Pasivna kuća

Fotak, Sebastijan

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:538583

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Repository / Repozitorij:

University North Digital Repository

Sveučilište
Sjever

Završni rad br. 439/GR/2021

Pasivna kuća

Sebastijan Fotak, 1602/336

Varaždin, rujan 2021. godine

Sveučilište Sjever

Odjel za Graditeljstvo

Završni rad br. 439/GR/2021

Pasivna kuća

Student

Sebastijan Fotak,1602/336

Mentor

doc. dr. sc. Željko Kos

Varaždin, rujan 2021. godine

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

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Sebastijan Fotak | MATIČNI BROJ 1602/336

DATUM 27.09.2021. | KOLEGIJ Zgradarstvo II

NASLOV RADA Pasivna kuća

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Passive house

MENTOR dr.sc. Željko Kos | ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. prof.dr.sc. Božo Soldo
2. doc.dr.sc. Željko Kos
3. doc.dr.sc. Aleksej Aniskin
4. doc.dr.sc. Bojan Đurin
5.

Zadatak završnog rada

BROJ 439/GR/2021

OPIS

Pristupnik u radu treba opisati ulogu i načela gradnje pasivne kuće,

U radu je potrebno obraditi sljedeće teme:

- Objasniti ulogu pasivne kuće, njezin standard te vrste toplinskih gubitaka i dobitaka
- Prezentirati način projektiranja te ukazati na koje stvari trebamo paziti kod samog projektiranja i izbora materijal za izgradnju
- Objasniti pojavu toplinskih mostova i njihove posljedice
- Prezentirati na koji način postižemo potrebnu zrakonepropusnost za standard pasivne kuće
- Objasniti na koji način radi ventilacija u kući
- Prezentirati sustave pomoću kojih crpimo energiju za zagrijavanje prostorija, zagrijavanje sanitarne vode te sustave za dobivanje električne energije

ZADATAK URUČEN 01.06.2021. | POTPIS MENTORA

REPUBLIKA HRVATSKA 5 SVEUČILIŠTE SJEVER PRIJAVNICA SVEUČILIŠTE SJEVER

Predgovor

Ovim putem želio bih zahvaliti mentoru doc. dr. sc. Željko Kosu na svim savjetima i ukazanoj pomoći oko izrade ovog rada i za znanje koje nam je ukazao kroz nekolicinu kolegija. Ujedno se zahvaljujem svim profesorima i asistentima Sveučilišta Sjever za svaki sat predavanja i za svo znanje koje su nam prenijeli tijekom studiranja. Na kraju veliko hvala mojoj obitelji, djevojci i prijateljima koji su me bodrili i davali mi podršku do samog kraja.

Sažetak

U zadnjih je 100 godina priroda potpuno zanemarena od strane čovjeka, stoga se u današnje vrijeme sve više pažnje posvećuje ekologiji i očuvanju okoliša. Radi ekonomske uštede čovjek je osmislio princip pasivne gradnje koji će biti opisan u ovome radu. Govorit će se o načelima projektiranja, toplinskim mostovima, zrakonepropusnosti, ventilaciji i grijanju. Ovim se radom ukazuje na složenost izgradnje pasivnog objekta, ali i ekonomičnost života u istom te minimalan štetan utjecaj na okoliš.

KLJUČNE RIJEČI: Pasivna kuća, načela projektiranja, orijentacija, prozori i vrata, toplinski mostovi, zrakonepropusnost, ventilacija, grijanje

Abstract

In the last 100 years, nature bas been completely neglected by humans, so nowadays much more attention is paid to ecology and environmental protection. For the sake of economic savings, people have developed the prinicple of passive construction, which will be discribed in this paper. This paper will be discussing design principles, thermal bridges, airtightness, ventilation, heating etc. This paper points put the complexity of passive construction, but also the economy of living in it and the minimal harmful impact on the environment.

KEY WORDS: passive construction, design principles, orientation, windows and doors, thermal bridges, airtightness, ventilation, heating

Popis korištenih kratica

Fo – faktor oblika zgrade

XPS - Stirodur

EPS - Stiropor

$\mathbf{U_g}$- prolaz topline stakla

$\mathbf{n_{50}}$- dio ukupnog volumena zgrade koji propušta plašt zgrade kod tlačne razlike od 50Pa u jednom satu

$\mathbf{q_{50}}$- propusnost materijala na zrak govori koliki volumen zraka propušta materijal kroz $1m^2$ u jednom satu kod tlačne razlike od 50 Pa

$\mathbf{U_f}$- Prolaz topline okvira

$\mathbf{U_w}$- Prolaz topline stakla i okvira

PSE – Pretvornik sunčeve energije

nZEB - nearly zero-energy building (zgrada s gotovo nultom energijom)

Sadržaj

1.Uvod 1
2.Pasivna kuća 2
2.1 Standard pasivne gradnje 4
2.2 Toplinska bilanaca 4
2.2.1 Vrste toplinskih gubitaka 5
2.2.2 Vrste toplinskih dobitaka 6
3. Projektiranje 7
3.1 Faktor oblika 7
3.2 Orijentacija 10
3.3 Spremanje sunčeve energije 11
3.4 Temperaturno zoniranje 12
3.5 Toplinska izolacija 13
3.5.1 Mineralna vuna 14
3.5.2 XPS I EPS 14
3.6 Tehnologija gradnje 15
3.6.1 Masivna konstrukcija 16
3.6.2 Lagana konstrukcija 19
3.7 Vrata i prozori 20
3.7.1 Staklo 20
3.7.2 Okvir 22
3.7.3 Rolete i žaluzine 23
3.7.4 Ulazna vrata 23
4.Toplinski mostovi 25
4.1 Vrste toplinskih mostova 25
4.2 Posljedice toplinskih mostova 26
5. Zrakonepropusnost 29
5.1 Projektiranje zrakonepropusnog plašta 29
5.2 Provjera zrakonepropusnosti plašta 30
5.3 Zrakonepropusnost i tehnologija gradnje 31

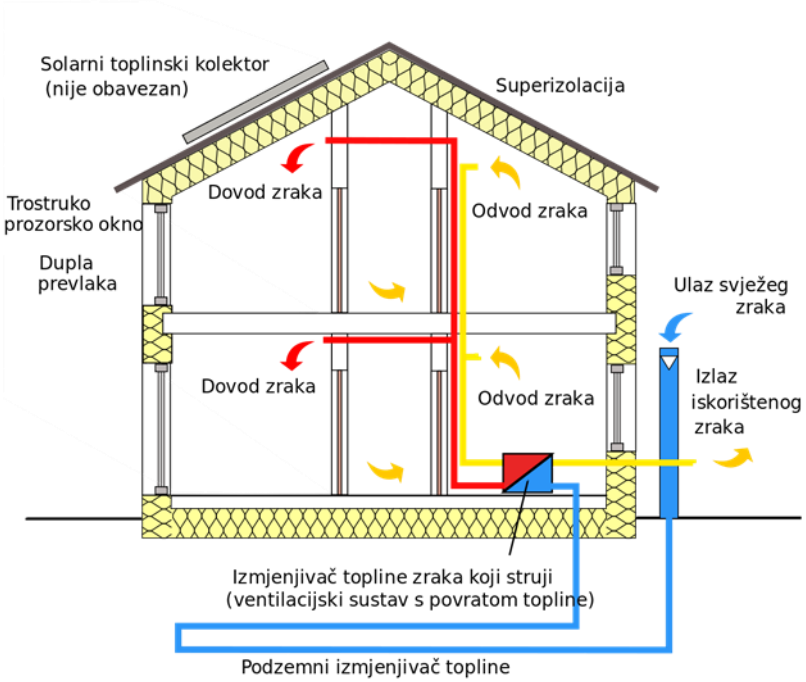
5.4 Zrakonepropusna ugradnja vrata i prozora 32
5.5 Proboj zbog instalacija 33
6. Ventilacija 33
6.1 Rad kontrolirane ventilacije 34
6.2 Zvučna zaštita 35
7. Grijanje 36
7.1 Toplinska crpka 36
7.2 Vrste toplinskih crpki 37
7.3 Pretvorba sunčeve energije 40
7.3.1 Pretvornici sunčeve energije 40
7.3.2 Fotonaponski sunčani pretvornici 42
8.Zaključak 43
9.Literatura 44
10. Popis slika 48
11. Popis tablica 52

1.Uvod

Cijene energenata i emisije stakleničkih plinova sve više rastu, a zaliha energenata je sve manje. Iz tih je razloga neophodno smanjiti potrošnju energenata. Ako uzmemo u obzir da zgrade i kuće troše oko 40% od ukupne potrošnje energije, a samim time i proizvode oko 36% emisija ugljičnog dioksida, energetski učinkoviti objekti postaju sve zanimljiviji. Zbog prevelike potrošnje energije i zagađenja ispušnim plinovima u kućama i zgradama, ali i velike uštede, niskoenergetska i pasivna gradnja je sadašnjost i budućnost suvremene arhitekture. Osim što pridonose očuvanju okoliša, radi posebnog oblika gradnje, pasivne kuće su zgrade u kojima se bez aktivnog sustava grijanja ili klimatizacije postiže ugodna temperatura prostora u ljetnim i zimskim danima te stanovanje postaje komfornije. Za postizanje minimalne potrošnje energije potrebno je postignuti izvrsnu zrakonepropusnost, a ujedno i osigurati dovod svježeg i odvod ustajalog zraka bez otvaranja prozora. To postižemo rekuperatorom. Isto tako, treba ugraditi kvalitetnu stolariju sa višeslojnim izolacijskim staklom, na vanjskoj strani zida postavit izolaciju dok zidanje vršimo sa termo blokovima. U odnosu na klasičnu gradnju, izgradnja pasivne kuće u startu zahtijeva veću investiciju, ali će se kroz nekoliko godina zahvaljujući uštedi na energentima isplatiti. U želji što manje potrošnje energije osim pasivne kuće grade se i niskoenergetske kuće te kuće nulte potrošnje energije (nZBE), ali za sad je pasivna kuća najbolji omjer uloženog i dobivenog zbog toga što koliko energije potroši toliko i proizvede.

2.Pasivna kuća

Jedan od pojmova u graditeljstvu u Hrvatskoj, u području energetske učinkovitosti koji privlači sve veću pozornost investitora i javnosti je pasivna kuća. Takav standard gradnje nije ograničen samo na objekte za stanovanje, već i za bolnice, škole, trgovine i slično. Unatoč tome što se uglavnom primjenjuje na novim zgradama, koncept pasivne kuće moguće je koristiti prilikom obnavljanja nekih starih stambenih objekata. Pasivna kuća odnosi se na specifičan standard gradnje stambenih zgrada koji pruža odličan komfor tijekom ljeta i zime bez korištenja tradicionalnih sustava grijanja i hlađenja [1]. Sve te odlike pasivnu kuću čine posebnom. Kod takvih objekata radi se o visokom stupnju zaštite vanjske ovojnice. Koeficijent prolaska topline za sve presjeke vanjskog omotača građevine ne smije biti veći od 0,15 W/m^2K, a prozora i vanjskih vrata maksimalno 0,88 W/m^2K [1]. Samim time objekti imaju vrlo dobru zrakonepropusnost i pažnja se posebno obraća na toplinske mostove da se njihovi utjecaji minimiziraju. Kvaliteta unutarnjeg zraka osigurava se sustavima mehaničke ventilacije. Princip gradnje pasivne kuće prikazan je na slici 2.1.



Slika 2.1 Koncept gradnje pasivne kuće [2]

Godišnja potrošnja energije pasivne kuće za grijanje iznosi manje od 15 kWh/m2 [3]. Za usporedbu niskoenergetska kuća ima potrošnju oko 30 kWh/m2, a klasična kuća (dobro izolirana) ima godišnju potrošnju energije oko 200 kWh/m2 [3]. Primjer potrošnje vidi se u tablici 1 i 2 Prije gradnje pasivne kuće treba obratiti pozornost na pravilno pozicioniranje kuće u odnosu na strane svijeta i osigurati najbolji pristup sunčevoj svjetlosti ključnim prostorijama. Dizajn pasivne kuće pravokutnog je oblika s jednostavnom krovnom konstrukcijom bez podruma i garaže [3]. Kod dizajna pasivne kuće važnu ulogu ima raspored prozora. Preporuka je da se na južnom pročelju ugrade veliki prozori kako bi sto vise svijetla i topline doprlo u kuću. Kod pasivne kuće svi građevni elementi su kao i kod običnih kuća, ali su ti elementi rađeni po drukčijem standardu.

Površina =100 m²	Godišnja potrošnja lož ulja	Cijena lož ulja po litri	Ukupna potrošnja na godišnjoj razni
Pasivna kuća	150 L	5,16 kn/L	774 kn
Niskoenergetska kuća	300 L	5,16 kn/L	1548 kn
Standardna kuća	2000 L	5,16 kn/L	10320 kn

Tablica 1. Prikaz godišnje potrošnje lož ulja za grijanje 100 m² tri energetsko različita objekta [4]

Površina 100m²	Potrošnja peleta kg/m²	Godišnja potrosnja peleta	Cijena peleta za kg	Potrošnja na godišnjj razini
Pasivna Kuća	3 kg/m²	300 kg	2 kn	600 kn
Niskoenergetska kuća	6 kg/m²	600 kg	2 kn	1200 kn
Standardna kuća	40 kg/m²	4000 kg	2 kn	8000 kn

Tablica 2. Prikaz godišnje potrošnje peleta za grijanje 100 m² tri energetsko različita objekta [4]

2.1 Standard pasivne gradnje

Kada se uspoređuju uobičajene zgrade izrađene po važećem pravilniku o toplinskoj zaštiti i učinkovitoj uporabi energije s pasivnom kućom, primjećuje se da kod pasivnih kuća nema dodatnih građevinsko-fizikalnih zahtjeva. Izvedba pasivne kuće postavlja visoke zahtjeve za upotrijebljene komponente:

- izvedba bez toplinskih mostova ($\psi \leq 0{,}01 \mathrm{W/(m^2K)}$)
- toplinska zaštita : Prolaz topline svih građevnih elemenata je ispod 0,15 W/(m²K) kod slobodno stojećih obiteljski kuća preporuča se čak ispod 0.10 W/(m²K)
- izvanredna zrakonepropusnost $n_{50} < 0{,}6\ h^{-1}$
- prozorski okviri s U_f ispod 0,8W/(m²K)
- ostakljenje s U_w ispod 0,8W/(m²K)
-učinkovito iskorištavanje energije (uređaji energetskog razreda A+)
- najniži toplinski gubitci kod pripreme i distribucije sanitarne vode

Za postizanje standarda pasivne kuće nedovoljno je samo sastavljanje pojedinih komponenata, već je potreban cjelokupan projekt u kojem će pojedine komponente biti smisleno povezane.

2.2 Toplinska bilanaca

Kad govorimo o smanjenju toplinskih gubitaka i povećanju toplinskih dobitaka u pasivnoj kući, govorimo o optimalnom dopunjavanju obje mjere pri čemu je naglasak na optimiziranju sunčevih dobitaka. Velike staklene stijene koliko su dobre radi velikih sunčevih dobitaka toliko su i loše kad se velike količine energije gube kroz njih. Odnos dobitaka i gubitaka ovisi o kvaliteti prozora. Ako ne smanjim toplinske gubitke onda ni preveliki toplinski dobitci nemaju učinka. Samo s kvalitetnim toplinskim plaštom toplinski gubitci imaju pravi učinak.

