

SVEUČILIŠTE U RIJECI
STUDIJ POLITEHNIKE

ZAVRŠNI RAD
PASIVNA KUĆA

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Lidija Runko Luttenberger

Student:

Antonia Škarpin

Rijeka, 2019.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
STUDIJ POLITEHNIKE

Povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Sveučilište u Rijeci Odsjek za politehniku	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. Broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: Antonia Škarpin

Mat.broj:

Naslov: Pasivna kuća

Opis zadatka: Obraditi energetske efikasnu pasivnu kuću s minimalnom ugljičnim otiskom s gledišta grijanja, hlađenja i drugih potreba, pri čemu je potrebno razmotriti i utjecaj položaja i okolne vegetacije na energetske potrebe kuće. Rezultat istraživanja prikazati na primjeru uz prikaz kvantificiranja ekološke koristi i ušteda u odnosu na konvencionalno rješenje kuće.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Lidija Runko Luttenberger

Rok predaje rada:

3. lipnja 2019.

Predsjednik povjerenstva:

Doc.dr.sc. Damir Purković

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
SAŽETAK.....	IV
1 UVOD.....	1
2 PASIVNA KUĆA.....	3
2.1. Pojam i definicija pasivne kuće	3
2.2. Povijest izgradnje pasivnih kuća.....	4
2.3. Strategija izgradnje pasivne kuće.....	6
3 TOPLINSKA (TERMALNA) UDOBNOST	11
3.1. Toplinska ravnoteža ljudskog tijela	11
3.2. Mjerenje udobnosti	12
4 ZAMRAČIVANJE	14
4.1. Zamračivanje sunca.....	14
4.2. Prozori.....	17
4.3. Naprave za zamračivanje	18
4.4. Nove metode zamračivanja.....	20
5 OSTALI ASPEKTI PASIVNE KUĆE.....	23
6 PASIVNE KUĆE U HRVATSKOJ	25
7 ZAKLJUČAK.....	27
LITERATURA.....	29
PRILOZI.....	30

POPIS SLIKA

Slika 1. Prve pasivne kuće (Island) [3].	5
Slika 2. Prva pasivna zgrada (Darmstadt) [3].	6
Slika 3. Primjena načela pasivne gradnje [4]	6
Slika 4. Čimbenici koji utječu na percipiranje toplinske udobnosti [8]	12
Slika 5. Različiti načini sunčevog zračenja koji utječu na zgrade [9]	14
Slika 6. Prikaz Sunčevog spektra [10]	15
Slika 7 . Prikaz LT vrijednosti [11]	16
Slika 8. Prikaz g vrijednosti [11]	17
Slika 9. Prikaz efekta staklenika u odnosu na prozor	18
Slika 10. Različite vrste uređaja za zamračivanje [12]	20
Slika 11. Prikaz premazanog stakla u odnosu na obično prozorsko staklo [13]	21
Slika 12. Prozor zastakljen aerogelom [15]	22
Slika 13. Jednostavni oblici gradnje	23
Slika 14. Prikaz pojedinih materijala i njihov toplinski kapacitet [1]	24
Slika 15. Pasivna stambena zgrada (Žminj) [16]	25

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz usporedbe cijena za godišnju potrošnju lož ulja i peleta kod obične, niskoenergetske i pasivne kuće	4
---	---

SAŽETAK

Ušteda energije je postala jedna od najvažnijih tema današnjice. Svijet traži različite načine kako slijediti koncept održivog razvoja i riješiti krizu energetske nestašice. Ovaj se rad temelji na ideji poboljšanja energetske učinkovitosti u zgradarstvu koje je jedan od najznačajnijih potrošača energije. Posljednjih se godina povećala izgradnja pasivnih kuća. Uz ispravne kriterije te točna pravila prilikom konstruiranja, model pasivne kuće je primjer pogodnog iskorištavanja pojedinih oblika energije i postojanja ekološke svijesti ograničenosti resursa. Cilj pasivnih kuća tradicionalno je bio energetska učinkovitost. Svrha ovog rada je iskazati kako se u pasivnoj kući postižu najbolje kombinacije niske potrošnje energije i dobre unutarnje klime. Potrebno je držati se koncepta izgradnje poput nepropusne konstrukcije, pravilne orijentacije, dobre izoliranosti i sl. Unutarnja klima ovisna je o čimbenicima okoline, koji utječu na čovjekovu udobnost boravka u životnom prostoru. Kvalitetno zamračivanje pogoduje ugodnijem stanovanju te kontrolu nad sunčevom svjetlošću.

Ključne riječi: Pasivna kuća, ušteda energije, zgradarstvo, energetska učinkovitost, unutarnja klima, orijentacija, zamračivanje.

PASSIVE HOUSE

Saving energy has become one of the most important issues. The world seeks different ways to pursue the concept of sustainable development and to solve the crisis of energy shortages. This work is based on the idea of improving energy efficiency in building sector, one of the most significant energy consumers. In recent years, the construction of passive houses has increased. With right criteria and correct design rules, the passive house model is an example of the appropriate use of particular forms of energy and prevailing environmental awareness of resource constraints. The goal of passive houses has traditionally been energy efficiency. The purpose of this paper is to demonstrate how best combinations of low energy consumption and good indoor climate are achieved in a passive home. It is necessary to adhere to the concept of construction such as airtight structures, proper orientation, good insulation, etc. The indoor climate depends on environmental factors that affect personal comfort in a living space. High-quality shading is conducive to more comfortable living and control of the sunlight.

Keywords: passive house, energy saving, buildings, energy efficiency, indoor climate, orientation, shading.

1 UVOD

Budući da su klimatske promjene postale značajan problem povećanja emisija stakleničkih plinova, građevinska industrija se okreće prema energetski učinkovitijim i održivijim metodama gradnje. Održivi razvoj postaje bitna tema. Kyoto protokol je stupio na snagu 16. veljače 2005. godine, a do sada su ga do sada ratificirale 184 stranke Konvencije. Protokol priznaje da su razvijene zemlje odgovorne za visoke razine emisija stakleničkih plinova u atmosferi. Veliki utjecaj na ovaj problem je imalo 150 godina industrijske aktivnosti. Nedovoljna je svijest koliko svatko od nas neprimjereno gospodari prirodom i svime onime što ona pruža. No, sve je jasnije da je zbog brzine klimatskih promjena te uvjeta i prevelikog pritiska na resurse koji osiguravaju energiju, prisutno sve više problema i sa zadovoljenjem potreba sadašnjih, a kamoli budućih naraštaja. Održivim načinom života se poboljšava način življenja i spaja čovjeka s prirodom, kao što je to bilo nekad. Velike proizvodne tvrtke i industrije stvaraju značajne količine štetnih i stakleničkih plinova koji imaju negativan utjecaj na životnu sredinu. S druge strane, od pamtivijeka ljudi su koristili samo materijale koje bi pronašli u prirodi (drvo, kamen, slamu) za izgradnju nastambi, iskorištavali energiju od sunca te sakupljali kišnicu za piće, higijenu i ostale životne potrebe.

Ovim radom ukazuje se na mnogobrojne raspoložive mogućnosti izvođenja energetski efikasne pasivne kuće s gledišta grijanja, hlađenja, orijentacije, zamračivanja, vegetacije u okolini i drugih potreba. Nakon uvodnog dijela, u drugom poglavlju se obrađuje općeniti pojam pasivnih kuća, njihov povijesni nastanak te sama strategija gradnje. Zatim su opisani te potkrijepljeni primjerima osnovni principi pasivne arhitekture u različitim kulturama. Strategija izgradnje pasivnih kuća predstavljena je opisivanjem svih potrebnih kriterija i pravila za gradnju.

U trećem poglavlju rada prikazano je kako termalna udobnost utječe na percepciju unutarnje klime gdje čovjek boravi. Izdvojeni su čimbenici poput kretanja zraka, radijacije sunca te relativne vlažnosti prostora koji utječu na sam ljudski organizam. „Zamračivanje“ je naslov četvrtog poglavlja gdje je sadržan opis različitih načina sunčevog zračenja. Nadalje, objašnjene su brojne metode zamračivanja te potrebni uređaji koji kontroliraju prodor sunčeve svjetlosti. Također, posebno je naglašena važnost na korištenje prozorske prevlake.

