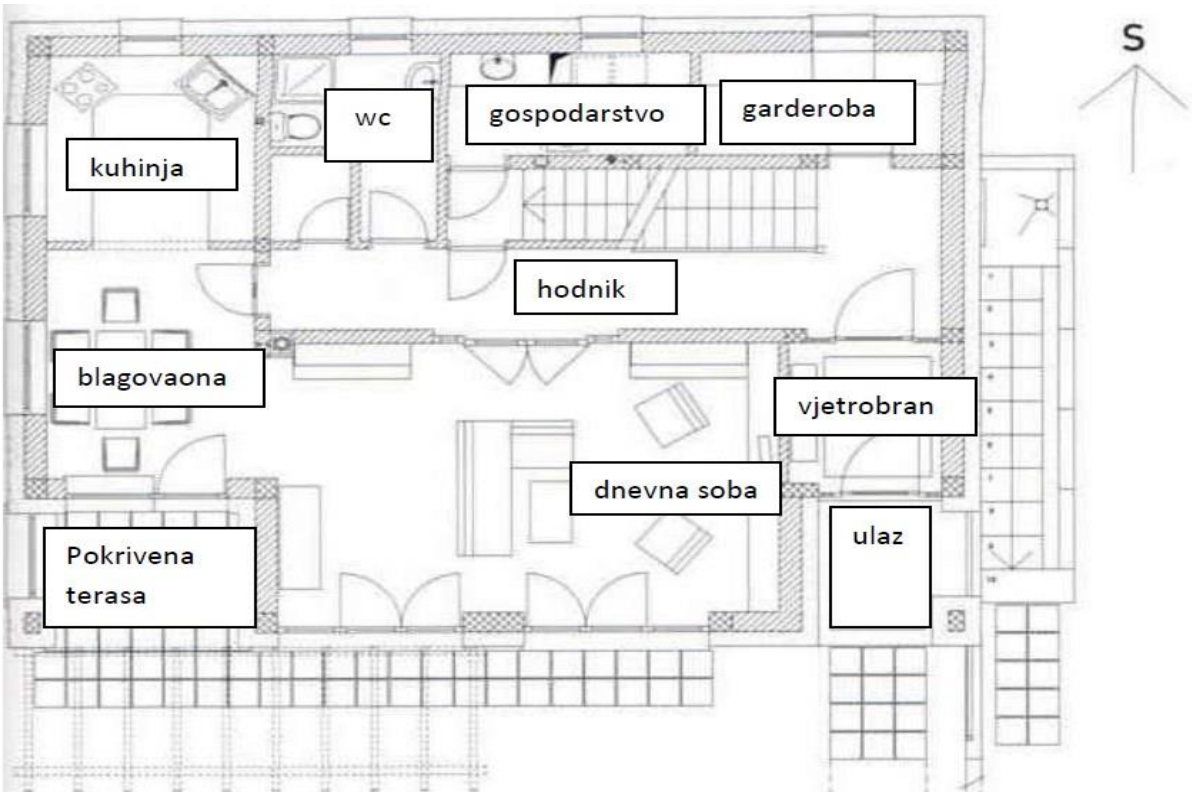
Slika 10. *Faktor oblika geometrijskih tijela sastavljenih iz više jednakih elemenata*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.

Povezana gradnja u obliku kuća u nizu, ili još bolje višestambena zgrada u usporedbi s obiteljskom slobodnostojećom kućom puno je bolja. Faktor oblika kod takvog načina gradnje moguće je postići između 0,3-0,7. To je moguće jer je kod ovih oblika površina vanjskog plašta puno manja s obzirom na volume.

3.4. Toplinska hijerarhija prostora – temperaturno zoniranje

Da bismo spriječili što manje gubitke topline u objektu veoma je važno kako ćemo napraviti raspored prostorija s obzirom na njihovu namjenu. Prijenos topline nastaje zbog temperaturnih razlika, a temperatura na vanjskoj strani zida u pravilu su rijetko jednake. Toplinski gubitci kroz zid bit će veći što je temperaturna razlika između prostorija veća. Da bi smo smanjili transmisijske gubitke na sjevernu stranu gdje je temperatura najniža na vanjskoj strani plašta pozicionirati ćemo prostorije s nižom temperaturom (npr. stubišta, smočnicu, garderobu). Na južnom stranu ćemo staviti prostore koji zahtjevaju više temperature.



Slika 11. *Toplinska hijerarhija prostora pasivne kuće*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.

U slučaju da imamo podrum, već u samoj fazi projektiranja mora biti predviđeno kakav će temperaturni režim biti u podrumu. U slučaju da se podrum nalazi unutar toplinskog plašta zgrade, podrum obavezno mora biti grijan (i dobro izoliran). Ako je podrum negrijan, mora se nalaziti izvan toplinskog plašta zgrade i u tome slučaju prizemlje iznad negrijanog podruma mora biti u cijelosti na pravilan način izolirano. Poteškoće se javljaju kod stubišta gdje treba predvidjeti sustav prekidanja toplinskog mosta i toplinskoizolacijska vrata. Jednostavniji način je rješenje s vanjskim pristupom u podrum. Izvan toplinskog plašta mogu biti stubišta i hodnici, posebno u višestambenim zgradama gdje oni i predstavljaju veliki dio volumena.[4]

3.5. Tehnologija gradnje

Za izgradnju pasivnih kuća prihvatljiva je većina građevnih tehnologija. Kod izgradnje se mogu koristiti masivne i lagane konstrukcije. Lagane i masivne konstrukcije mogu postići jednake rezultate, tako da izbor ovisi o odabiru invenstitora i o cijeni proizvoda. Često kod odabira utječu znanje projektanta i izvođača, koji odabiru materijale i postupke koji su već prihvaćeni u praksi.

Masivni zidovi

Najraširenij način gradnje kod standardnih kuća, pa tako i kod pasivnih kuća je masivna gradnja opekom. Nosiva konstrukcija kod masivnih sklopova je od opečenih elemenata, opečenih elemenata punjenih perlitom, kao i od elemenata od betona ili lakog betona. Da bi se postigao standard pasivne gradnje jednoslojni zidovi bez toplinske izolacije ne dolaze u obzir. Na vanjskoj strani se nalazi odgovarajuće debeo sloj toplinske izolacije, a prolaz topline kroz zid ne smije prelaziti 15 kWh/(m^2a), a često čak i 10 kWh/(m^2a).

Zidovi pasivnih kuća mogu biti građeni od betona koji se na gradilištu ulijeva u prefabricirane oplatne elemente. S vanjske strane zid ima odgovarajući sloj toplinske izolacije. Zidovi od betona imaju dobru zrakonepropusnost. Za izvedbu masivnih zidova na tržištu postoje posebni oplatni sistemi od polistirena. Takvi elementi s vanjske strane imaju deblji sloj polistirena, a s unutarnje tanji. Sastavljaju se na mjestu izvedbe, u otvore se stavlja potrebna količina armature i zatim se

otvori zaliju betonom. Gradnja na ovaj način je vrlo jednostavna, a nema ni problema s toplinskim mostovima.[8]



Slika 12. *Oplatni sistem od polistirena*

Izvor: https://www.pravimajstor.com/stranice/gradnja/kako-se-radi/Konstrukcije-zidova-pasivnih-kuca

Debljina nosivog zida ovisi o statičkim zahtjevima. Obloga pročelja kod uobičajnih kuća može biti ventilirana ili neventilirana. Kod debljih obloga pročelja koji se pričvršćuju na nosivi zid posebnim sidrima može nastati problem. Korištenja sidra u konstrukciji zida predstavljaju toplinski most koje nastojimo izbjeći.

Lagani zidovi

Od klasične tehnologije gradnje drvetom razvilo se više različitih sustava koji su primjereni za postizanje pasivnog standarda izgradnje. Prednost ovih načina gradnje je u tome da izolacija nije pričvrćena za zid s vanjske strane već je smještena između drvene kostrukcije. Na taj način postižemo jednaku toplinsku izolaciju s manjom debljinom zida. Osnovnu nosivu konstrukciju pasivne kuće od drvene građe čine stupovi i grede, koji formiraju drvene okvire čiji se međuprostor ispunjava toplinskom izolacijom (mineralna vuna, ovčja vuna,toplinska izolacija od drvenih vlakana).[8]



Slika 13. *Ugradnja staklene mineralne vune u drveni okvir*

Izvor: www.molerski-gipsani-radovi.rs

Zidovi kod pasivnih kuća su deblji nego kod standardnih što postižemo na različite načine. Debljina stupova i greda su najviše 16 cm, a to kod zidova pasivnih kuća ne osigurava dostatnu toplinsku izolaciju. Radi toga razloga zidnu konstrukciju potrebno je sastaviti od više slojeva. Sa vanjske strane zid dobiva dodatni sloj toplinske izolacije.

Lake konstrukcije u uspordbi s masivnim zidnim konstrukcijama imaju znatno manju težinu, a time i manju sposobnost dugotrajnog spremanja topline, radi toga se prostori po noći brže hlade. U pravilu s laganim konstrukcijama je teže postići zrakonepropusnost građevine. Ako je objekat izložen uobičajnim slijeganjima i djelovanjima vjetra kod nekih spojevima se s godinama može izgubiti nešto zrakonepropusnosti. Vjetronepropusnost plašta dugoročno je lakše osigurati masivnom gradnjom.

Pri izboru materijala i tehnologije gradnje smisleno je poštivati sljedeća polazišta:

→ izabrana tehnologija gradnje neka bude standardizirana

→ sustav gradnje neka uključuje prirodne i ekološke materijale

→ toplinski plašt zgrade mora odgovarati standardu pasivne kuće

→ konstrukcija mora biti vjetronepropusna, zrakonepropusna i difuzijski otvorena

→ prefabrikacija osigurava kvalitetu i skraćuje vrijeme gradnje

3.6. Toplinska izolacija

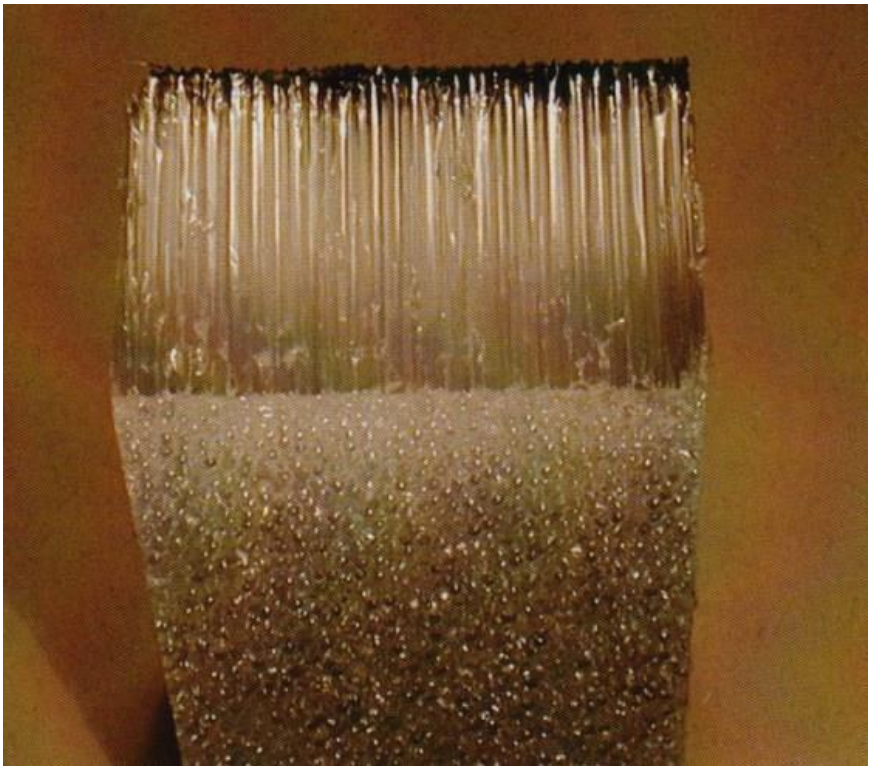
Da bi se zadovoljio standard pasivne kuće svi elementi toplinskog plašta moraju biti dobro toplinski izolirani. Toplinskoizolacijski sloj mora teči neprekidno cijelim plaštom, a toplinska izolacija mora prekrivati okvire vrata i prozora, koji su također toplinskoizolacijski.

Debljina toplinske izolacije ovisi o vrsti materijala i sastavu zida te iznosi otprilike od 25-40 cm. U pasivnoj kući za korištenje su povoljni svi postojeći toplinskoizolacijski materijali: umjetni, anorganski, organski te prirodni.