2.2.1 Vrste toplinskih gubitaka

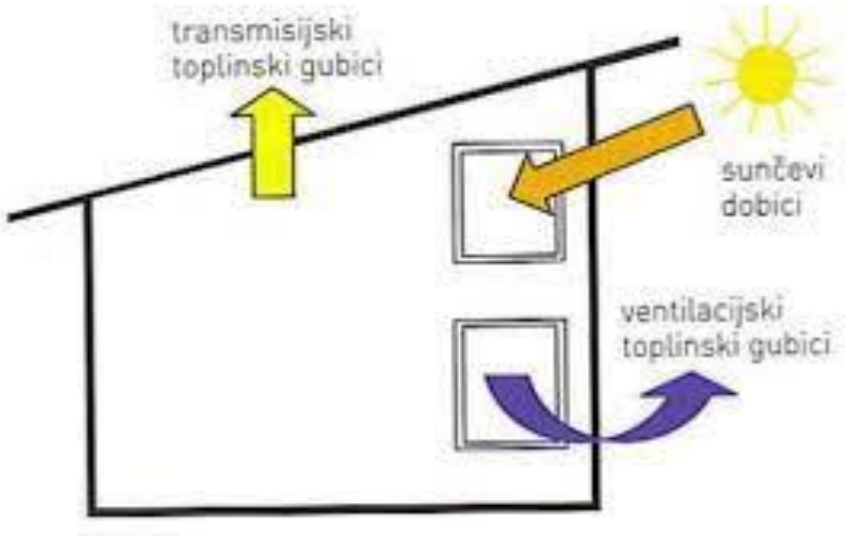
Gubitci u kući odvijaju se na dva načina što možemo vidjeti na slici 2.2.1.1

Transmisijski toplinski gubitci

Takvi gubici se javljaju kod građevnih elemenata radi prolaza topline kroz njih, zbog njihove toplinske provodljivosti .Transmisijske gubitke označava koeficijent prolaska topline U koji se izražava u W/(m²K) i linijski koeficijent prolaska topline ψ (toplinski mostovi) u W/(mK) [5].

Toplinski gubitci od prozračivanja

Toplinski gubitci od prozračivanja su gubiti koje radimo kod izmjene zrak zgrade i okoliša. Nastaju namjenski prozračivanju kroz otvore ili neželjeno kroz pukotine i reške u zidu. Pa se zato kako bi postigli zrakonepropusnost pasivne kuće što je jedan od glavnih zahtjeva da bi pasivna kuća uopće bila pasivna, u kuću ugrađuje uređaj za prozračivanje s učinkovitom rekuperacijom.



Slika.2.2.1.1 Prikaz strujanja topline kroz građevinu [5]

2.2.2 Vrste toplinskih dobitaka

Dobici od sunčevog zračenja

Dobitci sunčevog zračenja su dobitci koji se u zgradu dovode kroz prozirne elemente . Količina sunčevih dobitaka ovisi o orijentaciji zgrade te o površini prozirnih površina. Najviše se dobitaka dobiva južnom orijentacijom pa se zato preporuča čim vise prozora postaviti upravo na tu stranu kuće. Toplinske dobitci od sunčevog zračenje prikazani su na slici 2.2.1.1.

Toplinski dobitci od unutarnjih izvora

Kod unutarnjih izvora dobici topline javljaju se kao posljedica oslobađanja topline pri radu električnih strojeva i uređaja u kući što možemo vidjeti na slici 2.2.2.2. Ujedno toplina isijava iz ljudskog tijela, u prosjeku svaka osoba daje 100 W ovisno o aktivnostima. Vidljivo na slici 2.2.2.1.

Brojna mjerenja i istraživanja pokazala su da grijanje u pasivnoj kuci nije potrebno pri ekstremno niskim temperaturama, jer je kod niskih temperatura nebo pretežito vedro pa sunčeve zrake u kombinaciji sa unutarnjim izvorima daju dovoljno topline za ugodnost u kući. Istraživanja su pokazala da se potreba za grijanjem javlja kod temperatura od 0 do 5° C.



Slika 2.2.2.1 Prikaz dobivanja topline od tjelesne aktivnosti [6]



Slika 2.2.2.2 Dobivanje topline kroz električne uređaje [7]

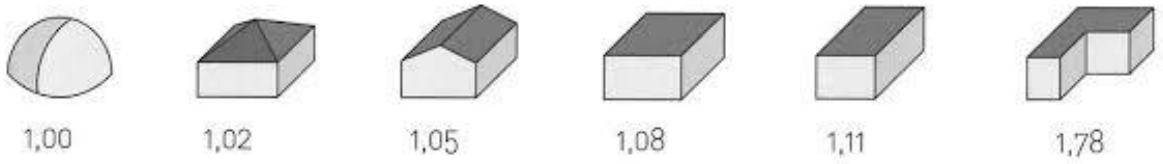
3. Projektiranje

3.1 Faktor oblika

Prilikom projektiranja energetski učinkovitih objekata, primjenom odgovarajućih mjera arhitektonskog projektiranja moguće je postići povoljan toplinski ugođaj i ekonomičnu potrošnju energije [8]. U tom pogledu, izdvaja se jedan od ključnih faktora o kojem se u sadašnjoj arhitekturi posvećuje manje pažnje nego što je potrebno, a to je faktor oblika zgrade (fo) [8]. Po definiciji faktorom oblika zgrade (fo) izražava se odnos između površine vanjskog oplošja grijanog dijela zgrade i volumena grijanog dijela zgrade [8].

$$fo = \frac{A}{V} \tag{1}$$

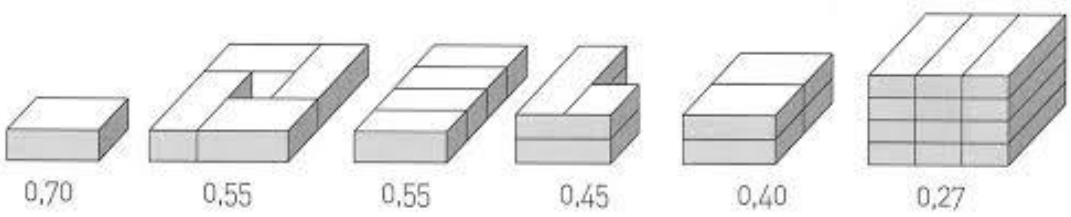
Kod projektiranja pasivne kuće preferira se kompaktan i jednostavan oblik sa što manje balkona i verandi [8]. Na taj se način poboljšavaju toplinska svojstva pasivne kuće. Faktor oblika zgrade najbolje se vidi kroz transmisijske gubitke (toplinski gubici koji se ostvaruju razmjenom topline preko površine objekta) koji se nastoje izbjeći [8]. Veličina transmisijskih gubitaka kroz površinu grijanog volumena zgrade ovisi o veličini površine vanjske ovojnice objekta [8]. Što je veća površina ovojnice, veći su i gubici. Uz isti volumen zgrade, njena veća površina daje veći faktor oblika [8]. Što je oblik zgrade jednostavniji, što je manje razvedenih pročelja, balkona i slično, to je faktor oblika manji i suprotno što možemo uočiti na slici 3.1.1, toplinska su svojstva zgrade povoljnija.



Slika 3.1.1 Faktor oblika s jednakim volumenom a različitim oblicima [5]

Zahtjev kompaktnog i jednostavnog oblika zgrade kod pasivne kuće, pomalo ograničava projektante u kreaciji oblikovnog aspekta zgrade, ali se istovremeno može promatrati kao izazov [8]. Umjesto „dosadnih“, jednoličnih „kockastih“ kuća, projektant može pronaći i ponuditi vrlo atraktivno, moderno i kvalitetno arhitektonsko oblikovanje. U usporedbi s obiteljskom samostojećom kućom puno je bolja povezana gradnja u obliku kuća u nizu, a još je bolja višestambena zgrada [8]. Kod njih je površina vanjskih zidova s obzirom na volumen

puno manja pa je kod takvog načina gradnje moguće postići faktor oblika 0.3-0.7 [8]. Vidljivo na slici 3.1.2



Slika 3.1.2 Faktor oblika geometrijskih tijela sastavljeni iz više jednakih elemenata [9]

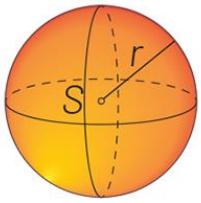
Geometrija zgrade u vidu kugle ima najmanju kontaktnu površinu u odnosu na svoj volumen, a time i najmanji faktor oblika [8]. Kod složenih formi zgrada, bilo da je riječ o horizontalnoj ili vertikalnoj podjeli, slučaj je obrnut [8]. Kako bi se pojava faktora oblika slikovitije obrazložila, u nastavku je pokazan primjer u kojem je kao polazna osnova uzet isti volumen geometrijski tijela izražen u različite forme. S transformacijom geometrije, faktor oblika raste usprkos činjenici nepromijenjenog volumena [8].

Dokaz 1. Kugla

V = 4096 m³ $V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi(9{,}925)^3 = 4096\text{m}$ (2)

A = 1238 m ² $A = 4\pi r^2 = 4\pi(9{,}925)^2 = 1238m^2$ (3)

fo = $\frac{A}{V} = \frac{1238}{4096} = 0{,}30\ m^{-1}$ (1)



Slika 3.1.3 kugla [10]

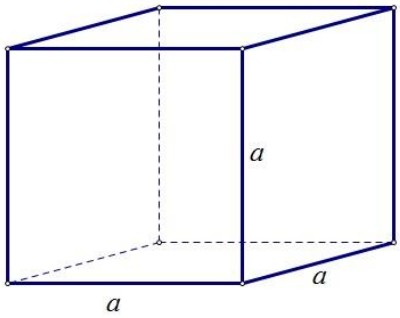
Dokaz 2. Kocka

a = 16

V = a³ = 16³ = 4096 m³ (4)

A = 6 * a² = 6 * 16² = 1536 m² (5)

fo = $\frac{A}{V} = \frac{1536}{4096} = 0{,}375\ m^{-1}$ (1)



Slika 3.1.4 Kocka [11]

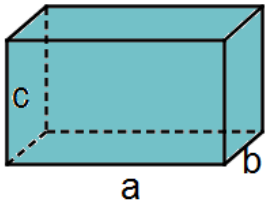
Dokaz 3. Kvadar

a = 32 , b = 16 , c = 8

V = a * b * c = 32 * 16 * 8 = 4096 m³ (6)

A = 2(ab + ac + bc) = 2(32 * 16 + 32 * 8 + 16 * 8) = 1792 m² (7)

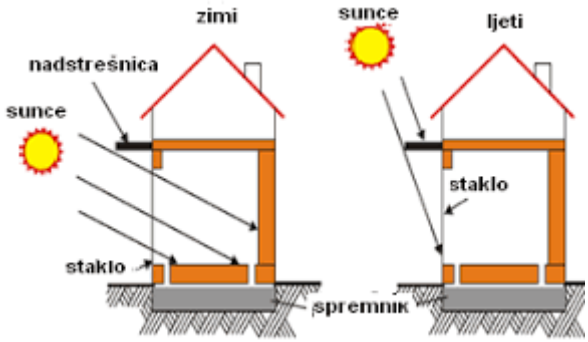
fo = $\frac{A}{V} = \frac{1792}{4096} = 0{,}43\ m^{-1}$ (1)



Slika 3.1.5 Kvadar [12]

3.2 Orijentacija

Orijentacija objekta jedan je od značajnijih problema kojim se treba baviti već u samom početku projektiranja [13]. Glavna ideja pasivne gradnje je korištenje sunčeve energije za grijanje kuće u zimskom razdoblju i sprječavanje upada sunčevog zračenja u ljetnom razdoblju kako bi se smanjila potreba za hlađenjem i to sve uz dobro izolirane zidove [13]. Ako maksimalno želimo iskoristiti potencijal sunca moramo mu omogućiti da prodre u unutrašnjost građevine u maksimalnoj količini [14]. To postižemo tako da se većina prozora i staklenih površina postavi na južnoj strani što možemo vidjeti na slici 3.2.2. Velike staklene površine mogu u toplijem dijelu godine prouzrokovati pregrijavanje prostora [14]. Da bi to spriječili iskoristit ćemo činjenicu da je putanja zimskog Sunca vrlo niska, a putanja ljetnog Sunca visoka. Dužina strehe mora biti točno proračunata tako da u periodu kada korisnicima više nije potrebno zagrijavanje streha, blokira prodiranje Sunca kroz prozore[14]. Vidljivo na slici 3.2.1. Kod izbora zemljišta kuću je potrebno graditi na južno orijentiranom zemljištu jer hladnijim vremenskim dijelovima godine južna strana omogućuje maksimalnu iskoristivost sunčeve energije i time do 40% doprinosi grijanju zgrade [5]. Otklon zgrade za 10° od južne orijentacije smanjuje zaprimanje topline potrebne za grijanje za 0,1 kWh/m² . Zbog toga se preporučuje otklon juga za najviše ± 20 [5]. Zbog tog je razloga prednost imati više staklenih površina na južnoj strani pročelja. Staklene površine ne smiju biti prevelike jer se tijekom noći i oblačnih dana toplina akumulirana unutar kuće gubi upravo kroz prozore [14]. S istočne, zapadne i sjeverne strane mogu se postaviti manji prozori koji služe isključivo da osiguraju dnevnu svjetlost [14].