Peto poglavlje govori o ostalim aspektima pasivne kuće. Obraden je najefikasniji oblik modela pasivne kuće. Navedeni su dodatni materijali koji pogoduju ovakvom tipu gradnje. U posljednjem poglavlju dotaknuta je tema postojanja pasivnih kuća i u našoj zemlji uz navođenje primjera pasivnih zgrada i kuća.

2 PASIVNA KUĆA

2.1. Pojam i definicija pasivne kuće

Podrijetlo naziva pasivna kuća dolazi iz njemačkog jezika: „passivhaus“; što znači „rigorozan“, „dobrovoljan“. Passivhaus kao standard energetske efikasnosti u stambenim i sličnim objektima implicira potrebu za malom količinom energije prilikom zagrijavanja ili hlađenja. On nije ograničen samo na objekte za stanovanje i boravak, nego i škole, bolnice, poslovne zgrade, koncertne dvorane, trgovine i ostalih objekata koji se također mogu graditi prema spomenutom standardu. Ono što je važno istaknuti jest da pasivni oblik gradnje nije dodatak arhitektonskom projektu, nego konstrukcijski proces koji je integriran zajedno s arhitektonskim. Također, iako se uglavnom primjenjuje na novim zgradama, koncept pasivne kuće je moguće koristiti prilikom obnavljanja nekih starih stambenih objekata. Do kraja 2008. procjene broja zgrada Passivhaus kretale su se od 15.000 do 20.000 jedinica diljem svijeta. Do 2017. godine u Sjedinjenim Američkim Državama broj se povećao na više od 1.200 jedinica ukupne površine veće od milijun četvornih metara. Većina pasivnih struktura izgrađena je u zemljama njemačkog govornog područja i u Skandinaviji.

Prema standardima konstrukcija kuća postoje dvije vrste: „obična“ nisko energetska kuća i pasivna kuća. „Obična niskoenergetska“ kuća je tip kuće koji troši maksimalno $30 \frac{kWh}{m^2}$ god. energije potrebne za grijanje. Takve se kuće zovu i "trolitarske kuće". Pod pojmom „običnih“ kuća u Republici Hrvatskoj se podrazumijevaju one kuće koje se grade s prosječno $80-100 \frac{kWh}{m^2}$ godišnje potrebe energije za grijanje. Prema jednostavnom izračunu prikazano u tablici 1, takva kuća na grijanje trošiti otprilike 9 l/m^2 god. lož ulja ili 18 kg/m^2 god. drvenih peleta. U najkraćem smislu, pasivna kuća se definira kao građevina koja nema aktivni sustav za zagrijavanje životnog prostora konvencionalnim (fosilnim) izvorima energije. Stručnjaci ju nazivaju „kuća bez grijanja“. Postoji još i naziv „jednolitarska kuća“, jer se energetska potrošnja može izraziti samo jednom litrom loživog ulja po m^2 na cijelu godinu[1].

Potrošnja za 100 m ²	godišnje litara lož ulja	godišnje kg peleta	cijena godišnje lož ulja	cijena godišnje peleta
Standardno izolirana kuća (Obična kuća)	900	1800	5.058,00 kn	3.420,00 kn
Niskoenergetska kuća	300	600	1.686,00 kn	1.140,00 kn
Pasivna kuća	150	300	843,00 kn	570,00 kn

(Cijena lož ulja 5,62 kn/lit, cijena peleta 1,90 nk/kg)

Tablica 1. Prikaz usporedbe cijena za godišnju potrošnju lož ulja i peleta kod obične, niskoenergetske i pasivne kuće [1].

Ovakva stambena građevina ima unutarnje izvore topline (sam čovjek, uređaji za prozračivanje, uređaji koji oslobađaju toplinu, akumulirana toplina u konstrukciji i sl.), uključuje prinos zračenja sunčeve energije i koristi toplinu zemlje. Pasivna kuća je u suštini energetska štedljiva i ekološki isplativija stambena zgrada kod koje je osiguran ugodan boravak bez uobičajenih sustava grijanja ili uređaja za klimu. Godišnja potrebna potrošnja topline za grijanje zgrade može biti najviše do $15 \frac{kWh}{m^2}$. Toplina za grijanje dovodi se u prostore preko gore već spomenutih uređaja za prozračivanje (grijanje toplim zrakom) koji istodobno osigurava i vraćanje topline istrošenoga zraka [1].

Dakle, iako mnogi često griješe u tome, naziv „pasivna kuća“ ne dolazi od same pasivne uporabe sunčeve energije preko velikih staklenih kolektora okrenutima prema jugu, nego iz činjenice da je ovakav tip građevine poseban po tome što ne treba imati nikakav aktivan sustav za grijanje. Naime, pasivna kuća nije neka nova tehnologija gradnje već dosljedno izvedena vrlo nisko-energetska zgrada prema specifičnim pravilima projektiranja i konstrukcije [2].

2.2. Povijest izgradnje pasivnih kuća

Danas poznati koncept primjera pasivnih kuća razvijen je u Njemačkoj početkom devedesetih godina. Kombinacijom ideja s niskoenergetskim standardima i superizoliranim objektima potpomognutih solarnim sustavima osmišljen je, koncipiran, testiran i sproveden način gradnje koji omogućuje zadržavanje ugodne temperature u unutarnjem prostoru bez konvencionalnih oblika sustava grijanja i hlađenja.

Prvi povijesni modeli pasivne izgradnje u nekim dijelovima svijeta odavno su izgrađeni iako nikad nisu bili poznati pod sadašnjim popularnim nazivom. Od obala Atlantskog oceana na jugu Portugala, preko arapskog Irana, do zemlje izlazećeg sunca – Kine, kuće su građene tako da ne trebaju ni aktivno grijanje, a ni hlađenje.

Na Islandu su još u srednjem vijeku gradili kuće s travom jer je drvene građe bilo sve manje. Iako u to doba nisu imale najprimjerenije i najefikasnije prozore niti ponajbolju ventilaciju, to su bile prve takozvane pasivne kuće (slika 1.). Naime, u Europi, u sedamnaestom i osamnaestom stoljeću je zbog intenzivnog krčenja šuma za potrebe grijanja nastala nestašica drva. Kako bi se izvukli iz takve krize, većina zemalja je pronašla rješenje u vađenju ugljena. Ugljen je poslužio kao sredstvo zagrijavanja životnog prostora. Na Islandu takva solucija nije bila primjenjiva, pa su se inovativni Islandani dosjetili da dobro izolirane kuće ne zahtijevaju masovne količine topline. Svojim izgledom i načinom izgradnje nisu nalikovale na današnji pojam kuće ili bilo kakav prostor za stanovanje.



Slika 1. Prve pasivne kuće (Island) [3].

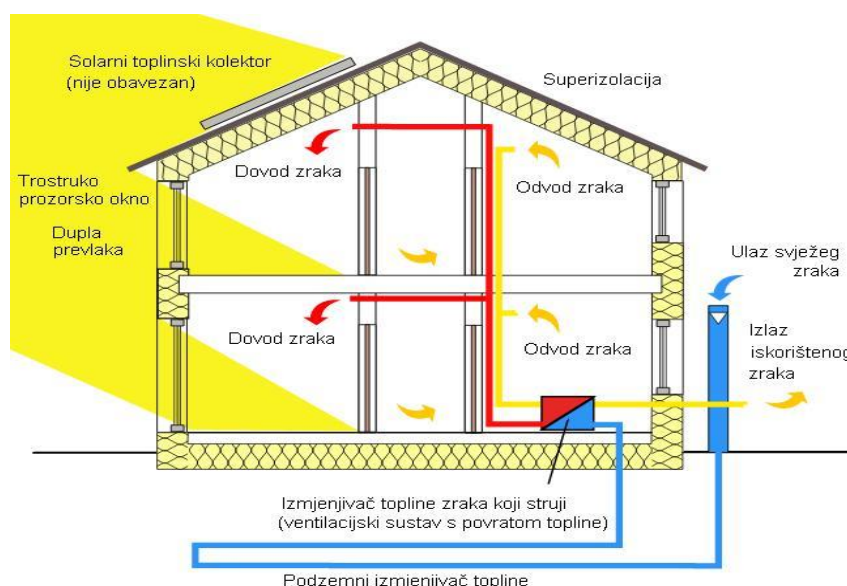
U zapadnom dijelu Njemačke, gradu Darmstadtu 1990. godine izgrađena je zgrada koja izgledom je obuhvaćala karakteristike pasivne konstrukcije. Na njenome krovu postavljene su fotonaponski kolektori, a energija biva akumulirana u spremnicima vodika, to jest skladišti se u kemijskoj energiji vodika (slika 2.).