Ugrađivanje toplinske izolacije u pasivnim kućama se radi sličnim načinima kao i kod klasičnih, iako su zbog debljeg sloja toplinske izolacije nešto izmjenjeni. Pričvršćivanje toplinske izolacije se izvodi lijepljenjem, sidrenjem, vijcima, čavlanjem, ugrađivanjem s pomoćnim letvicama ili upuhavanjem. Izbor toplinske izolacije i način ugrađivanja ponajprije ovisi o odabiru nosive konstrukcije. Toplinske izolacije se međusobno razlikuju po cijeni i ekološkoj komponenti. Kod odabira materijala bi trebalo težiti k tome da materijali budu prirodni i proizvedeni sa što manjom količinom ugradbene energije tako da nemaju negativnih utjecaja na čovjeka i okoliš.

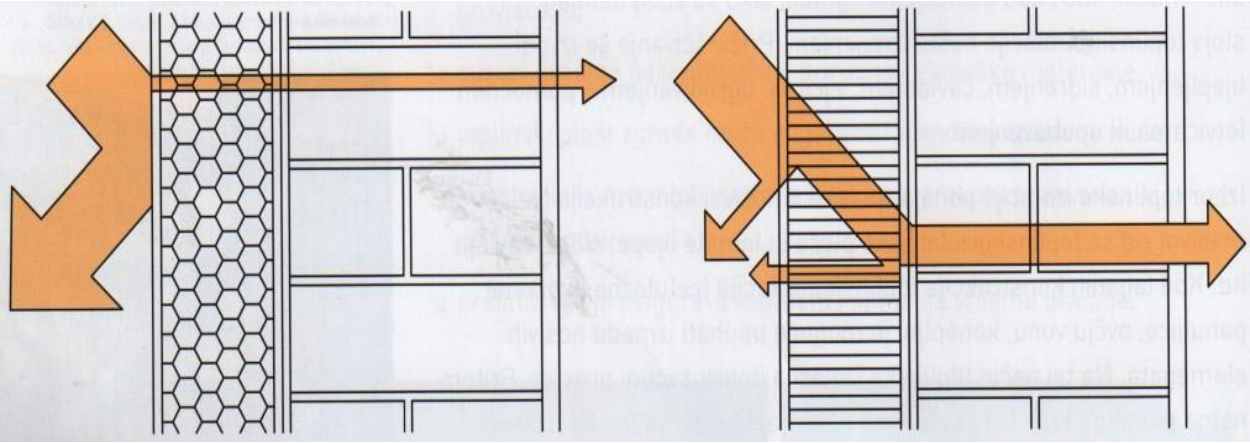
Prozirna toplinska izolacija

Osamdesetih godina prošlog stoljeća razvijena je prozirna toplinska izolacija koja poput običnih toplinskih izolacija sprječava prodor topline iz unutrašnjosti prema van, a ujedno propušta sunčevu energiju. Prozorna toplinska izolacija je ujedno i pretvornik sunčeve energije (oko 70 kW/(m^2a)). Prozirna toplinska izolacija debljine je oko 10 cm, a na zid je ugrađena u obliku panela u okvirima. Prozirna toplinska izolacija je od stakla, kartona ili prozirnih umjetnih tvari. Sastavljena je od tankih cijevi koje se postavljene usporedno ili okruglica u kojima se nalazi zarobljen zrak koji djeluje kao toplinski izolator. Na vanjskoj strani prozirna toplinska izolacija prekrivena je staklom ili prozirnom žbukom, a sa unutarnje najčešće prozirnom folijom. Masivni zid koji se nalazi iza sloja prozirne izolacije uobičajno je obojan u crno zbog toga jer poboljšava apsorciju sunčeve energije. [4]



Slika 14. *Prozirna toplinska izolacija*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.



Slika 15. *Princip djelovanja neprozirne (lijevo) i prozirne (desno) toplinske izolacije*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.

Na slici 15. imamo prikaz principa djelovanja neprozirne (tradicionalne) i prozirne toplinske izolacije. Kod neprozirne toplinske izolacije kao što vidimo na slici 15. (lijevo) samo manji dio sunčeve energije prolazi kroz toplinsku izolaciju do masivnog zida, a veći dio se odbije od izolacije. Prozirna toplinska izolacija (desno) propušta veći dio sunčeve energije koja grije zid postavljen iza nje.

Prozirnu toplinsku izolaciju možemo ugraditi i u lagane konstrukcije, stavljamo ju ispred toplinske izolacije. Sunčeva energija koja dolazi u toplinsku izolaciju ovdje se sprema, grijanjem toplinske izolacije postižemo da se temperaturna razlika između unutarnje i vanjske strane površine zida smanjuje, a s time se i smanjuje prolaz topline iznutra prema van.

3.7. Prozori i vrata

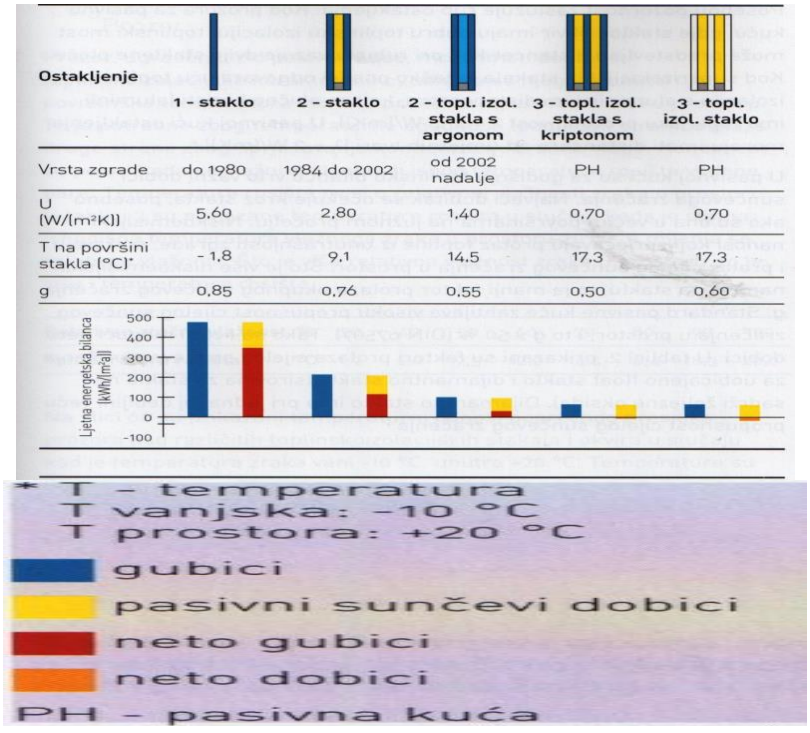
Prozori

Prilikom razvoja pasivnih kuća ustanovljeno je da klasično ostakljenje dvoslojnim staklom ne može osigurati zahtjeve koji su potrebni za postizanje standarda pasivne kuće. Za zadovoljavanje standarda pasivnih kuća razvijeni su prozori s troslojnim toplinskoizolacijskim ostakljenjem s U_g od 0,6 – 0,7 W(m^2k). Takvo ostakljenje ima dvije prednosti :

→ U srednjoj Europi prozori zimi propuste više sunčeve energije u prostor nego topline iz prostora.

→ Površinske temperature sa unutarnje strane su i zimi tako visoke da pri prozoru ne nastaju niti osjetna smanjivanja zračne topline niti neugodan slap hladnog zraka.

Toplinskoizolacijska ostakljenja vrlo su važna za pasivnu kuću, s njima je moguće projektiranje kuća bez grijaćih tijela u neposrednojblizini stakla. Ovakva vrsta ostakljenja omogućuje da kod južno orijentiranih pročelja, koji nisu previše zasjenjeni da su neto dobici sunčevog zračenja mogući i sredinom siječnja.



Slika 16. *Prikaz prolazka topline kroz različite vrste ostakljenja*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.

Važnu ulogu kod ostakljenja imaju okviri. Udio okvira kod prozora treba uzeti u obzir, iako je vrlo često podcijenjen. Okviri mogu predstavljati 30-35 % površine cijelog prozora. Posljednih godina se na tržištu pojavilo dosta kvaletetnih okvira, a razlog k tome je da nije ekonomično, i dolazi do pojave toplinskih mostova ako bih se ugrađivala visokoizolacijska stakla u obične okvire. Odgovarajući okviri su koji se sastoje od materijala s niskom toplinskom provodljivosti. Na okvire od drva, aluminija i PVC-a ugrađena je toplinska izolacija, što poboljšava njihovu toplinsku izolaciju.

Rolete i žaluzine

Rolete i žaluzine u pasivnim kućama imaju funkciju uravnoteženja prolaza topline. Kada su u zatvorenoj poziciji dodatno smanjuju toplinske gubitke. Radi toga razloga se preporuča da budu u zatvorenoj poziciji u hladnijim djelovima godine tijekom noći. Danju se stakla pod utjecajom sunčeva zračenja zagriju, i većinom su toplija od zraka u prostoru. Tijekom dana rolete i žaluzine moraju biti podignute tako da sunčeva energija neometano prodire u prostor. Kroz ljetna razdoblja sunčeva zračenja kroz staklene površine predstavljaju najveći dobitak topline, da bi se sačuvale niske temperature zraka i ugodnost bovarka u prostoru, preporučeno je da su u vrućim danima rolete i žaluzine cijeli dan spuštene.

Ulazna vrata

Kao i svi drugi otvori na plaštu pasivnih kuća tako i ulazna vrata često predstavljaju slabu točku i toplinskom plaštu zgrade. Ulazna vrata moraju ispunjavati jednake zahtjeve koje vrijede za prozore, uz to moraju ispunjavati još nekoliko zahtjeva: trajnu krutost, minimalnu visinu praga, jednostavnu uporabu, zaštita od provale, zvučnu izolaciju, požarnu zaštitu. Kod ulaznih vrata pasivnih kuća vrlo je važno postiči zrakonepropusnost, zbog toga vrata moraju imati brtvila na stranama i gore dvostruka, a kod praga jednostuka. Vrlo je važna ugradnja ulaznih vrata bez opasnosti nastanka toplinskih mostova, zbog toga se u pasivnih kućama zahtijeva prag u visini 15 mm. Prag s jedne strane poboljšava zrakonepropusnost vrata, ali s druge strane nije uvijek poželjan s gledišta stanara i može predstavljati poteškoću invalidima. U javnim zgradama umjesto pragova zrakonepropusnost se najčešće postiže uronjenim brtvilima

Jedan od načina kako što bolje osigurati zrakonepropusnost plašta pasivne kuće je projektiranje vjetrobrana. Vjetroban nije grijan, nego služi kao tamponska zona između vanjske okoline i toplinskog plašta zgrade. U vjetrobranu ne treba postavljati vrata koje zadovoljavaju uvjete za pasivnu kuću, nego se mogu postaviti obična vrata, a toplinski izolirana vrata ugradimo u toplinski plašt zgrade.

3.8. Zaštita od ljetnog pregrijavanja

U ljetnim razdobljima kod visokih temperatura zbog velikog broja staklenih površina često zna doći do pregrijavanja prostorija, što utječje na ugodnost boravka u prostoru. U pasivni kućama zbog toga nije bitan samo na koji način koristimo sustav grijanja, nego i na koji način koristimo sustav hlađenja. Postoji više naćina kako postići ljetnu ugodnosti, i ti načini se mogu kombinirati:

→ smanjenje potrošnje električne energije

→ ugradnja rekuperatora

→ hlađenje zemnim sakupljačem topline

→ noćno prozračivanje

→ sjenila na prozorima

→ latentni spremnici topline

→ vanjska zaštita od sunca

→ ozelenjavanje okoliša grmovima i drvećem

→ balkon ili napust gornjeg kata

→ markize

→ ugradnja lameli ili žaluzina

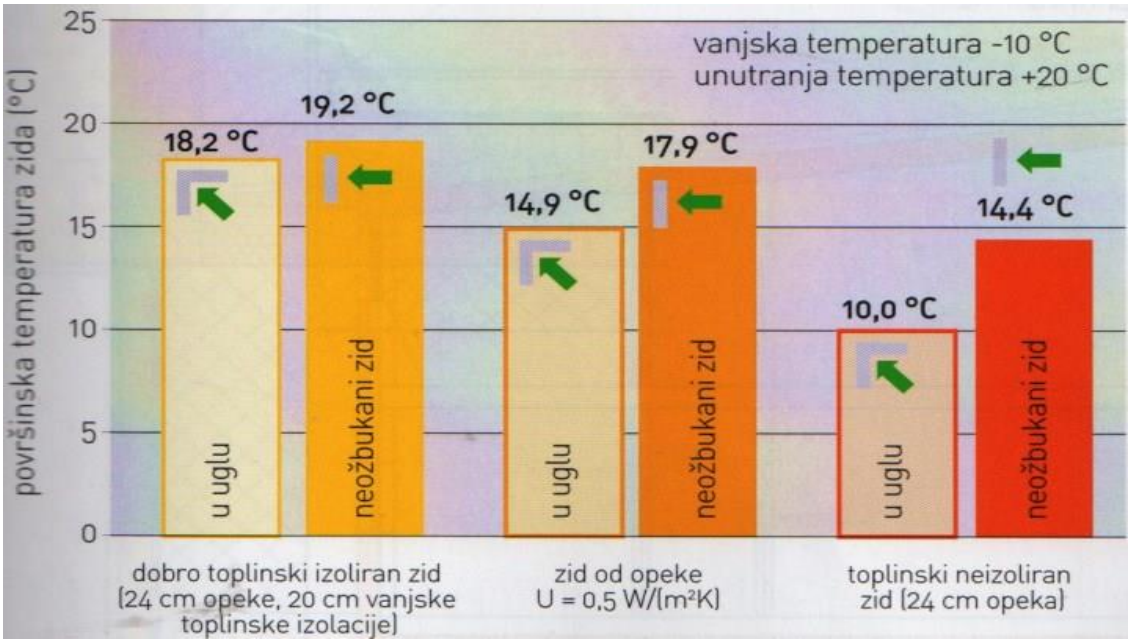
→ zaštita od sunca u međuprostoru troslojnog ostakljenja

4. TOPLINSKI MOSTOVI

Standard pasivne kuće teško ćemo postići ako ne riješimo problem pojave toplinskih mostova. Toplinski mostovi javljaju se na vanjskom plaštu zgrade, gdje je povećan prolaz topline. Toplinski mostovi nastaju zbog pogrešaka u projektiranju i izvedbi, a njihov utjecaj puno više dolazi do izražaja kod pasivnih kuća nego kod standardnih kuća.