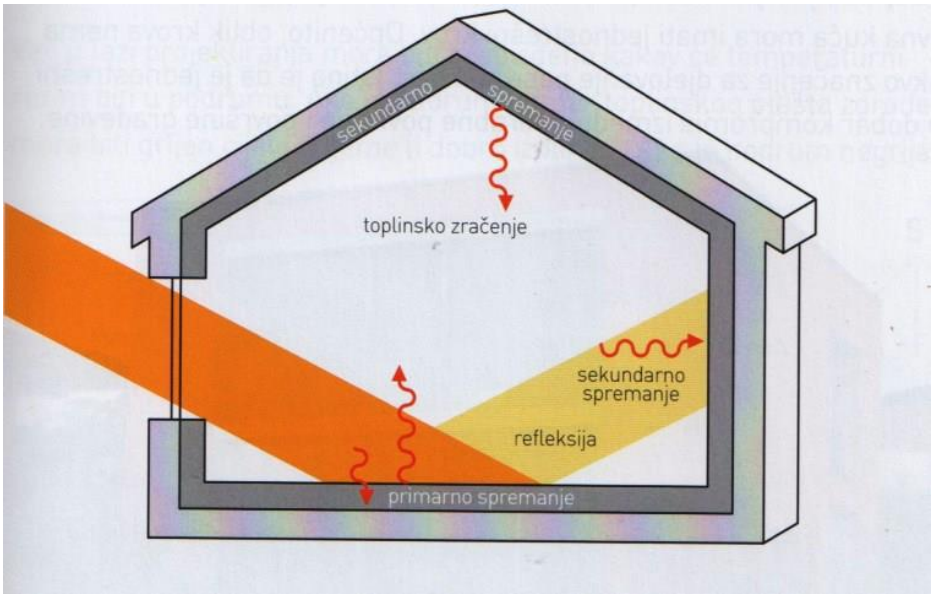
Slika 3.2.1 prikaz zimskog i ljetnog sunca [15]



Slika 3.2.2 Prikaz pasivne kuće sa južnom orijentacijom [16]

3.3 Spremanje sunčeve energije

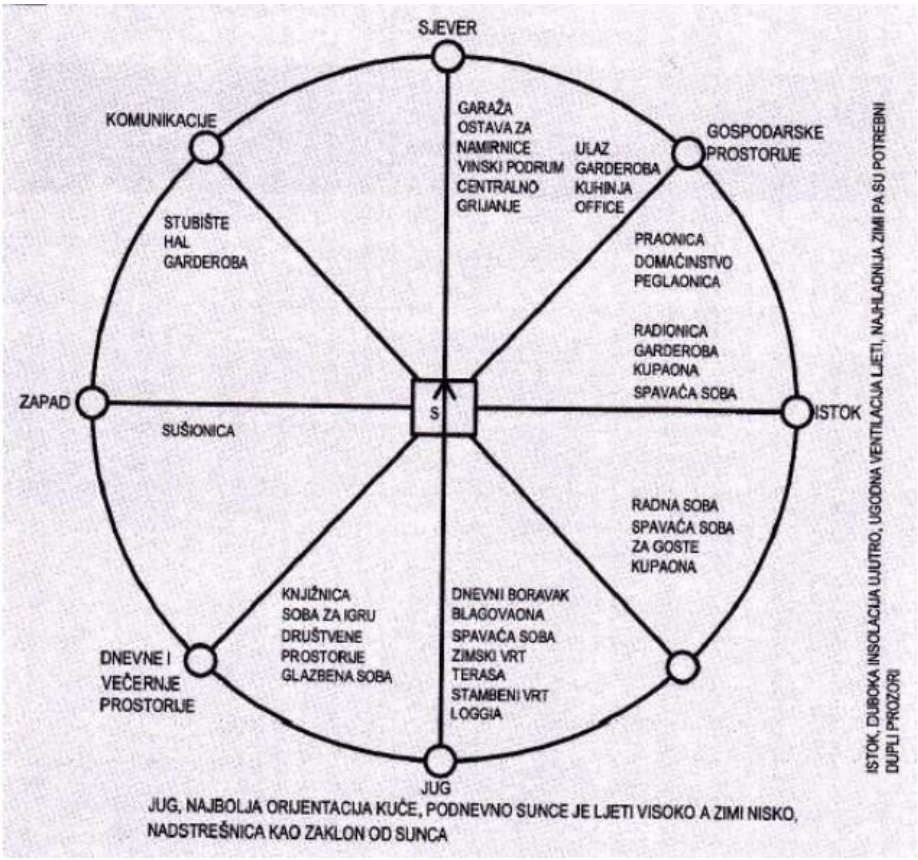
Zbog mogućnosti spremanja topline u zgradi, smanjuje se potreba za grijanjem jer se sunčeva energija može iskoristiti kada sunčeva zračenja više nema. Samim time se sunčeva energija bolje iskoristi. Jedan dio sunčevog zračenja koje prodire kroz staklo se apsorbira u materijalu pri čemu ga grije, dok se drugi dio odbija od masivnog građevnog elementa. Vidi na slici 3.1.1 Što je viša specifična toplina i prolazak topline materijala , te je površina materijal što tamnija to je veća količina spremljene energije [5]. Po prestanku sunčevog zračenja kad je temperatura materijala veća od temperature zraka postupak se okrene. Na taj način se uravnotežuju temperaturni odnosi u prostoru. Najveću važnost u spremanju topline imaju podovi jer kod južne orijentacije prostor veliki dio poda obasjan je neposredno tj. nema velikog odbijanja. važno je i znati da tople obloge trajno smanjuju spremljen topline pa nije preporučljivo stavljati tepihe na pod a treba voditi i računa o razmještaju namještaja kako bi sunce grijalo sto veću površinu poda . Konstrukcija kuće u kojoj se akumulira toplina mora biti izolirana izvana, jer inače brzo gubi toplinu . Toplinu gubi i kada je direktno povezana sa zemljom ili je u kontaktu sa zrakom koji je na nižoj temperaturi. Uporabom teških građevinskih materijala, odnosno dobrom toplinskom izolacijom, postiže se manja razlika u temperaturi prostorija za vrijeme noći i dana te bolja akumulacija toplinske energije za vrijeme perioda bez Sunca. Termički dobri lagani materijali (lagani beton, porozna opeka, izolatori) više će se zagrijati od teških (armirani beton, kamen) jer imaju niži toplinski kapacitet akumulacije topline. To znači da će lagani materijali lakše i brže izgubiti akumuliranu toplinu nego teški materijali



Slika 3.3.1.Prikaz ulaska topline te apsorbiranje iste [5]

3.4 Temperaturno zoniranje

Na obje strane vanjskih zidova temperature nisu jednake. Kroz njih prolazi toplina i to dovodi do transmisijskih toplinskih gubitaka. Slično se događa i kod unutarnjih zidova koji odvajaju prostore različitih temperatura. Što je veća temperaturna razlika to su veći i toplinski gubici. Da bi se smanjili transmisijski toplinski gubici, potrebno je na sjevernoj strani zgrade predvidjeti prostore u kojima će temperatura biti niža jer je i temperatura na vanjskoj strani zida niža. To su prostori kao što je hodnik, garderoba, smočnica itd. S druge strane, dnevne je prostore koji zahtijevaju više temperature, potrebno smjestiti na južnoj strani zgrade zbog dogrijavanja sunčevom energijom. Najbolji raspored prostorija s obzirom na strane svijeta vidimo na slici 3.4.1.



Slika 3.4.1 Smještaj prostorija u odnosu na strane svijeta [17]

U slučaju da imamo podrum i da se nalazi unutar toplinskog plašta, on mora biti dobro izoliran i grijan čitavo vrijeme. Ako podrum nije grijan, mora biti odvojen od toplinskog plašta i u tom slučaju prizemlje iznad podruma mora biti u cijelosti odgovarajuće izolirano pa čak i ispod nosivih zidova [5]. Pravilnim razmještajem postižemo ugodniji i kvalitetniji boravak unutar samog objekta.

3.5 Toplinska izolacija

Toplinski plašt su svi građevni elementi koji su na granici između dva temperaturna područja, a to su vanjski zidovi, krovovi, prozori, podovi, unutarnji zidovi prema negrijanom prostoru i vanjska vrata. Unutar plašta moraju biti prostori koji se stalno griju. Radi boljeg faktora oblika toplinski plašt mora biti što kompaktniji [5].

U pasivnoj kući svi elementi toplinskog plašta moraju biti dobro izolirani s naglaskom da toplinskoizolacijski sloj bude neprekinut duž cijelog plašta [5]. Debljina toplinske izolacije ovisi o karakteristikama materijala kojim je građeno, a najčešće se ta debljina kreće od 25 do 40 cm dok svi građevni elementi moraju imati prolaz topline $U \leq 0{,}15$ W/(m²K). Toplinskoizolacijske materijale dijelimo na nekoliko skupina: umjetni anorganski i organski te prirodni. Najčešće se rabe ekspandirani i ekstrudirani polistiren, pjenjeni poliuretan prikazan na slici 3.5.2 koji spadaju pod umjetne organske materijale te mineralna vuna koja spada pod umjetne anorganske tvari. Na slici 3.5.1 prikazana kombinirana izolacija mineralnom vunom i xps-om. Dok pod prirodne spadaju celulozna vlakna, ovčja vuna, pluto, konoplja i slično. Na slici 3.5.2 vidimo izoliranje ovčjom vunom. Izbor toplinske izolacije ovisi o nosivoj konstrukciji. Kod masivnog zida lijepimo izolacijske ploče te ih sidrimo dok kod drvene konstrukcije izolaciju postavljamo između nosivih elementa.



Slika 3.5.1 Izoliranje mineralnom vunom i xps-om [18]



Slika 3.5.3 Izoliranje ovčjom vunom [20]



Slika 3.5.2 Izoliranje poliuretanskom pijenom [19]

3.5.1 Mineralna vuna

Mineralna vuna jedan je od najčešćih korištenih izolacijskih materijala s koeficijentom toplinske provodljivosti λ =0,035-0,045 W/mK što ju ujedno čini i jednim od najboljih izolatora. Osim što je dobar toplinski izolator, dobar je izolator zvuka, a ujedno radi svojeg svojstva nezapaljivosti stvara protupožarni štit oko objekta. Još jedno od svojstva mineralne vune je dobra paropropusnost i zahvaljujući tom svojstvu zidovi kuće dišu te ne dolazi do pojava gljivica i pjesni u uglovima [21]. Razlikujemo mineralnu, kamenu i staklenu vunu. Slika 3.5.1.2 prikazuje kamenu vunu dok na slici 3.5.1.1 vidimo staklenu vunu. One se međusobno razlikuju u sirovini od koje se proizvode, osobinama materijala i tehnološkom postupku proizvodnje, te u tome što kamena vuna ima višu točku tališta (iznad 1000°C) što ju čini boljim materijalom od kamen vune.



Slika 3.5.1.2 Kamena vuna [23]



Slika 3.5.1.1 Staklena vuna [22]

3.5.2 XPS I EPS

Ekspandirani polisteren (EPS) ili stiropor prikazan na slici 3.5.2.2 zbog dobrih izolacijskih svojstava sa koeficijentom toplinskom provodljivosti λ 0,035 – 0,040 W(mK) te zbog svoje jeftine cijene i lagane ugradnje danas je jedan od najčešće korištenih izolacijskih materijala. Protupožarna svojstva su mu znato oslabljena u odnosu na kamenu vunu te ne podnosi temperature veće od 80°C

Ekstrundirani polisteren (XPS) ili stirodur prikazan na slici 3.5.2.1 sličnih je toplinskih svojstva kao i EPS. Za razliku od EPS-a stirodur je pjenaste strukture i puno bolje podnosi vanjski pritisak tj. čvršći je, otporniji je na vlagu, ali i znatno skuplji u odnosu na EPS. Radi svoje čvršće strukture i otpornosti na vlagu koristi se kod mjesta koji su izloženi mehaničkim udarima, te vlažnijim mjestima (sokl, podrumski zidovi, podovi, međukatne konstrukcije, ravni krovovi i sl.).



Slika 3.5.2.1 Stirodur (XPS) [24]



Slika 3.5.2.2 Stiropor (EPS) [25]

3.6 Tehnologija gradnje

Pri izgradnji pasivne kuće, ovisno o izboru investitora i dogovoru sa projektantom, koristimo masivne ili lagane konstrukcije. Korištenjem masivnih ili laganih konstrukcija i različitih materijala, mogu se postići jednaki rezultati.

Kod izbora materijala i tehnologije gradnje, uglavnom se poštuju slijedeća polazišta:

- toplinski plašt mora odgovarati standardu pasivne gradnje
- konstrukcija mora biti zrakonepropusna, difuzijski otvorena i vjetronepropusna
- provjerena izabrana tehnologija gradnje
- gradnja neka uključuje ekološke i prirodne materijale
- prefabrikacija osigurava kvalitetu i skraćuje vrijeme gradnje.

3.6.1 Masivna konstrukcija

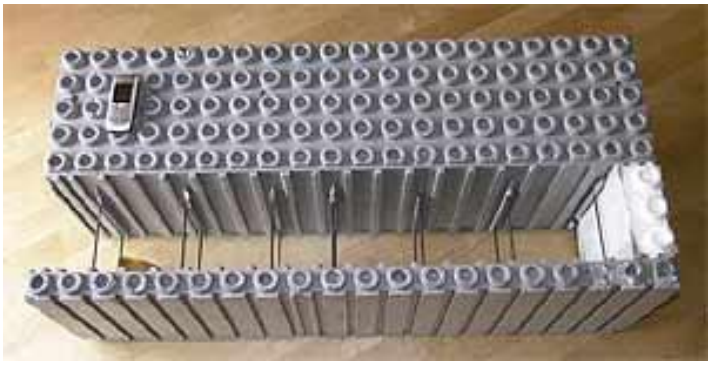
Najraširenij oblik gradnje kod kuća je gradnja opekom. Kod nosivih zidova pasivne konstrukcije gradnje se odvija sa opekom punjenom perolitom koju vidimo na slici 3.6.1.2 ili porobetonom (siporexom) koji je prikazan na slici 3.6.1.1 zbog njegovih dobrih toplinskih svojstava. Iako taj materijal ima bolja toplinska svojstva od obične opeke, za postizanje standarda pasivne kuće s vanjske strane, treba obavezno biti postavljeni debeli sloj toplinske izolacije. Moguća je gradnja i sa običnom opekom i betonskim elementima ali je takvim načinom gradnje potrebnija puno deblja izolacija za postizanje standarda pri čemu prolaz topline kroz zid U ne smije biti veći od 0.15 W/(m²K). Što dokazujemo u 1. i 2. zadatku. Još jedan od zanimljivijih načina gradnje je gradnja oplatnim elementima od polistirena koji je prikazana na slici 3.6.1.3. Elementi su rađeni tako da se na vanjskoj strani nalazi deblji sloj polisterna dok na unutarnjoj tanji. Takvi elementi se sastavljaju na gradilištu, a u šupljine se postavlja potrebna armatura i zalijeva se betonom. Takva je gradnja puno jednostavnija jer poslije se ne mora skidati oplata kao kod klasičnog betoniranja te su izbjegnuti toplinski mostovi.



Slika 3.6.1.1 Prikaz gradnje porobetonom [26]



Slika 3.6.1.2 Opeka punjena perolitom [27]



Slika 3.6.1.3 Oplatni polistiren [28]

Zadatak 1. U 1. zadatku proračunavamo prolaz topline kroz zid koji je zidan elementima od porobetna i izoliran sa 15 cm kamene vune.

	λ[W/mK]	d[cm]
1. vapneno-cementna žbuka	1,00	2,0
2. porobeton (siporex)	0,11	30,0
3. polimer cementno ljepilo	0,900	0,50
4. kamena vuna	0,034	15,0
5. polimer cementno ljepilo	0,900	0,50
6. silikatna žbuka	0,900	0,20

R_{si} = 0,130 m² K/W (unutarnji plošni otpor)

R_{se} =0,040 m² K/W (vanjski plošni otpor)

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0{,}02\ \text{m}}{1{,}00\ \text{W/mK}} = 0{,}02\ \text{m}^2\ \text{K/W} \quad (8)$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0{,}30\ \text{m}}{0{,}11\ \text{W/mK}} = 2{,}72\ \text{m}^2\ \text{K/W}$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0{,}005\ \text{m}}{0{,}900\ \text{W/mK}} = 0{,}006\ \text{m}^2\ \text{K/W}$$

$$R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0{,}15\ \text{m}}{0{,}034\ \text{W/mK}} = 4{,}41\ \text{m}^2\ \text{K/W}$$

$$R_5 = \frac{d_5}{\lambda_5} = \frac{0{,}005\ \text{m}}{0{,}900\ \text{W/mK}} = 0{,}006\ \text{m}^2\ \text{K/W}$$

$$R_6 = \frac{d_6}{\lambda_6} = \frac{0{,}002\ \text{m}}{0{,}900\ \text{W/mK}} = 0{,}002\ \text{m}^2\ \text{K/W}$$

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_{se} \quad (9)$$

$$R_T = 7{,}334\ \text{m}^2\ \text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{7{,}334\ \text{m}^2\ \text{K/W}} = \mathbf{0{,}13\ W/m^2K\ (\ ZADOVOLJAVA\ )\ 0{,}13W/m^2K\ <\ 0{,}15\ W/m^2K} \quad (10)$$

Zadatak 2. U 2. zadatku proračunavamo prolaz topline kroz zid koji je zidan šupljom blok opekom i izoliran sa 15 cm kamene vune.