Slika 2. Prva pasivna zgrada (Darmstadt) [3].

2.3. Strategija izgradnje pasivne kuće

Da bi se ispunili kriteriji izgradnje pasivne kuće, određeni su građevinski zahtjevi koji su nužni za koncept izgradnje pasivne kuće (slika 3.).



Slika 3. Primjena načela pasivne gradnje [4]

U nastavku ovog poglavlja navedena su te najvažnije objašnjena načela.

- **Superizolacija**

Svi dijelovi zgrade moraju imati vrlo visoku razinu izolacije koja sprječava toplinsko premošćivanje i curenje zraka. U-vrijednosti kućnih omotnica moraju biti niže od $0.15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Jaki izolirani prozori postižu se sa tri sloja stakla premazima na više strana i moraju biti ispunjeni argonom. Potrebno je imati energetske učinkovite okvire. Ukupna U-vrijednost za prozore uključujući glazuru i okvire ne smije biti veća od $0.80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ s toplinskim koeficijentom od oko 50% [4].

- **Nepropusna konstrukcija**

Potrebna je visoka razina nepropusnosti zraka kako bi se osigurala jednolika unutarnja temperatura bez propuha i kako bi se izbjegla infiltracija koja ne prolazi kroz izmjenjivač toplinskog sustava što bi dovelo do povećanja potreba za grijanjem prostora.

- **Termalni most**

Treba izbjegavati termalne mostove jer lome termičku izolaciju oko zgrade i mogu uzrokovati ogromne gubitke topline. Termalni mostovi moraju biti niži od $0.01 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [4].

- **Orijentacija**

Preporučljivo je postavljanje velike ostakljene površine orijentirane na južnom pročelju kako bi maksimizirali dobitak sunčeve topline. Veličina prozora mora biti optimizirana kako bi se izbjeglo ekstremno povećanje unutarnjih temperatura tijekom ljeta. Samim time bi se izbjegao velik gubitak topline tijekom zime. Treba uzeti u obzir niske površinske temperature i nelagodu stanara.

- **Vegetacija u okolini**

Vegetacija se sadi na sjevernu stranu kuće, osiguravajući zaklon od hladnih sjevernih vjetrova. Za vrijeme ljeta, lišće na drvećima te njihova sjenila blokiraju prodor sunčevih zraka. U ljetnom periodu izuzetna zaštita od sunca može se postići ozelenjivanjem okoliša grmova. Zimi, listopadnom drveću opada lišće stoga sunce može obasjati cijelu površinu pasivne kuće te time povećavamo iskoristivost dobitaka sunčeve energije.

- **Učinkovita mehanička ventilacija**

Kvaliteta zraka u životnom prostoru od velike je važnosti, što za udobnije stambeno stanovanje, što za zdravlje. Kako bi se osigurala odgovarajuća ventilacija i postizanje dobre razine unutarnje klime, mora se osigurati učinkovita mehanička ventilacija zraka. Potrebna količina svježeg zraka treba iznositi $30m^3/h$ po osobi, a tipična izmjena zraka je između 0.3 i 0.4 ac/h. Svjež zrak se donosi izvana u stan, a ustajao zrak se puše kroz centralni ventilacijski sustav. Uz kontinuirano dovođenje svježeg zraka, izbjegava se pojava vlage. Žbuka od ilovače je također odličan izbor zbog svoje sposobnosti izjednačavanja vlage u prostoru i spremanja topline. Previsoka ili preniska razina vlage može uzrokovati nelagodu udobnosti. Vlažna kućanstva uništavaju čovjekovo zdravlje, a najveći utjecaj imaju na dišni sustav [5].

- **Visoko učinkovit sustav za povrat topline**

Potrebno je instalirati izmjenjivač topline. Većina topline u ispušnom zraku mora se prenijeti na dolazni svjež zrak postizajući učinkovitost veću od 80%. Uređaj mora biti vrlo tih i energija koja se koristi za ventilatore mora biti vrlo niska. Ventilacijski sustav mora biti opremljen prenosnicom za izmjenjivač topline kako bi se izbjegle visoke temperature tijekom ljeta. Cijevi moraju biti izolirane. Postoji mogućnost korištenja tla za grijanje ili hlađenje [6].

- **Toplinska pumpa**

Toplinska pumpa je oblik uređaja koji omogućava prijenos toplinske energije na način korištenja dodatne energije za rad poput struje za kompresor te pomoću freona. Način izvođenja je iz sustava niže temperature razine (voda, zemlja, zrak) u sustav gdje je viša

toplinska razina (centralno grijanje). Radi na jednostavnom principu, laički objašnjeno poput „obrnutog hladnjaka“ – umjesto funkcije hlađenja, pumpa radi na principu grijanja.

- **Dodatne uštede energije**

Korištenjem solarnih toplinskih kolektora i PV panela, solarna energija može služiti kao izvor uštede za struju i opskrbu topom vodom. Moraju se koristiti i uređaji s niskom potrošnjom energije.

Dizajn i projektiranje pasivne kuće ovisi o klimatskoj zoni lokacije stanova. U središnjem i sjevernom dijelu Europe obično će se zadovoljiti sva gore navedena načela pasivne gradnje. U toplim krajevima potrebna je izmjena u dizajnu u području pasivnog hlađenja. Energija se dobiva za razne namjene i troši na mnogo načina. Kako bi se održala konstantna klima u zatvorenom prostoru, energija koju pasivne kuće troše mora biti jednaka količini energije koja se njoj isporučuje, prikazano sljedećom jednadžbom (1):

$$Q_{\text{energy}} = Q_{\text{heat}} + Q_{\text{wel}} = Q_{\text{trans}} + Q_{\text{leakage}} + Q_{\text{vent}} + Q_{\text{DHW}} + Q_{\text{dr}} + W_{\text{f}} + W_{\text{h}} - Q_{\text{rec}} - Q_{\text{int}} - Q_{\text{sol}} \quad (1)$$

Q_{energy} = Godišnja neto potrošnja energije,

Q_{heat} = Godišnja neto potrošnja grijanja,

W_{el} = Godišnja potrošnja električne energije,

Q_{tran} = Godišnji gubitak topline zbog prijenosa kroz omotnicu,

Q_{leakage} = Godišnji gubitak topline zbog gubitka zraka ili prozračivanja kroz omotnice,

Q_{went} = Godišnja potrebna toplina za ventilaciju,

Q_{DHW} = Godišnja potrebna toplina za toplu vodu,

Q_{dr} = Godišnji gubitak topline kroz distribucijski i upravljački sustav,

Q_{wf} = Godišnja potrošnja električne energije za vođenje ventilatora, pumpi i upravljačkog sustava,

Q_{wh} = Godišnja potrošnja električne energije za kućnu uporabu,

Q_{rec} = Godišnja količina topline može se vratiti solarnim pločama ili toplinskom pumpom,

Q_{int} = Godišnji iznos toplinske dobiti od stanara, rasvjeta i kućanskih aparata,

Q_{sol} = Godišnji iznos toplinske dobiti od pasivne solarne energije koja dolazi kroz prozor

U nastavku rada posebno su razjašnjena dva aspekta pasivne kuće – toplinska (termalna) udobnost te zamračivanje. Vrlo je važno obratiti pozornost na ova dva aspekta prilikom konstruiranja pasivne kuće. Toplinska udobnost je mentalno stanje zadovoljstva čovjeka s toplinskim okolišem, što je subjektivan parametar. Uz sva načela pasivne gradnje, poželjno je da takva kuće bude i ugodna iz razloga što je bitno u kakvom će okruženju te u kojim uvjetima čovjek boraviti. Zadovoljstvo boravka u ovom slučaju, u pasivnoj kući, pridonijeti će boljoj radnoj atmosferi čovjeka.