4.1. Posljedice toplinskih mostova

Pojavom toplinskih mostova u zgradi dovodi do nekoliko neželjenjih poteškoća. Toplinski mostovi su mjesta gdje je povećan prolaz topline, kao posljedica toga javlja se povećana potrošnja energije potrebne za grijanje. U razdobljima niskih vanjskih temperatura, kod toplinskih mostova temperature su niže nego kod neožbukanog zida. Kod toplinskih mostova može se javiti slap hladnog zraka, koji daje osjećaj propuha (brzina zraka > 3 m/s) kod vanjske temperature od -10 °C. Stanari povećavaju grijanje (+6 % za povišenje temperature od 1°C) da bi izbjegli neugodan osjećaj propuha hladnog zraka. Zbog bržega kruženja zraka dolazi do povećanja virusa i bakterija u zraku, te su stanari skloniji prehladama.



Slika 17. *Temperature na uglu s obzirom na različite debljine toplinske izolacije*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o

Toplinski mostovi uzrokuju pojavi vlage u prostoru. Vlaga se javlja kada topao zrak naleti na hladni površinu i ohladi se ispod temperature zasićenja. Takvi uvjeti su idealni za pojavu spore i pljesni koje mogu biti izrazito štetne za zdravlje. Gledano s higijenskog stajališta, u stambenim prostorima relativna zračna vlaga mora biti između 35-65 %. Zbog posljedica toplinskih mostova kroz određeni vremenski period mogu se oštetiti građevni elementi, npr. nastankom plijesni, zbog korozije, otpadanje žbuka i morta, gubitkom nosivosti kod drvene građe.

4.2. Vrste toplinskih mostova

Podjela toplinskih mostova ovisi o uzroku nastanka. S obzirom na uzrok nastanka postoje : konvekcijski, geometrijski i kostrukcijski toplinski mostovi.

→ Konvekcijski toplinski mostovi nastaju na mjestima gdje kroz pukotine ili otvore topli zrak nekontrolirano odlazi. Kod pasivnih kuća konvekcijski toplinski mostovi nemaju toliki utjecaj, oni su minimizirani, jer je plašt kuće zrakonepropusan te se oni mogu zanemariti. Jedini konvekcijski gubitci koje uzimamo u obzir kod pasivnih kuća nastaju kod otvaranja vrata i prozora.

→ Geometrijski toplinski mostovi nastaju kada je unutrašnja površina (toplog) zida manja od (hladnog) vanjskig zida. Zbog povećanja presjeka, preko kojeg toplina prolazi, u tome djelu se toplinski otpor konstrukcije smanjuje, a prolaznost poveća. Pojava geometrijskih toplinskih mostova je veoma česta, oni nastaju na svakome spoju zida pod određenim kutem.

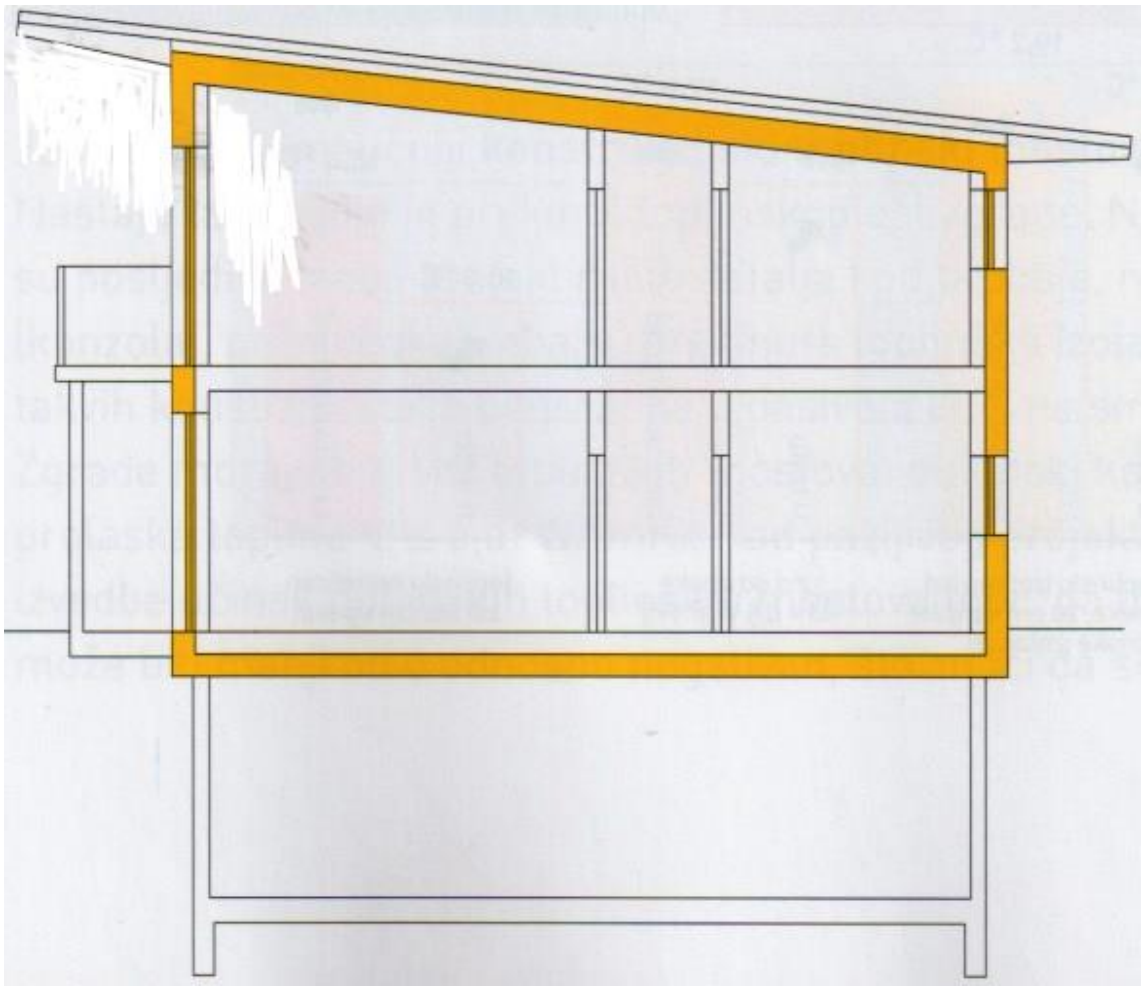


Slika 18. *Princip djelovanja geometrijskog toplinskog mosta*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o

→ Najproblematničiji mostovi po uzorku nastanka su konstrukcijski toplinski mostovi. Nastaju na mjestima gdje je prekinut toplinski plašt zgrade. Najčešće su posljedica slabo projektiranih detalja kod proboja, konzola, priključka, prekinute toplinske izolacije. Kod pasivnih kuća do takvih pogrešaka ne smije doći, jer toplinski mostovi ugrožavaju koncept pasivne kuće. Radi toga jedan od osnovnih principa gradnje pasivnih kuća je konstruiranje bez toplinskih mostova.

Da bismo ispoštivali standarde pasivnih kuća, a jedno od njih je konstruiranje bez toplinskih mostova, toplinskoizolacijski sloj (kod laganih konstrukcija debljine od najmanje 35-40 cm, a kod masivnih 25 cm) mora biti projektiran da bez prekida ovija cijelu kuću.



Slika 19. *Toplinskoizolacijski sloj zgrade mora biti neprekinut*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o

5. ZRAKONEPROPUSNOST

Intenizitivnost nekontroliranog protjecanja zraka kroz konstrukciju označavamo zrakonepropusnošću. Nekontrolirano protjecanje zraka može se pojaviti u fugama, pukotinama i drugim propusnim mjestima na plaštu zgrade, a protjecanje zraka se može pojaviti na dva načina, kroz konstrukciju u objekat, ili iz objekta što ovisi o tlačnoj razlici zraka. Postoji tvrdnja da se kroz propusna mjesta u zgradi može osigurati dostatno prozračivanje u prostorima. Takva izmjena zraka najčešće ne jamči kvalitetu stambene klime, jer je ovisno o tlaku vjetra i temperaturnim razlikama. Prolazak zraka kroz vanjski plašt objekta ima nekoliko nedostataka: nepouzdanost, građevna oštećenja, provođenje zvuka, nekontrolirani toplinski gubitci.

Kao što sam napomenuo, zrak može nekontrolirano teći u dva smjera, a pritom dolazi različitih pojava ovisno o smjeru toka zraka.

→ Tok zraka izvana prema unutra

Prilikom prolaska zraka izvana prema unutra problem nam može predstavljati oborinska voda koja pod utjecajem tlaka vjetra se može potisnuti u konstrukciju zida. Ovaj problem je najčešći uzrok oštaćenja kod laganih drvenih konstrukcija koja su slabo otporna na izmjenično navlaživanje. Tok zraka izvana prema unutra je manje problematičan ako se poduzmu neke određene mjere (dostatna zaštita od oborina), i tada neme opasnosti od rošenja, jer se zrak zagrije na putu prema unutra.

→ Tok zraka iznutra prema van

Vlažnost zraka u unutrašnjosti je uvijek viša nego vani, a k tome pridodaju radnje koje se odvijaju u samom objektu (npr. kuhanje ili tuširanje). Zrak se prilikom prolaska kroz pukotine uvijek ohladi, a problem se javlja za vrijeme hladnijih razdoblja kada se prilikom prolaska kroz konstrukciju zrak skoro uvijek ohladi ispod temperature rosišta. Posljedica toga je to što se u fugamo pojavljuje kondezator koji navlažuje građevni element, što može uzrokovati s pojavom plijesni na unutarnjoj strani konstrukcije.

5.1. Projektiranje zrakonepropusnog plašta

Da bismo zadovoljili standarde pasivne kuće, a jedan od njih je postizanje dostatne zrakonepropusnosti plašta zgrade trebamo uzeti u obzir principe koji nam omogućuju da zadovoljimo uvjete zrakonepropusnosti. Postoje principi koji nam pomažu i služe kao smjernice kod projektiranja pasivne kuće, ali postoje i tri glavna principa kojih se moramo pridržavati da postignemo standard zrakonepropusnosti koji se traži za projektiranje/i izgradnju pasivnih kuća.

Tri glavna principa koji se moramo pridržavati su:
1) Ravnina zrakonepropusnog plašta mora biti u nacrtu na svim djelovima zgrade neprikinuta.
2) Mora postojati samo jedna zrakonepropusna ravnina, propusna mjesta ne uklanjamo drugom zrakonepruposnom ravninom ispred ili iza propusnih mjesta.
3) Zrakonepropusni plašt uvijek mora biti pričvršćen na unutarnjoj strani toplinskoizolacijskog plašta. Zrakonepropusna ravnina djeluje i kao parna brana, radi toga ne smije biti potpuno difuzijski zatvorena.

Postoje još neki principi koji bi se trebalo držati prilikom projektiranja pasivne kuće, i ako poštuje ove principe plašt pasivne kuće bit će zrakonepropusan i visoke kvalitete:

→ Konstrukcijski detalji moraju biti što jednostavnije i lako izvedivi, kako nebi dolazilo do pogrešaka prilikom obrtničkih radova.

→ Kako bi se izbjeglo mijenjanje materijala i teškoće kod oblikovanja spojeva preporučljivo je a površine koje se brtve budu izvedene na jednaki način.