	λ[W/mK]	d[cm]
1. vapneno-cementna žbuka	1,00	2,0
2. šuplja blok opeka	0,390	30,0
3. polimer cementno ljepilo	0,900	0,50
4. kamena vuna	0,034	15,0
5. polimer cementno ljepilo	0,900	0,50
6. silikatna žbuka	0,900	0,20

R_{si} = 0,130 m² K/W

R_{se} =0,040 m² K/W

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0{,}02\ \text{m}}{1{,}00\ \text{W/mK}} = 0{,}02\ \text{m}^2\ \text{K/W} \quad (8)$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0{,}30\ \text{m}}{0{,}390\ \text{W/mK}} = 0.769\ \text{m}^2\ \text{K/W}$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0{,}005\ \text{m}}{0{,}900\ \text{W/mK}} = 0{,}006\ \text{m}^2\ \text{K/W}$$

$$R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0{,}15\ \text{m}}{0{,}034\ \text{W/mK}} = 4{,}41\ \text{m}^2\ \text{K/W}$$

$$R_5 = \frac{d_5}{\lambda_5} = \frac{0{,}005\ \text{m}}{0{,}900\ \text{W/mK}} = 0{,}006\ \text{m}^2\ \text{K/W}$$

$$R_6 = \frac{d_6}{\lambda_6} = \frac{0{,}002\ \text{m}}{0{,}900\ \text{W/mK}} = 0{,}002\ \text{m}^2\ \text{K/W}$$

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_{se} \quad (9)$$

R_T = 5,383 m² K/W

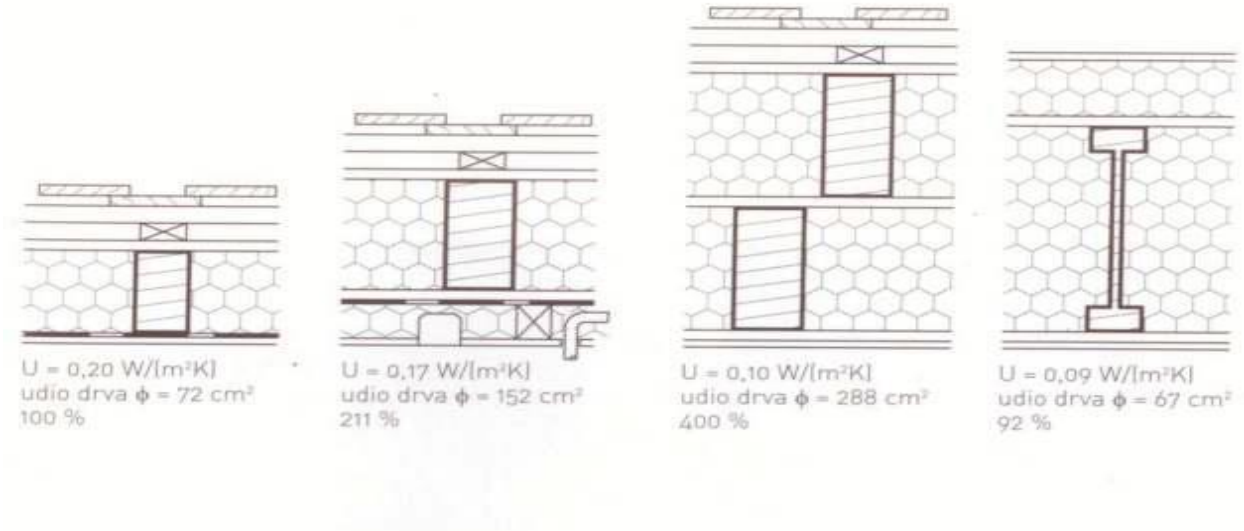
$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{5{,}383\text{m}^2\ \text{K/W}} = 0{,}18\ \text{W/m}^2\text{K}\ (\textbf{NE ZADOVOLJAVA}) \quad (10)$$

0,18 W/m²K ≥ 0,15 W/m²K

Zaključak : U 1. i 2. zadatku se proračunava koeficijent prolaska topline masivnog zida debelog 30 cm sa istom debljinom toplinske izolacije, jedan zid je građen od elemenata od porobetona dok je drugi građen šupljom blok opekom. Iz dobivenih rezultata možemo zaključiti da je kod pasivne gradnje puno lakše postići željeni koeficijent prolaska topline gradimo li termo blokovima.

3.6.2 Lagana konstrukcija

Kod montažnih konstrukcija za izradu zidova najčešće se rabi drvo kod svih oblika prefabriciranih elemenata. Kod izrada takve konstrukcije postoji više načina izgradnje, a najčešći sustavi koje rabimo su sustav rebra i prečki, drveni okvir, konstrukcija od masivnog i čavlanog drva, sustav baloon frame, šuplji elementi od troslojnih ploča, nosivi elementi od drvenog kostura itd. [5]. Neki od sustava vide se na slici 3.6.2.1. Lagane konstrukcije se u cijelosti mogu izvesti u radioni i samo se sastavljati na gradilištu. To je prednost jer se u radioni ne ovisi o vremenskim uvjetima ili se pak izvode direktno na gradilištu. Kako drvo ima veću toplinsku provodljivost od toplinske izolacije između nosive konstrukcije, predstavlja u zidu toplinski most koji značajno oslabljuje njegovu toplinsku izolaciju [5]. Da bi smanjili toplinske mostove na unutarnjoj strani dodaje se dodatni sloj toplinske izolacije koja ujedno služi kao instalacijska ravnina u kojoj se razvode instalacije. Za standard pasivne kuće nabolji su I-nosači. Napravljeni su tako da je gornja i donja letva od masivnog drva, a međuprostor je zapunjen OSB pločom. Kada se uspoređuju s pravokutnim masivnim profilima imaju do 20% bolju toplinsku izolaciju pri visokoj statičkoj nosivosti. Usporedno s masivnom konstrukcijom, lake konstrukcije imaju puno manju vlastitu težinu te manju sposobnost dugotrajnog zadržavanja topline. Zato se prostori noću puno brže hlade u odnosu na masivnu konstrukciju. Isto tako, neki spojevi s vremenom mogu izgubiti zrakonepropusnost, a vjetronepropusnost je dugoročno lakše osigurati kod masivne konstrukcije**.**



Slika 3.6.2.1 Prikaz lagane gradnje pri čemu gledajući s lijeva na desno zadnja dva primjera koriste se kod pasivne gradnje [5]

3.7 Vrata i prozori

Unazad nekoliko desetljeća ostakljenju se nije pridodavala prevelika pažnja pa su se tako ugrađivala jednostruka stakla s $U_g = 3{,}0\ W/(\mathrm{m}^2\mathrm{K})$. U današnje vrijeme rabe se stakla s $U_g = 1.2 - 1.4\ W/(m^2K)$. Kod razvoja pasivne kuće ustanovljeno je da ostakljenje sa dvoslojnim staklom ne može osigurati stroge toplinske zahtjeve pa su za pasivnu kuću razvijeni posebni prozori s troslojnim toplinsko izolacijskim ostakljenjem s $U_g = 0.6 - 0.7$ [5]. Primjer prolaska topline kroz različite vrste ostakljenja vidimo na slici 3.7.1.1.

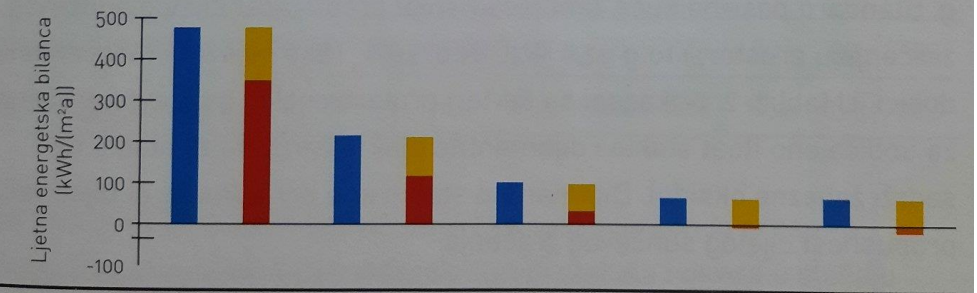
Dvije su prednosti takvog ostakljenja.

1. Prozori zimi propuštaju više sunčeve energije u prostor nego topline iz prostora
2. Površinske temperature na unutarnjoj strani su i zimi visoke tako da pri prozoru ne nastaju niti osjetna smanjivanja zračne topline niti neugodan slap ulaznog hladnog zraka. Za pasivnu kuću vrlo je važno kvalitetno ostakljenje jer je s njim moguće izgradit kuću bez grijaćih tijela bez da je narušena temperaturna ugodnost [5].

3.7.1 Staklo

Ostakljenje pasivne kuće sastoji se od tri stakla. Međuprostor se radi boljih toplinskih svojstva puni plemenitim plinom kao što su argon i kripton. Da bi spriječili dugovalno toplinsko zračenje na staklo je nanesen nevidljivi sloj srebrnih oksida (niskoemisijski nanos) [5]. S takvim ostakljenjem postižu se minimalni prolazi topline do $U_g = 0{,}4\ W/(\mathrm{m}^2\mathrm{K})$. Kod takvih prozora posebnu pozornost zaslužuje rub prozora pri kojem se distancerom povezuju dvije staklene ploče i tu dolazi do toplinskih gubitaka tj. javlja se toplinski most. Da bi se to spriječilo razvijeni su posebni distanceri od umjetnih tvari kod kojih je λ = 2 W/(m K) usporedbe radi kod standardne izrade ugrađuju se aluminijski distanceri sa λ = 230 W/(m K).

Ostakljenje	1 - staklo	2 - staklo	2 - topl. izol. stakla s argonom	3 - topl. izol. stakla s kriptonom	3 - topl. izol. staklo
Vrsta zgrade	do 1980	1984 do 2002	od 2002 nadalje	PH	PH
U (W/(m²K))	5,60	2,80	1,40	0,70	0,70
T na površini stakla (°C)*	- 1,8	9,1	14,5	17,3	17,3
g	0,85	0,76	0,55	0,50	0,60



* T - temperatura
T vanjska: -10 °C
T prostora: +20 °C

gubici

pasivni sunčevi dobici

neto gubici

neto dobici

PH - pasivna kuća

Slika 3.7.1.1 Prikaz prolaza topline kroz različite vrste ostakljenja [5]

3.7.2 Okvir

Kao i staklo, važnu ulogu ima i okvir, budući da predstavlja 30-35 % površine prozora. Ugradnja visokoizolacijskih stakala u obične okvire koji predstavljaju toplinski most nije ekonomična [5]. Upravo iz tog razloga u posljednje se vrijeme na tržištu pojavilo puno kvalitetnih okvira sa boljom toplinskom izolacijom $U_f = 0.7 - 0.8 W/(\mathrm{m}^2\mathrm{K})$ s kojima se na prozorima postiže $U_w = \leq 0.8 W/(\mathrm{m}^2\mathrm{K})$. Takav standard je postignut tako što se u obične okvire od drva, aluminija i PVC-a na različite načine ugrađuje toplinska izolacija. Vidi na slici 3.7.2.1. U tu svrhu se rabe poliuretanska pjena, celulozna vlakna, izolacija od drvenih vlakana i slično.



Slika 3.7.2.1 Okvir prozora za pasivne kuće u ovom slučaju punjen poliuretanskom pijenom [29]

3.7.3 Rolete i žaluzine

Kod pasivne kuće žaluzine i rolete imaju ulogu uravnoteženja prolaska topline. Posebno je dobro kad su punjene toplinskom izolacijom što se vidi na slici 3.7.3.1. U zatvorenoj poziciji smanjuju toplinske gubitke. Zbog toga se preporuča da u zimskim noćima rolete budu spuštene kako bi spriječile prolazak topline dok se kroz dan podižu kako bi sunčeve zrake prodrle u prostorije.

U ljetnom je periodu obrnuta situacija. Tijekom dana, rolete su spuštene kako se temperatura u kući nebi povećavala, dok su kroz noć dignute kako bi se kuća kroz noć hladila.



Slika 3.7.3.1 Prikaz rolete sa ugrađenom toplinskom izolacijom [30]

3.7.4 Ulazna vrata

Isto kao i ostali otvori, ulazna vrata predstavljaju toplinske slabe točke. Zbog toga, uz zahtjeve koje ispunjavaju prozori, vrata moraju ispuniti još nekoliko posebnih zahtjeva, a to su:

- minimalna visina praga (15 mm)
- požarna zaštita
- protuprovalna zaštita
- zvučna zaštita
- trajna krutost
- jednostavna uporaba
- stabilnost oblika kod različitih klimatskih promjena
- oblikovni zahtjevi

Kod takvih vrata vrlo je važna zrakonepropusnost. Ona moraju biti zabrtvljena sa svih strana. Kod praga moraju imati jednostruko brtvilo, dok ostale strane moraju imati dvostruko brtvilo. Kao i kod prozora, vrata moraju imati toplinsku izolaciju kod kojih prolaz topline ne smije prelaziti0.8 W/Mk. To nije jednostavno za postići pa je zato i cijena takvih vrata puno viša za razliku od klasičnih. Presjek vrata vidi se na slici 3.7.4.1.



Slika 3.7.4.1 Presjek vrata pasivne kuće [31]

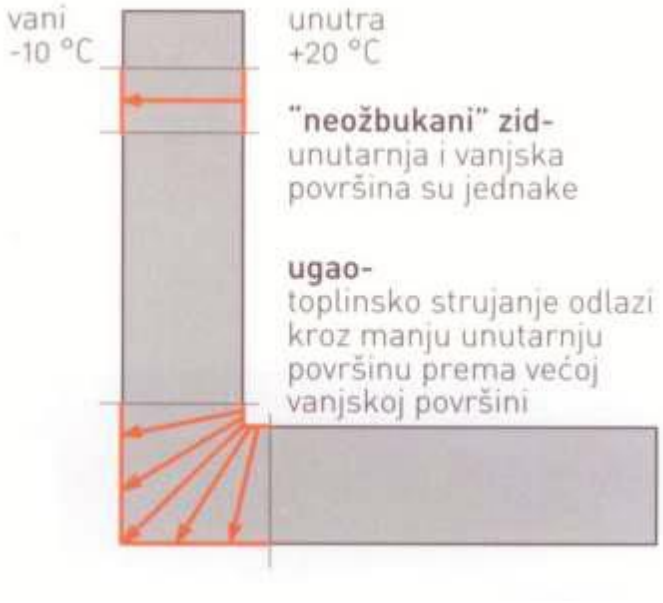
4.Toplinski mostovi

Toplinski mostovi lokalno su ograđene površine na građevnom elementu gdje je povećan prolaz topline [5]. Pojavljuju se na vanjskim dijelovima građevina radi grešaka pri projektiranju i izvođenju.

4.1 Vrste toplinskih mostova

Prema uzroku nastajanja toplinske mostove dijelimo na geometrijske, konvekcijske i konstrukcijske.

