

POLITEHNIKA PULA

VISOKA TEHNIČKO-POSLOVNA ŠKOLA s p.j.

ZAVRŠNI RAD

IZGRADNJA NISKOENERGETSKOG (PASIVNOG) OBJEKTA KAO ISPLATIVE INVESTICIJE

Student: Eduard Filipčić Rozze

Mentor: prof. dr. sc. Matika Dario

Pula, rujan 2014.

SADRŽAJ

1. Sažetak	4
2. Uvod.....	5
2.1. Opis i definicija problema	7
2.2. Cilj i svrha rada.....	8
1.3. Hipoteza	8
1.4. Metode rada.....	8
1.5. Struktura rada	8
3. Standardi niskoenergetskih i pasivnih objekata.....	9
2.1. Kategorije niskoenergetskih i pasivnih objekata.....	9
2.1.1. Niskoenergetski objekt	10
2.1.2. Trolitarski objekt	10
2.1.3. Pasivni objekt	10
2.1.4. Nulto-energetski objekt	11
2.1.5. Energetsko samodostatni objekt	11
2.1.6. Plus energetski objekt	11
2.2. Vrste toplinskih gubitaka i dobitaka.....	12
2.2.1. Transmisijski toplinski gubitci	12
2.2.2. Toplinski gubitci od prozračivanja	12
2.2.3. Dobitci sunčevog zračenja	12
2.2.4. Dobitci od unutarnjih izvora	13
2.3. Godišnje potrebe za energijom grijanja pasivne kuće.....	14
3. Temeljna načela projektiranja pasivnog objekta.....	15
3.1. Orijentacija	15
3.2. Iskorištavanje obnovljivih izvora energije	16
3.3. Pohrana sunčeve energije	16
4. Tehnologije gradnje niskoenergetskih (pasivnih) objekata.....	18
4.1. Toplinski mostovi.....	20
4.2. Toplinska izolacija	22
4.3. Vrata i prozori	24
4.4. Zrakonepropusnost.....	29
4.5. Ventilacija	32
4.6. Grijanje.....	35

5. Ekonomska isplativost pasivnog objekta	41
6. Zaključak.....	43
7. Preporuke za daljnji rad.....	44
8. Popis slika i tablica.....	45
9. Literatura	47
10. Pravitak	48

1. Sažetak

Ovaj rad opisuje problematiku koja se javlja kod odabira projekta kod gradnje objekta, dali investirati više novca u izolaciju i prozore te pripaziti kod gradnje te tijekom godina eksploatacije imati manje režijske troškove ili uštedjeti u početku na materijalima te na gradnji i kroz tijek eksploatacije plaćati više režijske troškove. To je čisto ekonomsko pitanje u koje treba uvrstiti i pitanje ugone življenja koje je opet kroz druge potrebe povezano sa ekonomskom stranom. Tako u ovom radu opisuju se standardi pasivnih i niskoenergetskih objekata te se objašnjavaju načini i tehnike gradnje te se analizira njihova isplativost kroz predviđeni rok upotrebe.

This paper work describes a problem that occurs when selecting the project in the construction, whether to invest more money into the insulation and windows and be careful in the construction and exploitation over the years have less overhead costs or save in the beginning on the materials and the construction process and through the course of exploitation paying more overhead costs. It is purely an economic issue to be included in the question of the pleasure of living, which is again the other needs related to the economic side. Thus, this paper work describes the standards of passive and low-energy buildings and explains the methods and construction techniques and analyze their cost effectiveness through planned expiration date.

2. Uvod

Jedna od primarnih čovjekovih potreba je potreba za domom, kojeg je čovjek još od pamtivijeka uređivao kako bi njemu bio ugodan za boravak, funkcionalan i prije svega zdrav. Razvojem moderne civilizacije i tehnike čovjek je sve više poboljšavao svoj dom raznim tehničkim dostignućima, no tada je dom počeo trošiti sve više i više energije. To je u početku bila stvar ugleda, ali kasnije se uvidjelo kako potrošnja energije nije dobra prvenstveno radi zagađenja okoliša a zatim i bespotrebno rasipanje financija. Posljedicom toga danas gotovo svakodnevno slušamo o globalnom zatopljenju, stakleničkom efektu, topljenju ledenjaka, promjenama u klimi i ostalim posljedicama prekomjerne potrošnje energije koje nisu dobre čak ako ne spominjemo ekonomske računice i posljedice koje dolaze s tim pojavama. Tako je nastupila čovjekova potreba za štednjom energije te se počelo projektirati i izvoditi prve niskoenergetske i ili pasivne kuće te zgrade javne i poslovne namjene.

Niskoenergetski ili pasivni objekti dijele se u više kategorija, a svima je zajedničko da su to objekti koji troše iznimno malo, ili čak su sami sebi dostatni u proizvodnji energije za stvaranje čovjeku ugodne i zdrave klime za njegove potrebe života i rada. Današnjim dostignućima čovjek može izvesti "tehnička čuda", od objekata kojima čak nije potrebna vanjska energija, nego uspijevaju biti samodostatni te čak proizvoditi višak energije. Takve vrste objekata generalno se projektira kako bi maksimalno iskorištavali energiju koju im pruža sunce, mora ih se jako dobro toplinski izolirati te se u njih ugrađuju razni sustavi koji im omogućuju nisku potrošnju i čak proizvodnju energije te generiranje viška energije.

Dakle danas postoje tehnike i načini da čovjek napravi objekte koji mogu biti sami sebi dostatni, ali nameće se pitanje koliko je to stvarno isplativo? S financijske strane to su većinom vrlo složeni sustavi, koji nisu jeftini za realizaciju i skupi su za eksploataciju, jer zahtijevaju skuplje i intenzivnije održavanje. Dok s ekološke strane su djelomično prihvatljivi jer ne troše energiju za eksploataciju, ali treba uzeti u obzir isto tako utrošenu energiju i materijal za njihovu izradu – gradnju - proizvodnju, energiju za ugradnju te energiju za njihovo buduće recikliranje.

Kod projektiranja novih objekata ili kod rekonstrukcije postojećih treba paziti na klimatske uvjete gdje se objekt nalazi, na dostupnost energenata, te uvijek treba težiti objektu koji troši što manje energije, po mogućnosti obnovljive, pazeći da se ne ugrađuju sustavi koji nisu potrebni jer bi uvelike povećali cijenu objekta koji nam više ne bi bio isplativ financijski, a ti sustavi bi dugoročno imali loš učinak na prirodu jer se bespotrebno trošila energija za njihovu proizvodnju i ugradnju dok bi ih u budućnosti trebali reciklirati.

Kako bi iznašli zlatnu sredinu trokuta u kojem moramo paziti na cijenu gradnje, cijenu eksploatacije te kao savjesni građani na učinak koji takav objekt ima na prirodu, moramo dobro isplanirati kakav nam je objekt potreban te vremenski period korištenja jer samo dobrim planom možemo napraviti da naš dom ne zagađuje, bude udoban za korištenje i ugodan za novčanik.

2.1. Opis i definicija problema

Izgradnja niskoenergetskog ili pasivnog objekta mora biti isplativa investicija s financijskog aspekta, stoga će se u ovom radu prikazati vrste objekata po njihovim energetske razredima te objasniti značenje pojedinog razreda kako bi se moglo razlučiti koliko se zahtjevan objekt mora graditi da ispunjava željene uvjete o potrošnji energije, a da u skladu sa željenom vremenskom eksploatacijom ostane u domeni financijske isplativosti.

Treba uvijek iznaći sredinu između utrošenih resursa za gradnju i predviđenih resursa za eksploataciju, jer dodatno utrošeni resursi ili novci na poboljšanje energetske svojstva u izgradnji moraju donijeti dobit u smanjenju energije za eksploataciju objekta u predviđenom razdoblju eksploatacije.

Izgradnja svakog objekta mora biti isplativa investicija jer u protivnom nema kao takva smisla. Pod pojmom „isplativa investicija“ ne moramo uvijek uzimati zdravo za gotovo financijsku isplativost jer postoje i druge isplativosti kao ona socijalna, ekološka ili npr. politička, tako da izgradnja kuhinje za beskućnike neće nikada donijeti financijsku isplativost u samom objektu kod ulagača/vlasnika. Naprotiv, donijet će samo troškove, ali će za sobom donijeti niz drugih benefita koji će od nje napraviti isplativu investiciju u socijalnom i političkom smislu, jer će biti manje krađa samim time što ljudi neće biti gladni, a lokalna zajednica uživati će politički ugled jer se brine i za svoje potrebite ljude.

U ovom radu želimo objasniti da kod odluke o izgradnji objekta već postoji nekakva potreba za tim objektom koja za sobom poteže i njegovu isplativost, koja je neupitna. Ako se u početku projekta obrati pozornost na neke detalje te se pravilno izabere način gradnje i opremanja tog objekta, taj objekt može imati i financijsku isplativost tako što će nastati trošak samo za njegovu gradnju i opremanje, dok se troškovi života u takvom objektu mogu svesti na minimum ili objekt može čak generirati viškove energije koji se mogu prodavati na tržištu te s time pokrivati čak troškove održavanja objekta.

2.2. Cilj i svrha rada

Cilj rada je da prikazemo da se proporcionalno povećanjem ulaganja u energetske efikasnost objekta smanjuje trošak njegovog korištenja. Dok je svrha rada da se iznađe rješenje kakav nam je objekt potreban, te da sagradimo takav objekt koji će nam omogućiti da uštedom energije i samim time resursa u predviđenom roku eksploatacije uštedimo više resursa nego što smo dodatno izdvojili za njegovu gradnju, naspram klasičnog sustava gradnje takvog objekta, a iz toga nam proizlazi financijska korist ili ušteda.

1.3. Hipoteza

Ulaganje u izgradnju niskoenergetskog (pasivnog) objekta je isplativa investicija naspram gradnje takvog objekta klasičnim metodama i tehnikama jer će se to ulaganje isplatiti prije polovice predviđenog vijeka trajanja objekta.

1.4. Metode rada

Metode rada koje su se koristile u ovom radu su sljedeće:

- Induktivna i deduktivna metoda
- Metoda analize i sinteze
- Deskriptivne metode
- Komparativna metoda

1.5. Struktura rada

- Uvod
- Standardi niskoenergetskih i pasivnih objekata
- Temeljna načela projektiranja pasivnog objekta
- Tehnologije gradnje niskoenergetskih (pasivnih) objekata
- Ekonomska isplativost pasivnog objekta
- Zaključak
- Preporuke za daljnji rad

3. Standardi niskoenergetskih i pasivnih objekata

Svakodnevno se susrećemo s pojmovima niskoenergetskih i pasivnih kuća ili objekata pošto je to vrlo popularna tema od dnevnih novina, stručnih časopisa sve do radija i televizije. To su uvijek isti objekti ili kuće za istu namjenu, jedino što se razlikuju u potrebama za energijom i resursima odnosno u potrošnji resursa ili energije za potrebe grijanja odnosno klimatizacije. Tako danas poznajemo više koncepata uštede energije koji nisu uvijek potpuno isti u svim državama, zbog legislative koja je rađena sukladno podneblju zemlje. Da to slikovito opišem, srednje izolirana kuća u našim krajevima, u nekim sjevernim krajevima Švedske smatrala bi se u vrlo loše izolirana. Tako da pojedine zemlje donose svoje zakone i standarde potrošnje energije s obzirom na klimatske uvijete, dostupnost energenata i socijalno stanje u državi odnosno kupovnu moć građana.

Tako kod nas govorimo o 7 kategorija objekata po potrošnji energije, odnosno klasične neizolirane objekte koji imaju vrlo veliku potrebu za energijom i šest kategorija objekata ili kuća koji imaju manje potrebe za energijom odnosno nemaju uopće potrebu za vanjskom energijom jer su samodostatne i proizvode dovoljne količine energije za svoje potrebe.

2.1. Kategorije niskoenergetskih i pasivnih objekata

Razne kategorije niskoenergetskih ili pasivnih objekata ne razlikuju se samo u količini energije koju troše već je bitna razlika u samom sustavu funkcioniranja objekta. S današnjom tehnologijom, s obzirom na cijenu, najpovoljnija je pasivna kuća, a svaki korak naprijed prema nultim-energetskim, energetskim neovisnim, plus-energetskim objektima zahtijeva znatna ulaganja što još nije racionalno radi visoke cijene sunčanih pretvornika. Takvi su objekti za sada samo eksperimentalno-demonstracijski. Svaki korak u razvitku tehnologije u tom smjeru znači da smo korak bliže takvim objektima.

2.1.1. Niskoenergetski objekt

Potrebe za količinom energije za grijanje (energetski broj) niskoenergetskog objekta na godišnjoj razini su između 40 – 60 kWh/m²A. Što je toplinska zaštita zgrade bolja slijedno tome bit će niži energetski broj. Za postizanje takvih specifikacija, odnosno niskih energetskih brojeva potrebno je da objekt ima dobro izoliran i zrakonepropustan plašt te da je ostakljenje odnosno da su prozori izvedeni toplinsko-izolacijskim staklom. Niskoenergetski objekt ima potrebu za tradicionalnim sustavom grijanja, a ventilacija odnosno svjež zrak se u objekt dovodi prisilno po unutarnjem razvodnom sustavu, a iskorišteni zrak se odsisava bez rekuperacije njegove topline. Zrakonepropusnost niskoenergetskog objekta je $n_{50} \leq 1,5h^{-1}$.

2.1.2. Trolitarski objekt

Potrebe za količinom energije za grijanje trolitarskog objekta na godišnjoj razini su otprilike 30 kWh/m²A dok je zrakonepropusnost takvog objekta $n_{50} \leq 1h^{-1}$ a konstrukcija mora biti izvedena bez toplinskih mostova. U trolitarskim objektima imamo i dalje potrebu za tradicionalnim grijanjem te da bi postigli takve rezultate moramo imati ugrađen barem sunčani uređaj za grijanje sanitarne vode ili sustav rekuperacije topline iz zraka koji se isisava kod prozračivanja.