Postoje brojne svrhe prozora, za pružanje prirodne svjetlosti, za gledanje izvana, puštanje svježeg zraka i slično. U pasivnoj kući zamračivanje (sjenčanje) igra vrlo važnu ulogu u održavanju dovoljne hladnoće zgrade. Bez odgovarajućeg zasjenjenja ljeti, sunčeva svjetlost može brzo povećati unutarnje temperature. Pasivne kuće često su dizajnirane da iskoriste sunčev kut postavljanjem ispravno dizajniranih uređaja za zamračivanje koji smanjuju solarni dobitak tokom ljeta. No, zimi, kada je kut svjetlosti manji, zamračivanje omogućuje solarne dobitke omogućavajući prodor svjetlost i toplinu unutar pasivne kuće, što pridonosi ugodnijem boravku.

3 TOPLINSKA (TERMALNA) UDOBNOST

Ovo poglavlje sadrži opis kako je ljudsko tijelo pogođeno klimom koja ga okružuje. U nastavku se opisuje kako se toplinska udobnost mjeri Fangerovim indeksima udobnosti i kako je to opisano u standardima. Opisano je i kako toplinska udobnost utječe na ljudsko tijelo.

3.1. Toplinska ravnoteža ljudskog tijela

Ljudsko tijelo i održati temperaturu oko 37°C. Čimbenici okoline koji utječu na toplinsko ravnotežno stanje su temperatura zraka, srednja temperatura zračenja te relativna vlažnost. Temperatura zraka i srednja temperatura zračenja izravno utječu na toplinsku ravnotežu tijela. Relativna vlažnost utječe na brzinu isparavanja znojenjem i time na sposobnost hlađenja ljudskog tijela. Postoji još čimbenika koji utječu na toplinsku ravnotežu kod ljudi. To su razina aktivnosti i odijevanja. Razina aktivnosti mjeri se kao metabolička brzina (met). Jedinica met je ekvivalent za proizvodnju topline od 58 W/m². Mjerni faktor m² odnosi se na površinu osobe. U skandinavskim zemljama se pretpostavlja vrijednost od 1.77m², što čini 102W za Šveđana.

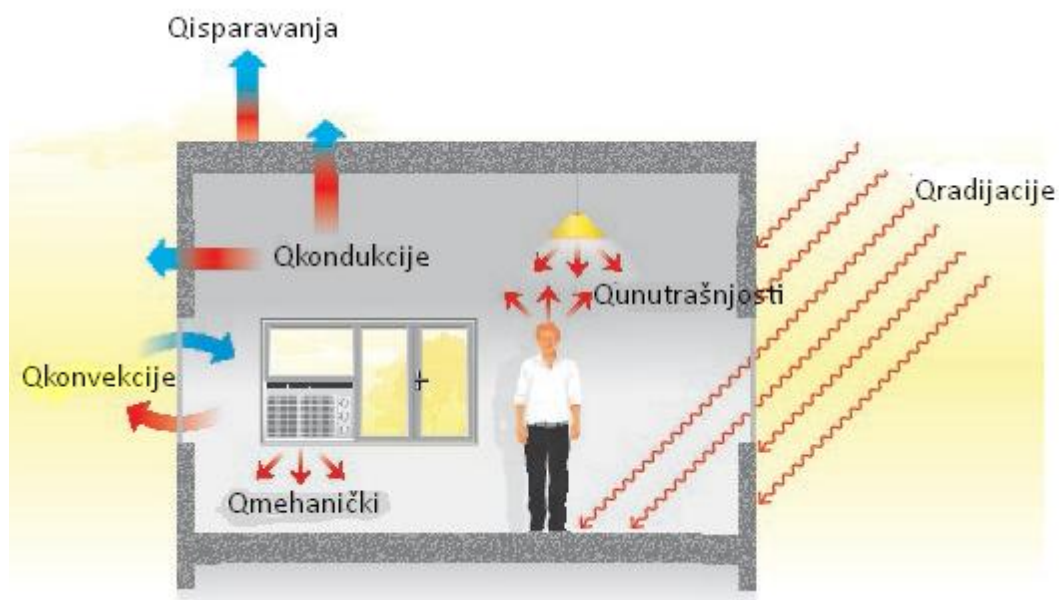
Odjeća utječe na toplinsku otpornost i mjeri se u posebnoj jedinici. Učinak izolacije odjeće može se mjeriti u jedinici Clo (clothing and thermal insulation) gdje 1 Clo je jednak 0,155 m²K /W. Kada je Clo = 0 to je golo stanje osobe, dok Clo = 1 odgovara izolacijskoj vrijednosti odjeće koja je potrebna za održavanje udobnosti osobe koja sjedi u mirovanju u sobi pri temperaturi od 21 °C (70 °F) s kretanjem zraka od 0,1 m/s i vlagom manjom od 50%. Raspon oko 2.2 vrijedi za vanjsku zimsku odjeću [7].

3.2. Mjerenje udobnosti

Termalna udobnost obično se procjenjuje pomoću PPD indeksa (Predicted Percentage Dissatisfied - predviđeni postotak nezadovoljstva) koji uzima u obzir razlike unutar populacije. Utvrđuje statistički postotak nezadovoljnih ljudi koji bi se vjerojatno susreli pri određenim toplinskim uvjetima.

Čimbenici prikazani slikom 4. utječu na percipiranje termalne udobnosti, prema SS-EN ISO 7730:2006, su:

- Razmjena topline (zračenje, kondukcija, konvekcija)
- Odjeća
- Razina aktivnosti u unutrašnjosti prostora
- Kretanje zraka
- Sunčevo zračenje (radijacija)



Slika 4. Čimbenici koji utječu na percipiranje toplinske udobnosti [8]

Iz tih čimbenika određuje se indeks PMV (Predicted Mean Vote – Predviđeni srednji odabir) koji se prebacuje se u toplinsku ljestvicu udobnosti. Ljestvica ima raspon od -3 do 3 gdje je neutralna senzacija na 0. Pozitivni brojevi predstavljaju sve veću toplinsku nelagodu zbog topline, a negativni brojevi zbog hladnoće [8].

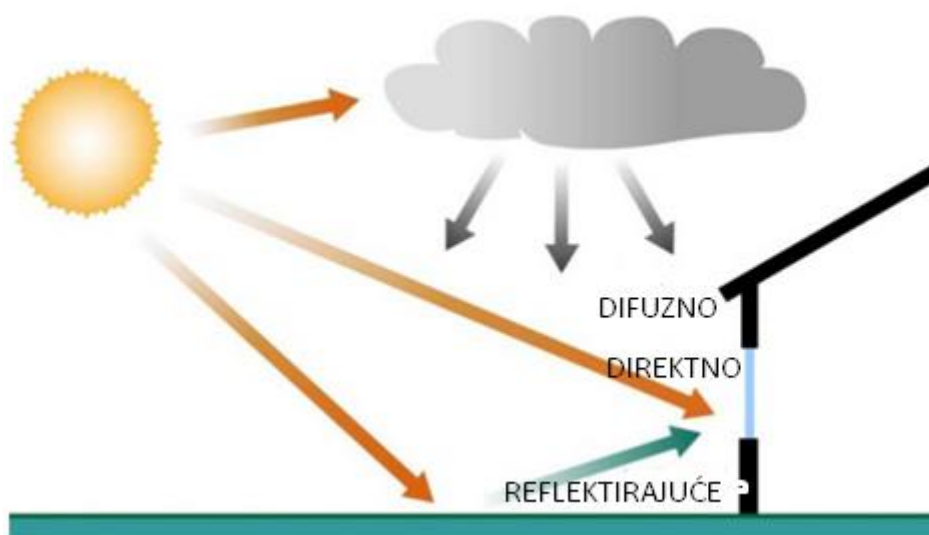
Kao i kod dnevnog svjetla, samo za procjenjivanje fizioloških uvjeta nije dostatno za točno izračunavanje percepcije toplinske udobnosti. Psihološki uvjeti igraju važnu ulogu u procjeni toplinske udobnosti. Primjer takvih psiholoških čimbenika može biti percepcija kontrole nad našim termalnim okolišem. Nacionalne i sezonske povezane razlike igraju važnu ulogu u percepciji unutarnje klime. Visoke unutarnje temperature općenito su prihvaćene tijekom toplih vanjskih uvjeta. Termička norma na koju je organizam navikao također utječe na percepciju unutarnje klime.