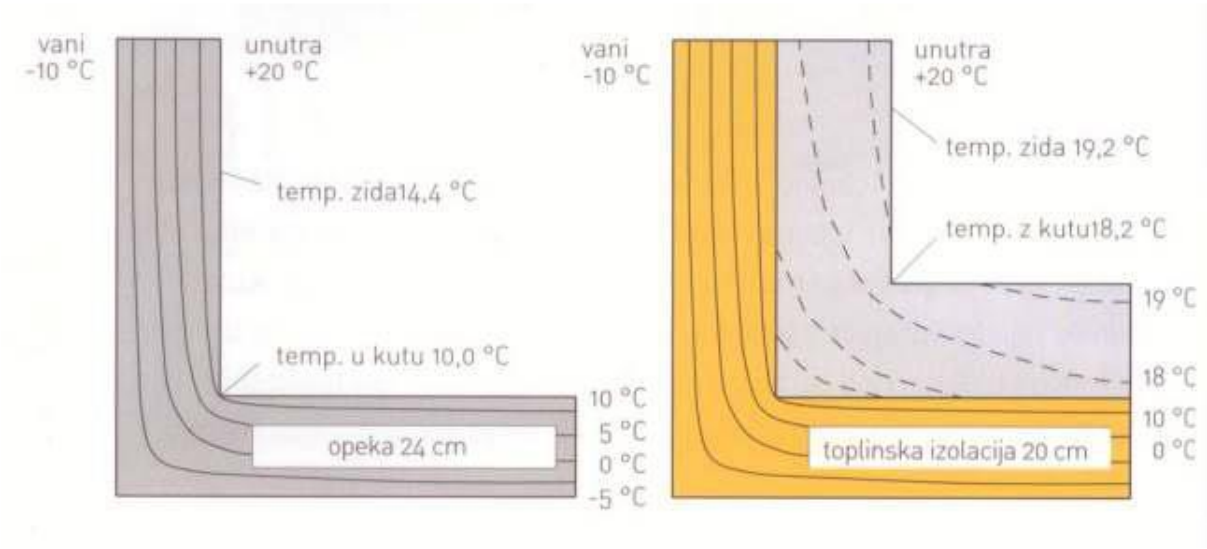
Geometrijski toplinski mostovi nastaju na mjestima gdje je unutarnja površina, kroz koju odlazi toplina, manja od vanjske [5]. Javljaju se kod spojeva zida na strehu, uglovima zgrade, sljemenu itd. Primjer geometrijskog toplinskog mosta vidi se na slici 4.1.1.Radi povećanja presjeka po kom toplina prolazi, u tom se lokalnom dijelu toplinski otpor konstrukcije smanjuje, a prolaznost povećava [5]. Dolazi do toga, da je unutarnja površina (toplog) zida manja od (hladnog) vanjskog.



Slika 4.1.1.Princip djelovanja geometrijskih toplinskih mostova [5]

Konvekcijski toplinski mostovi javljaju se na mjestima gdje kroz otvore ili pukotine nekontrolirano odlazi topli zrak. Kod pasivnih kuća su takvi mostovi zanemarivi zbog zrakonepropusnosti plašta. Jedini konvekcijski gubici nastaju kod otvaranja prozora i vrata.

Konstrukcijski toplinski mostovi nastaju na mjestima gdje je prekinut toplinski plašt zgrade. Posljedica su loše projektiranih detalja kod konzola i proboja, priključaka, prekinute toplinske izolacije i slično [5]. Kod pasivne gradnje takve se pogreške ne smiju događati. Općenito, kod pasivne kuće treba izbjegavati toplinske mostove jer već mali toplinski most uzrokuje gubitke što ugrožava cijeli koncept gradnje. Osnovni cilj izgradnje ovakve kuće je konstruiranje bez toplinskih mostova. Na slici 4.1.2 može se vidjeti usporedba temperature na unutarnnjoj površini kod izoliranog i neizoliranog zida.



Slika 4.1.2 Usporedba temperature na unutarnjoj površini zida kod izoliranog i neizoliranog zida [5]

4.2 Posljedice toplinskih mostova

Zbog javljanja toplinskih mostova u zgradama se javljaju mnogi problemi.

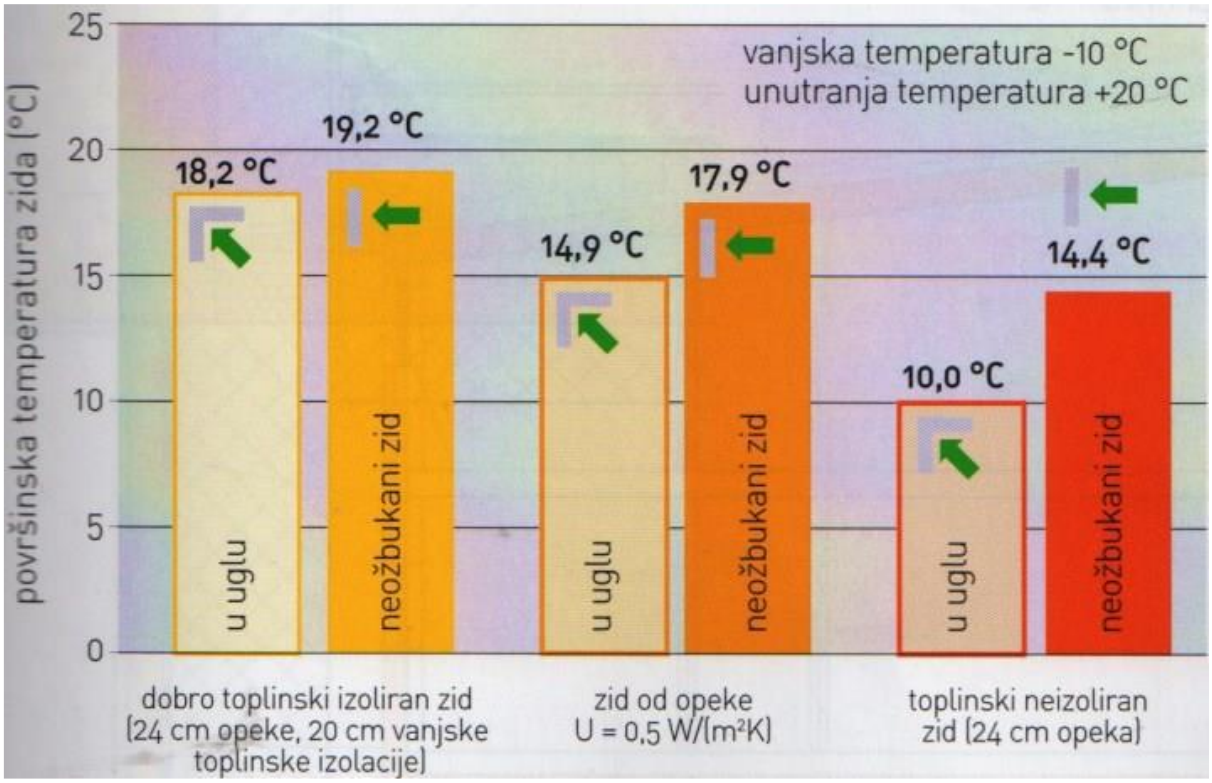
Povećanje potrošnje energije

Toplinski mostovi često dovode do povećane potrošnje energije.

Apsorpcija topline u unutarnjim hladnim elementima građevine zahtijeva za postizanje temperaturne ugodnosti veću temperaturu zraka. To dovodi do povećanja troškova grijanja i većeg zagađenja okoliša pri izgaranju energenata. Na slici 4.2.1 vide se različite temperature na uglovima s obzirom na debljinu toplinske izolacije.

Ugrožavanje građevinskih elemenata

Kondenzacija kod toplinskih mostova s vremenom može učiniti štetu na građevnom elementu. Čim su veći učinci toplinskih mostova, to se više građevni element hladi, a djelovanje toplinskog mosta se povećava. Kod tako izraženih toplinskih mostova na mjestima je moguća pojava gljivica i pljesni, otpadanje žbuke, a kod drva gubitak nosivosti i sl.



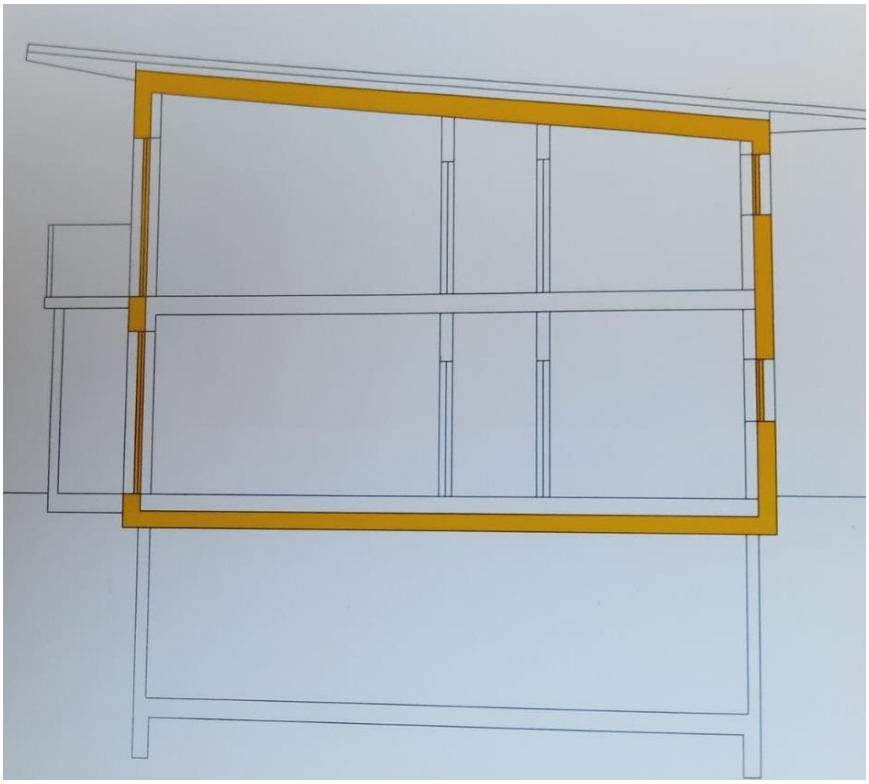
Slika4.2.1 Temperatura na uglu s obzirom na različite debljine toplinske izolacije [5]

Slabljenje toplinske ugodnosti

U zimi su pri niskim vanjskim temperaturama površinske temperature na unutarnjoj strani elemenata niže nego na području neožbukanog zida. Kao posljedica javlja se „vučenje“ zbog čega najviše pate stanari. Kod opširnih toplinskih mostova hladne površine mogu uzrokovati slap hladnog zraka, koji kod niskih vanjskih temperatura daje osjećaj propuha. Radi izbjegavanja propuha, stanari povećavaju grijanje. Zbog bržeg kruženja zraka i pougljene prašine, u zraku se nalazi veća količina virusa i bakterija koji loše utječu na zdravlje stanara te mogu uzrokovati prehlade. Na slici 4.2.2 vidi se neprekinut toplinski plašt čime se u potpunosti izbjegavamo javljanje toplinskih mostova.

Umanjena stambena higijena

Niža temperatura unutarnjih površina na području toplinskih mostova prouzrokuju kondenzaciju. Kondenzat ili rosa nastaje kad se vlažan topli zrak ohladi na hladnoj površini ispod temperature zasićenja te na te površine sjeda prašina. To u kombinaciji s bojom, drvom, tapetama i sl., stvara idealne uvjete za razvoj plijesni. Opasnost plijesni se povećava u prostorima veće vlažnosti, a to su kupaona i kuhinja. S higijenskog gledišta, vlaga zraka u prostorima mora biti između 36 i 65 %.



Slika 4.2.2 Prikaz pravilno izvedenog toplinskog plašta [5]

5. Zrakonepropusnost

Zrakonepropusnošću označavamo intenzitet nekontroliranog protjecanja zraka iz konstrukcije ili u nju zbog tlačne razlike. Do nekontroliranog propuštanja zraka dolazi u fugama, pukotinama ili drugim propusnim mjestima na plaštu zgrade. Prolaz zraka kroz plašt nosi svoje mane, a to su građevinska oštećenja, provođenje zvuka, nekontrolirani toplinski gubitci, nepouzdanost itd.

Tok zraka prema van

Kod protoka zraka prema van, zbog radnji u kući kao što su tuširanje i kuhanje, vlažnost zraka je unutra uvijek veća nego vani. Pritom se ta vlaga kroz pukotine hladi, a posebice zimi što dovodi do kondenzacije. Kondenzacija uzrokuje stvaranje plijesni.

Tok zraka prema unutra

Kod toka zraka izvana prema unutra, tlak vjetra nosi oborinsku vodu u pukotine i tu se voda štozadržava i sporo suši što kod drvenih konstrukcija stvara probleme. Tok zraka izvana prema unutra manje je problematičan jer se zrak na putu zagrije i nema stvaranja kondenzata.

5.1 Projektiranje zrakonepropusnog plašta

Kako bi postigli dostatnu zrakonepropusnost plašta zgrade moramo točno projektirati sve spojeve građevinskih elemenata te zrakonepropustan plašt mora biti bez prekida isto kao i kod toplinske izolacije što se vidi na slici 5.1.1. Da bi se to postiglo, u obzir se moraju uzeti tri glavna principa:

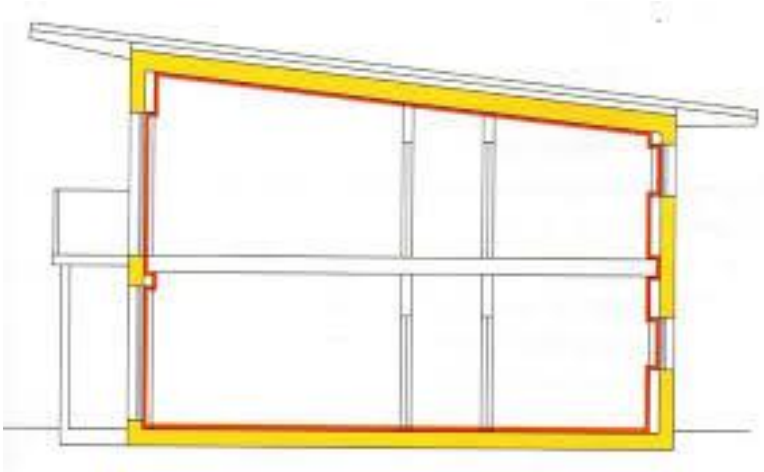
- Ravnina zrakoneprousnog plašta mora u svim dijelovima nacrta biti neprekinuta.
- Mora postojati samo jedna zrakonepropusna ravnina.
- Zrakonepropusni plašt mora biti pričvršćen za unutarnju stranu toplinskoizolacijskog plašta, a ujedno djeluje i kao parna brana pa ne smije biti potpuno difuzijski zatvorena.

Principi projektiranja zrakonepropusnog plašta:

-svaki konstrukcijski detalj mora biti što jednostavniji kako bi kod obrtničkih radova bilo što manje pogrešaka

- brtvljenje neka se izvede na jednak način
- izbor pouzdanih osnovnih konstrukcija
- proboj zarakoneporopusnog plasta se izbjegava
- za određeni spoj koji se ponavlja u nekoliko navrata rabi se jednak detalj

Uz poštivanje ovih principa u svim fazama granje plašt zgrade bit će visoke kvalitete.



Slika 5.1.1 Prikaz zrkonepropusne linije kod pasivne kuće [5]

5.2 Provjera zrakonepropusnosti plašta

Učinkovitost zrakonepropusnosti plašta mjerimo tlačnim testom Blower Door, vidi na slici 5.2.1. Za test se uređaj s ventilatorom postavi u otvor vrata ili prozora, koji u kući stvara nadtlak ili podtlak [5]. Za vrijeme rada ventilatora kod podtlaka i nadtlaka izmjeri se nastali volumenski tok kod 10 do 70 Pa tlačne razlike. Iz rezultata odredimo karakterističnu vrijednost pri tlačnoj razlici 50 Pa [5].