2.1.3. Pasivni objekt

Kod pasivnog objekta nije potrebno imati klasične sustave grijanja ili klimatizacije, već se toplina za grijanje dobiva rekuperacijom topline zraka koji se isisava iz objekta. Najviša dopuštena godišnja količina energije za toplinu može biti 15 kWh/m²A, što je u ovom slučaju međunarodni standard u svim državama. Zrakonepropusnost pasivnog objekta iznosi $n_{50} \leq 0,6h^{-1}$ dok konstrukcija mora biti izvedena bez toplinskih mostova ($\psi \leq 0,01W/m^2A$), a ukupna potrošnja primarne energije ne smije biti veća od 120 kWh/m²A.

2.1.4. Nulto-energetski objekt

Nulto-energetski objekt svoje godišnje potrebe za energijom dobiva sam proizvodnjom iz sunčeve energije, ali nema kapacitete za skladištenje te proizvedene električne energije tako da nije neovisan o distributerima električne energije. U momentima viškove energije šalje u elektrodistribucijsku mrežu dok u momentima uzima energiju iz mreže, ali kad se sve zbroji i oduzme na godišnjoj razini potrošnja energije iz elektrodistribucijske mreže je ravna nuli. Nulto-energetski objekt nema tradicionalni sustav grijanja već aktivno i pasivno iskorištava energiju sunca a potrebe za toplinom u oblačnim danima nadoknađuje iz velikog spremnika topline. To omogućuje vrlo dobra toplinska izolacija objekta koja zna biti debela od 40-60cm i mora biti izvedena bez toplinskih mostova.

2.1.5. Energetsko samodostatni objekt

Takav objekt nema potrebu biti priključen na elektrodistribucijsku mrežu i sve svoje potrebe za energijom, potrebnom za grijanje, za sanitarnu vodu, za električnu energiju za domaćinstvo i rasvjetu dobiva iz sunčeve energije koja se akumulira u akumulatorima, te se elektrolizom vode proizvodi gorivo za gorive ćelije koje se zimi koristi za grijanje. U takvoj vrsti objekta potrebno je imati na raspolaganju više površine za postavljanje sunčanih pretvornika.

2.1.6. Plus energetski objekt

Takav objekt zadovoljava sve svoje potrebe za energijom te dobivene viškove električne energije iz sunčanih pretvornika prosljeđuje u elektrodistribucijsku mrežu. Samodostatnost energije se postiže korištenjem svih raspoloživih sredstava i tehnologija uštede energije i proizvodnjom energije iz energije sunca u većim količinama nego što su realno potrebne.

2.2. Vrste toplinskih gubitaka i dobitaka

Kod pasivnog objekta moramo govoriti o optimizaciji toplinskih gubitaka i dobitaka jer kod svakog dobitka postoji i neki gubitak, tako da smo mi ti koji trebamo iznaći optimalno rješenje sukladno našim potrebama i klimatskim uvjetima u kojim planiramo graditi objekt.

Tako imamo transmisijske toplinske gubitke što su posljedica prolaza topline kroz neki građevinski element kao posljedica njegove toplinske provodljivosti, toplinske gubitke kao posljedicu prozračivanja, namjernog ili nenamjernog, a u domenu dobitaka spadaju dobitci sunčevog zračenja te dobitci od unutarnjih izvora kao što je oslobađanje topline strojeva i uređaja u uporabi i zračenje osoba koje borave u prostoru.

2.2.1. Transmisijski toplinski gubitci

Nastaju kao posljedica prolaza topline kroz građevinske elemente kao posljedica njihove provodljivosti. Označavaju se **koeficijentom prolaska topline U^1** izraženom u $W/(mK)$ i **daljinski koeficijent prolaska topline ψ** se također izražava u $W/(mK)$ a označava toplinske mostove.

2.2.2. Toplinski gubitci od prozračivanja

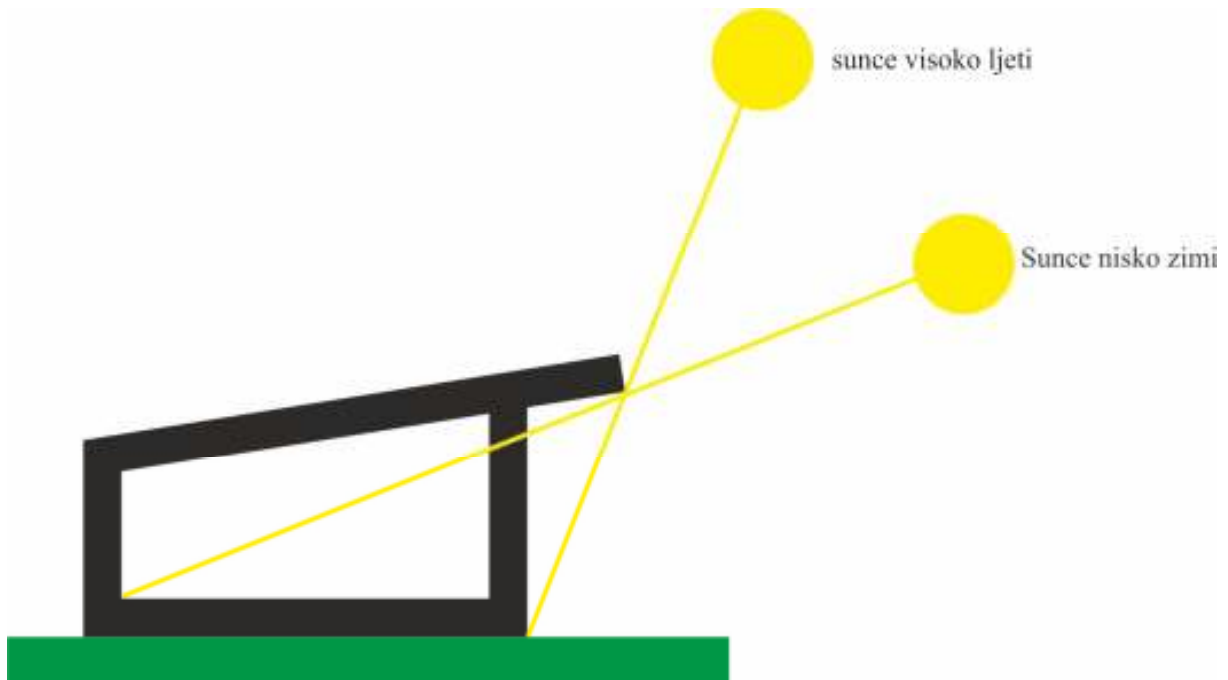
Nastaju kod namjernog ili nenamjernog prozračivanja a rezultiraju izmjenom zraka između objekta i okoline. Imamo tako namjerno namjensko mehaničko prozračivanje otvaranjem prozora ili kroz ventilacijski sustav, te nenamjerno nenamjensko prozračivanje kroz rupe, rešetke, prozore koji ne dihtaju i dr. Za smanjenje gubitaka kod prozračivanja potrebno je izvesti zrakonepropustan plašt zgrade i ugraditi zrakonepropusne prozore te sustav ventilacije s rekuperacijom topline odsisnog zraka.

2.2.3. Dobitci sunčevog zračenja

Ostvaruju se dovođenjem sunčevog zračenja kroz prozirne dijelove objekta kao što su ostakljenja ili stijene s prozirnou toplinskom izolacijou. Njihova količina ovisi o orijentaciji suncopropusnih površina i njihovou veličini. Dok kod njihovih izračuna treba voditi računa o mogućim zasjenjenjima i napadnom kutu ulaza sunčevog zračenja u pojedinim

¹ Govori koliko topline teče kroz $1m^2$ građevnog elementa pri temperaturnou razlici od 1^0K (ili 1^0C). Toplinska prolaznost nam govori toplinsko-izolacijske karakteristike materijala. Što imamo manji U imamo veću toplinsku izolaciju.

godišnjim dobima, jer je zimi sunce niže nad horizontom dok je ljeti visoko nad horizontom te se pravilnim izračunom i izvedbom može postići da sunce zimi obasjava unutrašnjost objekta a ljeti ne. (sl. 1)



Slika 1. Shematski prikaz napadnog kuta insolacije ljeti i zimi

2.2.4. Dobitci od unutarnjih izvora

Pod unutarnjim izvorima smatraju se svi uređaji i oprema objekta koja proizvodi toplinu kao što su štednjaci, žarulje, perilice rublja i posuđa. Ljudi koji stalno borave u objektu također se uzimaju u obzir kod proračuna, jer svaka osoba isijava cca. 100W ovisno o tjelesnoj aktivnosti, dok standardne žarulje isijavaju 40W, 60W ili 100W ovisno o snazi, a stroj za pranje posuđa isijava 1kW/osobi dok stroj za pranje rublja isijava 0,76kW/osobi, štednjak 0,20kW/osobi.

2.3. Godišnje potrebe za energijom grijanja pasivne kuće

Po definiciji pasivni objekt ne smije na godišnjoj razini trošiti više od 15kWh/m^2 jer u protivnom ne bi bilo dostatno toplozračno grijanje nego bi objekt morao imati konvencionalan sustav grijanja. Ako se gleda kroz period u kojem se izmjene sva klimatska doba (zima, proljeće, ljeto, jesen) odnosno godina dana da bi doznali potrebnu količinu energije potrebne za grijanje moramo sumi svih energetske dobitaka oduzeti sumu svih energetske gubitaka i dobiveni broj mora biti 0.

Da se ne bi umjetno povećavali toplinski dobitci ugradnjom nepotrebne rasvjete postoji ograničenje ukupne potrošene primarne energije za pasivni objekt koji na godišnjoj razini ne smije prijeći $120\text{kWh/m}^2\text{A}$.

Na osnovu uobičajenih programa ne mogu se planirati izračuni toplinskih bilanci pasivnog objekta, ali tome je doskočio Passivhaus Institut u Darmstadt 2002. godine razvivši Passivhaus Projektierungs Paket temeljen na iskustvu projektiranja nekoliko tisuća pasivnih kuća. Paket je 2004. dopunjen i pojednostavljen u uporabi te ga se može kupiti na službenim stranicama instituta www.passiv.de.

3. Temeljna načela projektiranja pasivnog objekta

Kod projektiranja pasivnog objekta najvažnije je pronaći optimalni tlocrtni oblik objekta uzimajući u obzir postavljene zahtjeve njegove namjene. Zatim se kreće u projektiranje u čijoj se fazi trebaju ishoditi rješenja za sve toplinske mostove do kojih dolazi na građevini. Zatim je potrebno za vrijeme gradnje stalno nadzirati kvalitetu izvedbe sukladnu zadanim specifikacijama, jer nerijetko "majstori" su skloni učiniti sitne preinake koji njima olakšavaju posao, a znatno srozavaju energetska svojstva objekta.

Za postizanje standarda pasivne kuće važan je cijeli plašt ali isto tako mnogo detalja u gradnji koji svi zajedno daju zadovoljavajući rezultat.

3.1. Orijehtacija

Pasivnim objektima orijentacija pridonosi vrlo veliki značaj jer omogućuje optimalno iskorištavanje dobitaka sunčeva zračenja. Ta količina ovisi o godišnjem dobu, orijentaciji pročelja, dnevnom kretanju sunca uzimajući u obzir moguća zasjenjenja od okolnih objekata i vegetacije. U ljetno doba najintenzivnije budu obasjana istočno i zapadno pročelje dok južno apsorbira manju količinu sunčevog zračenja dok je zimi obrnuta situacija. Taj se fenomen događa zbog jakosti insolacije i njenom trajanju. Ljeti sunce već rano ujutro isporučuje zavidnu količinu energije istočnom pročelju, dok južna strana bude relativno kratko insolirana i već prelazi na zapadno pročelje čija insolacija traje relativno dugo sve do večeri, dok u zimskim mjesecima to bude potpuno obrnuto jer sunce ujutro i navečer nema tu snagu kao u podne kada obasjava južno pročelje. S toga se u projektiranju uzimaju u obzir ti odnosi insolacije pročelja za maksimalno iskorištavanje sunčeve energije.

Ti zahtjevi orijentacije nam diktiraju potrebe za zemljištem te stoga za pasivni objekt treba izabrati južno orijentirano zemljište i na njemu sagraditi južno orijentirani objekt jer time dobivamo uštede na grijanju u godišnjoj bilanci objekta, jer objekt s otklonom od samo 10^0 od južne orijentacije smanjuje zaprimanje topline potrebne za grijanje za $0,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{A})$. Uzimajući u obzir te podatke ne preporučuje se veći otklon južne strane od $\pm 20^0$ te se također preporučuje ugradnja što većih ostakljenih površina na južnu stranu kako bi se postigli što veći dobitci sunčevog zračenja.

3.2. Iskorištavanje obnovljivih izvora energije

Kod projektiranja pasivnog objekta treba se orijentirati na iskorištavanje obnovljivih izvora energije koji svakim danom, razvojem tehnologije, postaju sve dostupniji.

Riječ je prvenstveno, ali ne isključivo, o iskorištavanju energije sunca, koja se može koristiti za ugrijavanje vode, zraka, ili pak nekih drugih medija odnosno akumulatora topline koji nam tu toplinsku energiju mogu isporučiti i naknadno. Možemo koristiti i sunčevu svjetlost, ne samo za osvjetljenje prostora koji imaju prozore, nego korištenjem modernih svjetlovodnih kanala imamo mogućnost osvijetliti i podrumске prostorije koje inače ne bi imale kontakt s dnevnom svjetlošću. Zatim dolazimo do foto voltaika, odnosno uređaja koji sunčevu energiju pretvaraju u električnu energiju koju možemo koristiti ili prodavati u elektroopskrbnu mrežu. Postoje također niz tehnologija iskorištavanja energije vjetra.