4 ZAMRAČIVANJE

Postoje mnoge vrste uređaja za zamračivanje, koji se razlikuju po namjeni i efektima poput ručno sklopive tende, unutarnjeg roletnog sjenila, nadstrešnice koja se uvlači i brojnih drugih. U nastavku ovog poglavlja opisuju se različite vrste uređaja za zamračivanje, njihova primjena te važnost zamračivanja.

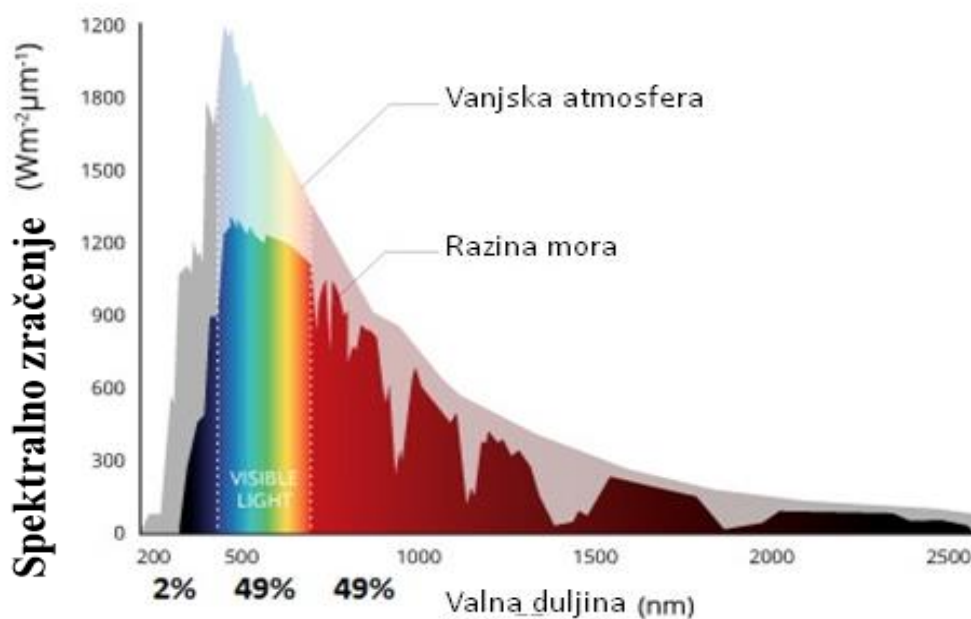
4.1. Zamračivanje sunca

Svjetlost od sunca dio je emitirane energije koja se lako može razumjeti s obzirom na promjene temperature između dana i noći. Ova energija je korisna za kuću tijekom zime jer snižava potrebu za umjetnim grijanjem. Međutim, kada se povećava vanjska temperatura, ne treba dodatno zagrijavati stanove. Za kontrolu protoka energije sunca koriste se različite metode koje ograničavaju zračenje sunca. Kad zračenje sunca dosegne zemljinu atmosferu, ono sadrži oko 1300 W/m^2 . Od toga, prikazano na slici 5, atmosfera apsorbira 15% i emitira se kao difuzno dugovalno zračenje. Ukupno 6% se odražava natrag u svemir. Preostalih 79% izravno se prenosi na tlo [9].



Slika 5. Različiti načini sunčevog zračenja koji utječu na zgrade [9]

Zračenje koje utječe na konstrukciju može se stoga podijeliti na tri činitelja, slično kao kod dnevnog svjetla, u skladu sa gore prikazanom slikom 5. Izravno zračenje je sunčevo zračenje koje neometano može doći do konstrukcije. Difuzno zračenje je dio sunčevog zračenja koji je apsorbiran atmosferom i emitiran u svim smjerovima. Reflektirano zračenje ili takozvano „sekundarno“ izravno zračenje se sastoji od refleksije s površine ili od difuznog zračenja od objekata uz zemlju. Solarni uređaji za zamračivanje utječu i na svjetlost i toplinsko zračenje sunca, ali ne na jednak način, zbog mogućnosti kontroliranja dijela solarnog spektra koji ometa zamračivanje. Ometanjem određenih valnih duljina, zamračivanje ne mora nužno utjecati na percipiranu svjetlost. Svjetlost s valnim duljinama preko 780 nm nije vidljiva za ljude, stoga sva zračenja iznad ove granice se smatraju samo toplinom. Sadržaj energije u sunčevom zračenju raspoređen je na oko 2% UV spektra (ispod 380nm) i 49% vidljivog spektra i IR spektra. Zbog toga neki sustavi zamračivanja mogu ograničiti nevidljive dijelove zračenja kratkog vala, a da pritom zadrže količinu vidljive svjetlosti (slika 6.) [10].

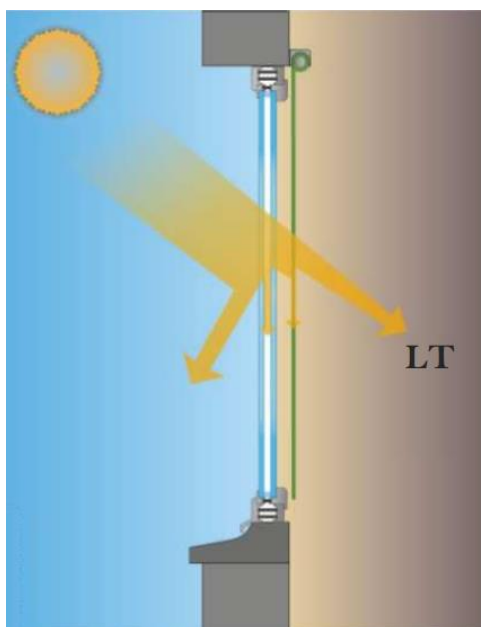


Slika 6. Prikaz Sunčevog spektra [10]

Kada sunčevo zračenje padne na površinu, postoje tri različita moguća ishoda izvođenja, a to su: prenošenje, reflektiranje te apsorbiranje u materijal. To vrijedi i za vidljivu svjetlost i za ukupni sadržaj energije.

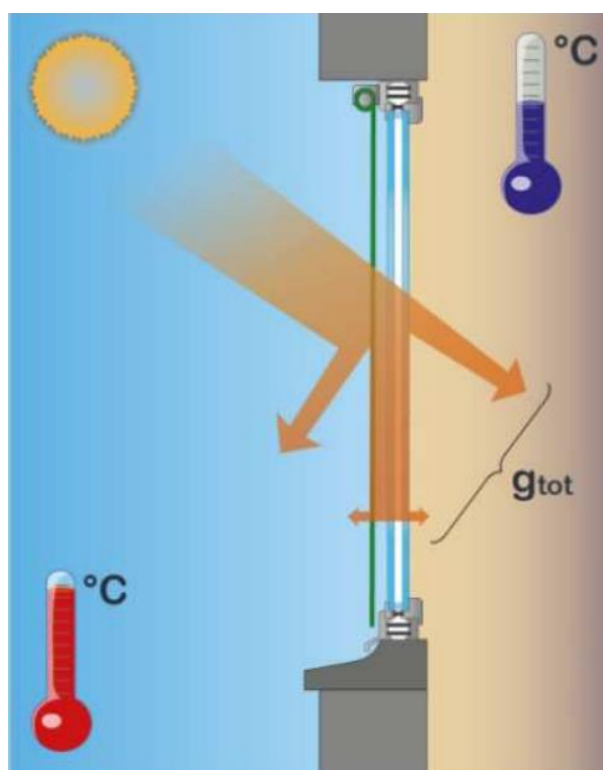
Zbog potrebe za razlikovanjem između njih, nadalje u radu opisani su pojedinačnim koeficijentima. Izraz za vidljivu svjetlost je svjetlosna transmisija (LT – Light Transmission), a za prenošenje energije svjetlosna transmisija se naziva (ST – Solar Transmission). Vidljiva svjetlost je označena brojačno kao postotak (49%) na gornjoj prikazanoj slici 6.