Kod pasivnih kuća određena je granična vrijednost $n_{50} \leq 0{,}6h^{-1}$ što nam govori da pri tlačnoj razlici od 50 Pa kroz sva propusna mjesta u kući je dovedeno ili odvedeno 0,6 ukupnog

volumena unutarnjeg zraka u jednom satu. Primjerice kod niskoenergetske kuće ta je vrijednost $1.5h^{-1}$ dok je kod obične kuće ta vrijednost $3h^{-1}$.



Slika 5.2.1 Test Blower Door [32]

5.3 Zrakonepropusnost i tehnologija gradnje

Kod projektiranja zrakonepropusnosti prvo treba provjeriti kakva je zrakonepropusnost materijala kojim se gradi, vidi u tablici 3. U pravilu se kao zrakonepropusni materijali upotrebljavaju s $q_{50} < 0.1m^3/(m^2h)$.

Materijal	Propusnost na zrak $q_{50}vm^3/(m^2h)$
Opeka	0,001 – 0,05
Vapneno cementna žbuka	0,002 – 0,05
Gipskartonske ploče	0,002 – 0.03
Porobeton	0,06 – 0,35
Ploča iverice	0,05 – 0,22
Spojeno drvo	0,004 – 0,02
Tvrda vlaknasta ploča	0,001 – 0,003
Polietilenska folija 0,1 mm	0,0015
Mineralna vuna	13 - 150
Meka ploča s drvenim vlaknima	2 – 3,5
Bitumenska ljepenka	0,008 – 0.02

Tablica 3. Zrakonepropusnost materijal [5]

Masivna gradnja

Da bi zid od opeke bio zrakonepropustan, potrebno je da bude ožbukan od sirovog poda do sirovog stropa pa i mjesta koja su nevidljiva. Betonski stropovi su i bez žbukanja dovoljno zrakonepropusni jer betonski elementi su jedini nosivi materijali koji su zrakonepropusni. Problemi jedino nastaju kod spojnih i probojnih betonskih poluproizvoda.

Lagana gradnja

Kod lagane gradnje unutarnja obloga ne može služiti kao zrakonepropustan sloj te se na unutarnjoj strani ugrađuje parna brana koja predstavlja zrakonepropusnu ravninu. Kod izrade zrakonepropusnog sloja još se može koristiti i folija otporna na starenje (polietilenska folija) debljine 0,2 mm, navošteni papiri, papiri s dodatkom polietilena ili armirani papiri te spojne ploče, OSB ploče i Dwd ploče.



Slika 5.4.1 Brtvljenje prozora ekspanzivnom trakom radi zrakonepropusnosti [33]

5.4 Zrakonepropusna ugradnja vrata i prozora

Spoj slijepog okvira i prozora kod pasivnih se kuća rješava kao i kod klasičnih prozora. Ako su prozori pravilno postavljeni i zabrtvljeni po pravilima, onda su oni u potpunosti nepropusni.Na slici 5.4.1 vidi brtvljene prozora. Ulazna vrata je kao i kod prozora potrebno dobro zabrtviti i ako su ona sama po sebi kvalitetno napravljena neće doci do zrakopropusnosti.

5.5 Proboj zbog instalacija

Veliki dio proboja zraka događa se upravo zbog instalacija. Kao i kod ostalih građevnih elemenata i ovdje je potrebno osigurati dobru zrakonepropusnost. Kod masivne gradnje zrakonepropusni sloj predstavlja žbuka. Zrakonepropusnost kod instalacije postiže se tako da se požbukana kutija položi u masu žbuke kod žbukanja. Na slici 5.5.1 vidi se zrakonepropusna kutiju koju koristimo kod pasivnih kuća. Kod sanitarnih instalacija najbolje je da se nalaze u sloju ispred nosivog zida jer time je smanjen broj proboja. Kod laganih konstrukcija proboj zrakonepropusnog sloja lijepi se folijama ili brtvilima.

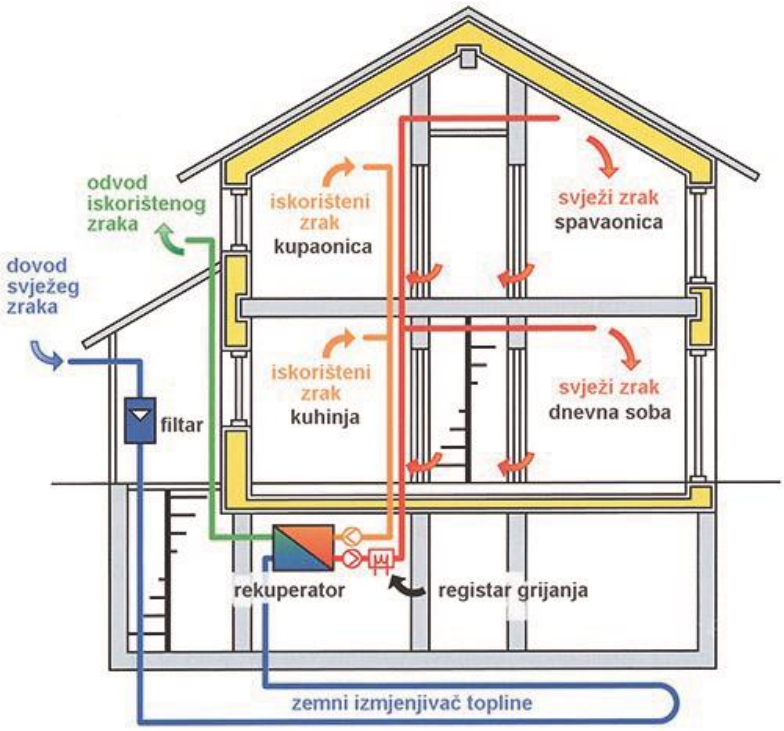


Slika 5.5.1 Zrakonepropusna instalacijska kutija [34]

6. Ventilacija

Zbog osiguranja kvalitete zraka u pasivnim kućama potrebna nam je ventilacija. U prosjeku je za svaku osobu po satu potrebno 25 do 35 m^3 svježeg zraka. To znači da je svaka 3 sata potrebno otvarati prozore po 15 min što je za pasivnu kuću vrlo neekonomično. Otvaranjem prozora gubimo toplinu i time povećamo zahtjeve za grijanje. Standard pasivne gradnje nam govori da kuća mora ispunjavati zahtjeve vrhunske zrakonepropusnosti jer se time smanjuju ventilacijski toplinski gubitci. Na taj način u potpunosti sprečavamo dovod svježeg zraka što je nedopustivo. Zbog toga, u pasivnim je kućama obavezna ugradnja uređaja za ventilaciju koja stalno dovodi svježi zrak [5]. Vidi na slici 6.1. Ugradnjom tog uređaja otvaranje prozora kod pasivne kuće nije potrebno, ali nije nužno niti zabranjeno jer uređaj za ventilaciju koristimo samo u zimskom periodu. Razlog tome je što sustav ventilacije troši električnu energiju čija je potrošnja u pasivnoj kući ograničena na 120 kWh/m^2a. Kako bi postojalo što manje toplinskih gubitaka u pasivnoj kući, obavezan je sustav kontrolirane ventilacije s vraćanjem topline otpadnog zraka i

iskoristivošću većom od 75 % [5]. To znači da se ulazni hladni zrak zagrijava pomoću izlaznog toplog zraka, a to dovodi do dodatnog smanjenja toplinskih gubitka. Osim toga, ulazni zrak prolazi kroz filtere za pelud i prašinu što poboljšava kvalitetu življenja posebice kod alergičara.

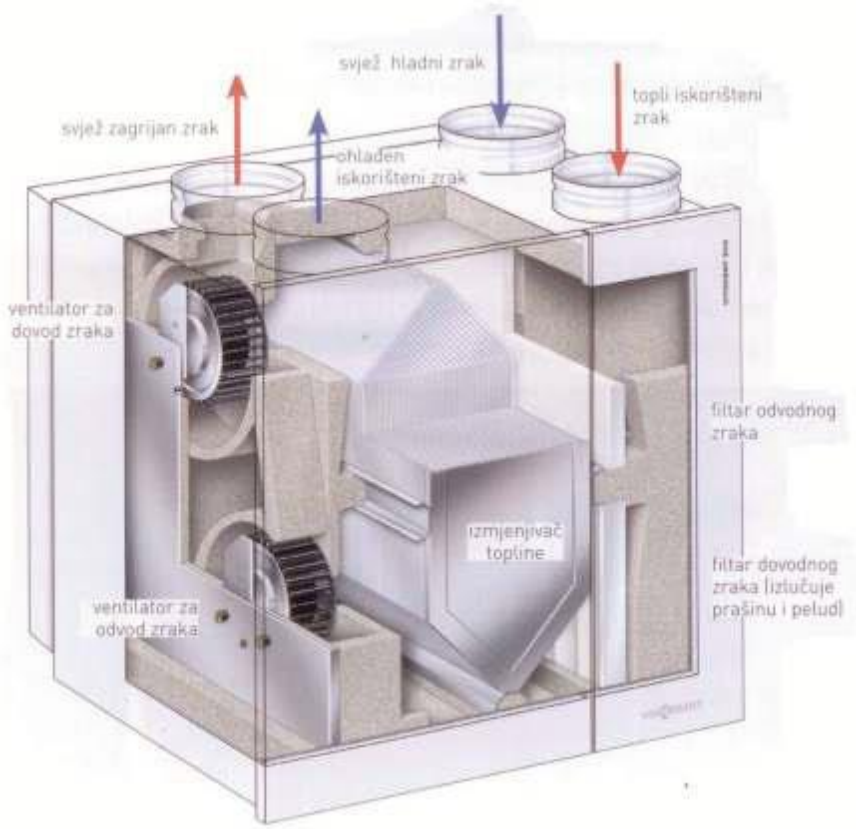


Slika 6.1 Shema ventilacije [35]

6.1 Rad kontrolirane ventilacije

Uređaj za ventilaciju radi na principu da dovodi svježi zrak, a odvodi ustajali iz zgrade. Svježi zrak se dovodi u dnevni boravak i spavaće sobe, a ustajali se odvodi iz kupaonice, kuhinje i smočnice gdje je najslabiji. Svježi zrak uzima se izvan građevine koji ulazi kroz zaštitne reške na krovu ili pročelju. Prije ulaska prolazi kroz filter za prašinu i pelud, a zatim se po cijevima dovodi do uređaja za ventilaciju gdje se u rekuperatoru zagrijava pomoću topline izlaznog zraka. Slika 6.1.1. prikazuje rekuperator. Cijevi za odvod i dovod ugrađuju se u toplinsku izolaciju ispod stropa ili podnog estriha. Zrak u prostor dovodimo posebnim mlaznicama, a posebnu pažnju trebamo obratiti na to da upuhujući zrak nije usmjeren prema mjestu stalnog zadržavanja [5]. Temperatura upuhujućeg zraka uvijek je iznad 16 °C. Kako bi postigli jednakomjernu raspodjelu zraka po prostoru, odvod i dovod ne smiju biti preblizu jedan

drugome već je najbolje kad su postavljeni dijagonalno. Između odvodnih i dovodnih prostorija mora biti odgovarajući protok zraka, a najlakše ga je postići razrezom ispod vrata do 1.5 cm. Ventilacijski uređaj postavljamo u suhu prostoriju gdje ne može doći do smrzavanja.



Slika 6.1.1 Rekuperator [5]

6.2 Zvučna zaštita

Kako nebi narušili akustičnu ugodnost u prostoriji, uređaji za ventilaciju moraju biti tihi. Za sprječavanje šumova u odvodnim i dovodnim kanalima ugrađuju se uređaji za prigušivanje zvuka. Kako bi šumovi bili minimalni, kod postave moramo stvoriti što kraće puteve ventilacije i bez nepotrebnih zavoja, a vodovi moraju biti simetrični. Da bi se izbjeglo kompliciranje razvoda, ventilacijski se kanali postavljaju prije svih instalacija. U ventilacijskim kanalima buka ne smije biti veća od 25 dB(A).

7. Grijanje

U pasivnim kućama potreba za dodatnom toplinom vrlo je mala, ali svejedno je potrebna. Brojna mjerenja su pokazala da najviše potrebe za dogrijavanje ima kod temperature 0° i -5°. U hladnim danima nebo je obično vedro pa ima dovoljno sunčevih dobitaka. Dogrijavanja su moguća sa svim tradicionalnim sustavima grijanja kao što su drva, lož ulje itd. Iako bi grijanje na električnu energiju bilo možda najprihvatljivije, ono je za pasivne kuće u potpunosti neprihvatljivo. Razlog tome je što ukupna potrošnja električne energije bez grijanja i sanitarne vode ne smije preći 18 kWh/(m²a), a potrošnja ukupne primarne energije 120 kWh/(m²a). Zbog toga je obvezna i ugradnja štednih uređaja i svjetlećih tijela.

Kod pasivnog standarda godišnja potrošnja za grijanjem ne smije preći 15 kWh/(m²a) što je jednakomjerno 1.5 litra lož ulja ili 1.6 m³ zemnog plina za kvadratni metar grijanog prostora. Radi vrlo male potrebe za grijanjem nepotrebna je ugradnja tradicionalnih sustava za grijanje. Umjesto toga dogrijavanje možemo riješiti pomoću toplinske crpke koja u kombinaciji sa pretvornikom sunčeve energije odmah zagrijava sanitarnu vodu.

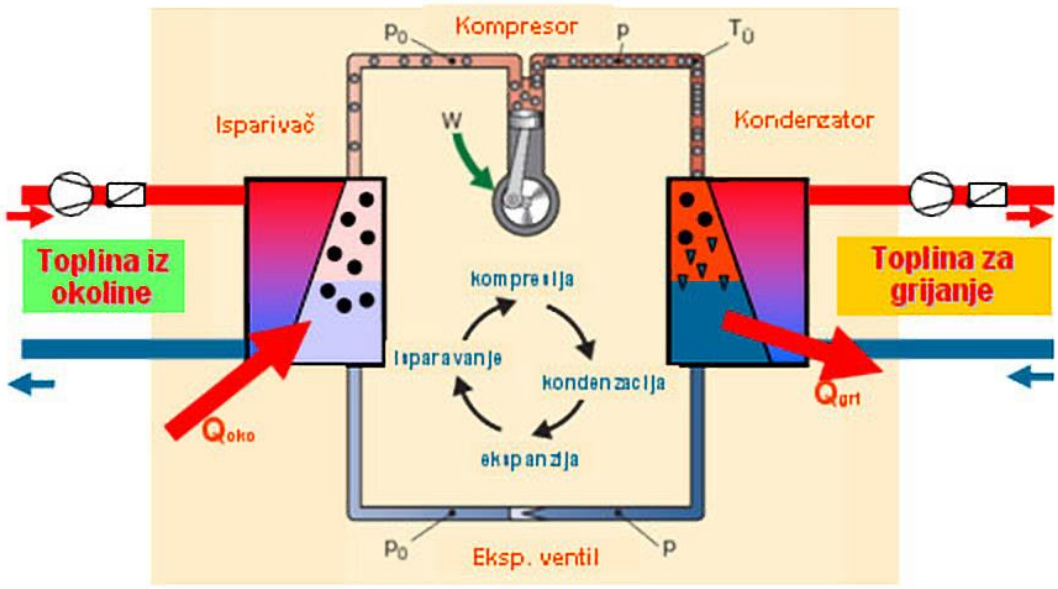
7.1 Toplinska crpka

Toplinska crpka ili dizalica topline je uređaj koji iz okoline uzima toplinu i ako je potrebno podiže ju na višu temperaturnu razinu [5]. Toplinu koju iskorištavaju crpke su toplina zemlje, vode i zraka. Razvojem niskoenergetskih i pasivnih sistema gradnje dizalice topline postale su samostalni sustav grijanja. To prije nisu mogle biti radi velike potrošnje energije zbog loše ili nikakve izolacije.