Svakim danom postaje sve jasnije da je voda bitan resurs i da će se u budućnosti voditi ratovi zbog vode, kako se danas vode zbog nafte, stoga kao brižni gospodari moramo planirati i sustave uštede vode. Uzimajući u obzir iskustva koja se može steći izletom u bilo koje naše selo ja bih predložio da se kod planiranja pasivnog objekta isplanira i vodosprema ili dijalektalno rečeno šterna, u koju bi se prikupljala kišnica tijekom kišnih mjeseci a zatim bi se ta voda mogla koristiti kao sanitarna voda te voda za zalijevanje travnjaka i bilja u okućnici.

3.3. Pohrana sunčeve energije

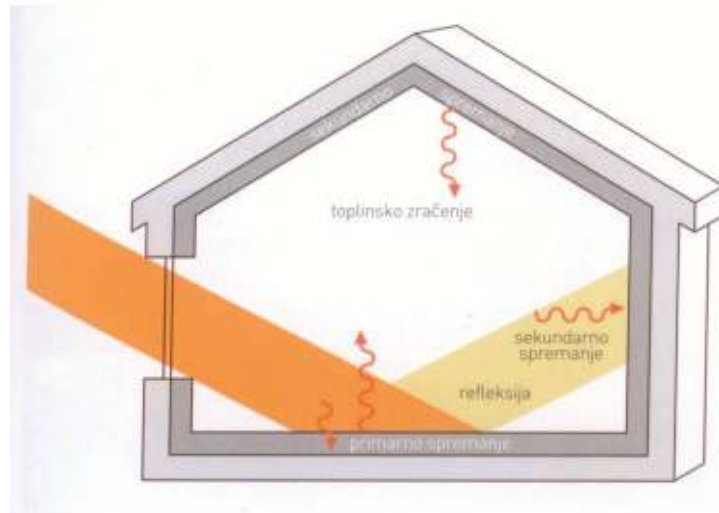
U pasivnom objektu javlja se potreba pohrane energije, kako bi se ta ista energija mogla koristiti kada nam nije dostupna prirodnim putem. Tako pohranjujemo sunčevu energiju, odnosno toplinu, za grijanje danju kako bi je mogli iskoristiti noću, odnosno čak i više dana u kišnim periodima kada nema sunca u prijelaznim periodima dok nije jako hladno.

Tako imamo slučaj da sunčane zrake prodiru kroz ostakljenje i griju građevne elemente u prostoru u kojima se dio sunčevih zraka apsorbira i grije ga dok se drugi dio odbija do drugog elementa te se postupak ponavlja. Što je veća specifična toplina materijala i tamnija njegova površina to je veća količina spremljene energije. Tako ne dolazi do brzog pregrijavanja klime u prostoru, već se samo malo povisi temperatura što donosi ugodnost. Kada prestane sunčevo zračenje i temperatura zraka u prostoru padne ispod temperature na koju se zagrijao materijal (podovi, zidovi, strop) onda energija, odnosno temperatura građevnih elemenata počinje prelaziti u zrak i time ga zagrijavati te pružati ugodu boravka u prostoru tijekom večeri i noći, a to može potrajati i koji kišni dan u prijelaznim razdobljima kada temperatura nije izrazito niska.

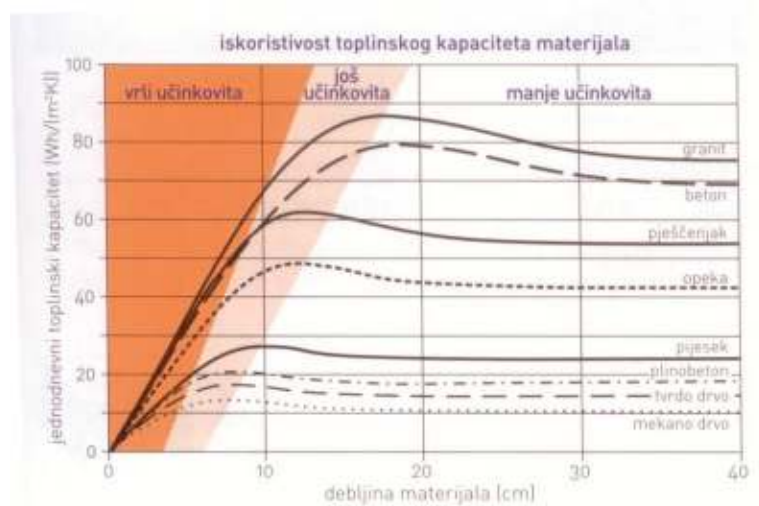
Toplina se pohranjuje u podovima, zidovima i stropovima u 24 satnom ritmu. Najpogodniji za spremanje topline su masivni zidovi, iako su debeli samo 10-12cm. Deblji su zidovi manje ugodni u prvom razdoblju ali su učinkovitiji na duže razdoblje iz razloga što je potrebno dosta vremena da se debeli zidovi zagriju i daju osjećaj ugone, koji jednom postignut uspijevaju zadržati dugo vremena dok se tanji zidovi znatno brže zagriju i pružaju osjećaj ugone ali se također brže ohlade. Stoga se debljina zida ograničava na statičke zahtjeve kako bi se smanjili toplinski gubici i iskoristila mogućnost spremanja topline.

Najveću važnost u spremanju topline imaju podovi koji su neposredno obasjani kod južne orijentacije.

Za učinkovito spremanje toplinske energije najbolji su teški i masivni materijali s velikim toplinskim kapacitetom, no takvi su materijali na opip hladni i nisu uvijek ugodni, stoga korisnici stavljaju razne tepihe ili parkete koji trajno smanjuju spremanje topline. Povoljni materijali za spremanje topline su opeka, beton ili silikatna opeka, ali nijedan materijal po kapacitetu ne dostiže vodu.



Slika 2. Prikaz sunčevog zračenja odnosno spremanja topline

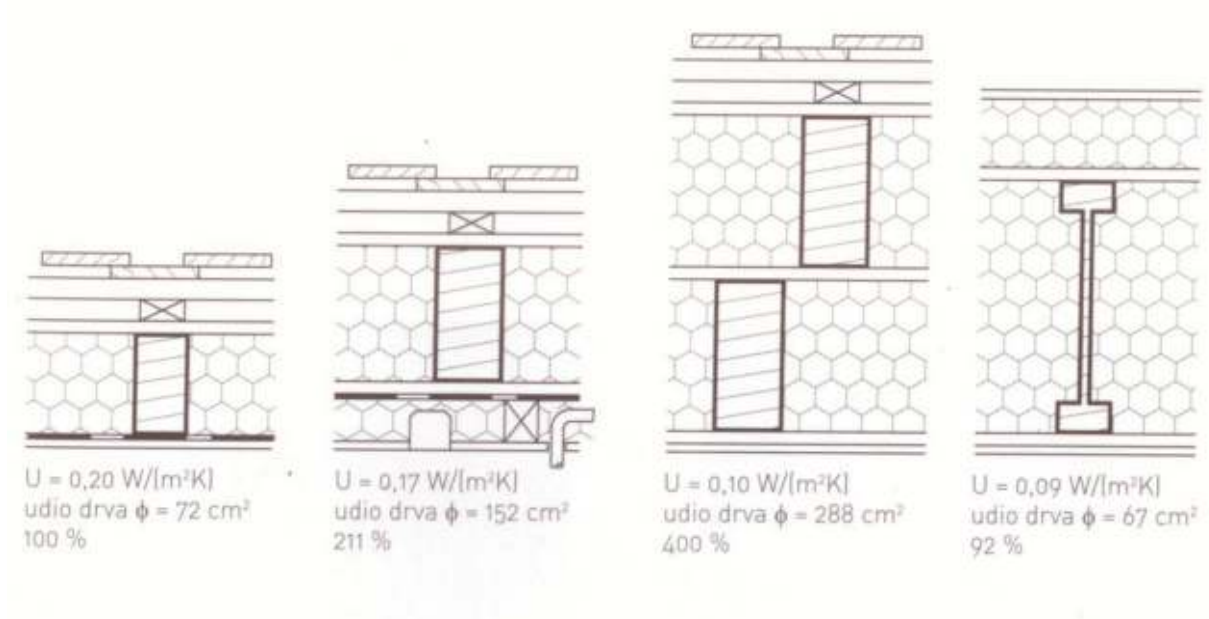


Slika 3. Iskoristivost toplinskog kapaciteta materijala

4. Tehnologije gradnje niskoenergetskih (pasivnih) objekata

Kod gradnje niskoenergetskog (pasivnog) objekta mogu se koristiti gotovo sve poznate tehnologije građenja laganim i masivnim konstrukcijama te se njima postižu gotovo jednaki rezultati a odlučujuće je znanje projektanta i izvođača.

Najrašireniji način gradnje i kod pasivnih objekata je masivna gradnja opekom, ali i kod elemenata od betona ili lakog betona na vanjskim zidovima s vanjske strane je sloj željene toplinske izolacije odgovarajuće debljine kako prolaz topline ne bi prelazio $0,15\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ili manje. Kao i kod svake građevine debljine nosivih zidova ovise o statičkim zahtjevima. Problem nastaje kada se koriste teže obloge pročelja kao npr. kamene ploče onda zbog debljine izolacije sidra na koja se iste postavljaju moraju biti duža te predstavljaju toplinske mostove. Zidovi pasivnih objekata mogu također biti i od betona koji se na gradilištu ulijeva u prefabricirane oplate, takvi zidovi moraju također imati odgovarajuću toplinsku izolaciju, te se njima postiže dobra zrakonepropusnost.



Slika 4. Lagane zidne konstrukcije

Za lagane konstrukcije najčešća je upotreba drva i to u svim oblicima prefabriciranih elemenata te se između drvene konstrukcije umeće toplinska izolacija jer drvo ima veću toplinsku vodljivost od toplinske izolacije. Za smanjenje toplinskih mostova obično se u drvenim konstrukcijama umeće unutarnji sloj toplinske izolacije koji služi za smanjenje toplinskih mostova i polaganje instalacija.

Nosivi zidovi mogu biti izrađeni od oplatnih elemenata od polistirena koji na vanjskoj strani imaju deblji sloj polistirena a na unutarnjoj tanji sloj. Sastavljaju se na gradilištu te se u njihove šupljine umeće armatura te se zatvaraju lijevanim betonom. Kod takvih zidova nemamo toplinskih mostova te je gradnja vrlo jednostavna



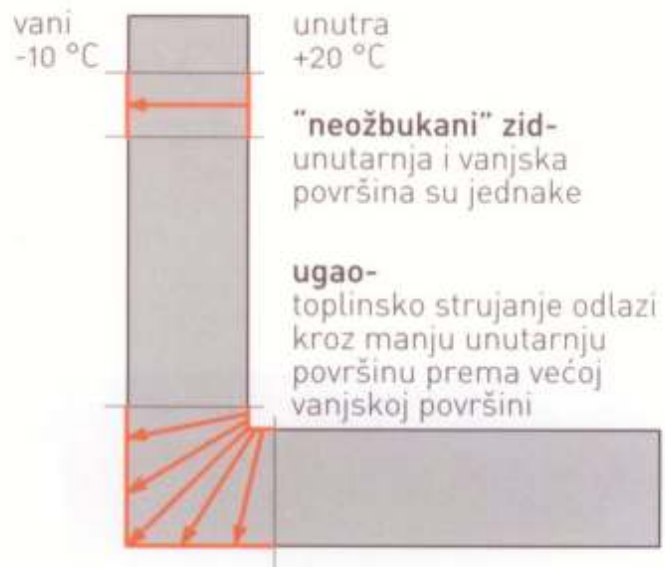
Slika 5. Gradnja s oplatnim elementima od polistirena

4.1. Toplinski mostovi

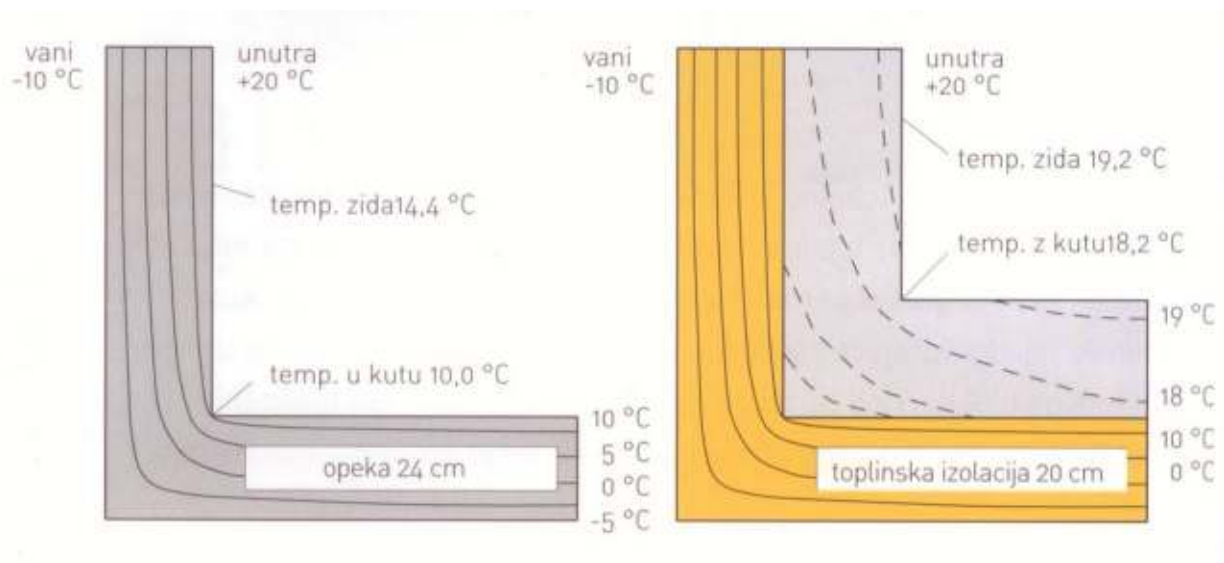
Pod pojmom toplinski mostovi smatramo površine na građevnom elementu oko kojih je bolja izolacija vanjskog plašta objekta tako da kroz njih prolazi toplina van plašta zgrade.