→ Nije preporučljiva upotreba novih ili egzotičnih principa brtvljenja, već provjereni sustavi mogu se ugraditi posvuda i zadovoljiti potreban standard.

→ Za određen spoj između dvije osnovne konstrukcije, koji se ponavlja na građevini rabimo jednaki detalj.

→ Proboji zrakonepropusnog plašta u pravili se izbjegavaju, odnosno pokušavaju se smanjiti što je više moguće.

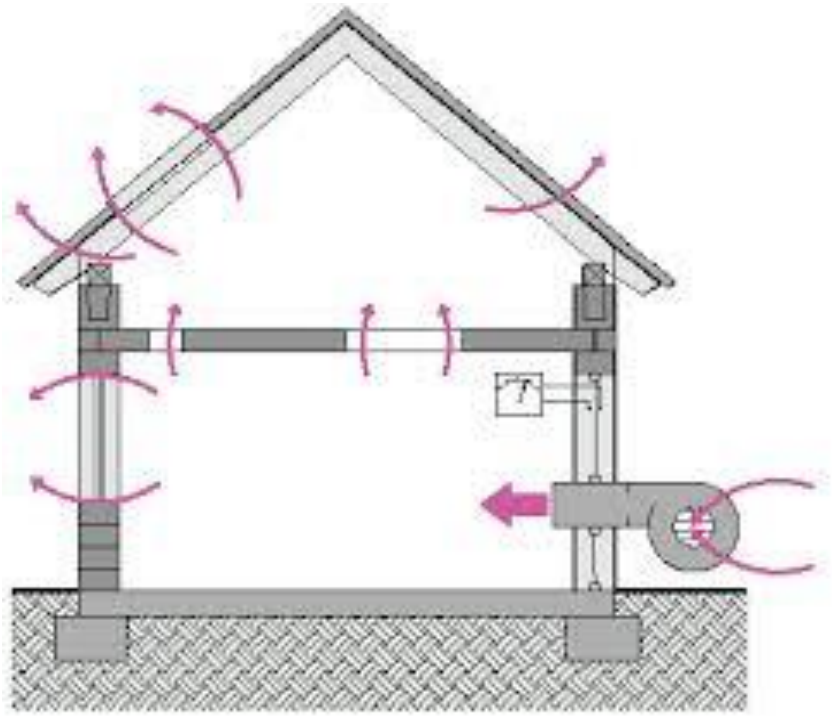
Da bismo postigli visko kvalitetan zrakonepropustan plašt zgrade nije bitno samo kako je isprojektiran projekat, nego treba poštivati princip zrakonepropusnosti od projektiranja pa do izvedbe. Da bismo izbjegli bilo kakve probleme u izvođenju plašta i postizanju kvalitetne zrakonepropusnosti teškoće koje ugrožavaju zrakonepropusnost najbolje je izbjeći već u ranoj fazi projektiranja. Također svi spojevi i proboji moraju biti konstrukcijski obrađeni i prije gradnje predstavljeni u detaljnom nacrtu, potreban materija i sve radne faze moraju biti predstavljeni u posebnom popisu. Ako su prilikom projektiranja poduzete mjere da bi se postigla zrakonepropusnost plašta pasivne kuće, veoma je bitno da se i taj standard zadovolji prilikom izvođenja istog objekta. Kod izvođenja je veoma važna dobra usklađenost između pojedinih struka, na temelju projektne dokumentacije potrebno je uskladiti rad pojedinih izvoditelja.

Prilikom završetka izvedbe plašta potrebno je izvesti mjerenja zrakonepropusnosti testom „Blower Door“. Mjerenja se rade odmah prilikom završetka izvedbe plašta, ukoliko ne zadovoljava standard zrakonepropusnosti moguće je izvesti popravke s prihvatljivim troškovima.

BLOWER DOOR

Blower door je standardizirani postupak (ISO 9972). Priliko testiranja u otvor prozora ili vrata se namjesti uređaj s ventilatorom koji u kući stvara nadtlak ili podtlak. Za vrijeme rada ventilatora kod nadtlaka i podtlaka izmjeri se nastali volumenski tok kod 10 do 70 Pa tlačne razlike. Iz dobivenih rezultata se odredi karakteristična vrijednost pri tlačnoj razlici 50 Pa.

Određena granična vrijednost za pasivne kuće iznosi $n_{50} \leq 0{,}6\ h^{-1}$, što znači da se pri tlačnoj razlici od 50 Pa kroz sva propusna mjesta u kući odvede ili dovede 0,65% ukupnog unutarnjeg zraka u kući u jednom satu. Prilikom mjerenja kada je zgrada pod tlačnom razlikom, pomoću osjetljivih mjernih uređaja veoma jednostavno je pronalaženje propusnih mjesta zgrade. Prilikom izgradnje preporučljivo je više puta mjeriti zrakonepropusnost, u slučaj da se nađe propusno mjesto možemo ga odmah sakcionirati.[1]



Slika 20. *Prikaz presjeka kuće prilikom blower door testiranja*

Izvor: www.blowerupdate.blogspot.hr



Slika 21. *Prikaz blower door metodom testiranja*

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Blower_door

5.2. Zrakonepropusnost materijala

Iako u stvari nije važno koji je sloj vanskog plašta zrakonepropusan, svaki građevni element od kojeg se sastavlja vanjski plašt mora biti zrakonepropusan. Izabrana ravnina mora biti dovoljno zrakonepropusna i veoma je bitno da se tijesno poveže sa susjednim zrakonepropusnim ravninama.

Prilikom projektiranja najprije treba uzeti u obzir kakvu zrakonepropusnost imaju materijali od kojih je sastavljen plašt. U pravilu se kao zrakonepropusni materijali upotrebljavaju materijali s $q_{50} < 0{,}1\ m^3/(m^2h)$. Zanimljivo je da sama opeka osigurava odgovarajuću zrakonepropusnost, ali problematične su fuge od morta.

Tablica 1. prikazuje koliki volumen zraka propuštaju određeni materijali kroz 1 m^2 površine u jednom satu kod tlačne razlike od 50 Pa.

MATERIJAL	**PROPUSNOST NA ZRAK q_{50} v $m^3/(m^2h)$**
Opeka	0,001-0,05
Porobeton	0,06-,035
Ploča iverice	0,05-0,22
Spojeno drvo	0,004-0,02
Tvrde vlakanaste ploče	0,001-0,003
Bitumenska ljepenka	0,008-0,02
Mineralna vuna	13-150
Gipskartonske ploče	0,002-0,03
Vapneno-cementna žbuka	0,002-0,05
Meke ploče iz drvenih vlakana	2-3,5

Tablica 1. *Propusnost materijala kod 1m^2/1h kod tlačne razlike od 50 Pa.*

Izvor: Autor

5.3. Vjetronepropusnost

Izraz ˛vjetronepropusnost zgrade` označuje karakteristiku vanjskog plašta koji sprečava prodor vanjskog zraka u sloj toplinske izolacije na vanjskoj strani. Vjetronepropusnost je veoma bitna kod pasivnih kuća, pogotovo radi razloga što pasivne kuće imaju deblji sloj toplinske izolacije. Kretanje zraka u toplinskoj izolaciji dosta oslabljuje njezinu izolacijsku funkciju, što uzrokuje povećanu potrošnju energije za grijanje.

Kod planiranja vjetronepropusnosti plašta zgrade vrijede neka pravila kojih se moramo pridržavati da bi se zadovoljili standardi koji su nam potrebni za izgradnju pasivne kuće. Veoma važno nam je određivanje pozicije vjetrene brane: na površini, na spoju građevnih elemenata, i kod proboja građevnih elemenata.

Materijali koji se upotrebljavaju kao vjetrene brane moraju zadovoljavati određene karakteristike:

→ vjetreno brtvljenje

→ paropropusnost

→ kompatibilnost sa susjednim materijalima

→ trajnost i otpornost na vlagu, trganje, ultraljubičastu svjetlost

→ ugrađena su uvijek na hladnu stranu konstrukcije

Vjetrene brane mogu biti u obliku folije, ljepenke, papira, ploča, žbuka itd. Pojavljuju se od različitih vrsta materijala: mekane ploče od drvene vune, difuzijskih otvorene vodonepropusne folije, difuzijski otvorene žbuke, drvene ploče s spojem na pero i utor.

6. VENTILACIJA

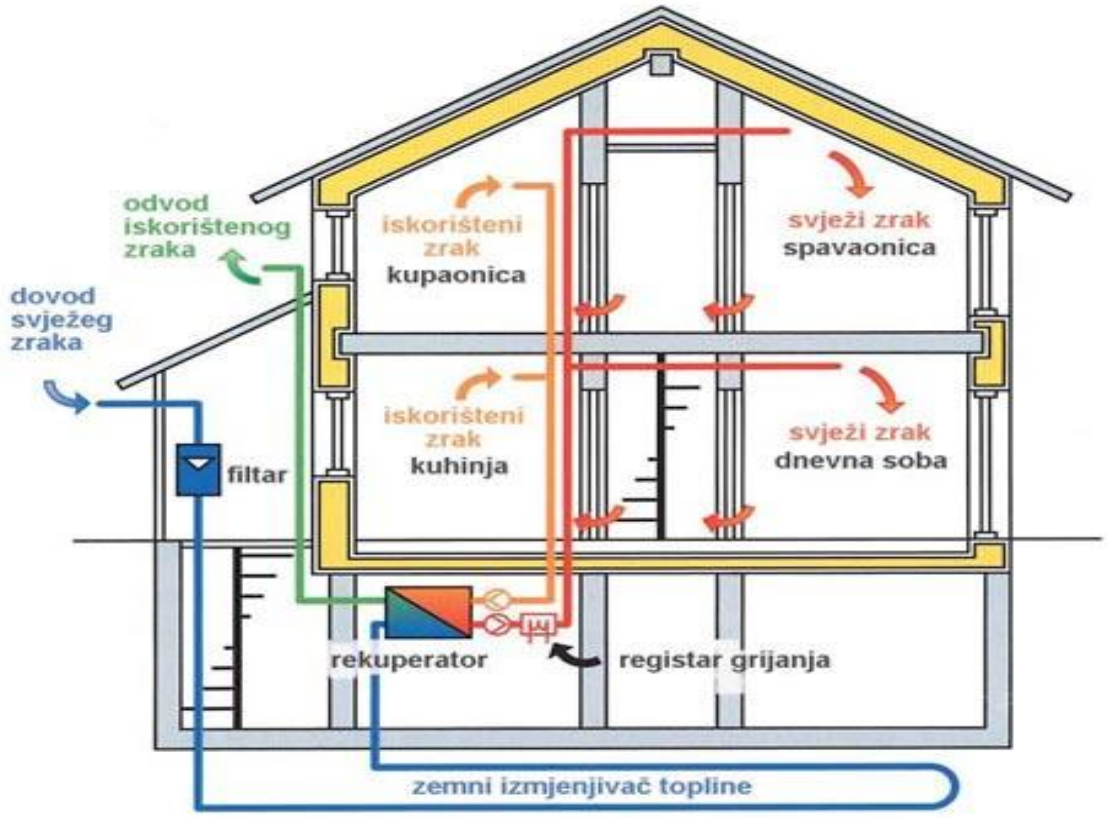
U prostoru svakog sata bi trebalo osigurati 25-35 m^3 zraka po osobi, što u pravilu znači da bi se svaka 3 sata prozori morali otvoriti na 15 minuta. Otvaranjem prozora za dovođenje potrebne količine svježeg zraka gubi se toplina, što smanjuje toplinsku ugodnost i povećava potrošnju energije za grijanje. Ventilacija u objektu nam je i potrebna zbog osiguravajuće kvalitete zraka, ona održava razinu CO_2 i drugih štetnih tvari u zraku na podnošljivoj razini.

Standard pasivnih kuća je zrakonepropusnost, samim time se drastično smanjuju ventilacijski toplinski gubitci, a na taj se način gotovo potpuno smanjuje dovod svježeg zraka, što je u praksi nedopustivo. Zbog toga je u pasivnim kućama obavezna ugradnja ventilacije, koja stalno dovodi svjež zrak u prostor, i s time otvaranje prozora više nije potrebno, iako ono nije zabranjeno. Prozori u pasivnim kućama povremeno moraju biti otvoreni, iako se time i gubi toplina, sustav pasivnih kuća nije naraušen. Uređaj za ventelaciju najčešće nam radi tijekom zimskog razdoblja, a preostalo vrijeme može biti iskuljučen, a kuća se tada prozračuje kroz prozore. Jedan od razloga zašto koristimo ventilaciju kroz određeni vremenski preriod u godini je taj što uređaj za ventilaciju treba električnu energiju, a ona je u pasivnim kućama ograničena potrošnjom primarne energije od 120 kWh/(m^2h).