Rad toplinske crpke

Toplinska crpka radi na principu hladnjaka. Sastavljena je od isparivača koji uzima toplinu iz okoline u kojem se radni medij pri niskoj temperaturi zapari i zagrije toplinom iz okoline [5]. Kompresor usisava nastalu zagrijanu paru i zatim ju komprimira i time ju zagrije. U kondenzatoru vruća para kod više temperature i tlaka kondenzira i pritom daje kondenzacijsku topline ogrjevnom mediju. Radni medij zatim ide preko ekspanzijskog ventila, gdje mu se tlak snižava ponovno u isparivač i tu se proces ponavlja [5]. Rad toplinske crpke prikazan je na slici 7.1.1.

Za rad toplinske crpke potrebna je električna energija koja se troši za pogon kompresora i ventilatora [5]. Iz godine se u godinu iskoristivost toplinske crpke povećava. Postoje dva sustava toplinskih crpki, u obliku kompaktne jedinice gdje su spremnik topline i toplinska crpka zajedno i drugi oblik je oblik razdvojene jedinice gdje su spremnik i crpka odvojeni. Još ih razlikujemo s obzirom na medij koji se hladi iz okoline i medij koji se zagrijava. Prema tome postoje sustavi: zrak/voda, voda/voda, zemlja/voda [5]. Kod označavanja dizalica toplina na prvom je mjestu uvijek medij koji se hladi, a drugi je medij koji se zagrijava.



Slika7.1.1 Princip rad toplinske crpke [36]

7.2 Vrste toplinskih crpki

Sve oko nas puno je uskladištene sunčeve energije koju možemo iskoristi pomoću toplinskih crpki. S njom iskorištavamo toplinu zemlje, vode i zraka.

Toplina površinske zemlje

U sunčanim danima gornji sloj zemlje se zagrije i sprema toplinu. Kad temperatura padne, zemlja vraća temperaturu u okolinu i taj je proces ubrzani. U dubljim slojevima zemlja se sporije zagrijava, ali i sporije vraća toplinu i to koristimo za rad toplinske crpke.

Na dubini od 1.2 metra postavlja se zemni kolektor u kojem kruži medij koji zemlja zagrije za nekoliko stupnjeva i zatim tu toplinu toplinska crpka uzima i podiže ju na višu temperaturnu razinu. Vidi na slici 7.2.1.



Slika 7.2.1 Prikaz dobivanje topline od površinske zemlje [37]

Toplina zraka

Toplina vanjskog zraka uzima se tako da se toplinska crpka postavlja vani i zatim toplinska crpka uz pomoć ventilatora uzima zrak i potiskuje ga u isparivače. Toplinu vanjskog zraka kompresor podiže na potrebnu temperaturu za grijanje sanitarne vode i prostora u kojem boravimo. Kad su temperature vrlo niske toplinu iz vanjskog zraka moguće je koristiti čak dva puta. Primjer dizalice topline vidi se kod slike 7.2.2.



Slika 7.2.2 Zračna dizalica topline [38]

Toplina stijene

Da bi iskoristili toplinu stijene potrebno je nekoliko bušotina u koje se postavljaju cijevi (geosonde) kroz koje onda kruži tekućina koja stijeni uzima toplinu. Kompresor zatim tu toplinu podiže te njome zagrijavamo zgradu. Taj sustav relativno je skup i preporuča se kod većih potrošača energije.

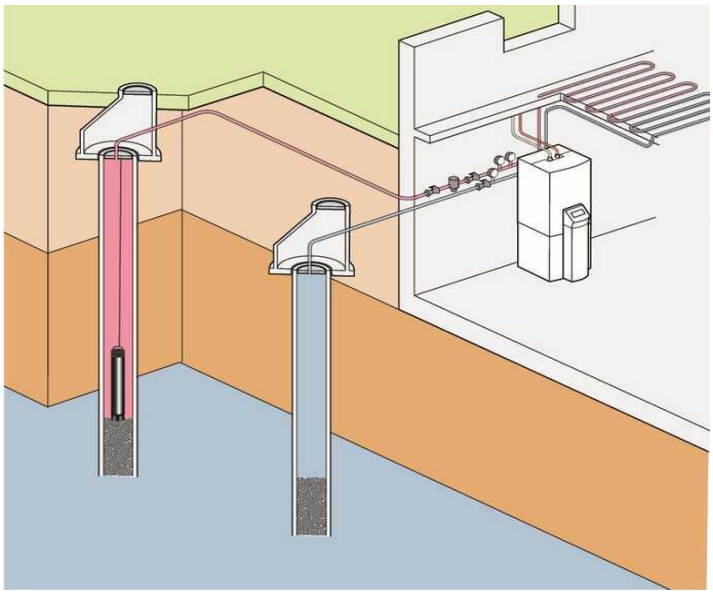
Toplina površinskih voda

Voda u moru, jezerima i rijekama sporo se zagrijava i čuva toplinu. Kroz jesen i zimu se sporije hladi zbog toplog dana ili snježnog pokrova.

Toplina se iskorištava vodenim kolektorom. Cijevi se postave na dno i pomoću kružnog medija vodi oduzimaju toplinu koju zatim toplinska crpka diže na višu razinu.

Toplina podzemene vode

Zbog toga što ima vrlo visoku temperaturu, podzemna voda predstavlja idealan izvor topline. Ekološki gledano to nije baš prihvatljiv sustav radi očuvanja pitke vode. U takvom se otvorenom sustavu potopnom crpkom crpi voda do toplinske crpke koja nakon što se iskoristi otječe u kanalizaciju ili podzemnu bušotinu. Najnižu temperaturu vode koju je moguće iskorištavati je 3°C. Primjer dizalice topline podzemnih voda vidi na slici 7.2.3.



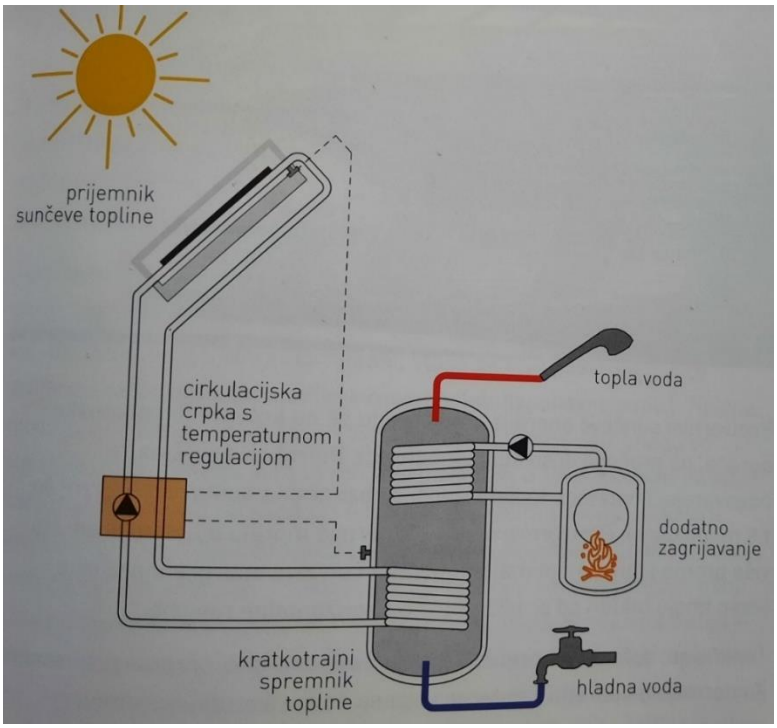
Slika 7.2.3 Dizalica topline podzemnih voda [39]

7.3 Pretvorba sunčeve energije

Sunce je glavni izvor energije na našoj planeti koja je besplatna. Može se rabiti cijele godine bez obzira na godišnje doba zahvaljujući dobro razvijenoj tehnologiji koje pretvaraju sunčevu energiju.

7.3.1 Pretvornici sunčeve energije

Pretvornici sunčeve energije ili sunčani kolektori odnosno fototermički uređaji, većinom se upotrebljavaju za zagrijavanje sanitarne vode, ali moguće ih je koristiti i za grijanje. Sastoje se od transparentnog pokrova i apsorbera gdje se radno sredstvo zagrije [5]. Zagrijano sredstvo se crpkom prenosi u izmjenjivač topline koji je obično u spremniku topline. U spremniku topline postoji mogućnost za dogrijavanje nekim drugim energetskim izvorima [5]. Na slici 7.3.1.1 prikazana je shema rada takvog sustava. Regulacija osigurava uključivanje crpke kad je temperatura medija u sunčanom pretvorniku viša nego u spremniku [5].



Slika 7.3.1.1 Shema grijanje sanitarne vode pomoću PSE [5]

Postoje 2 tipa pretvornika sunčeve energije: vakumski (slika 7.3.1.2) i pločasti (slika 7.3.1.3). Kod vakumskog pretvornika apsorber se nalazi u vakuumu u staklenim cijevima dok se kod pločastih apsorber nalazi u pločastom kućištu koje na donjoj strani ima toplinsku izolaciju. Kako u vakuumu nema kondukcijskih i konvekcijskih gubitaka, vakumski pretvornici vrlo su učinkoviti, ali je zato i njihova proizvodnja puno skuplja [5]. Pretvornicima sunčeve energije moguće je osigurati 60% godišnje energije za grijanje sanitarne vode.



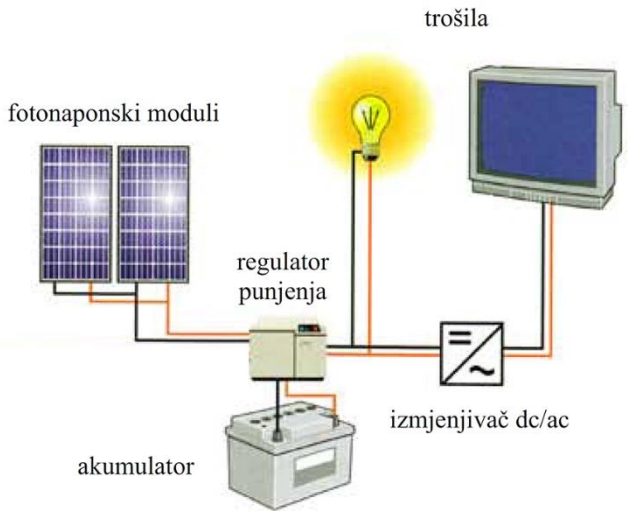
Slika 7.3.1.2 Vakumski PSE [40]



Slika 7.3.1.3 Pločasti PSE [41]

7.3.2 Fotonaponski sunčani pretvornici

Fotonaponski sunčani pretvornik je dioda – poluvodič koji iskorištava energiju svijetla za izbijanje elektrona čime nastaje jednosmjerni tok [5]. Shema rada fotonaposnskog modula vidi se na slici 7.3.2.1. Nastali tok možemo koristiti odmah ili konvertirati u izmjenični tok koji se odvodi u javnu električnu mrežu. Veličine ćelija su 10 x 10 ili 15 x 15cm. Kod najveće snage ostvaruju napon od 0,5 do 2 v. Općenito su potrebni viši naponi stoga se fotonaponski sunčani pretvornici povezuju u veće jedinice. Tipična veličina sunčanog modula je 1.2 x 1 m što daje snagu otprilike 110 W. Sunčani pretvornici mogu biti prozirni, neprozirni i u raznim bojama. Stvarni izgled fotonaponskog modula prikazan je na slici 7.3.2.2 Mogu djelovati samostalno ili su priključeni na javnu mrežu.



Slika 7.3.2.1 Shema rada fotonaponskog modula [42]



Slika 7.3.2.2 Izgled fotonaponskih pretvornika [43]

8.Zaključak

Iako je gradnja pasivne kuće davno prestala biti nepoznanica, u Hrvatskoj se taj potencijal slabo iskorištava vjerojatno radi skuplje izgradnje ili jer ljudi nisu dovoljno upoznati sa takvim principom gradnje. Ovim radom prikazuje se kvaliteta pasivne gradnje te se ukazuje na to kako je život u takvoj građevini daleko kvalitetniji u odnosu na neke druge načine gradnje. S obzirom na to da se svake godine cijene energenata podižu takav način gradnje uskoro bi mogao postati sve popularniji. Iako u startu takva građevina zahtjeva veću investiciju na dugoročno gledano ona će se itekako isplatiti. Isto koliko i štedi, toliko zapravo i čuva okoliš što je danas postao jedan od glavnih ciljeva na globalnoj razini te bi ljudima i to trebao biti poticaj za izgradnju pasivne kuće.

9.Literatura

[1] B.Milanović, N.Štirmer, Lj.Mišćević : Pasivna kuća-poboljšanje kvalitete stanovanja , Stručni rad, Građevinski fakultet u Zagrebu, Zagreb, 2012

[2] Pasivna sunčana arhitektura , https://hr.wikipedia.org/wiki/Pasivna_sun%C4%8Deva_arhitektura#/media/Datoteka:Passive_house_shema_hr.svg , dostupno 20.9.2021

[3] Pasivna kuća-karakteristike, troškovi, https://www.troskovnik.net/pasivna-kuca-karakteristike-troskovi/, dostupno 20.9.2021

[4] S.Fotak, autorske tablice, 2020-2021

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

[6] Vježbanje kod kuće, Bodyweight trening kod kuće bez rekvizita, https://www.fitness.com.hr/images/articles/45af02c2-0a54-49bd-bd68-c375d23f1fb8.jpg, dostupno 20.9.2021

[7] Priključite ploču za kuhanje na električnu mrežu, https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fhr.urspraha-stavebnictvi.cz%2Fkako-samostalno-prikljuciti-plocu-za-kuhanje-na-elektricnu-mrezu-708&psig=AOvVaw1pPQAQLyTpeCd4dYVsnsAZ&ust=1633021970647000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCPicuorXpPMCFQAAAAAdAAAAABAE ,dostupno 20.9.2021

[8] Faktor oblika zgrade i energijska efikasnost, https://m-kvadrat.ba/faktor-oblika-zgrade-i-energijska-efikasnost/ , dostupno 20.09.2021

[9] Organizacija građenja pasivne kuće, https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTZhvk3XhK7zM-xJkYf3PKsloeDL-IKXn1aLQ&usqp=CAU , Dostupno 20.09.2021

[10] Sfera kugla, https://hr.izzi.digital/DOS/45405/datastore/10/publication/45405/pictures/2020/10/31/1604168224_sfera-kugla.jpg?v=1625055031 , dostupno 15.09.2021

[11] Kocka, https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/d2d61772-7e7a-4f5b-98f9-6bbb5d5d13ca/img/21250-0-kocka-jpg-1533199421781.jpg, dostupno15.09.2021