Poznajemo tri vrste toplinskih mostova s obzirom na uzrok nastajanja, geometrijske, konstrukcijske i konvekcijske.

Zonu gdje je unutarnja površina, na kojoj nam odlazi toplina, manja od vanjske zovemo geometrijski toplinski most. U toj zoni zbog razlike u površini smanjuje se toplinski otpor konstrukcije i samim time povećava toplinska prolaznost. Te zone su u praksi kutovi zgrada, spojevi zida na strehu, sljeme objekta te svi ostali oštri kutovi na plaštu zgrade.



Slika 6. Princip djelovanja geometrijskog toplinskog mosta

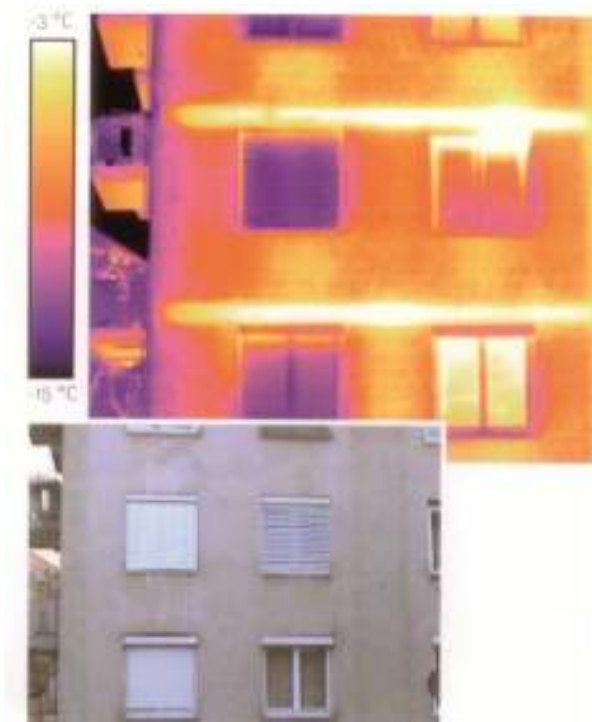


Slika 7. Usporedba temperature na unutarnjoj površini kod izoliranog i neizoliranog zida

Konstruktivski toplinski mostovi su zone gdje je prekinut toplinski plašt objekta i najčešće nastaju zbog slabo projektiranih detalja kod proboja, priključaka, prekinute toplinske izolacije.

Konvekcijski toplinski mostovi nastaju tamo gdje kroz pukotine ili otvore nekontrolirano odlazi topli zrak.

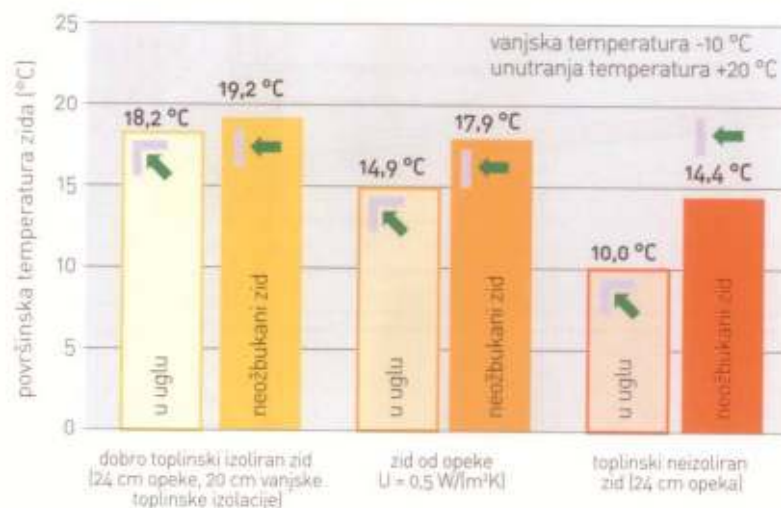
Pasivni objekti moraju biti bez toplinskih mostova te daljinski koeficijent prolaza topline mora biti manji ili jednak $\Psi \leq 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$, a kod pažljivog projektiranja moguće je postići čak negativan što znači da su



Slika 8. Termografska slika pročelja u infracrvenom spektru

izračunati toplinski gubitci u projektu veći od stvarnih na objektu te u tome leži osnovni princip gradnje pasivnih objekata koji kaže da se objekt mora graditi bez toplinskih mostova.

Toplinski mostovi nam sa sobom nose niz neugodnosti kao povećanu potrošnju energije za grijanje, slabljenje toplinske ugodnosti u prostoru, manjkavu



Slika 9. Temperatura u kutu s obzirom na različite debljine toplinske izolacije

stambenu higijenu koja se manifestira pojavom gljivica i spora koje su posljedica orošavanja zida te ugrožavanje samog građevnog elementa.

4.2. Toplinska izolacija

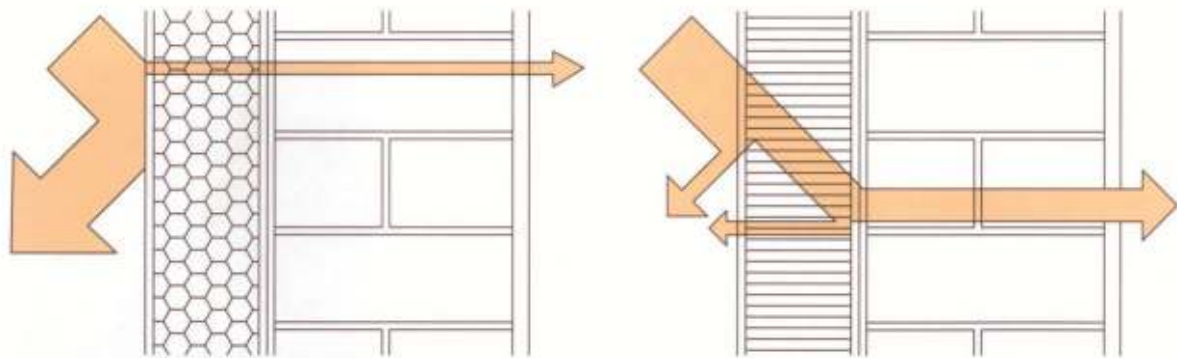
Pod pojmom toplinski plašt objekta smatramo sve građevne elementa koji čine granicu između grijanih i negrijanih ili otvorenog prostora. Radi ostvarivanja što boljeg faktora oblika toplinski plašt mora biti što kompaktniji.

Debljina toplinske izolacije kod pasivnog objekta kreće se u rasponu od 25-40cm a ovisi o materijalu i sastavu zida te klimatskim uvjetima u kojima se objekt nalazi, a bitno je da plašt u cjelini, odnosno svi njegovi elementi imaju prijelaz topline $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ mada su u praksi često te vrijednosti i niže $U \leq 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Za toplinsku izolaciju rabe se razni materijali, od umjetnih anorganskih i organskih te prirodnih kao primjer mogu se navesti ekspanzirani i ekstrudirani polistiren, pjenjeni politilen, pjenjeni poliuretan, celulozna vlakna, drvena vlakna, kokosova vlakna, lan, konoplja, ovčja vuna, pluto, slama...



Slika 10. Upuhivanje toplinske izolacije od ovčje vune

Ekspanzirani i ekstrudirani polistiren, pjenjeni politilen, pjenjeni poliuretan, celulozna vlakna, drvena vlakna, kokosova vlakna, lan, konoplja, ovčja vuna, pluto, slama...



Slika 11. Princip djelovanja neprozirne toplinske izolacije i prozirne toplinske izolacije

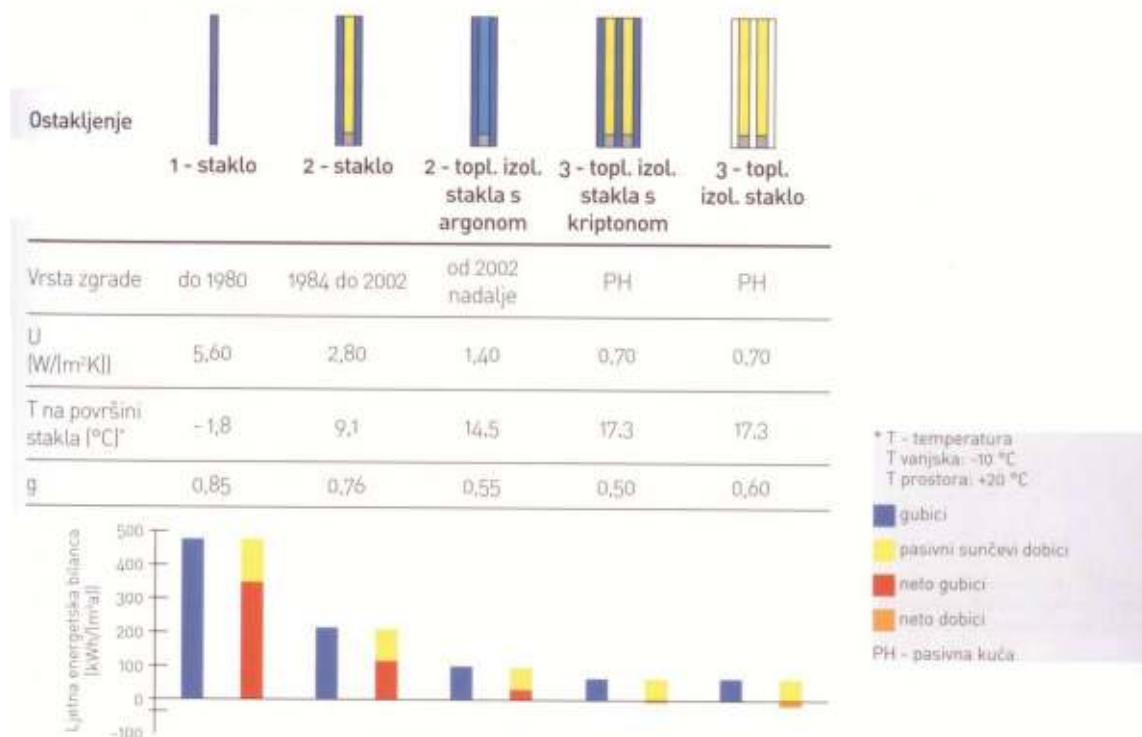
Postoje također razne vrste prozirne toplinske izolacije koje se postavljaju preko zida koji se obično ispod njih boja u crnu boju kako bi se bolje ugrijavao, te se time postiže akumulacija topline.



Slika 12. Primjeri prozirne toplinske izolacije

4.3. Vrata i prozori

Još do prije nekoliko desetljeća se rabilo jednostruko ostakljenje s $U_g^2=3\text{W}/(\text{m}_2\text{K})$ dok se sada najviše rabe stakla s $U_g=1,2-1,4\text{ W}/(\text{m}_2\text{K})$ dok su za pasivne objekte razvijena posebna stakla s $U_g=0,6-0,7\text{ W}/(\text{m}_2\text{K})$.



Tablica 1. Prolaz topline kroz različite vrsta ostakljenja

² $U_g = U_{\text{glass}}$ – prolaz topline stakla

Izolacijsko staklo – shematsko	Opis	Prolaz topline U_f [W/(m ² K)]		Faktor prolaza cjelokupnog sunčnoga zračenja g
		$\epsilon = 0,05$	$\epsilon = 0,03$	
	1 x toplinsko zaštićeni nanos, argon, sastav 4-16-4,	1,20	1,10	
	– obično staklo			0,64
	– dijamantno staklo			0,68
	1 x toplinsko zaštićeni nanos, argon, kripton, sastav 4-12-4,	1,00	0,95	
	– obično staklo			0,64
	– dijamantno staklo			0,68
	2 x toplinsko zaštićeni nanos, kripton, sastav 4-12-4-12-4,	0,50	0,43	
	– obično staklo			0,50
	– dijamantno staklo			0,55

ϵ – normalan stupanj emisije po SIST EN 672 (e-stupanj upojnosti u usporedbi s idealnim crnim tijelom (uvijek <1))

U_f – prolaz topline staklu po SIST EN 673

g – faktor prolaza cjelokupnog sunčnoga zračenja po SIST EN 410

Tablica 2. Prolaz topline za pojedine vrste stakla

Pozornost treba također posvetiti i okvirima stakla pošto oni u prosjeku predstavljaju 30-35% površine cijelog prozora, s toga posljednjih godina na tržištu imamo cijeli niz visokokvalitetnih okvira s ugrađenim raznim izolacijama te time postizemo željeni $U_f^3=0,7-0,8$ W/(m²K) s kojima je moguće dobiti $U_w^4 \leq 0,8$ W/(m²K)



Slika 13. Modeli prozora za pasivne kuće s trostrukim ostakljenjem

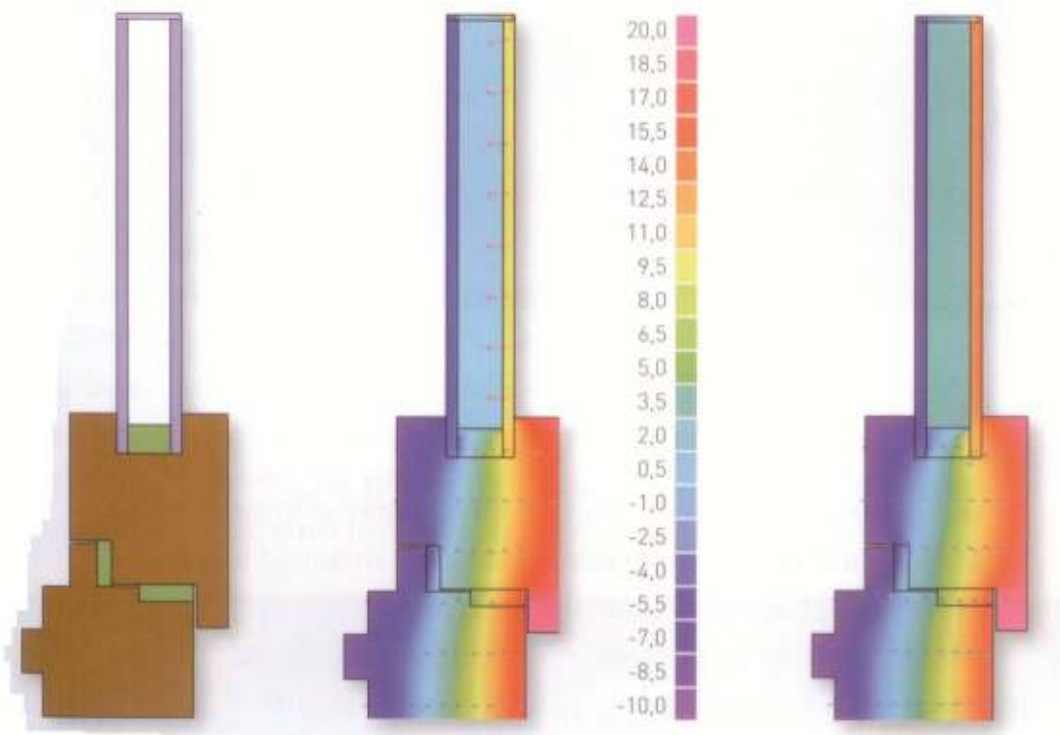
³ U_f = U frame = prolaz topline okvira

⁴ U_w = U window = prolaz topline stakla i okvira

Kod ugradnje prozora u pasivne objekte moramo posebno paziti na toplinskoizolacijske vrijednosti prozora, tako da njegova unutarnja površina temperaturom ne odstupa puno od temperature zraka u prostoru kako bi spriječili kondenzaciju i dobili temperaturnu ugodnost, jer pojavu kondenzata uzrokuje hlađenje vlažnog zraka ispod temperature rosišta vodene pare.