Da bismo postigli što manje toplinskih gubitaka prilikom prozračivanja, u pasivnim kućama obavezan je sustav kontrolirane ventilacije vraćenje topline otpadnog zraka (tj. rekuperacija) i iskoristivošću većom od 75 %. Prilikom prozračivanja putem uređaja za ventilaciju, topao otpadni zrak daje toplinu hladnom ulaznom svježem zrakau, što dodatno smanjuje toplinske gubitke zbog prozračivanja. Uz to, ventilacijski sustav ima i filtere, koji dovedenom zraku oduzimaju pelud i prašinu, što je velika prednost za osobe koje su sklone alergijama.[4]

6.1. Rad kontrolirane ventilacije

Uređaj za ventilaciju dovodi svjež zrak u prostore i odvaja iskorišteni zrak iz zgrade. Svježi se zrak dovodi u stambene prostore i spavaonice (mjesta gdje se provodi više vremena), a odvodi se iz kuhinja, kupaonica, zahoda i smočnica.



Slika 22. *Shema rada kontrolirane ventilacije s vraćanjem topline otpadnog zraka*

Izvor:Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o

Vanjski zrak se uzima izvan građevine kroz zaštitnu rešetku koja se nalazi na pročelju ili na krovu objeta, a nakon toga se dobro izoliranim cijevima dovodi do uređaja za ventilaciju. Prije ulaska zraka u uređaj, on se filtrira, u rekuperatoru se svjež zrak predgrije toplinom otpadnog zraka koji se isisava iz zgrade. Preko razvodnog sustava svjež zrak odlazi u tzv. dovodne prostore. Iskorišteni zrake se uzima iz prostora koji su opterećeni vlagom i mirisima, i po kanalma se odvodi do uređaja za ventilaciju. U rekuperatoru daju toplinu svježem zraku, a zatim se izoliranim cijevima odvodi na slobodu.

Kanali kojima se zrak dovodi i odvodi izrađeni su kao plošne fleksibilne cijevi, širine 10-20 cm. Ugrađuju se u toplinsku izolaciju ispod podnog estriha ili ispod stropa, a združuju u razdjelniku. Na visini uvijek iznad 200 cm, bilo na stropu ili zidu se nalaze posebne mlaznice pomoću kojih se zrak dovodi u prostor. Trebamo paziti na kojima se mjestima nalaze mlaznice,

tako da upuhajući zrak nije usmjeren prema mjestima gdje se često zadrđavamo. Temperatura svježeg doovodnog zraka pri unčikovitom prijenosu topline za prozračivanje je uvijek iznad 16 °C. Da bismo postigli jednakomjernu raspodjelu zraka po prostoru, dovod i odvod ne smiju biti preblizu jedan drugome. Najbolje ih je postaviti dijagonalno u prostoru. Između dovodnih i odvodnih prostora mora biti odgovarajući protok zraka. Uređaj za ventilaciju postavljamo na suhi prostor u objektu, gdje ne postoji opasnost od smrzavanja.

6.2. Zemni skupljač

To je vrlo jednostavan uređaj koji iskorištava sunčevu energiju koja je pohranjena u zemlju. Radi se o 20-50 metara dugoj cijevi od polietilena (promjera 200 mm), koja se nalazi ukopana ispod kuće i/ili pokraj nje približno na dubini 1,2-2 m duboko. Uvijek ispod granice smrzavanja tla. Više cijevi manjeg promjera može biti usporedno položeno na razmaku od 1 m, uzimamo u obzir da dužina cijevi iznosi približno 0,2-0,3 m na svaki m^3 zahtijevnog protoka zraka.

Hladni i filtrirani zrak se toplinom zemlje grije prije nego dođe do izmjenjivača topline u uređaju za ventilaciju, a čak i kod ekstremno hladnog vremena dovedeni zrak se zagrije kroz zemlju na približno +6 °C, uz to se smanjuje opasnost da dođe do smrzavanja kondenzata u izmjenjivaču topline. Zemni sukpljač može se koristiti i prilikom ljeta, kad vrući vanjski zrak ohladi na ugodnu temparaturu, a to sve ovisi o korisniku objekta, jer mora biti svjestan da za ventilaciju ljeti je isto potrebna električna energija za pogon sustava. Da bi ovaj princip koristio prilikom ljeta cijevi moraju biti postavljene pod određenim kutem.

Ukoliko uređaj za ventilaciju nema zemni skupljač koji bi predgrijao ulazni zrak, ispred izmjenjivača topline, mora biti predviđen električni registar. Električni predgrijač tempreraturu ulaznog zraka prije nego dođe do izmjenjivača drži uvijek iznad -4 °C. Električni predgrijač ima postavljeni prag na -4 °C, kad temperatura zraka padne ispod te temperature, on se uključuje i počnije grijati zrak. Radi toga potrošnja električne energije za predgrijavanje zraka nije velika s obzirom da se on upali nekoliko puta godišnje, a osigurava nam da ne dođe do oštećenja sustava za ventilaciju.

6.3. Zvučna zaštita

Da bismo imali zadovoljavajuću ugodnost u prostoru, a jedan od načina kojim se to može narušiti je neugodnom bukom, uređaji za ventilaciju ne smiju opterečivati šumom i bukom. Da bismo postigli sprečavanje prijenosa zvuka, u dovodni i odvodni kanal između uređaja za ventilaciju i razdjelnika ugrađuje se prigušivač zvuka, time postižemo smanjenje buke. Prigušivači zvuka moraju biti pravilno dimenzionirani, a ako su premali ili ih uopće nema kasnije je teško popraviti ili samo s velikima trpškovima.

Prigušivači zraka nisu jedini zahvat za tihi rad uređaja za prozračivanje. Kanali za ventilaciju se postavljaju prije ostalih instalacija, dižući vodovi moraju biti simetrični, a putovi kratki i bez nepotrebnih zavoja. U pasivnim kućama poželjna je uporaba sustava za ventilaciju s glasnoćom ne većom od 25 dB(A).

7. GRIJANJE PASIVNIH KUĆA

Pasivna kuća nije energetski samodostatna ili nulta-energetska kuća da nebi imali potrebe za grijanjem. Zbog dosljednog projektiranja i izvedbe potreba za grijanjem je smanjena na minimum. Istraživanja su pokazala da je grijanje u pasivnim kućima potrebno samo kod vanjskih temperatura od 0 °C i -5 °C, a prilikom hladnijih temperatura nebo je obično vedro i dovoljni su nam sunčevi dobici za održavanje topline pasivne kuće. Dodatno grijanje kod pasivnih kuća moguće je pomoću tradicionalnih uređaja na različite energetske izvore: loživo ulje, zemni plin, drvene cjepanice, drvena biomasa itd. Dodatno grijanje električnom energijom kod pasivnih kuća je sasvim neprihvatljivo, iako bi zbog male potrošnje energije bilo najprihvatljivije. U energetsku bilancu pasivne kuće uključuju se sve vrste energija koje se dobivaju iz neobnovljivih izvora energije.

U pasivnim kućama godišnja potrošnja energije za grijanje ne smije prelaziti 15 kWh/(m^2a), što odgovara godišnjoj potrošnji ≈1,5 litre loživog ulja, ≈ 1,6 m^3 zemnog plina ili ≈ 2,4 l ukapljenog naftnog plina na kvadratni metar grijane površine [7]. Klasični uređaji za grijanje predviđeni su za veću potrebu topline nego kod pasivnih kuća, zbog toga u pasivnim kućama se možemo odreći klasičnog načina grijanja. Jedan od načina kako možemo grijati pasivnu kuću je tzv. toplozračno grijanje, što je i odlično jer ne gubimo prostor koji je potreban za klasični način grijanja, a i troškovi se smanjuju. Prilikom izbora sustava za dogrijavanje pasivne kuće trebamo uzeti i u obzir na koji način ćemo zagrijavati sanitarnu vodu, a to je pogotovo važno kod pasivnih kuća gdje je energija potrebna za grijanje sanitarne vode duplo veći nego za grijanje prostora, na to uvelike utječje što prosto nije potrebno dogrijavati tijekom cijele godine, a sanitarnu vodu je.

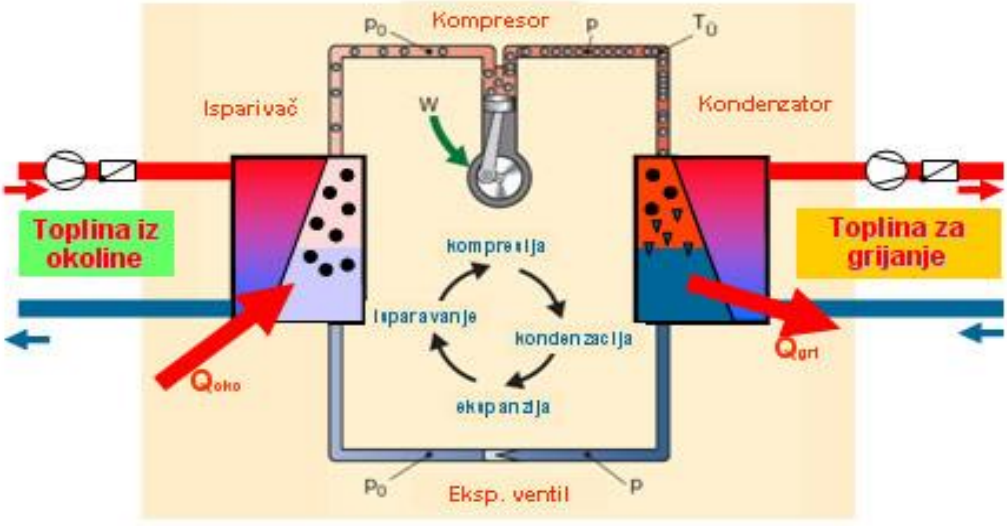
7.1. Toplinska crpka

Toplinska crpka je uređaj čiji način rada predstavlja obnovljivi izvor energije. Toplinske crpke uzimaju toplinu iz okoline, toplina koju crpi akumolirana je sunčeva energija u različitim medijima. Toplinske crpke iskorištavaju toplinu zemlje, zraka i vode, a preporučljiva je za grijanje objekta i sanitarne vode.

Toplinske crpke nisu novi sustav grijanja koji je razvijen posebno za pasivne kuće. One su postojale i prije, ali kod standardnih kuća ne mogu samostalno biti dostatne za grijanje, nego su ugrađivane kao dodatak što je samo povećavalo troškove. Prilikom pojavljivanja nisko-energetskih i pasivnih kuća te zemnih skupljača topline, toplinske crpke se koriste kao samostalan sustav grijanja. Toplinske crpke rade i zadovoljavaju potrebne uvjete i na vrlo niskim vanjskim temperaturama do -20 °C, a i k tome mjerenja su pokazala da toplinske crpke potroše 34–49 % manje primarne energije od plinskih ili uljnih kondezacijskih kotlova. Toplinske crpke smanjuju emisiju CO_2 i drugih štetnih plinova za 32-60 %, s time možemo pretpostaviti da će toplinske crpke u budućnosti postati osnovni izvor topline za niskotemperaturne sustave grijanja.

7.2. Način rada toplinske crpke

Toplinska crpka se sastoji od ispirivača, koji oduzima toplinu iz okolnog medija, i u kojem se radni medij kod niske temperature zapali i zagrije toplinom uzete iz okoline. Kompresor usisava nastalu zagrijanu paru, stisne ju i time zagrije. U kondezatoru pri višoj temperaturi i tlaku vruća para kondenzira i pri tome daje kondenzacijsku toplinu ogrjevnom mediju. Radni medij ide preko ekspanzijskog ventila, gdje mu se tlak snižava, ponovno u isparivač, gdje se proces ponavlja.