LT vrijednost je postotak preostale vidljive svjetlosti u usporedbi s dolaznim vidljivim svjetlom. U ovom pojednostavljenom slučaju svjetlo se reflektira na staklo i prolazi zamračenje, postižući LT vrijednost od oko 20% prikazano na sljedećoj donjoj slici 7 [11].



Slika 7 . Prikaz LT vrijednosti [11]

Za mjerenje ukupnog prijenosa energije (koje također uključuje sekundarno zračenje od apsorbiranog zračenja) koeficijent solarnog toplinskog zagrijavanja (SHGC - Solar Heat Gain Coefficient) se koristi na međunarodnoj razini. Alternativni nazivi koji se odnose na isti koeficijent solarnog toplinskog zagrijavanja su ukupna solarna transmisija (TST – Total Solar Transmission) i g-vrijednost, a to su europski pojmovi. G-vrijednost (slika 8.) je omjer preostale energije u odnosu na ulaznu energiju. U slučaju pasivne kuće to se odražava na vanjski zastor i apsorbira u tkaninu i staklo, gdje pojedina energija zrači u sobu [11].



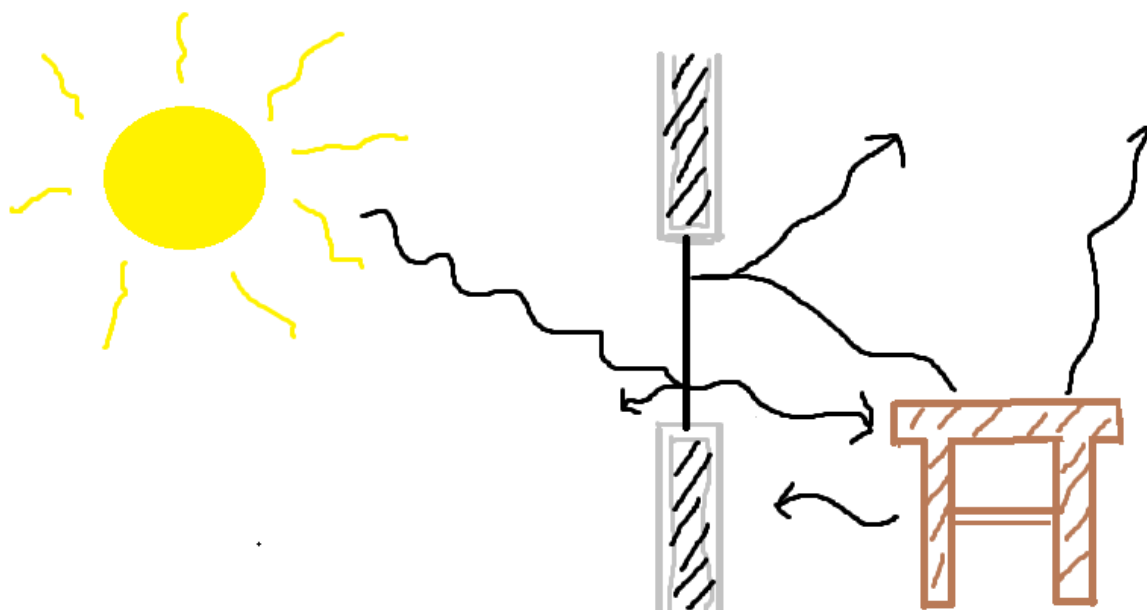
Slika 8. Prikaz g vrijednosti [11]

Zamračivanje se najčešće sastoji od različitih objekata koji međusobno djeluju, kao što su zastori, okolna stabla, prozorsko staklo itd. Aproximacija ukupnog koeficijenta za sustav sjenila se utvrđuje množenjem različitih vrijednosti komponenti jedne s drugom.

4.2. Prozori

Kao opće pravilo vrijedi da bolja toplinska izolacija, ima manju propusnost svjetlosti. To je zbog dodatnih staklenih ploča kroz koje svjetlost treba proći, kao i niske emisije premaza. Obično čisto staklo omogućuje prolaz skoro svim valnim duljinama. To znači da se gotovo sve ulazne energije apsorbiraju različitim materijalima unutar zgrade, što rezultira povećanom temperaturom. Površine tih materijala, zauzvrat, emitiraju zračenje u dugom valnom IR spektru koji ne može proći kroz staklo pa se stoga reflektira natrag u prostoriju. To se obično naziva efekt staklenika.

LT i g-vrijednosti se jako razlikuju ovisno o svojstvima stakla. Količina stakla, plin između njih i različiti premazi s niskim emisijama mogu mijenjati ove parametre kako bi odgovarali većini situacija. Pri razmatranju učinka prozora na dnevnu svjetlost, položaj postavljanja prozora je također bitan (slika 9.). Što je prozor postavljen više na zid, dalje će sunčeva svjetlost prolaziti u prostoriju. Većina zraka kratkog vala prolazi kroz staklo i zagrijava sobu. Dugotrajno zračenje ne može se lako prenositi, a energija ostaje unutra.



Slika 9. Prikaz efekta staklenika u odnosu na prozor

(Izvor: izradila studentica)

4.3. Naprave za zamračivanje

Uređaji za zamračivanje dolaze u mnogim oblicima. Opća razlika može se napraviti na temelju položaja i kontrole. Uređaji za zamračivanje postavljeni su na staklo prozora, između staklenih ploča ili na vanjskoj strani zgrade. Mogu se dalje grupirati na temelju njihove kontrole. Ručni, automatski i fiksni uređaji za zamračivanje predstavljaju moguće strategije upravljanja sunčevim zrakama.

Mobilni uređaji za zasjenjivanje imaju prednost prilagodbe. Mogu se kontrolirati kako bi zasjenili sunce kada je to potrebno i omogućili ulazak svjetla i topline tijekom hladnijih situacija. Uvijek je korisno postaviti uređaje za zamračivanje na vanjski dio zgrade jer dio apsorbiran u uređaju za zamračivanje neće utjecati na unutrašnjost. Fiksno zamračivanje, obično postavljeno izvana, uvijek će negativno utjecati na godišnju potražnju za grijanjem. Iako se kut može optimizirati, to je inferiorno rješenje, posebno kada se uzima u obzir dnevno svjetlo.

Iskorištavanje kvalitete fiksnog zamračivanja je da se ne traži nikakav upravljački sustav i da se ne koriste pokretni dijelovi koji zahtijevaju održavanje. Također su u stanju zamračiti izravnu svjetlost dok propuštaju difuznu svjetlost, pružajući dnevno svjetlo i pogled na van.

Efikasnost pokretnog sjenila je u velikoj mjeri utemeljen na učinkovitosti kontrolnog sustava. Ručna kontrola, budući da je ručna, uvijek će odstupati od optimalne uporabe dok stanari upravljaju kontrolom. S druge strane, ručna kontrola ili njihova percepcija mogu dovesti do većeg stupnja toplinske udobnosti. Automatska kontrola obično se vrši mjerenjem intenziteta svjetlosti. Ostali mehanizmi kontrole uključuju vremenski raspored, kontrolu na temelju sunčanog kuta i temperature.