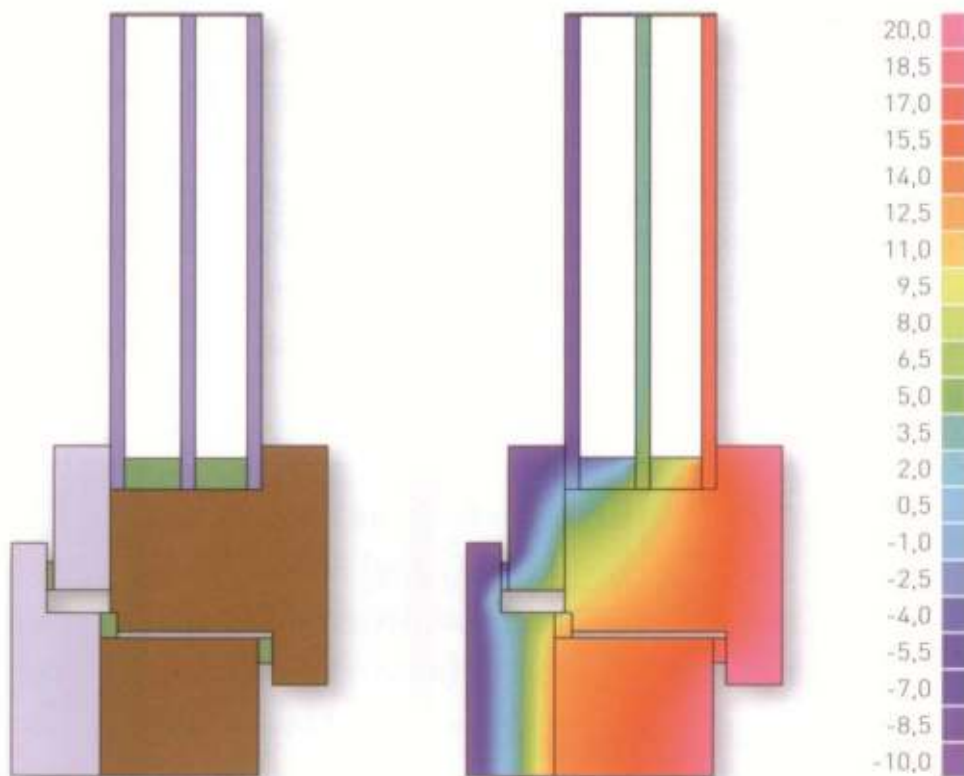
Relativna zračna vlažnost	%	30	40	50	60	70	80	90	100
Temperatura rosišta	°C	1,9	6,0	9,3	12,0	14,4	16,4	18,3	20,0

Tablica 3. Temperatura rosišta u ovisnosti o relativnoj zračnoj vlažnosti



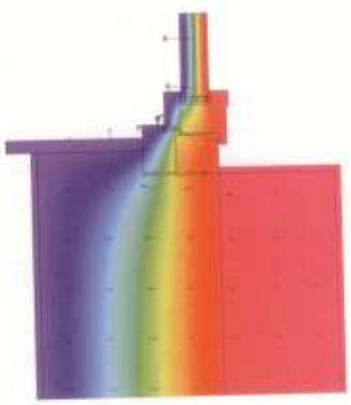
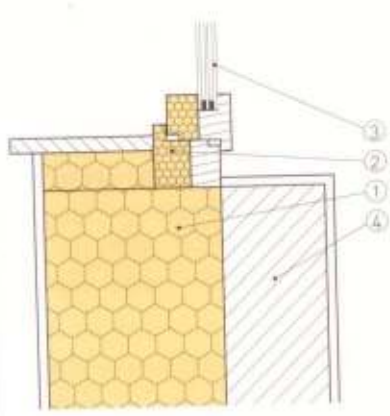
Slika 14. Temperaturni profil poprečnog presjeka dvostruko ostakljenog prozora

Kada govorimo o prozorima moramo također spomenuti i rolete kao toplinski izolator koje pomažu da površina stakla ostane toplija noću pri niskim temperaturama dok danju podignute dozvoljavaju dobitke sunčeve energije, a ljeti se mogu spustiti i danju kako bi zasjenile prostor i očuvale nisku temperaturu i samim time pridonijele termičkoj ugodnosti. Treba pripaziti kod izvedbe kako kutije roleta ne bi smanjile izolaciju i samim time smanjile termički plašt objekta, te se ne preporuča koristiti rolete s klasičnim trakama nego one na motorni pogon kako bi se izbjeglo slabljenje termičkog plašta zgrade.



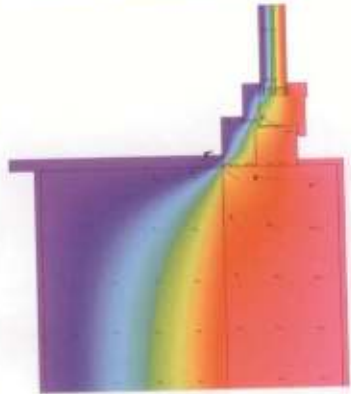
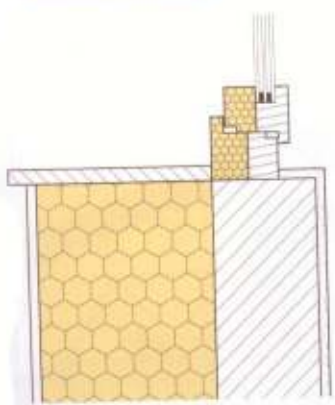
Slika 15. Temperaturni profil poprečnog presjeka trostruko ostakljenog prozora

Kod pasivnih objekata na vratima mora biti prag od 15mm kako bi se moglo postići zadovoljavajuće brtvljenje i time toplinska izolacija bez toplinskih mostova. Kako bi se poboljšao plašt zgrade preporučljivo je izvesti vjetrobran ili popularno zvano verandu, to je prostor koji nije grijan ali je tampon zona između okoline i plašta zgrade.

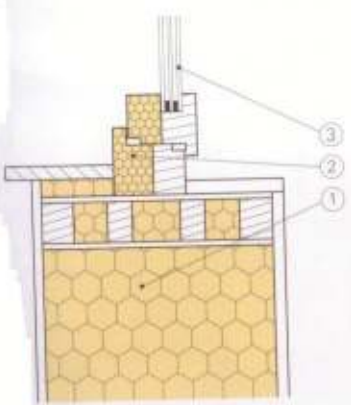


- 1 – toplinska izolacija
- 2 – toplinskoizolacijski okvir
- 3 – toplinskoizolacijsko staklo
- 4 – masivni zid

Pravilna ugradnja prozora:
 Okvir je u ravni toplinske izolacije na vanjskoj strani masivnoga zida: u zidu nema temperaturnog pada.

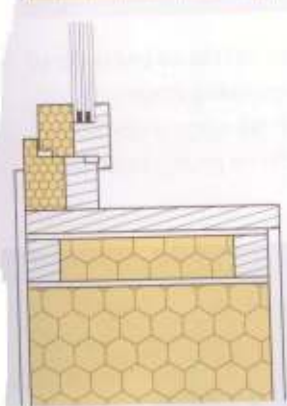


Nepravilna ugradnja prozora:
 okvir je u masivnome zidu neposredno prije toplinske izolacije: na spoju zida i prozora pojavljuje se toplinski most.



- 1 – toplinska izolacija
- 2 – toplinskoizolacijski okvir
- 3 – toplinskoizolacijsko staklo

Pravilna ugradnja prozora:
 okvir je na sredini zida i na potkonstrukciji od masivnih drvenih letvi (špaleta) između kojih je toplinska izolacija. Toplinski most je minimalan.



Nepravilna ugradnja prozora:
 okvir je na vanjskome rubu zida i potkonstrukciji od masivnoga drva, koja predstavlja toplinski most.

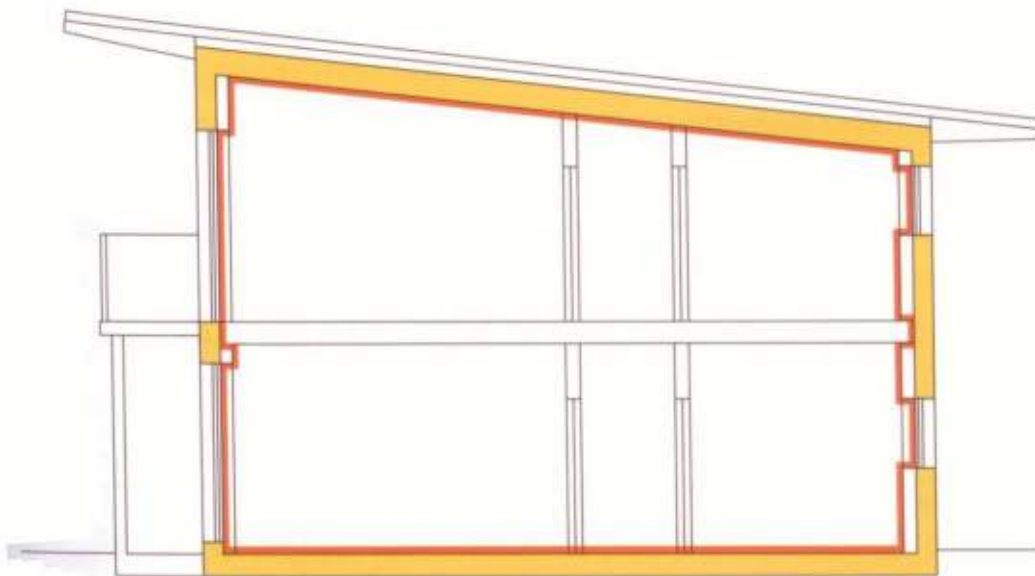
Slika 16. Ugradnja prozora u zid

4.4. Zrakonepropusnost

Zrakonepropusnost definiramo kao intenzivnost nekontroliranog protjecanja zraka kroz konstrukciju u objekt ili iz objekta zbog razlike u tlaku. To prolaženje zraka ima više nedostataka kao što su nepouzdanost, građevna oštećenja, provođenje zvuka, nekontrolirani toplinski gubitci.

Zrakonepropusnost se može manifestirati u više smjerova, tako kada zrak struji izvana prema unutra tlak zraka može povući u zid oborinsku vodu te tako vlažiti konstrukciju, dok u suprotnom smjeru tok zraka iznutra prema van može biti opasniji zbog razloga jer je često u kući vlažniji zrak nego vani te se zrak prolaskom hladi odnosno kondenzira te vlaži zid na kojem vrlo često dolazi do izbijanja plijesni.

Za postizanje željne zrakonepropusnosti plašta objekta treba točno projektirati sve spojeve građevnih elemenata. Njegova ravnina u nacrtu mora biti neprekinuta te mora biti samo jedna zrakonepropusna ravnina. Zrakonepropusni plašt uvijek je pričvršćen na unutarnjoj strani toplinskoizolacijskog plašta objekta.



Slika 17. Zrakonepropusna ravnina u pasivnoj kući mora potpuno ograničavati grijani volumen

Princip zrakonepropusnosti potrebno je poštivati u različitim fazama gradnje, tako već kod projektiranja i projektiranja detalja treba uzeti u obzir odabir materijala koji je poželjno da bude jednak zbog lakšeg oblikovanja. Treba uskladiti različite struke, te na temelju projektne dokumentacije uskladiti rad različitih izvođača, treba uspostaviti kvalitetan nadzor i na koncu provjeru kvalitete cijelog procesa odnosno svakog njegovog koraka.

Zrakonepropusnost se mjeri tlačnim testom nazvanim Blower Door te je postupak standardiziran (ISO 9972). Za izvršenje testa Blower Door u otvor vrata ili prozora se pričvrsti uređaj s ventilatorom koji u kući stvara nadtlak ili podtlak ovisno o smjeru vrtnje ventilatora. Za vrijeme rada ventilatora izmjeri se volumenski tok kod 10 do 70 Pa tlačne razlike. Iz rezultata se odredi karakteristična vrijednost pri tlačnoj razlici 50 Pa.