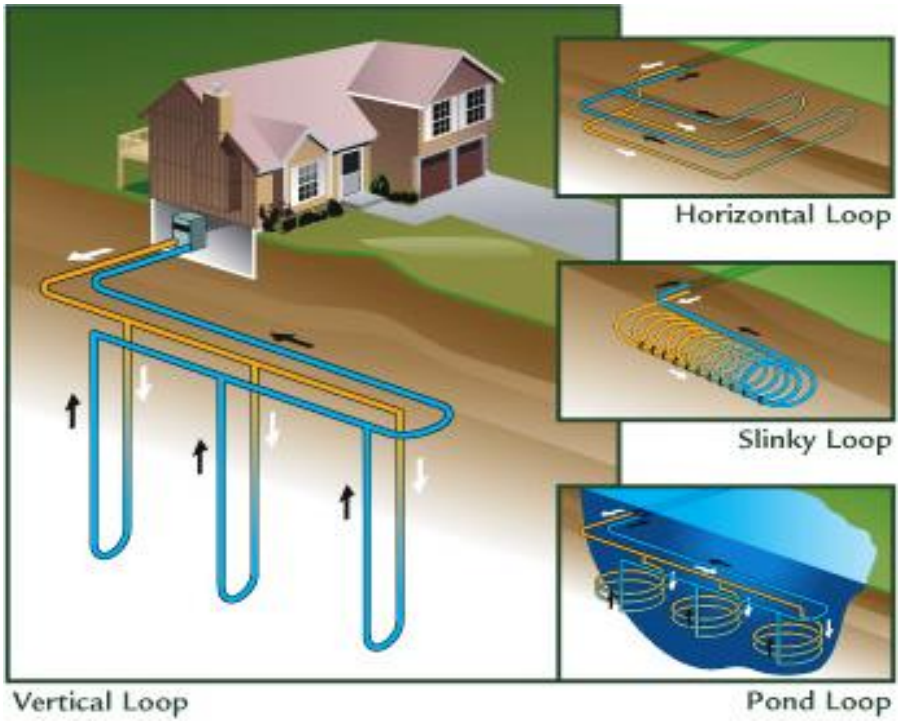
Slika 23. *Rad toplinske crpke*

Izvor: http://www.mcsolar.hr/toplinske-pumpe.php

Za rad toplinske crpke potrebna je električna energija koja se troši za pogon kompresora i ventilatora, a iskoristivost toplinskih crpki se povećava iz godine u godinu. Toplinske crpke razlikujemo s obzirom na medij koji se hladi iz okoline, i medij koji zagrijavamo. Prema tome postoje toplinske crpke zrak/voda, voda/voda, zemlja/voda. Kod označavanja sustava toplinskih crpki na prvom mjestu označuje se medij koji se hladi, a na drugom mjestu medij koji se zagrijava.

7.3. Vrste toplinskih crpki

Oko nas je uskladišteno mnogo sunčeve energije, koju možemo iskoristiti toplinskom crpkom. Sa obzirom iz kojeg medija iscrpljujemo sunčevu energiju imamo više vrsta toplinskih crpka.



Slika 24. *Prikaz uzimanja topline okolnih medija*

Izvor: http://www.enu.fzoeu.hr

TOPLINA ZRAKA

Toplinska crpka postavljena je izvan građevine jer uzima zrak koji pomoću ventilatora potiskuje u isparivač. Toplina koja se nalazi u vanjskom zraku moguće je iskorištavati dva puta. Toplina koja se nalazi u vanjskom zraku, kompresor podiže na višu razinu, povoljnu za grijanje zgrade i sanitarne vode.

TOPLINA POVRŠINSKE ZEMLJE

Tijekom sunčanih dana gornji sloj zemlje se zagrije i sprema toplinu, a kada je temperatura okoline niža, tada zemlja spremljenu temperaturu predaje nazad u okolinu. Taj proces se odvija prilično kratko. U dubljim slojevima zemlja se sporije zagrijava, ali i duže zadržava tu toplinu, a poznato je i da se temperatura zemlje povisuje s dubinom. Tu toplinu iskorištavamo toplinskim crpkama. U iskopani kanal na dubini od 1,2 m položi se zemni prijenosnik topline, u njemu kruži medij koji zemlja zagrije za nekoliko stupnjeva, i koristi se za daljnje potrebe.

TOPLINA STIJENE

Toplina u kamenju je spremljena isto ispod površine zemlje. Da bismo iskoristili toplinu koja je spremljena u kamenju, potrebna je jedan ili više bušotina u koje se stavljaju cijevi. Kroz te cijevi kruži tekućina koja oduzima toplinu kamenju, a kompresor tu toplinu diže na višu razinu. Takav način oduzimanja topline iz okolnih medija je relativno skup, a povoljan je za veće potrošače energije.

TOPLINA POVRŠINSKE VODE

Svima nam je poznato da se voda u morima, jezerima, sporo tekućim rijekima i umjetnim jezerima veoma sporo zagrijava i skladišti toplinu. Kada stigne jesen voda se počnije sporo hladiti, a tijekom zimskog razdoblja ona zadržava toplinu zbog hladnog dana i snježnog pokrova. Da bismo oduzeli toplinu vode, cijevi se postavljaju na dno, kroz njih kruži medij koji oduzima toplinu vodi, i tada toplinska crpka podiže tu toplinu na višu razinu.

TOPLINA PODZEMNE VODE

Oduzimanje topline podzemnih voda za potrebe grijanja predstavlja idealan izvor topline, ali iz ekoloških razloga u nekim se državama taj način iskorištavanja topline okoline ne dozvoljava.

To je otvoreni sustav, potopnom crpkom crpi se voda do toplinske crpke. Najniža temperatura vode koju možemo iskorištavati je 3 °C, a iskorištena voda otječe u podzemnu bušotinu ili kanalizaciju oborinskih voda.

7.4. Pretvaranje sunčeve energije i njezini pretvornici

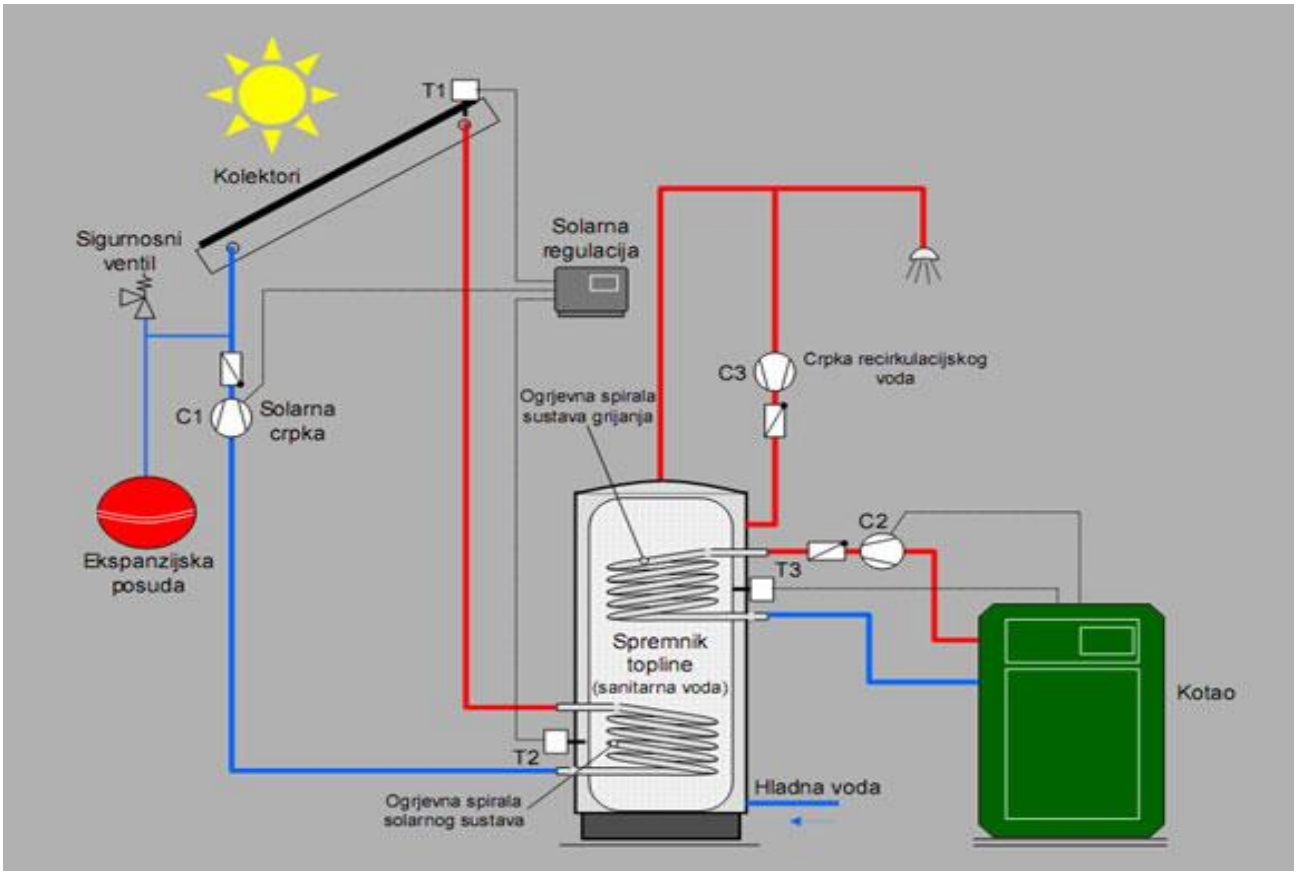
Sunce je glavni dobijač energije na našoj planeti, svake godine ona nam daje 7000 puta više energije nego što je potrebno u današnjem svijetu. Sunčeva energija je ugodna za okoliš, a usto je neiscrpan i besplatan izvor energije i možemo ga koristiti kroz cijelu godinu, bez obzira na godišnje doba. Da bi smo iskoristili sunčevu energiju potrebna nam je suvremena tehnologija, a danas postoje mnoge tehnologije koje pretvaraju sunčevu energiju.

PRETVORNICI SUNČEVE ENERGIJE (PSE)

Poznati pod imenom ˛sunčani kolektori´, to su uređaji koji se većinom upotrebljavaju za grijanje sanitarne vode, ali nije isključeno da se koriste i za potrebe grijanja zgrade. Sastoje se od transparentnog pokrova i apsorbera, tamo se nalazi radno sredstvo (medij) koji se zagrije, zagrijani medij se crpkom prenese u izmjenjivač topline koji se obično nalazi u spremniku topline. Ukoliko je potrebno u spremniku topline postoji mogućnost dogrijavanja s drugim energetskim izvorima. Regulacija nam osigurava uključenje crpke kada je temperatura medija u sunčanom pretvorniku viša nego u spremniku.

Pretvornike sunčeve energije (kolektore) smještavamo na krovove, balkonske ograde, pročelja ili mogu boti samostojeći. Potrebna površina za odgovarajući doprinos topline iznosi od 0,75 m^2 do 1,5 m^2 po osobi. Kolektore usmjeravamo što više prema jugu, jer tamo dobivamo najviše šunčevog zračenja, a za optimalnu uporabu sunčeve energije u proljeće i jesen imaju otklon od približno 45° od horizontalne ravnine. [5]

Pretvornicima sunčeve energije možemo osigurati približno 60% godišnje potrebe za grijanje sanitarne vode, u sunčanim mjesecima svu potrebnu energiju dobijemo iz pretvornika sunčeve energije, a u zimskim razdobljima vodu treba dogrijavati ili sustav isključiti.



Slika 25. *Shema sunčavog sustava za grijanje sanitarne vode*

Izvor: http://www.mcsolar.hr/suncevi-kolektori.php

FOTONAPONSKI SUNČANI PRETVORNICI (FSP)

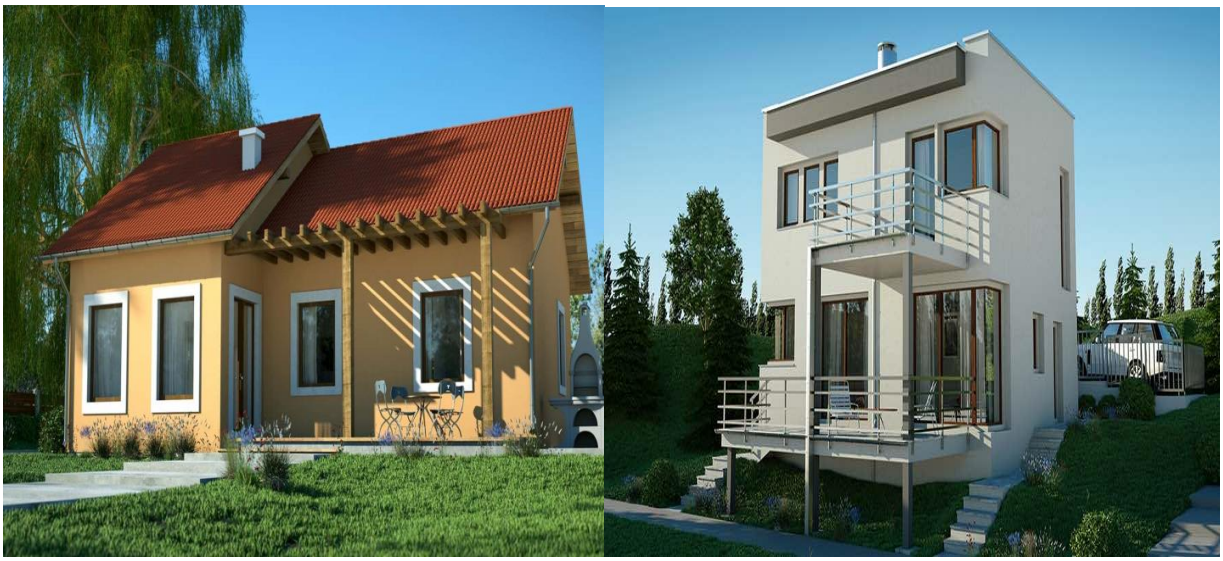
Fotonapanski sunčani pretvornik je dioda – poluvodič koji iskorištava energiju svjetla za izbijanje elektrona, čime nastaje jednosmjerni tok. Nastali jednosmjerni tok možemo iskoristiti odmah ili konvertirati u izmjenični tok koji se odvodi u javnu električnu mrežu. Tipične veličine FSP ćelija su 10x10 ili 15x15 cm. U točki najveće snage ostvaruju napon između 0,5–2 V. Naravno općenito su nam potrebni viši naponi, zbog čega se ćelije u veće jedinice, tipična veličina je 1,2x1,0 m, što daje otprilike snagu od 110 W. Sunčani pretvornici mogu biti prozirni il neprozirni, a dolaze u raznim bojama, iako je najčešća tamnoplava. Većina fotonaponskih sunčanih modula se ugrađuje na krov, na njemu mogu biti samostojeći ili nadomještaju klasični pokrov što snižava troškove klasične gradnje.