Uobičajeni uređaji (slika 10.) za vanjsko zamračivanje obuhvaćaju rolete, zaslone, tende, sjenila i različite izbočene građevinske dijelove kao što su balkoni. Budući da su vanjski, oni pružaju sjenčanje ovisno o položaju sunca, tako da se g-vrijednost sjenčanja mijenja tijekom dana, ali i tijekom godine ovisno o položaju sunca. Općenito su korisnije na jugu gdje je kut prema suncu povećan i može biti potpuno neučinkovit na istočnoj i zapadnoj fasadi gdje je niski kut od sunca češći. Postoje različite vrste unutarnjih sjenila koje su najčešće korištene kao naprimjer zavjese, unutarnje roletasto sjenilo, unutarnja ventilacijska zavjesa te brojne druge. U stambenim kućama, dodatno zamračivanje obično osiguravaju zavjese i biljke smještene unutar prozora. Zastori koji se upotrebljavaju iznutra obično se ne koriste kao način izbjegavanja topline, već za sprječavanje pogleda drugih ljudi [12].



Slika 10. Različite vrste uređaja za zamračivanje [12]

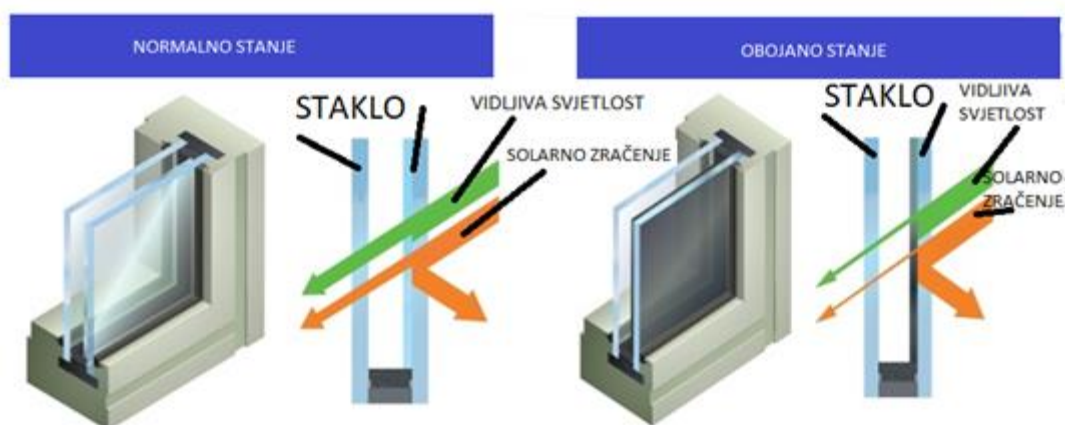
4.4. Nove metode zamračivanja

Postoje i drugi načini puštanja svjetlosti u stan uz ograničavanje priljeva topline. Jedan takav način je korištenje prilagodljive površinske prevlake na prozorima. Ovi premazi mijenjaju g-vrijednost prozora i kao takvi djeluju na zamračivanje sunca (slika 11.).

Dostupne prevlake dolaze u tri različite varijacije:

- Termo kromatični premazi
- Elektro kromatični premazi
- Foto kromatični premazi

Kao što govore i sami nazivi, kontroliraju ih toplina, struja i svjetlost [13].



Slika 11. Prikaz premazanog stakla u odnosu na obično prozorsko staklo [13]

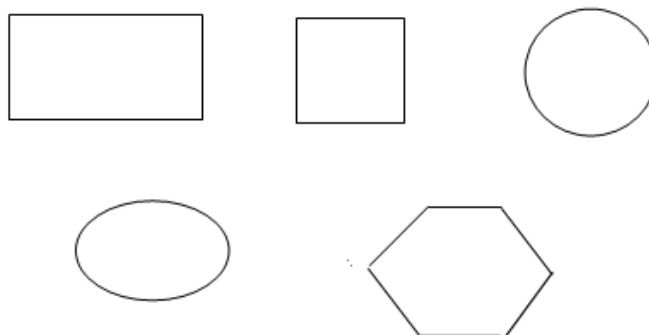
Ostali netradicionalni načini uključuju prozirnu izolaciju. Korištenje transparentnih izolacijskih materijala osigurava čitav niz mogućnosti prilikom projektiranja zgrada. Najbolji materijal u ovom trenutku je Aerogel, koji ima relativno slabu propusnost za svjetlost, ali daje vrlo dobru U vrijednost. Aerogel (slika 12.) je krhak materijal koji ima najveću vrijednost toplinske izolacije, najnižu gustoću i najnižu zvučnu provodljivost. Njegova izuzetno niska toplinska provodljivost iznosi od 0,03 W/mK; za razliku od ostalih materijala poput opeke (0,15-0,6 W/mK), betona (0,8-2,5 W/mK), mineralne vune (0,04 W/mK), stiropora (0,03 W/mK) [14].



Slika 12. Prozor zastakljen aerogelom [15]

5 OSTALI ASPEKTI PASIVNE KUĆE

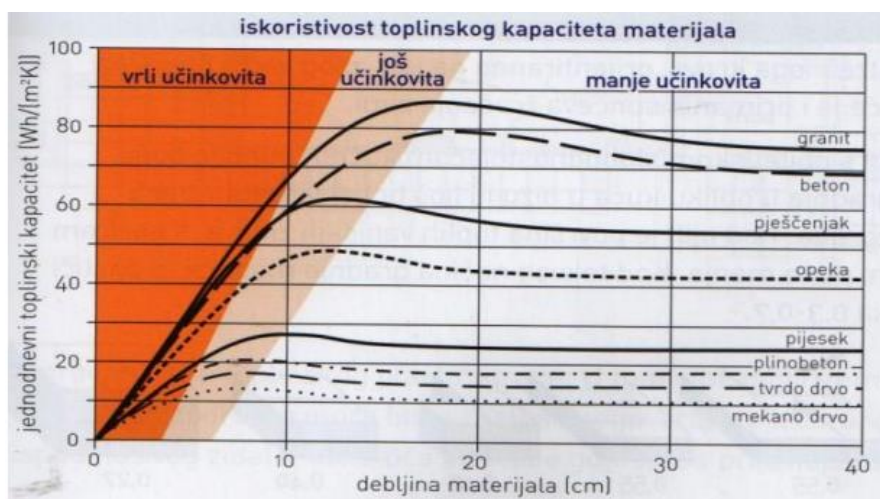
Osim ranije spomenutih strategija izgradnje pasivnih kuća, termalne udobnosti te faktora zamračivanja, postoje i drugi važni kriteriji na koje treba obratiti pozornost prilikom projektiranja kuće. Jedan od njih je najefikasniji model konstrukcije. Kod samog projektiranja pasivne kuće preferira se oblik koji djeluje kompaktno, a pritom i jednostavno sa što manje balkona, verandi kako bi se poboljšala bolja toplinska svojstva pasivne kuće.. Vrlo je važno pravilo da: vanjska površina plašta zgrade u odnosu na volumen mora biti što manja. Odnos između površine vanjskog oplošja grijanog dijela kuće te volumena grijanog dijela kuće naziva se faktorom oblika zgrade (f_o). Zidovi, krovovi, prozori te ostali dijelovi vanjski dijelovi predstavljaju ovojnici zgrade koja se definira kao površina vanjskog oplošja grijanog dijela kuće. Navedeni primjeri razdvajaju grijani dio zgrade. Za pasivnu gradnju vrlo je bitno zadovoljiti upravo ovaj faktor koji je najbolji kada je oblik građevine kompaktan i jednostavan. Upravo zato se koriste takvi oblici gradnje poput pravokutnika, kruga, šesterokuta, elipse, kvadrata i ostalih jednostavnih geometrijskih oblika prikazani na slici 13.