Slika 18. Ekspanzivna traka omogućava zrakonepropusno prilijeganje prozora na neravnim površinama



Slika 19. Test Blower Door

Kod pasivnih objekata određena je granična vrijednost $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ koja označava da se pri tlačnoj razlici od 50 Pa kroz sva propusna mjesta u objektu odvede ili dovede 0,6 ukupnog unutarnjeg volumena zraka objekta u jednom satu. Primjera radi obični objekti imaju tu vrijednost 3 h^{-1} a niskoenergetski $1,5 \text{ h}^{-1}$.

Materijal	Propusnost na zrak q_{50V} $m^3/(m^2h)$
Vapneno-cementna žbuka	0,002-0,05
Opeka	0,001-0,05
Porobeton	0,06-0,35
Gips-kartonske ploče	0,002-0,03
Spojeno drvo	0,004-0,02
Ploča iverice	0,05-0,22
Tvrde vlaknaste ploče	0,001-0,003
Meke ploče od drvenih vlakana	2-3,5
Polietilenska folija 0,1mm	0,0015
Bitumenska ljepenka	0,008-0,02
Mineralna vuna	13-150

Tablica 4. Propusnost materijala na zrak kod tlačne razlike 50 Pa (bold ima odgovarajuću zrakonepropusnost)

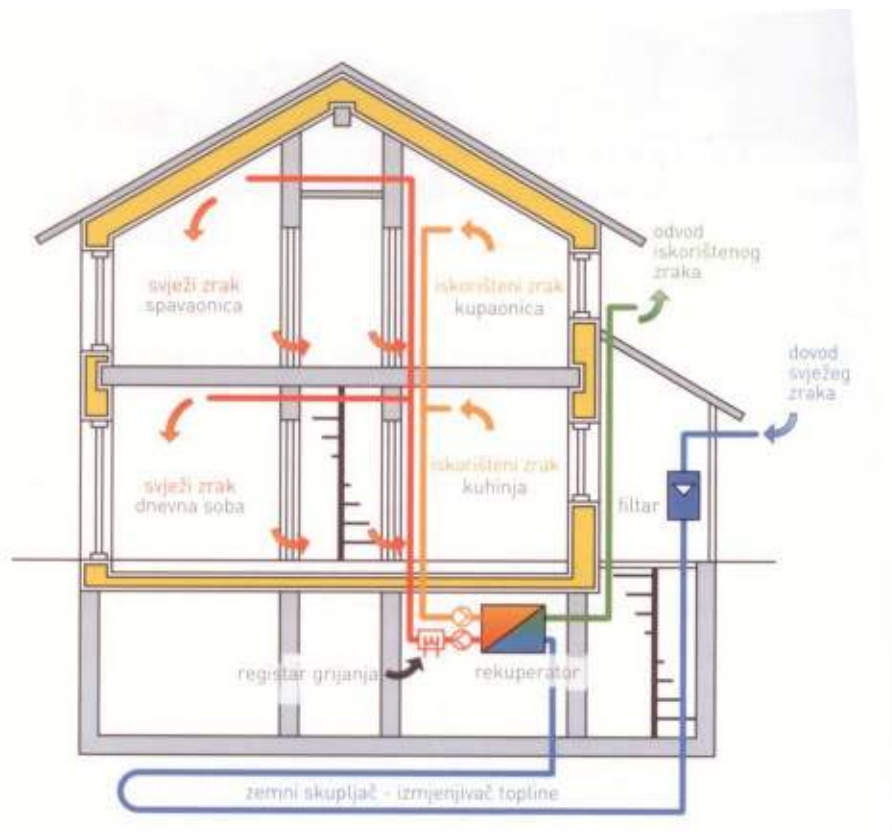
Najveći dio zrakonepropusnosti vanjskog plašta dolazi zbog njegovog proboja radi prolaza instalacija ili ugradnja utičnica i prekidača, stoga treba paziti te već u projektiranju predvidjeti izolaciju takvih detalja kako bi se očuvala željena zrakonepropusnost.



Slika 20. Brtvljenje proboja

4.5. Ventilacija

Pošto u projektnim zahtjevima pasivni objekti imaju potrebu za zrakonepropusnošću potrebno je ugraditi sustav za kontroliranu ventilaciju kako bi se osigurala odgovarajuća kvaliteta zraka odnosno da se zadrži razina štetnih tvari i CO₂ u zraku ispod štetnih granica, prostoru treba osigurati 25 – 35 m³ svježeg zraka po osobi. To u praksi znači da bi trebalo svaka 3 sata otvoriti prozor na 15 minuta što bi dovelo do velike nepraktičnosti i gubitaka toplinske energije odnosno povećanja zahtjeva za grijanjem te kako bi se to spriječilo ugrađujemo kontrolirane sustave za ventilaciju sa rekuperacijom topline i iskoristivošću do 90% iz otpadnog zraka koji se izvlači iz prostora. Dodatna prednost ugrađenog sustava za ventilaciju jesu filtri za pelud i prašinu koji omogućuju alergičarima i osjetljivim osobama kvalitetniji život.



Slika 21. Shema rada kontrolirane ventilacije s vraćanjem topline otpadnog zraka

Kod pasivnih objekata svjež vanjski zrak se uzima kroz rešetku na pročelju ili na krovu te se odvodi izoliranim cijevima do filtra zatim ide do rekuperatora gdje se predgrijava toplinom otpadnog zraka te prolazi registrom grijanja odnosno uređajem koji ga može po potrebi dodatno zagrijati te se upuhuje u tzv. dovodne prostore (dnevna soba, spavaća soba, blagovaonica, spavaća soba, radna soba) dok se iskorišteni zrak isisava iz prostora koji su

obično opterećenim vlagom i mirisima (kuhinja, kupaonica, zahod, pomoćne prostorije, smočnica). Kanali za dovod i odvod zraka izvedeni su kao plošne fleksibilne cijevi širine 10-20cm, združuju se u razdjelniku odnosno sakupljaču. Zrak se u prostor dovodi posebnim mlaznicama na zidu ili stropu, uvijek na visini iznad 200cm.



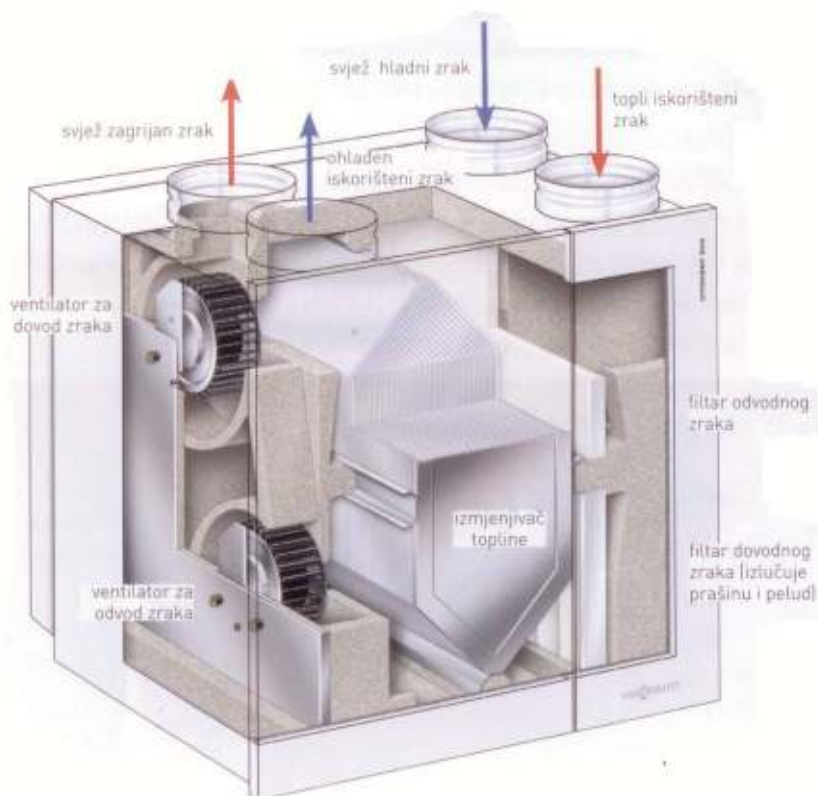
Slika 22. Razdjelnik kanala

Temperatura svježeg dovodnog zraka pri učinkovitom prijenosu topline u uređaju za prozračivanje je uvijek iznad 16 °C.



Slika 23. Kanali i mlaznice za ventilaciju

Treba paziti da između dovodnog i odvodnog prostora bude odgovarajuća cirkulacija zraka. To se može jednostavno postići da sobna vrata budu postavljena nešto više od uobičajenog – do 15mm visine, a tamo gdje to nije moguće zbog svjetlosnih i zvučnih zahtjeva treba postaviti zvučno izolirane zračne otvore u zidovima ili u samim vratima.



Slika 24. Izmjenjivač topline - rekuperator

Uređaji za ventilaciju postavljaju se u objektu u suhi prostor najpovoljnije unutar plašta objekta, preporučuju se što manji putovi povezivanja i mogućnost otjecanja kondenzata.

Ljeti kada ne treba grijati dovodni zrak sustav se prebaci u rad bez vraćanja topline. Za rad uređaja za prozračivanje zimi je bitna temperatura vanjskog zraka kako ne bi došlo do oštećenja uređaja, jer oni učinkovitiji mogu oduzeti gotovo svu toplinu zraka kojeg ispuštaju van te time dolazi do opasnosti od smrzavanja kondenzata, te se takvim uređajima treba dograditi predgrijavajući registar ili zemni izmjenjivač topline.



Slika 25. Izmjenjivač topline u kući Gemini, Austrija

Zemni izmjenjivač ili sakupljač topline je jednostavan uređaji koji iskorištava toplinu zemlje, a u praksi to je cijev od polietilena promjera oko 200mm ukopana ispod ili oko kuće

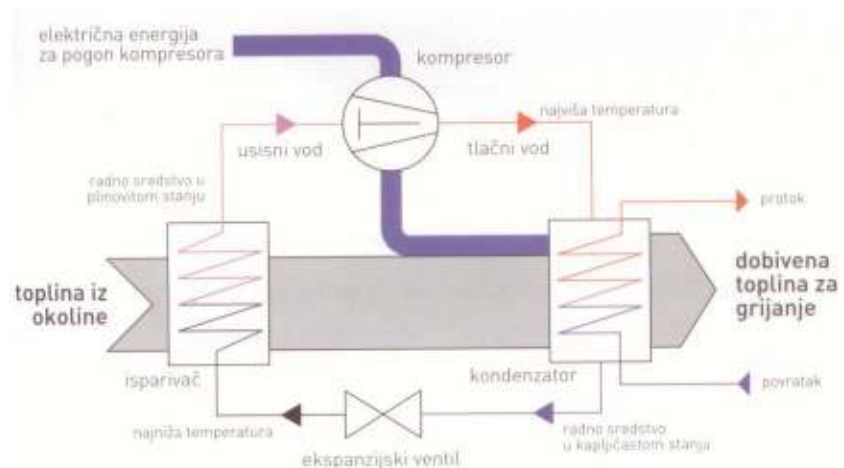
na 1,2 – 2m dubine odnosno ispod zone smrzavanja slično kao kanalizacione cijevi. Može se postaviti i više tanjih cijevi na 1m razmaka. Za planirani m^3 protoka potrebno je oko 0,2-0,3m dužna cijevi. Tako hladni filtrirani zrak grijemo toplinom zemlje tako da se čak i kod ekstremno hladnog vremena zrak uvijek zagrije na približno $+6^{\circ}C$.

Uređaji za ventilaciju objekata moraju biti tihi u slušnom području i vibracijama kako ne bi smanjili akustičnu ugodnost prostora. Prigušivači se ugrađuju za sprječavanje prijenosa zvuka a ventilacijski sustav se postavlja prije ostalih instalacija u objektu kako bi se izbjegli nepotrebni pregibi koji bi mogli izazvati buku. U pasivnim objektima se ne bi trebali ugrađivati sustavi koji su glasniji od 25 dB(A) mada po DIN 4109 normi dopuštene granice za ventilaciju su 30 dB(A).

4.6. Grijanje

Pasivni objekt nije energetski samodostatan u kojem dodatno grijanje nije potrebno. Kod planiranja grijanja pasivnog objekta moramo odmah naglasiti da se takvo grijanje ne izvodi električnom energijom koje bi zbog male potrošnje bilo sasvim prihvatljivo, ali pasivni objekt ima limitiranu godišnju potrošnju električne energije koja (bez grijanja zgrade i sanitarne vode) ne smije preći 18 kWh/(m^2a), a potrošnja zajedničke primarne energije 120 kWh/(m^2a). U pasivnim objektima toplinski gubici manji od 10 W/ m^2 . Tako nam je potreban toplinski tok od svega 300W za grijanje prostorije koja ima 30 m^2 . U pasivnim objektima godišnja potreba za grijanjem ne smije prelaziti 15 kWh/(m^2a), tako nam prosječan objekt od 120 m^2 godišnja potrošnja loživog ulja je 180l ili manja. Zbog vrlo male potrebe za toplinom u pasivnom objektu se možemo odreći klasičnog sustava grijanja koji nam donosi uštede u

prostoru te financijske jer nam nije potrebna kotlovnica. U pasivni se objekt umjesto klasičnih sustava grijanja ugrađuje toplozračno grijanje. Zrak koji se u hladnijim danima upuhuje u objekt po potrebi se dogrije i ne



Slika 26. Rad toplinske crpke

smije imati više od 49°C jer se pri toj temperaturi eventualna prašina u sustavu počinje pougljenjivati. Naspram običnih objekata kod pasivnih objekata se mijenja odnos utrošene energije za grijanje sanitarne vode koji je višestruko veći od količine energije potrebne za grijanje prostora, u pasivnim objektima se za grijanje prostora preporuča uporaba toplinske crpke, a za grijanje sanitarne vode kombinacija toplinske crpke i pretvornika sunčeve energije s kojima se pokriva 40-60% potrebne energije za zagrijavanje sanitarne vode. Toplinska crpka ili dizalica topline je uređaj koji je preuzima iz okoline te je podiže na višu temperaturnu razinu.