8. USPOREDBA EKONOMSKE ISPLATIVOSTI PO STANDARDU PASIVNE KUĆE I STANDARDNE KUĆE

U ovome djelu usporediti ću troškove gradnje vođene principim pasivne kuće i standardne kuće po kategorijama: arhitektura, sustavi grijanja/hlađenja, ventilacije i upravljanja energijom.

8.1. Arhitektura

Što se tiče samog projektiranja pasivnih kuće u usporedbi sa standardnom, nema neke značajne razlike u samoj cijeni troškova. Razlog radi čega je to tako leži u tome što su osnovna načela projektiranja pasivnih kuća proizašla iz osnovna načela projektiranja standarnih kuća. Napravit ću usporedbu po tima načelima i vidjeti gdje su razlike u troškovima ili se samo javljaju razlike u tome što smo kod pasivnih kuća ograničeni u nekim zahtjevima u smislu slobode projektiranja.



Slika 26. *Primjer standardne kuće (lijevo) i pasivne kuće (desno)*

Izvor: http://gradnjakuce.com/ivana/ http://gradnjakuce.com/dunja/

ORIJENTACIJA

Što se tiče same orijentacije objekta, ovdje se ne javljaju nikakvi dodatni troškovi, nego kod pasivnih kuća postoje propisi koje se moramo pridržavati da bismo postigli koncept pasivne kuće, a kod standardnih projektant ima slobodu izbora što se tiče orijentacije objekata, ali uzimajući u obzira da radi što bolje kvalitete boravka i kvalitete samog objekta, projektanti teže k tome da je orijentacija standardne kuće slična onoj pasivne kuće.

OBLIK OBJEKTA

Kod određivanja samog geometrijskog oblika objekta isto nema neke razlike u troškovima projektiranja. Možemo zamisliti pasivnu kuću i standardu kuću iste kubikaže. Pasivna kuća će biti projektirana što jednostavnijeg geometrijskog oblika, sa što manje prijeloma, da bismo izbjegli nepotrebne probleme sa zrakonepropusnosti, toplinskim mostovima i smanjenja transmisijskih gubitaka, dok standardna kuća može biti nekog zahtjevnog geometrijskog oblika, ali u današnje vrijeme projektant i investitor teže k tome da bude što jednostavnijeg geometrijskog oblika.

TOPLINSKA HIJERARHIJA PROSTORA

Raspored prostorija s obzirom na njihovu namjenu u objektu, ovo ne dovodi do nikakve razlike u cijeni s obzirom da je to jedno od načela projektiranja pasivne kuće koje je preuzeto iz osnova projektiranja standardnih kuća.

TEHNOLOGIJA GRADNJE

Kod pasivne kuće nismo ograničeni izborom tehnologije kojem ćemo graditi, tako da ovdje ne dolazi neke razlike u cijeni u obziru na standardnu. Cijene se razlikuju, ali isto kao i kod pasivnih i standardnih ovisi o želji investitora.

TOPLINSKA IZOLACIJA

Toplinska izolacija se razlikuje u cijeni s obzirom na cijenu izolacije koja je potrebne kod standardnih kuća. Razlog k tome je što kod pasivnih kuća prolaz topline kroz zid ne smije prelaziti 15 kWh/(m^2a), a kod standardnih po propisima on ne smije biti veći od 45 kWh/(m^2a). Odličan izbor za gradnju standardnih, pa tako i pasivnih kuća je ytong blokovima. Ako gradimo

objekat ytong termoblokovima debljine 30 cm, čija debljina od 30 cm osigurava i dostatnu toplinsku izolaciju, takvu izolaciju dostatno je obraditi tankim gletanjem sa završnim silikatnim premazom, ukupne debljine od samo 0,5 cm, da bismo postigli standard da zadovoljimo propise za pasivnu kuće potrebno je ytong zidu dodati dodatan termoizolacijski sloj. Kao dodatan termoizolacijski sloj možemo primjeniti fasadni sustav „ROFIX“, koji koristi kamenu vunu kao izolacijski materijal.

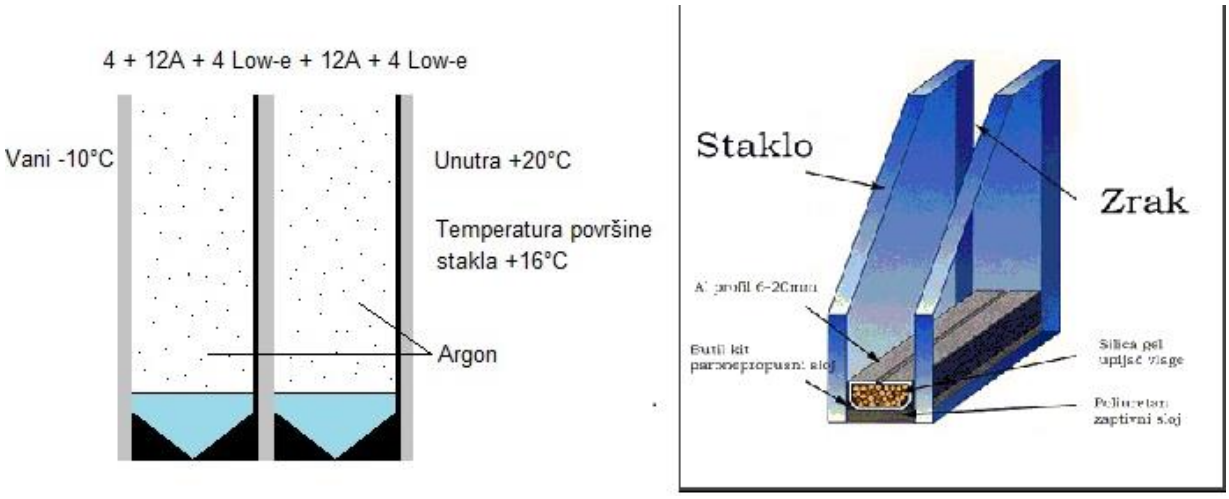
	Ytong termoblok (625x300x200) mm, cijena 700 KN/m^3	Fasadni sustav “ROFIX“-Kamena vuna d=30 cm-(pasivna kuća)/d=10 cm (standardna kuća)	Troškovi
PASIVNA KUĆA	$36m^3$ = 25200 KN	$300m^2$= 93000 KN	=115200 KN
STANDARDNA KUĆA	$36m^3$ = 25200 KN	$300m^2$= 31100 KN	=56300KN

Tablica 2. *Tablica usporedbe troškova za toplinsku izolaciju*

Izvor: Autor

PROZORI I VRATA

Kod standardnih kuća u praksi se koristi ugradnja prozora s dvoslojnim staklom, čija se cijena kreće oko 1500 kn/m^2, dok kod pasivnih kuća da bismo postigli standard koji zahtjeva, u praksi je primjenjena ugradnja troslojnog stakla, koji može biti ispunjem plinom argonom između stakala i Low-e premazom s unutarnje strane unutarnjeg stakla čija cijena iznosi u prosjeku oko 2000 kn/m^2, što je oko 20% viša cijena nego kod standardnih, ali toplinski gubitci su manji čak do 50%.



Slika 27. *Primjeri presjeka troslojnog i dvoslojnog prozora*

Izvor: http://www.si-mont.com/staklo.html/http://www.zrcalo.hr/hr/1667/dvoslojno-izo-staklo/

8.2. Sustavi grijanja-hlađenja

Sustavi grijanja između pasivnih kuća i standardnih kuća se veoma razlikuje. Kod pasivnih kuća u primjeni je korištenje toplinskih pumpi, one se mogu koristiti i kod standardnih, ali zbog poveće potrošnje energije potrebno za grijanje njihova ugradnja nije isplativa. Kod standardnih kuća koristimo klasične načine grijanja, npr. kao što je pomoću plinskih bojlera i grijačih tijela. Cijene plinskih kondezacijskih bojlera za grijanje i toplu vodu se kreću oko 10000-15000 kn, u obzir moramo uzeti da je potrebno postaviti i grijača tijela, koje će nas za objekat oko 100 m^2 dodatno koštati oko 7500-15000 kn, ovisi o vrsti, broju i dimenzijama grijaćih tijela koje postavljamo. Uzevši u obzir da je kod standardnih kuća potrošnja energije potrebne za grijanje iznosi od 80 do 100 kWh/m^2 za godišnje potrebe grijanja, a da objekat za grijanje je veličine 100 m^2, zaključujemo da ćemo za godišnje potrebe iskoristiti energije od 8000 do 10000 kWh. Trenutni trošak potreban za grijanje na plin varira, ali u prosjeku iznosi oko 0,39 KN/kWh, unčikovitost kondezacijskog plinskog bojlera koja iznosi u prosjeku oko 90%, dolazimo do toga da će cijenja troškova za grijanje po kWh ispasti oko 0,42 KN/kWh. Uzevši sve to u obzir

dolazimo do zaključka da će nam za godišnje potrebe grijanja objekta veličine 100 m^2 troškovi iznositi od 3400 do 4200 KN, naravno cijena može biti veća ili manja, a ovisi o više čimbenika tijekom godine.

Kod pasivnih kuća ne koristimo standardne sustave grijanje, nego toplinske pumpe, koje iskorištavaju energiju iz okoline za potrebe grijanja objekta, pa s obzirom na to postoji više vrsta pumpa. Cijena toplinske pumpe sustava voda-voda ili zemlja voda je najviša i iznosi otprilike od 75000 do 115000 KN, i to bez investicije u sustav cijevi, podno ili radijatorsko grijanje. Cijene za toplinsku pumpu sustava zrak-voda su dosta niže, i cijena takvog sustava bi nas koštala oko 70000 KN uz sve potrebne zahvate potrebne za grijanje. Kao što znamo po standardima pasivnih kuća, energija potrebna za grijanje ne smije biti veća od 15 kWh/m^2, što znači da bi za objekat veličine 100 m^2 godišnja potreba za grijanje nebi smjela biti veća od 1500 kWh. Troškovi za grijanje toplinske pumpe u prosjeku iznose oko 0,32 KN/kWh, tako da će nam za godišnje potrebe grijanje pasivne kuće biti potrebno oko 500 KN.

Usporedivši troškove koji su potrebni za instalaciju grijanja između standardnih i pasivnih objekata, i troškovi koji su nam potrebni za godišnje korištenje objekta, dolazimo do zaključka da će nam se isplativost u korist uloženog kod pasivnih kuća vratiti nakon 10-14 godina.

Sustavi za hlađenje samog objekta kod pasivnih kuća nam nisu potrebni, jer zbog odlične toplinske izolacije tijekom ljetnih dana ne dolazi do pregrijavanja unutarnjeg prostora, dok kod standardnih kuća prilikom ljetnih vrućina, dolazi do zagrijavanja unutarnjeg prostora, to se može riješiti jednostavnom ugradnjom klima uređaja čije cijene se kreću od 3000 KN pa na više, zavisno o modelu i vrsti.