[12] Geometrijska tijela- kvadar, https://sites.google.com/site/geometrijskatijela2811/_/rsrc/1528697375153/kocka-i-kvadar/kvadar/kvadar-33-PROZIRNO.png?height=229&width=320, dostupno 15.09.2021
[13] Pasivna i niskoenergetska gradnja, https://www.enu.hr/wp-content/uploads/2016/03/1.-Pasivna-i-niskoenergetska-gradnja.pdf, dostupno 20.09.2021
[14] Pasivna sunčeva arhitektura, https://hr.wikipedia.org/wiki/Pasivna_sun%C4%8Deva_arhitektura, dostupno 20.09.2021
[15] Ušteda energenata na zgradama javnih ustanova pomoću solarnih sustava, https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQi3v2Pg0n0ktYgraqBvAP4sdOaN5EXwzwUQALSBi_6DVHDcWBKDffNEK6G2aRE8YczNjY&usqp=CAU, dostupno 20.09.2021
[16] Pasivne kuće-da ili ne ? Prednosti i nedostaci pasivne gradnje, https://www.menerga.hr/wp-content/uploads/sites/4/2017/02/pasivna-hisa-pasivna-gradnja.jpg, dostupno 20.09.2021
[17] Svjetlosni dobici kroz ostakljene otvore pasivne kuće, https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTG7F2xVORljqjbY0_UmYOAbL61hvJ4WUMj_A&usqp=CAU, dostupno 20.09.2021
[18] Cijena izrade fasade po m², https://www.troskovnik.net/wp-content/uploads/2020/04/cijena-izrade-fasade-600x600.jpg, dostupno 20.09.2021
[19] Toplinska izolacija od poliuretanske pjene u pitanja i odgovore, https://hr.seolearnbd.com/f/5366d2ba30c9abbe32851e98138c7387, dostupno 20.09.2021
[20] BLOCK termoizolacija od ovčje vune, https://www.zelena-gradnja.hr/wp-content/uploads/2020/07/block-termoizolacija-od-ovcje-vune-2.jpg, dostupno 20.09.2021
[21] Mineralna vuna, https://hr.wikipedia.org/wiki/Mineralna_vuna, dostupno 20.09.2021
[22] Staklena vuna i kako nastaje, https://potkrovlje.ba/wp-content/uploads/2018/06/cutout_247154_detail_picture_1.jpg , dostupno 20.09.2021
[23] Kamena vuna za fasade 10cm, https://www.ikoma.hr/content/product/image/m/kamena-vuna-za-fasade-fkd-s_thermal.jpg
[24] Stirodur 5cm-Xps s preklopom, https://www.ikoma.hr/content/product/image/m/stirodur.jpg
[25] Pola stoljeća stiropora-proizvodnja i svojstva stiropora, https://www.gradimo.hr/wp-content/uploads/2008/07/stiropor.png
[26] Zidanje ytong blokovima, https://www.maximuscentr.com.ua/wp-content/uploads/2017/01/YTONG_0_08._download-1-1024x680.jpg, dostupno 20.09.2021

[27] Wienerberger inovacija: Porotherm IZO Profi opeka – Toplina dolazi iznutra!, https://profibaucentar.hr/wp-content/uploads/2019/05/porotherm-izo-profi-32-147294.jpg, dostupno 20.09.2021
[28] Konstrukcije zidova pasivnih kuća, https://pravimajstor.hr/site/papers/gradnja/kako-se-radi/slike/polistirenBlok.jpg, dostupno 20.09.2021
[29] Windows / Timber / Aluminium Windows / Studio/ HF310 / Internorm By Scotia, https://spectrumarchitectural.com/wp-content/uploads/2017/02/studio-timber-HF310-246x300.jpg, dostupno 20.09.2021
[30] Europrofil, https://europrofil.ba/wp-content/uploads/2016/11/exte-elite5.jpg, dostupno 20.09.2021
[31] MasterLine 8-HI+, https://www.reynaers.co.uk/sites/default/files/public/styles/square_big/public/product/images/masterline%208-hi%2B%20door_2%20sided%20flush%20panel%20door_3d_passive%20housing%20detail%20with%20dripnose.jpg?itok=OA6EztVx, dostupno 20.09.2021
[32] Ispitivanje zrakonepropusnosti - bloower door test, http://energoatest.hr/wp-content/uploads/2020/11/blower-door3-1080x675.jpg, dostupno 20.09.2021
[33]Brtvljenje prozora. Provjerite kako i kako zapečatiti prozore – vodič-2019-2020, https://cdn.acumeninterior.com/img/eksploatacja-domu/2492414/uszczelnianie-okien-sprawd-3.jpg, dostupno 20.09.2021
[34] Pitalarm – zrakonepropusne elektroinstalacijske i razvodne kutije,https://pitalarm.hr/wp-content/uploads/2015/12/1-495x400.jpg, dostupno 20.09.2021
https://pitalarm.hr/wp-content/uploads/2015/12/11-495x400.jpg, dostupno 20.09.2021
[35] Ventilacija pasivne kuće, https://ecos.ba/wp-content/uploads/2019/02/Kontrolirana-ventilacija.jpg, dostupno 20.09.2021
[36] Toplinske pumpe, https://mcsolar.hr/new/wp-content/uploads/2018/02/principrada-toplinske-crpke.v1.jpg,
dostupno 20.09.2021
[37] Toplinske pumpe / dizalice topline – iskustva ,izbor i cijena, https://www.emajstor.hr/showfile.php?id=908, dostupno 20.09.2021
[38] Dizalica topline zrak /voda 15 kw monoblok 400 V -15°C R417A sanitarni priključak, https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQGTBnUO_PjffiML53uPRjLXzgerttmpPStOQ&usqp=CAU, dostupno 20.09.2021

[39] Vaillantove dizalice topline voda/voda, https://www.vaillant.ba/media-master/global-media/vaillant/illustration/hp10-6282-01-155825-format-flex-height@345@retina.jpg, dostupno 20.09.2021
[40] Solarni vakumski kolektori, vakumski kolektor, certificirano, https://www.njuskalo.hr/image-w920x690/grijanje-hladenje-ostalo/solarni-vakuumski-kolektori-vakumski-kolektor-certificirano-slika-2359677.jpg, dostupno 20.09.2021
[41] Solarni koletori solimpex grupa 557 https://termometal.hr/upload/catalog/product/4789/thumb/neotherm-cus_5e405364937e7_395x395r.jpg, dostupno 20.09.2021
[42] Fotonaponski sustavi-eko sustavi, https://eko-sustav.hr/wp-content/uploads/2015/04/strucniclanak1.jpg, dostupno 20.09.2021
[43] Načelo rada solarne baterije i njezina struktura, https://buildex.techinfus.com/wp-content/uploads/solnechnye-paneli2.jpg, dostupno 20.09.2021

10. Popis slika

Slika 2.1 Koncept gradnje pasivne kuće

Izvor:https://hr.wikipedia.org/wiki/Pasivna_sun%C4%8Deva_arhitektura#/media/Datoteka:Passive_house_shema_hr.svg

Slika.2.2.1.1 Prikaz strujanja topline kroz građevinu

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

Slika 2.2.2.1 Prikaz dobivanja topline od tjelesne aktivnosti

Izvor : https://www.fitness.com.hr/images/articles/45af02c2-0a54-49bd-bd68-c375d23f1fb8.jpg

Slika 2.2.2.2 Dobivanje topline kroz električne uređaje

Izvor : https://i.urspraha-stavebnictvi.cz/img/b02d45a1a4ee8de0b98aa107cc4f96.jpg

Slika 3.1.1 Faktor oblika s jednakim volumenom a različitim oblicima

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

Slika 3.1.2 Faktor oblika geometrijskih tijela sastavljeni iz više jednakih elemenata

Izvor : https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTZhvk3XhK7zM-xJkYf3PKsloeDL-IKXn1aLQ&usqp=CAU

Slika 3.1.3 Kugla

Izvor :

https://hr.izzi.digital/DOS/45405/datastore/10/publication/45405/pictures/2020/10/31/1604168224_sfera-kugla.jpg?v=1625055031

Slika 3.1.4 kocka

Izvor : https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/d2d61772-7e7a-4f5b-98f9-6bbb5d5d13ca/img/21250-0-kocka-jpg-1533199421781.jpg

Slika 3.1.5 kvadar

Izvor: https://sites.google.com/site/geometrijskatijela2811/_/rsrc/1528697375153/kocka-i-kvadar/kvadar/kvadar-33-PROZIRNO.png?height=229&width=320

Slika 3.2.1 prikaz zimskog i ljetnog sunca

Izvor : https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQi3v2Pg0n0ktYgraqBvAP4sdOaN5EXwzwUQALSBi_6DVHDcWBKDffNEK6G2aRE8YczNjY&usqp=CAU

Slika 3.2.2 Prikaz pasivne kuće sa južnom orijentacijom

Izvor : https://www.menerga.hr/wp-content/uploads/sites/4/2017/02/pasivna-hisa-pasivna-gradnja.jpg

Slika 3.3.1.Prikaz ulaska topline te apsorbiranje iste

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

Slika 3.4.1 Smještaj prostorija u odnosu na strane svijeta

Izvor : https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTG7F2xVORljqjbY0_UmYOAbL61hvJ4WUMj_A&usqp=CAU

Slika 3.5.1 Izoliranje mineralnom vunom i xps-om

Izvor : https://www.troskovnik.net/wp-content/uploads/2020/04/cijena-izrade-fasade-600x600.jpg

Slika 3.5.2 Izoliranje poliuretanskom pijenom

Izvor : https://hr.seolearnbd.com/f/5366d2ba30c9abbe32851e98138c7387

Slika 3.5.3 Izoliranje ovčjom vunom

Izvor : https://www.zelena-gradnja.hr/wp-content/uploads/2020/07/block-termoizolacija-od-ovcje-vune-2.jpg

Slika 3.5.1.1 Staklena vuna

Izvor : https://potkrovlje.ba/wp-content/uploads/2018/06/cutout_247154_detail_picture_1.jpg

Slika 3.5.1.2 Kamena vuna

Izvor : https://www.ikoma.hr/content/product/image/m/kamena-vuna-za-fasade-fkd-s_thermal.jpg

Slika 3.5.2.1 Stirodur (XPS)

Izvor : https://www.ikoma.hr/content/product/image/m/stirodur.jpg

Slika 3.5.2.2 Stiropor (EPS)

Izvor : https://www.gradimo.hr/wp-content/uploads/2008/07/stiropor.png

Slika 3.6.1.1 Prikaz gradnje porobetonom

Izvor : https://www.maximuscentr.com.ua/wp-content/uploads/2017/01/YTONG_0_08._download-1-1024x680.jpg

Slika 3.6.1.2 Opeka punjena perolitom

Izvor : https://profibaucentar.hr/wp-content/uploads/2019/05/porotherm-izo-profi-32-147294.jpg

Slika 3.6.1.3 Oplatni polistiren

Izvor : https://pravimajstor.hr/site/papers/gradnja/kako-se-radi/slike/polistirenBlok.jpg

Slika 3.6.2.1 Prikaz lagane gradnje pri čemu gledajući s lijeva na desno zadnja dva primjera koriste se kod pasivne gradnje

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

Slika 3.7.1.1 Prikaz prolaza topline kroz različite vrste ostakljenja
Izvor : Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.
Slika 3.7.2.1 Okvir prozora za pasivne kuće u ovom slučaju punjen poliuretanskom pijenom
Izvor : https://spectrumarchitectural.com/wp-content/uploads/2017/02/studio-timber-HF310-246x300.jpg
Slika 3.7.3.1 Prikaz rolete sa ugrađenom toplinskom izolacijom
Izvor : https://europrofil.ba/wp-content/uploads/2016/11/exte-elite5.jpg
Slika 3.7.4.1 Presjek vrata pasivne kuće
Izvor :
https://www.reynaers.co.uk/sites/default/files/public/styles/square_big/public/product/images/masterline%208-hi%2B%20door_2%20sided%20flush%20panel%20door_3d_passive%20housing%20detail%20with%20dripnose.jpg?itok=OA6EztVx
Slika 4.1.1.Princip djelovanja geometrijskih toplinskih mostova
Izvor: Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.
Slika 4.1.2 Usporedba temperature na unutarnjoj površini zida kod izoliranog i neizoliranog zida
Izvor: Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.
Slika4.2.1 Temperatura na uglu s obzirom na različite debljine toplinske izolacije
Izvor: Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.
Slika 4.2.2 Prikaz pravilno izvedenog toplinskog plašta
Izvor: Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.
Slika 5.1.1 Prikaz zrkonepropusne linije kod pasivne kuće
Izvor: Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.
Slika 5.2.1 Test Blower Door
Izvor : https://www.epsgroup.co.uk/wp-content/uploads/2020/07/IMG_2762.jpg
Slika 5.4.1 Brtvljenje prozora ekspanzivnom trakom radi zrakonepropusnosti
Izvor : https://cdn.acumeninterior.com/img/eksploatacja-domu/2492414/uszczelnianie-okien-sprawd-3.jpg
Slika 5.5.1 Zrakonepropusna instalacijska kutija
Izvor : https://pitalarm.hr/wp-content/uploads/2015/12/1-495x400.jpg
https://pitalarm.hr/wp-content/uploads/2015/12/11-495x400.jpg
Slika 6.1 Shema ventilacije
Izvor : https://ecos.ba/wp-content/uploads/2019/02/Kontrolirana-ventilacija.jpg

Slika 6.1.1 Rekuperator

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

Slika7.1.1 Princip rad toplinske crpke

Izvor : https://mcsolar.hr/new/wp-content/uploads/2018/02/principrada-toplinske-crpke.v1.jpg

Slika 7.2.1 Prikaz dobivanje topline od površinske zemlje

Izvor : https://www.emajstor.hr/showfile.php?id=908

Slika 7.2.2 Zračna dizalica topline

Izvor : https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQGTBnUO_PjffiML53uPRjLXzgerttmpPStOQ&usqp=CAU

Slika 7.2.3 Dizalica topline podzemnih voda

Izvor : https://www.vaillant.ba/media-master/global-media/vaillant/illustration/hp10-6282-01-155825-format-flex-height@345@retina.jpg

Slika 7.3.1.1 Shema grijanje sanitarne vode pomoću PSE

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

Slika 7.3.1.2 Vakumski PSE

Izvor : https://www.njuskalo.hr/image-w920x690/grijanje-hladenje-ostalo/solarni-vakuumski-kolektori-vakumski-kolektor-certificirano-slika-2359677.jpg

Slika 7.3.1.3 Pločasti PSE

Izvor :

Slika 7.3.2.1 Shema rada fotonaponskog modula

Izvor : https://eko-sustav.hr/wp-content/uploads/2015/04/strucniclanak1.jpg

Slika 7.3.2.2 Izgled fotonaponskih pretvornika

Izvor : https://buildex.techinfus.com/wp-content/uploads/solnechnye-paneli2.jpg

11. Popis tablica

Tablica 1.Prikaz godišnje potrošnje lož ulja za grijanje 100 m² tri energetsko različita objekta
Izvor : autor
Tablica 2. Prikaz godišnje potrošnje peleta za grijanje 100 m² tri energetsko različita objekta
Izvor : autor
Tablica 3. Zrakonepropusnost materijal
Izvor : Senegačnik Zbašnik, M. (2009). Pasivna kuća, Zagreb, SUN ARH d.o.o.

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, Sebastijan Fotak pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom " Pasivna kuća " te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
Sebastijan Fotak

(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, Sebastijan Fotak neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom " Pasivna kuća " čiji sam autor.

Student/ica:
Sebastijan Fotak

(vlastoručni potpis)