Toplinske crpke iskorištavaju toplinu zemlje, vode, zraka, stijene. Nove toplinske crpke troše 34-49% manje primarne energije od plinskih ili uljnih kondenzacijskih kotlova, 32-60% se smanjuje emisija štetnih plinova u atmosferu.



Slika 27. Toplina vanjskog zraka

Princip rada toplinske crpke kao tehnologija poznat je godinama te je isti kao kod hladnjaka, kao što hladnjak oduzima toplinu iz svoje unutrašnjosti i izbacuje je van, tako i toplinska pumpa uzima toplinu iz niskotemperaturnog medija i grije drugi medij, najčešće vodu koja se koristi za grijanje. Dobivena toplina rezultat je termodinamičkog procesa a ne izgaranja goriva.

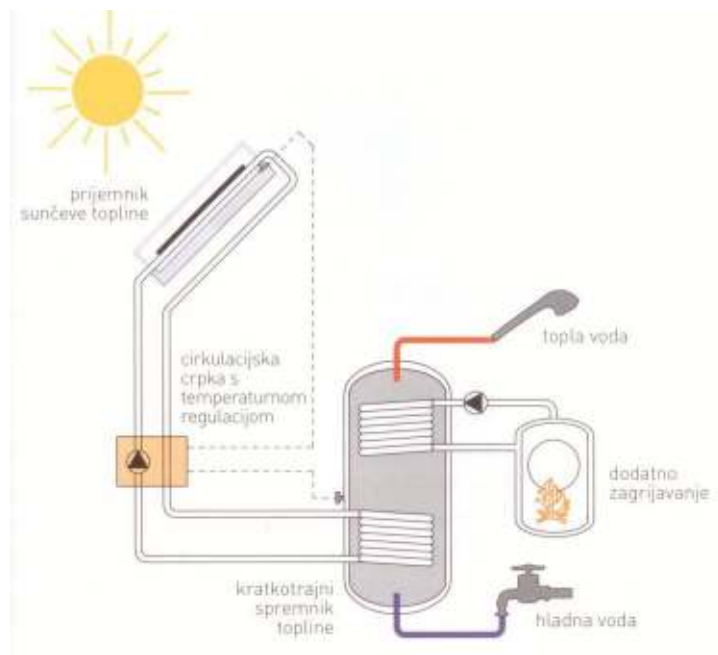
Iparivač oduzima toplinu iz okoline (zemlja, zrak, voda, stijena) u kojem se radni medij zapari i zagrije toplinom iz okoline. Kompresor usisava nastalu zagrijanu paru, komprimira je i time zagrije. U kondenzatoru vruća para pri višoj temperaturi i tlaku kondenzira se i pri tome daje kondenzacijsku toplinu ogrjevnom mediju. Radni medij ide

zatim preko ekspanzivnog ventila gdje mu se tlak snižava ponovo u isparivač te se proces ponavlja. Da približimo pojam toplinske crpke možemo reći da je klasični kućni klima uređaj toplinska crpka.



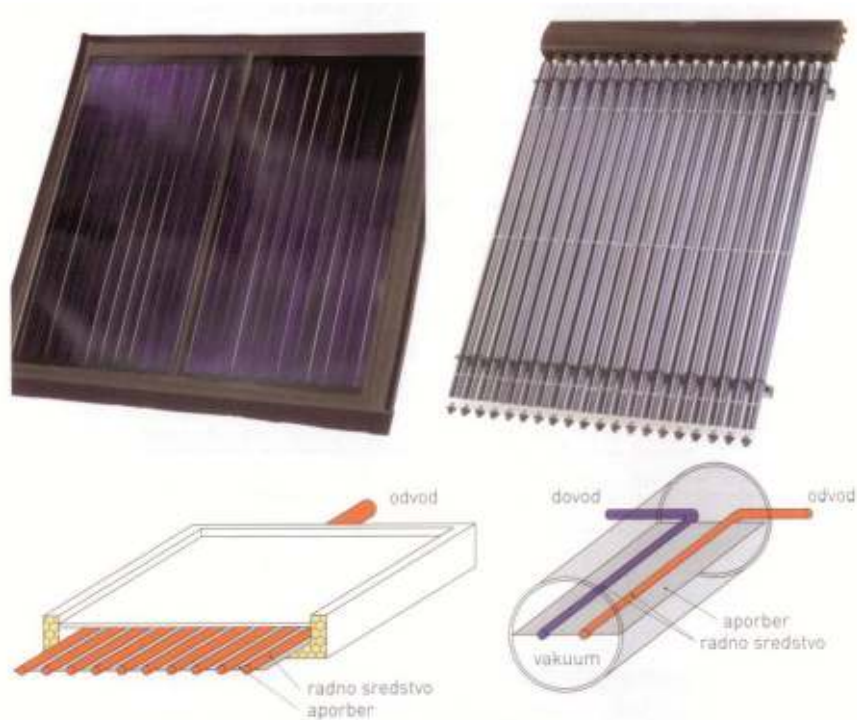
Slika 28. Različite izvedbe zemnih sakupljača - izmjenjivača topline

Sunčani kolektori odnosno foto termički uređaji ili pretvornici sunčeve energije upotrebljavaju se većinom za grijanje sanitarne vode, ali upotrebljivi su kao uređaji za grijanje objekta. Načinjeni su od transparentnog pokrova (kaljeno staklo) i apsorbera kojim struji medij koji preuzima sunčevu energiju te se zagrijava i tu toplinu prenosi u izmjenjivač topline koji je u spremniku topline (tank sa toplom vodom) gdje postoji mogućnost dogrijavanja iz drugog izvora.



Slika 29. Shema sunčanog sustava za grijanje sanitarne vode

Postoje dva tipa sunčanih pretvornika: pločasti i vakumski. Vakumski su učinkovitiji ali bitno skuplji za proizvodnju.



Slika 30. Pločasti i vakumski pretvornici sunčeve energije

Pretvornici sunčane energije mogu biti postavljeni na krovove, balkonske ograde, na pročelja, ili mogu biti samostojeći kao sjenila za parking.



Slika 31. Razni primjeri montaže solarnih panela

Da zadovolje sustav pasivnog objekta potrebno ih je montirati od 0,75 m² do 1,5m². Montiraju se orijentirani prema jugu s odklonom od 45⁰ od horizonta te se njihova toplina sprema u spremnik koji mora imati dvostruko veći kapacitet od potrebnog, a za obični objekt 300-500 litara. S njima smo u mogućnosti osigurati gotovo 60 % godišnje potrebe energije za sanitarnu vodu.

Postoje također i fotonaponski sunčani pretvornici koji su standardnih veličina 10x10cm ili 15x15cm, takve ćelije daju napon između 0,5V i 2V te se zato povezuju u fotonaponske sunčane module koji su standardne veličine 1,2m x 1m takvi moduli daju snagu od otprilike 110 W_p⁵.



Slika 32. Različite boje FN modula

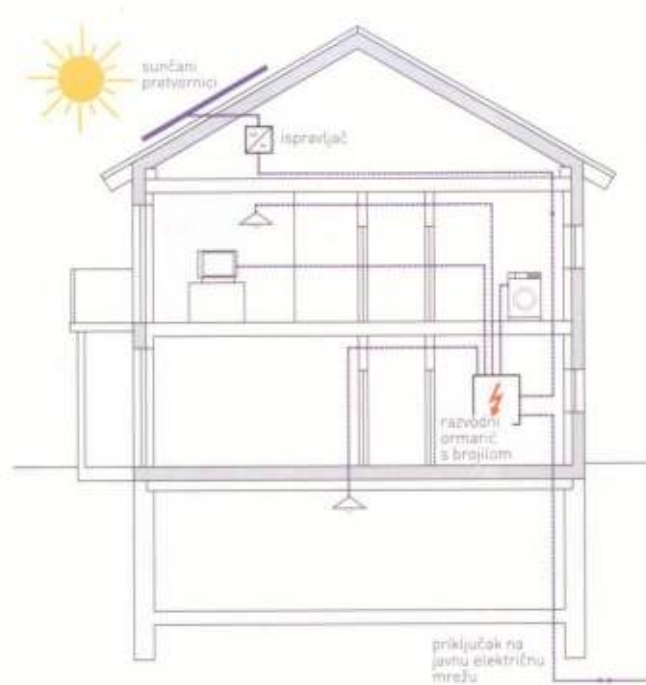
Postoje monokristalni, polikristalni te amorfni moduli. Razlikuju se u iskoristivosti i cijeni, a najčešće se upotrebljavaju polikristalni.



Slika 33. Različiti tipovi FN modula. Monokristalni, Polikristalni i amorfni

⁵ W_p - Watt peak – vršna snaga

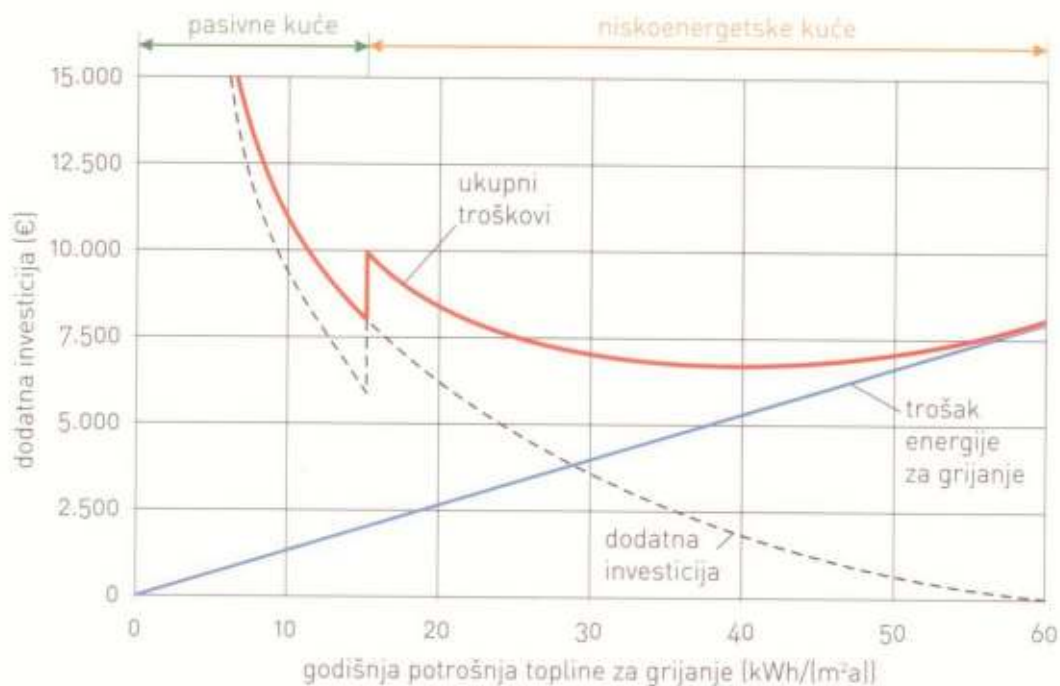
Pošto je skladištenje električne energije skupo, zbog cijene i trajnosti akumulatora u većini slučajeva se rade fotonaponski sustavi koji trenutni višak proizvedene struje isporučuju u mrežu, te za tu struju dobivamo naknadu od države koja je u pravilu veća od kupovne cijene struje. Tako u Hrvatskoj isporučeni kWh u mrežu proizveden iz obnovljivih izvora košta otprilike 3 puta više nego kupljeni kilovat iz mreže. Tu razliku u cijeni plaćamo svi mi kroz naknadu za obnovljive izvore energije.



Slika 34. Umreženi sustav FN modula povezan s javnom energetsom mrežom

5. Ekonomska isplativost pasivnog objekta

Kod planiranja svakog objekta treba napraviti dobar plan te postaviti projektne zahtjeve. U startu se treba odlučiti hoćemo li zidati jeftino i plaćati skupo u budućnosti ili investirati nešto više i štedjeti na režijskim troškovima. Kada imamo dobro i točno definirane ulazne parametre onda je lako odlučiti se za pasivni objekt jer njegova cijena prema istraživanju Passivhaus Institut u Darmstadtu nije znatno veća od niskoenergetskog objekta ili klasičnog objekta, a pri eksploataciji donosi znatne uštede. Zašto cijena nije znatno veća? Zato što pasivni objekti nemaju dosta sustava koji moraju imati obične građevine. Tako kod pasivnog objekta nemamo klasično centralno grijanje, nemamo klasične klima uređaje, tako da se u tom djelu naprave znatne uštede, koje se reinvestiraju u bolji toplinski plašt i kvalitetnije prozore i vrata kojima se ostvaruju dodatne uštede u toplinskoj bilanci.



Tablica 5. Troškovi za dobru nisko energetsku kuću rastu do tada kada tradicionalan sustav grijanja više nije potreban. Pasivna kuća je cijenom usporediva s dobrom niskoenergetskom kućom

Za vrednovanje isplativosti pasivnog objekta treba uzeti u obzir još mnogo činjenica, od rasta cijene energenata, koje se pokazalo kroz povijest da su uvijek premašile i najcrnje prognoze, pa do same vrijednosti objekta u budućnosti, i cijene održavanja i popravaka sustava koji se potencijalno kvare kod običnih objekata dok kod pasivnih objekata takvih popravaka nema.

Za primjer (vidjeti prilog fasada) cijena stiropor fasade s 10cm izolacije košta 112,20kn/m² dok cijena iste takve fasade koja ima 20cm izolacije košta 166,16 kn/m² što je

32% viša cijena, cijena bolje toplinski izoliranih prozora je 30% viša, dok cijena podnih i stropnih izolacija je 25% viša. To na ukupnu cijenu kuće odnosi oko 30% cijene ovisno o kvaliteti ostalih ugrađenih materijala.