Slika 13. Jednostavni oblici gradnje

(Izvor: izradila studentica)

Sa arhitektonskog stajališta, važna je i upotreba građevinskih materijala. Meki materijali i glatke površine poput tekstila, poroznih površina ili čak drva poboljšavaju termalnoj udobnosti. Ravne i tvrde površine (izrađene od metala ili kamena) smatraju se manje pogodnima za toplinsku udobnost. Stoga, korisno je uzimati građevinske materijale koji se smatraju estetski lijepima te ugodnijima. Naravno, treba uzet u obzir kako ti materijali (slika 14.) pogoduju u pasivnoj gradnji. Primjerice, pod od masivnog materijala je dobar zbog svog velikog toplinskog kapaciteta. Prilikom gradnje treba uzeti u obzir toplinske kapacitete pojedinih materijala. [1]



Slika 14. Prikaz pojedinih materijala i njihov toplinski kapacitet [1]

6 PASIVNE KUĆE U HRVATSKOJ

U Republici Hrvatskoj trenutno je izgrađeno nekoliko objekata pasivne kuće. U njima potrošnja energije za grijanje iznosi 80 posto manje nego kod klasičnih kuća. Grad koji najviše prednjači u pasivnoj gradnji je Koprivnica, zatim Osijek, Sveta Nedjelja, Zadar i brojni drugi. Odličan primjer pasivne zgrade nalazi se na otoku Krku, u Salatićima. Ovo je primjer višestambene zgrade koja za svoj primarni energent koristi energiju Sunca za zagrijavanje životnih prostora i potrošnju vode. U budućnosti se očekuje da uz pomoć fotonaponskih ćelija posluži i za proizvodnju električne energije. Primjer naprednije pasivne izgradnje je poslovno-stambena zgrada u Žminju, površine 802 m² te planiranim godišnjim troškovima grijanja od svega 1 200 kn (slika 15.)



Slika 15. Pasivna stambena zgrada (Žminj) [16]

Zgrada dobiva struju iz svoje vlastite fotonaponske elektrane. Sadrži samoventilirajuću fasadu te dizalicu topline koja upotrebljava hladnoću iz zemlje za zagrijavanje ili hlađenje unutrašnjosti. Solarni kolektori služe za pripremu tople vode te ima sustav za rekuperaciju zraka [16].

Dosadašnji domaći primjeri pasivne gradnje su nažalost još uvijek malobrojni. Za intenziviranje pasivne gradnje nužni su regulatorni i financijski instrumenti koji se mogu donositi na nacionalnoj razini i na razini jedinica lokalne samouprave. Nadalje, važno je kod investitora i projektanata jačati svijest, saznanja i kapacitete o projektima pasivnih kuća, od temelja do finalne konstrukcije, opreme i ušteda koje se ostvaruju njihovim korištenjem. Naime, mudri će investitor u zamjenu za samo 10-20% veće ulaganje u izgradnju dobiti stambeni, privatni, javni, poslovni ili proizvodni objekt koji će tijekom narednih desetljeća štedjeti i do 90 posto energije za grijanje, hlađenje i ostale kućanske aparate. Ironija je da građani koji žive na sjeveru Hrvatske imaju razvijeniju ekološku svijest od onih u Dalmaciji koja je više pod suncem. U budućnosti treba nastojati to promijeniti, kako bi i jug Hrvatske radio na korištenju sunčeve energije koju ima napretek.

7 ZAKLJUČAK

Pasivna kuća je idealno stambeno rješenje jer uz značajne uštede energije, istovremeno osigurava izuzetno zdrav i ugodan boravak stanara u takvom ambijentu. Pasivna kuća poštuje načela održivosti i zbog toga je ona izvrstan koncept i za sadašnjost i za budućnost. Pasivna kuća je energetska učinkovita, financijski isplativa, ugodna, ekonomična i ekološki održiva. Standard pasivne kuće podrazumijeva pokušaj smanjenja potrošnje energije uz korištenje obnovljivih izvora energije (ponajviše Sunčeve energije) te omogućuje ugodno stanovanje. Trenutačno na svijetu postoji vrlo mali broj energetski izgrađenih i učinkovitih kuća te zgrada, ali se sa svakom novom energetski učinkovitom kućom ostvaruju prijeko potrebna iskustva koja se onda mogu iskoristiti u gradnji još boljih i kvalitetnijih kuća. Sve će nove gradnje u vrlo skoroj budućnosti morati poštovati načela energetska učinkovite kuće

U ovom radu se analizira s povijesnog aspekta pasivnu kuću, njezinu gradnju uz načela i principe projektiranja te razne metode zamačivanja. U ostalim aspektima pasivne kuće navedeno je kako oblik utječe na projektiranje. U posljednjem poglavlju dan je osvrt na ekološki osviješteno stanovanje koje zamah dobiva i u Republici Hrvatskoj, gdje se u budućnosti očekuje sve veće širenje u Dalmaciji.

S obzirom na poskupljenja tradicionalnih konvencionalnih izvora energije za pretpostaviti je da će se sve veći broj ljudi u narednim godinama odlučivati za gradnju kuća po principima pasivne gradnje. Pravilno osmišljenom arhitekturom, visokim standardima građenja, naprednim strojarskim i elektroničkim sustavima te korištenjem obnovljivih izvora energije, pasivna kuća može sama proizvoditi dovoljnu količinu energije. Dosadašnja iskustva pokazala su da energenti stalno poskupljuju. Osim toga, sve se više mijenja društvena svijest o korištenju obnovljivih izvora kao alternativno rješenje za ostvarivanje potreba suvremenog čovjeka. O ovoj temi raste sve veći interes što rezultira ogromnim potencijalom za budućnost pri zadovoljavanju energetska potreba.

Pasivne kuće nesumnjivo su budućnost gradnje, kako zbog svoje samoodrživosti, tako i zbog jačanja svijesti o ekološkim prednostima ove gradnje. Na državama je da posebno mladim investitorima omoguće lakšu dostupnost ovakvog tipa gradnje (poticaji, financiranje uz pomoć tzv. poslovnih anđela, povoljni krediti za mlade, EU fondovi te drugi načini potpore) jer ovakve kuće ne štede energiju samo na vlastitoj razini, nego i na državnoj te globalnoj. Hrvatska se treba ubrzo priključiti europskim trendovima poticanja zelene i ekološki osviještene gradnje.

LITERATURA

- [1] M. Z. Senegačnik: Pasivna kuća, SUNARH, Zagreb 2009.
- [2] Anonimus 17 (2010). „Definicija pasivne kuće“, dostupno na: http://www.korak.com.hr/sos.php?id_sos=307&vijestiPage=2, Datum pristupa: 28.06.2019.
- [3] <https://www.hrastovic-inzenjering.hr/primjena-energije/energetski-clanci/zelena-gradnja/item/553-povijest-pasivnih-kuca.html>.
- [4] https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=316515&fbclid=IwAR3VRgTRxuKx_snTa0oKkaQkXPleJfNUnLGZBVfFwyJHCNZ4ioJGcCWR34
- [5] <http://www.ursa.com.hr/hr-hr/pasivna-gradnja/stranice/pasivna-kuca.aspx>. Datum pristupa: 10.08.2019.
- [6] <http://www.enu.fzoeu.hr/ee-savjeti/pasivne-i-nisko-energetske-kuce/nacela-gradnje-pasivne-kuce>. Datum pristupa: 10.08.2019.
- [7] https://www.engineeringtoolbox.com/clo-clothing-thermal-insulation-d_732.html
- [8] <http://www.ecophon.com/en/about-ecophon/functional-demands/thermal-comfort>
- [9] https://serc.carleton.edu/earthlabs/weather_climate/lab_2.html
- [10] <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/weather/photosynthetically-active-radiation/>
- [11] Izvor: http://www.storen-vsr.ch/files/filemanager/Energie%20und%20Umwelt/ES_SO_Energieeffiziente_Gebaeude.pdf
- [12] <https://arch3230systemsmc.wordpress.com/2012/10/>
- [13] <http://mo.bi/2017/06/30/smart-window-glass-company-view-raises-200m-series-g/>
- [14] <https://pravimajstor.hr/katalog/46530246/rofix-aerogel-innen--unutarnji-toplinski-izolacijski-sustav>
- [15] <http://artofcivilengineering.blogspot.com/2016/05/aerogel-vase-parce-neba.html> Datum pristupa: 11.09.2019.
- [16] <http://www.arhitekti.hr/otvorena-prva-pasivna-poslovna-zgrada-u-hrvatskoj.aspx>

PRILOZI

I. CD-R