8.3. Ventilacija

Kod standardnih kuća ugradnja ventilacije nije potrebna, možemo ju ugraditi, ali prozračivanje prostora moguće je ostvariti otvaranjem prozora. To ne znači da kod pasivnih kuća nije dozvoljeno otvaranje prozora radi dovoda svježeg zraka, ali ono nije preporučeno tijekom zimskog perioda, jer nam ulazi hladan zrak, i zbog toga se mora biti u oprezu da se ne naruši koncept pasivne kuće. Da izbjegnemo taj problem, ugrađujemo sustav ventilacije, koja od toplog zraka iz prostora uzima toplinu i zagrijava svježi hladan zrak koji ulazi u prostor i prolazi kroz

filtere, takvim načinom možemo iskoristiti do 90% topline otpadnog zraka za zagrijavanje svježeg. Tijekom ljeta u pasivnim kućima rad ventilacije nije potreban, jer možemo dovesti svjež zrak otvaranjem prozora.

kat. broj	VENTILACIJSKI UREĐAJ recoVAIR	naziv	VPC	MPC
0010008893	recoVAIR-ventilacijski uređaj za stambene i poslovne prostore, 270m3 protoka zraka po satu	VAR 275/3	kn 11.325,26	kn 13.930,07
0010008894	recoVAIR-ventilacijski uređaj za stambene i poslovne prostore, 350m3 protoka zraka po satu	VAR 350/3	kn 12.744,56	kn 15.675,81
0020023929	Bypass za recoVAIR		kn 1.749,83	kn 2.152,28
0020023930	G3 filter za recoVAIR (2 filtera klase G3)		kn 165,26	kn 203,27
0020023931	G3 filter za bypass (1 filtera klase G3)		kn 77,77	kn 95,66
0020026061	F6 fini filter za recoVAIR (2 filtera klase F6)		kn 330,52	kn 406,54
0020026118	F6 fini filter za bypass (1 filtera klase F6)		kn 116,66	kn 143,49

recoVAIR VPM W VPM S



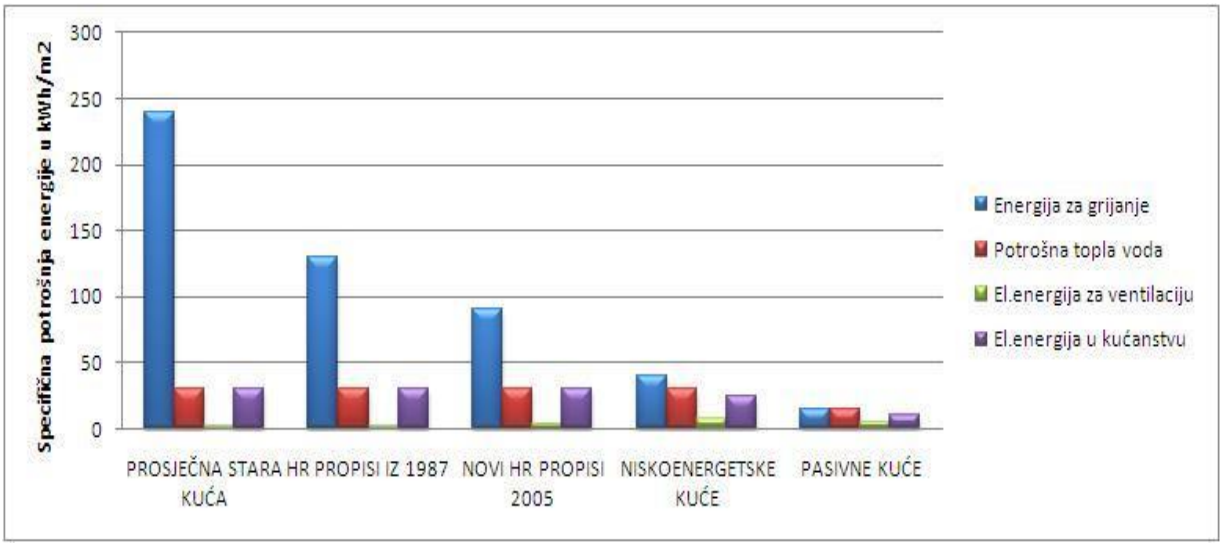
Slika 28. *Ventilacijski uređaj recoVAIR*

Izvor: https://www.vitos.hr/media/vaillant_maloprodajnicjenikveljaca20121.pdf

Cijena ventilacijskog sustava varira ovisno od proizvođača, jedna od jeftinijih solucija je ugradnja "lunos" ventilacijskog sustava, čija cijena se kreće već od 7500 KN, ali postoje skuplje varijante kao naprimjer ugradnja "recoVAIR" ventilacijskog sustava.

8.4. Upravljanje energijom

Usporedit ćemo specifičnu potrošnju energije na godišnjoj razini u kWh/m^2 koja je potrebna za objekat pasivne kuće i standardne kuće koja je građena po propisima Republike Hrvatske iz 2005. godine. Usporedit ćemo potrošnju energije potrebnu za: energiju za grijanje, električnu energiju u kućanstvu, električnu energiju ventilacije, energiju za potrošnu toplu vodu.



Slika 29. *Grafički prikaz specifične potrošnje energije u kWh/m^2*

Izvor: http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=Slika:Usteda1.JPG

U tablicama 3. i 4. usporedio sam troškove potrebnu za potrošnju energije u objektima na godišnjoj razini, radi pojednostavljenosti pretpostavio sam da su objekti veličine 100 m^2. korisne površine. U tablici 3. nalaze se podatci za objekat građen principom pasivne kuće, dok su u tablici 4. uvršteni podatci za objekat građen po propisima Republike Hrvatske koji je donešen 2005. godine. Nakon uvrštavanja svih podataka usporedio sam cijenu ukupnih troškova za potrošnju energije na godišnjoj razini za objekat veličine 100 m^2 korisne površine.

PASIVNA KUĆA				
	Potrošnja u kWh/m^2	Godišnja potrošnja za objekat veličine 100 m^2	Obručanska jedinica KN/kWh	Troškovi za objekat 100m^2 na godišnjoj razini
Energija za grijanje	15 kWh/m^2	1500 kWh	0,32 KN/kWh	=480 KN
Energija za potrošnu toplu vodu	15 kWh/m^2	1500 kWh	0,32 KN/kWh	=480 KN
Električna energija za ventilaciju	5 kWh/m^2	500 kWh	0,81 KN/kWh	=405 KN
Električna energija u kućanstvu	10 kWh/m^2	1000 kWh	0,81 KN/kWh	=910 KN
Ukupni troškovi za potrošnju energije na godišnjoj razini				**=2275 KN**

Tablica 3. *Troškovi potrošnje energije na godišnjoj razini- pasivna kuća*

Izvor: Autor

Iz tablice 3. možemo predočiti zbog čega je pasivna kuća dugoročno isplativa, pogledom na ukupne troškove za potrošnju energije vidimo da oni neće biti većeg iznosa od 200 KN/mjesečno.

Ove troškove moguće je smanjiti instalacijom sustava za prikupljanje sunčave energije, ovo će nam povečati troškove kod izgradnje objekta, ali vidjet ćemo isplativost kroz određeni vremenski period.

STANDARDNA KUĆA				
	Potrošnja u kWh/m^2	Godišnja potrošnja za objekat veličine 100 m^2	Obručanska jedinica KN/kWh	Troškovi za objekat 100m^2 na godišnjoj razini
Energija za grijanje	90 kWh/m^2	9000 kWh	0,42 KN/kWh	=3780 KN
Energija za potrošnu toplu vodu	35 kWh/m^2	3500 kWh	0,42 KN/kWh	=1470 KN
Električna energija za ventilaciju	5 kWh/m^2	500 kWh	0,81 KN/kWh	=405 KN
Električna energija u kućanstvu	35 kWh/m^2	3500 kWh	0,81 KN/kWh	=2835 KN
Ukupni troškovi za potrošnju energije na godišnjoj razini				**=8490 KN**

Tablica 4. *Troškovi potrošnje energije na godišnjoj razini- standardna kuća*

Izvor: Autor

Usporedbom troškova iz tablice 3. i tablice 4. vidi se da su troškovi pasivne kuće manji za približno 75%.

9. ZAKLJUČAK

Dan danas izgradnja pasivnih kuća u našoj državi jedan je veliki neiskorišteni potencijal. Gradnja pasivnih kuća danas više nije nepoznanica, a k tome brojna istraživanja koja su se odvijala unazad nekoliko godina koja su nam pokazala da kod projektiranja pasivnih kuća nismo strogo ograničeni, nego imamo izbor što se tiče orijentacije, plašta, konstrukcije, grijanja. To što danas znamo više-manje sve o pasivnim i nisko-energetskim kućama ne znači da trebamo prestati sa daljnim istraživanjima i poboljšanjem kvalitete pasivnih kuća, a i samim time kvalitete boravka korisnika u njoj.

Jedan od glavnih razloga što se korisnici danas odlučuju na izgradnju pasivnih kuća je njihova isplativost. Vlasnici već postojećih pasivnih kuća nam potvrđuju da je investicija potpuno opravdana, i da nam se uložena sredstva vraćaju kroz znatno smanjene troškove energije te troškove održavanja. Kao što sam prikazao u ovom radu, troškovi koji su veći kod same izgradnje pasivne kuće nego kod standardne kuće, isplativi su kroz određeni vremenski period što nam se vraća već samom uštedom na troškovima koji su potrebni za godišnju potrošnju energije.

10. LITERATURA

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Blower_door

[2] http://gradnjakuce.com/

[3] https://hr.wikipedia.org/wiki/Pasivna_ku%C4%87a

[4] Zbašnik Senegačnik M. (2009). Pasivna kuća. Zagreb. SUN ARH d.o.o.

[5] http://www.mcsolar.hr/suncevi-kolektori.php

[6] http://www.mcsolar.hr/toplinske-pumpe.php

[7]http://www.pasivna-kuca.info/gradnja/37-gradnja-pasivne-kuce/137-obicna-niskoenergetska-ili-pasivna-kuca.html/

[8]https://www.pravimajstor.com/stranice/gradnja/kako-se-radi/Konstrukcije-zidova-pasivnih-kuca

11. POPIS SLIKA

Slika 1. Poslovna zgrada inovacijskog centra Weiz, Austrija.....2

Slika 2. Toplinska strujanja kroz p*la*št zgrade.....4

Slika 3. Unutarnji izvori topline.....5

Slika 4. Godišnja toplinska bilanca pasivne kuće.....6

Slika 5. Kuća građenja slamom kao izolacijski materijal.....8

Slika 6. Smještaj prostorija u odnosu na strane svijeta.....10

Slika 7. Specifičan toplinskii kapacitet pojedinih materijala.....11

Slika 8. Prikaz ulaska sunčeva zračenja te apsobiranje topline.....12

Slika 9. Faktor oblika geometrijskih tijela s jednakim volumenom.....13

Slika 10. Faktor oblika geometrijskih tijela sastavljenih iz više jednakih elemenata.....13

Slika 11. Toplinska hijerarhija prostora pasivne kuće.....14

Slika 12. Oplatni sistem od polistirena.....16

Slika 13. Ugradnja staklene mineralne vune u drveni okvir.....17

Slika 14. Prozirna toplinska izolacija.....19

Slika 15. Princip djelovanja neprozirne (lijevo) i prozirne (desno) toplinske izolacije.....20

Slika 16. Prikaz prolazka topline kroz različite vrste ostakljenja.....21

Slika 17. Temperature na uglu s obzirom na različite debljine toplinske izolacije.....24

Slika 18. Princip djelovanja geometrijskog toplinskog mosta.....25

Slika 19. Neprikinut toplinskoizolacijski sloj zgrade.....26

Slika 20. Prikaz presjeka kuće prilikom blower door testiranja.....30

Slika 21. Prikaz blower door metodom testiranja.....30

Slika 22. Shema rada kontrolirane ventilacije s vraćanjem topline otpadnog zraka.....34

Slika 23. Rad toplinske crpke.....38

Slika 24. Prikaz uzimanja topline okolnih medija.....39

Slika 25. Shema sunčavog sustava za grijanje sanitarne vode.....42

Slika 26. Primjer standardne kuće (lijevo) i pasivne kuće (desno).....43

Slika 27. Primjeri presjeka troslojnog i dvoslojnog prozora.....46

Slika 28. Ventilacijski uređaj recoVAIR.....48

Slika 29. Grafički prikaz specifične potrošnje energije u kWh/m^2.....49

12. POPIS TABLICA

Tablica 1. Propusnost materijala u1 m^2 /1 h kod tlačne razlike od 50 Pa. 31

Tablica 2. Troškovi potrošnje energije na godišnjoj razini - pasivna kuća.....45

Tablica 2. Troškovi potrošnje energije na godišnjoj razini - pasivna kuća.....50

Tablica 3. Troškovi potrošnje energije na godišnjoj razini - standardna kuća.....51

UNIVERSITY NORTH

Sveučilište Sjever

SVEUČILIŠTE SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, _____Nikola Čoklec_____ *(ime i prezime)* pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor~~/ica~~ završnog/~~diplomskog~~ (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom _____Analiza ekonomske isplativosti izgradnje po principu ˇˇpasivne kućeˇˇ_____ *(upisati naslov)* te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student~~/ica:~~
(upisati ime i prezime)

Nikola Čoklec Čoklec
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnost i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, _____Nikola Čoklec_____ *(ime i prezime)* neopozivo izjavljujem da sam suglasan~~/na~~ s javnom objavom završnog/~~diplomskog~~ (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom _____Analiza ekonomske isplativosti izgradnje po principu ˇˇpasivne kućeˇˇ_____ *(upisati naslov)* čiji sam autor~~/ica.~~

Student/~~ica~~:
(upisati ime i prezime)

Nikola Čoklec Čoklec
(vlastoručni potpis)