Cijena klasične gradnje jako varira na našem tržištu, ali s tim niskim varijacijama je upitna kvaliteta i garancija. Standardna novogradnja na našem tržištu stoji 1000€/m² što bi značilo da jedan lijepi obiteljski objekt od 120m² košta 120.000€. Ako tu cijenu povisimo za 30% dobijemo 156.000€ odnosno ispada da u pasivni objekt investiramo 36.000€. Cijene režijskih troškova za klasični objekt prelaze 1900Kn mjesečno odnosi variraju ljetu zima, ali uvijek je krajnji iznos podjednako veliki (struja 600Kn, voda 300kn, plin 1000Kn) odnosno 22.800Kn godišnje ili cca. 3000€ godišnje. Iz tih režijskih troškova ispada da nam treba 12 godina da isplatimo njegovu investiciju. Troškovi koje generira u korištenju pasivni objekt znatno su niži od troškova održavanja sustava grijanja i klimatizacije koje generira klasični objekt tako da se u razliku cijene neće ubrajati potrošnja pasivnog objekta.

6. Zaključak

Kod gradnje novog objekta treba uzeti u obzir kod nas nova, a u svijetu već stara znanja i tehnologije te objekt načiniti takav da bude u klasi pasivnog objekta. Takva gradnja je u početku investicije skuplja za određeni postotak (u prosjeku 20%-30%) ovisno o projektnim zahtjevima, ali kod izgradnje takvog objekta dobivaju se dodatne druge pogodnosti koje nisu vezane samo uz financije. Tako u pasivnom objektu možemo zdravije živjeti jer ćemo imati znatno manje prašine i peludi biljaka, a to znatno pridonosi kvaliteti života. U pasivnom objektu ćemo uvijek imati temperaturnu ugodu tako da ćemo se uvijek bolje osjećati, manje ćemo biti bolesni radi razlika u temperaturi i vlazi te neće biti nametnika u obliku plijesni, spora te komaraca jer se prozračivanje odvija kroz kontrolirane uvjete.

U pasivnom objektu nemamo sustav klasičnog grijanja tako da su nam zidovi slobodni od radijatora ili peći pa štedimo prostor i možemo imati jednako dobro organiziran životni prostor u manje kvadrata.

Trenutno u Hrvatskoj nemamo nikakvih poticaja za gradnju pasivnih objekata, ali očekujemo da će se to uskoro promijeniti jer većina članica EU potiče svoje stanovnike kod gradnje objekata pasivnih karakteristika. Trenutno u Hrvatskoj par komercijalnih banaka prepoznaje kvalitetu pasivnih objekata te lakše daju povoljnije kredite ako se gradi pasivni objekt, jer im je u računici smanjen rizik nevraćanja kredita pošto će korisnik ostvarivati znatne uštede na režijskim troškovima.

Kod gradnje novog objekta ja bih se svakako odlučio za pasivni objekt, jer se nešto viša cijena u startu, višestruko isplati kroz relativno kratak vremenski period, tako da mogu potvrditi hipotezu da je izgradnja niskoenergetskog objekta isplativa investicija.

7. Preporuke za daljnji rad

Kod izgradnje pasivnog objekta vodi se računa o samom objektu, ali ne i o njegovoj okućnici, koju svaki objekt, koji je ugodan za život mora imati, a održavanje okućnice iziskuje vodu, koju nitko ne spominje.

U našoj mediteranskoj klimi ljeta budu jako vruća i suha, tako da je potrebno zalijevanje vrtnog bilja što prouzrokuje znatne troškove vode u ljetnim mjesecima, dok u zimskim mjesecima ima problema s viškom vode i padalinama.



Slika 35. Jedna od brojnih poplava u Puli

Moja ideja je, da bi svaki pasivni objekt trebao imati i vodospremu (šternu) u kojoj bi se akumulirala voda tijekom zimskih mjeseci te bi se ta voda mogla koristiti kao voda za zalijevanje vrta, odnosno parka, te kao voda za sanitarne potrebe, a uz odgovarajuću filtraciju i za piće. Time bi se pridonijelo uštedama vode, a i ne bi sva voda završavala na ulici, pa bi se izbjegli ovakvi slučajevi kao na slici.

8. Popis slika i tablica

POPIS SLIKA

Slika 1. Shematski prikaz napadnog kuta insolacije ljeti i zimi.....	13
Slika 2. Prikaz sunčevog zračenja odnosno spremanja topline.....	17
Slika 3. Iskoristivost toplinskog kapaciteta materijala.....	17
Slika 4. Lagane zidne konstrukcije	18
Slika 5. Gradnja s oplatnim elementima od polistirena	19
Slika 6. Princip djelovanja geometrijskog toplinskog mosta	20
Slika 7. Usporedba temperature na unutarnjoj površini kod izoliranog i neizoliranog zida....	20
Slika 8. Termografska slika pročelja u infracrvenom spektru	21
Slika 9. Temperatura u kutu s obzirom na različite debljine toplinske izolacije	21
Slika 10. Upuhivanje toplinske izolacije od ovčje vune	22
Slika 11. Princip djelovanja neprozirne toplinske izolacije i prozirne toplinske izolacije	22
Slika 12. Primjeri prozirne toplinske izolacije	23
Slika 13. Modeli prozora za pasivne kuće s trostrukim ostakljenjem.....	25
Slika 14. Temperaturni profil poprečnog presjeka dvostruko ostakljenog prozora	26
Slika 15. Temperaturni profil poprečnog presjeka trostruko ostakljenog prozora.....	27
Slika 16. Ugradnja prozora u zid.....	28
Slika 17. Zrakonepropusna ravnina u pasivnoj kući mora potpuno ograničavati grijani volumen.....	29
Slika 18. Ekspanzivna traka omogućava zrakonepropusno prilijevanje prozora na neravnim površinama	30
Slika 19. Test Blower Door.....	30
Slika 20. Brtvljenje proboja	31
Slika 21. Shema rada kontrolirane ventilacije s vraćanjem topline otpadnog zraka.....	32
Slika 22. Razdjelnik kanala.....	33
Slika 23. Kanali i mlaznice za ventilaciju	33
Slika 24. Izmjenjivač topline - rekuperator	34
Slika 25. Izmjenjivač topline u kući Gemini, Austrija.....	34
Slika 26. Rad toplinske crpke.....	35
Slika 27. Toplina vanjskog zraka	36
Slika 28. Različite izvedbe zemnih sakupljača - izmjenjivača topline	37
Slika 29. Shema sunčanog sustava za grijanje sanitarne vode	37

Slika 30. Pločasti i vakumski pretvornici sunčeve energije	38
Slika 31. Razni primjeri montaže solarnih panela.....	38
Slika 32. Različite boje FN modula	39
Slika 33. Različiti tipovi FN modula. Monokristalni, Polikristalni i amorfni.....	39
Slika 34. Umreženi sustav FN modula povezan s javnom energetsom mrežom	40
Slika 35. Jedna od brojnih poplava u Puli.....	44

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prolaz topline kroz različita vrsta ostakljenja	24
Tablica 2. Prolaz topline za pojedine vrste stakla	25
Tablica 3. Temperatura rosišta u ovisnosti o relativnoj zračnoj vlažnosti	26
Tablica 4. Propusnost materijala na zrak kod tlačne razlike 50 Pa (bold ima odgovarajuću zrakonepropusnost)	31
Tablica 5. Troškovi za dobru niskoenergetsku kuću rastu do tada kada tradicionalan sustav grijanja više nije potreban. Pasivna kuća je cijenom usporediva s dobrom niskoenergetskom kućom	41

9. Literatura

Knjige

1. Hajdarovac, E. (2011) *Katalog niskoenergetskih kuća*. Zagreb: Domprojekt d.o.o.
2. *Opća enciklopedija Jugoslavenskog leksikografskog zavoda* (1982). Zagreb: JLZ. Sv. 1.-8.
3. Senegačnik Zbašnik, M. (2009) *Pasivna kuća*. Zagreb: SUN ARH d.o.o.

Časopis

1. Denieuwegeneratie, et al. (2013) *Solarna elektrana za balkon, Solarni dimnjaci...*
Majstor, 1-2(13)

Seminari i dr.


1. Cetina, Slaven (2014) *Energetska učinkovitost i gradnja-stručne konzultacije*. Pula: S.C. Projekting d.o.o.
2. Dropulić, Zlatko (2014) *Energetska učinkovitost i solarni sustavi-stručne konzultacije*. Pula: Dalmis d.o.o.
3. Pentek, D. ur. (2011) *Natura dom-EEC/Energy Efficiency Croatia (Građevinski obrtnički sajam u Poreču s naglaskom na energetska učinkovitost, niskoenergetsku i pasivnu gradnju u Hrvatskoj)*. Zagreb, Pula: Natura studio

Internet


1. *Rockwool Adriatic* d.o.o. Poduzetnička zona Pićan 130, Zajci, 52333 Potpićan.
http://www.rockwool.hr/files/RW-HR/PDFs%20and%20other%20documents/Product%20leaflets%20and%20brochures/Rockwool-product_catalogue-HR.pdf
2. *Samoborka* d.d. Zagrebačka 32/A, Samobor.
<http://www.samoborka.hr/dokumenti-i-cjenici>
3. *TROHA-DIL* d.o.o. Tvornica prozora i vrata, Poslovna „zona-P“ 43274 Severin.
<http://www.troha-dil.hr/bluegreen-pasivni-prozori/bluegreen-pasivni-prozori>

10. Privitak

Kalkulacija za fasadu s 10cm toplinske izolacije

 TERMOZOL (EPS) v1.2.1					
KVADRATURA OBJEKTA: 1 m ²					
		Jedin. mjere	Potrošnja po m ²	VPC po jed.mj.	VPC po m ² (kn)
DEBLJINA EPS PLOČA	10	10 cm	1	39,00	39,00
EPS PLOČA - PREKLOP?	BEZ PREKLOPA	-	-	-	-
LJEPILO ZA EPS PLOČE	LJEPILO ZA EPS 25 KG *	kg	5	1,73	8,65
ARMATURNI SLOJ	SAMOTERM F 25 KG	kg	2,5	2,55	6,38
	SAMOTERM F 25 KG	kg	2,5	2,55	6,38
STAKLENA MREŽICA	PRIMAFAS 160	m ²	1,1	5,29	5,82
PRIČVRSNICE	PRIČVRSNICA MIK 160	kom	4	0,65	2,60
ZAVRŠNO-DEKORATIVNI SLOJ	SEP Z 200	kg	4	2,90	11,60
+ dodatno hidrofobiranje	MINERALKOLOR (cjenovni razred 1)	kg	0,2	20,03	4,01
TEMELJNI GRUND	MINERALKVARC GRUND OBOJENI 15 L	l	0,15	16,00	2,40
DODATNI PRIBOR	AL COKL PROFIL	m ¹	0,16	11,80	1,89
	PVC PROFIL S MREŽICOM	m ¹	0,4	2,62	1,05
				Ukupno VPC /m²	89,76 kn
				Ukupno VPC za objekt	89,76 kn
				PDV	22,44 kn
				Ukupno MPC za objekt	112,20 kn
<p>Napomene: Navedene potrošnje materijala su orijentacijske, dobivene temeljem važećih građevinskih normi. Do odstupanja u utrošcima može doći zbog specifičnosti podloge, načina obrade materijala, arhitekture objekta ili dodatnog pribora (cokl i PVC profili) čija potrošnja ovisi o dužnim metrima fasadne površine. LJEPILO ZA EPS 25 KG i LJEPILO ZA EPS 25 KG * je isti, identični proizvod.</p>					

Kalkulacija za fasadu s 20 cm toplinske izolacije

 TERMOZOL (EPS) v1.2.1					
KVADRATURA OBJEKTA: 1 m ²					
		Jedin. mjere	Potrošnja po m ²	VPC po jed.mj.	VPC po m ² (kn)
DEBLJINA EPS PLOČA	20	20 cm	1	78,00	78,00
EPS PLOČA - PREKLOP ?	BEZ PREKLOPA	-	-	-	-
LJEPILO ZA EPS PLOČE	LJEPILO ZA EPS 25 KG *	kg	5	1,73	8,65
ARMATURNI SLOJ	SAMOTERM F 25 KG	kg	2,5	2,55	6,38
	SAMOTERM F 25 KG	kg	2,5	2,55	6,38
STAKLENA MREŽICA	PRIMAFAS 160	m ²	1,1	5,29	5,82
PRIČVRSNICE	PRIČVRSNICA MIK 220	kom	4	1,22	4,88
ZAVRŠNO-DEKORATIVNI SLOJ	SEP Z 200	kg	4	2,90	11,60
+ dodatno hidrofobiranje	MINERALKOLOR (cjenovni razred 1)	kg	0,2	20,03	4,01
TEMELJNI GRUND	MINERALKVARC GRUND OBOJENI 15 L	l	0,15	16,00	2,40
DODATNI PRIBOR	AL COKL PROFIL	m ¹	0,16	23,60	3,78
	PVC PROFIL S MREŽICOM	m ¹	0,4	2,62	1,05
				Ukupno VPC /m²	132,93 kn
				Ukupno VPC za objekt	132,93 kn
				PDV	33,23 kn
				Ukupno MPC za objekt	166,16 kn
<p>Napomene: Navedene potrošnje materijala su orijentacijske, dobivene temeljem važećih građevinskih normi. Do odstupanja u utrošcima može doći zbog specifičnosti podloge, načina obrade materijala, arhitekture objekta ili dodatnog pribora (cokl i PVC profili) čija potrošnja ovisi o dužnim metrima fasadne površine. LJEPILO ZA EPS 25 KG i LJEPILO ZA EPS 25 KG * je isti, identični proizvod.</p>					