

Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet

Damir Kolić, Tomislav Šimunović

**EKONOMSKE I EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE
ENERGETSKI UČINKOVITE GRADNJE**

Zagreb, 2009. godina

„Ovaj rad izrađen je u Zavodu za Materijale Građevinskog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom prof. dr. sc. Dunje Mikulić, dip. ing. fizike i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2008./2009.“

Sadržaj rada:

1. Uvod	1
2. Osnovni pojmovi građevinske fizike	2
3. Održiva gradnja	5
3.1. Energetska učinkovitost.....	6
3.1.1. Zakonodavni okvir.....	11
3.2. Korištenje manje štetnih materijala.....	13
3.2.1. Toplinsko izolacijski materijali	13
3.2.2. Kuća od slame	19
4. Energetska certifikacija	22
5. Pasivna kuća	27
5.1. Opće karakteristike.....	27
5.2. Projektiranje pasivne kuće - Opći pristup	28
5.2.1. Uvjeti za dobivanje „PassivHaus certifikata“.....	29
5.2.2. Orijentacija i koncept oblikovanja.....	30
5.2.3. Toplinska zaštita i izbjegavanje toplinskih mostova	31
5.2.4. Prozori i vrata	33
5.2.5. Povrat topline i obnovljivi izvori energije.....	34
5.2.6. Ventilacijski sustav.....	36
5.3. Smanjenje emisije CO ₂ primjenom pasivne kuće.....	38
5.4. Ekonomske karakteristike	41
5.5. Najbolje prakse u Europi.....	44
5.6. Pasivna kuća u Hrvatskoj	48
6. Istraživački rad s računalnom podlogom	50
6.1 Računalni program IGH- toplinska zaštita	50
6.2 Osnovne karakteristike obiteljske kuće	54
6.3 Ekonomske karakteristike	70
6.3.1 Isplativost gradnje nove pasivne kuće u odnosu na standardno izoliranu	72
6.3.2 Isplativost ugradnje bolje toplinske izolacije prilikom rekonstrukcije postojeće zgrade	75
6.4. Ekološke karakteristike	78
7. Zaključak	81
Literatura:	82
PRILOG 1	83
PRILOG 2	86
PRILOG 3	88
PRILOG 4	90
Sažetak	94
Summary	94

1. Uvod

U ne tako dalekoj prošlosti se nije niti razmišljalo o uštedi energije jer je ona bila dostupna, jeftina te je postojalo mišljenje da su glavni izvori energije nepresušni. Danas svijet pogađaju energetske i klimatske katastrofe zbog takvog pristupa iz prošlosti. Klimatske promjene, globalno zatopljenje i efekt staklenika problemi su kojih je čovječanstvo postalo svjesno tek posljednjih tridesetak godina. Upravo zbog tih razloga, a i zbog činjenice da zgrade kao najveći potrošači energije imaju veliki energetske i ekološki utjecaj, energetska učinkovitost, održiva gradnja i mogućnost korištenja obnovljivih izvora energije danas postaju prioriteti suvremene gradnje i energetike. Uočena je nužnost za promjenama, Kyotski protokol je jedan od glavnih pokretača promjena. Potpisan je s ciljem smanjivanja emisije ugljičnog dioksida (CO₂) i drugih stakleničkih plinova. Kyotski protokol je stupio na snagu 16. veljače 2005. god. kada ga je ratificirala Rusija, 55. zemlja potpisnica. Hrvatska je Kyotski protokol potpisala 27. travnja 2007. god. kao 170. zemlja potpisnica, a obvezala se na smanjenje štetne emisije stakleničkih plinova za 5% od 2008. do 2012. god. u odnosu na 1990. god. [1]

Smanjenje potrošnje energije predstavlja posljedično i smanjenje emisije CO₂. Na zgradarstvo otpada prema procjenama 40 % ukupne potrošnje energije. Od toga čak 70 % otpada na zagrijavanje prostora. Zgradarstvo predstavlja veliki potencijal za ostvarivanje željenih energetske ušteda. Upravo zbog rasipničkog pristupa pri projektiranju starih objekata prilikom rekonstrukcije minimalnim zahvatima je moguće ostvariti velike uštede (postavljanjem toplinske izolacije vanjskog zida na objektima izgrađenim prije 1970 god. ostvaruju se uštede i do 80 % za grijanje). Prilikom projektiranja novih građevina zadovoljavanjem standarda pasivne gradnje (potrošnja energije za grijanje/hlađenje objekta manja od 15 kWh/m² godišnje) omogućuju se velike uštede energije bez narušavanja kvalitete stanovanja.

Brojnim studijama Europske unije - EU potvrđena je energetska i ekonomska učinkovitost pasivne gradnje pa se ona u novom akcijskom planu EU predlaže kao standard gradnje. U Hrvatskoj takva ispitivanja još nisu provedena. Cilj rada je prikazati ekonomske i energetske karakteristike isplativosti pasivne gradnje u odnosu na standard. Prikazat će se proračun potrebne topline za grijanje/hlađenje na godišnjoj razini, te će biti provedena studija isplativosti.

Nužna dodatna ulaganja u odnosu na konvencionalnu gradnju potrebna za dostizanje pasivnog standarda gradnje moraju biti subvencionirana od države da bi se povećao broj objekata. Pojedinac će dobiti manje troškove za život i udobniji stambeni prostor a država će smanjenjem ukupne potrošnje energije izbjeći velika ulaganja u nove izvore energije (nuklearne elektrane, termoelektre...) koji su nužni zbog povećanja potrošnje energije i smanjenja dostupnosti trenutno korištenih energenata.

2. Osnovni pojmovi građevinske fizike

Niskoenergetska kuća

Niskoenergetska kuća, za razliku od klasične gradnje, za zagrijavanje koristi svega 40 kWh/m² godišnje, što je ekvivalent od 2,7 litara loživog ulja, pa se naziva i trolitarskom kućom.

Za proces održive gradnje niskoenergetske kuće su od iznimne važnosti. Energetski su učinkovite, s idejom potpune samodostatnosti. To znači da će proizvoditi dovoljnu količinu energije, u najvećoj mjeri izravnim zahvatom sunčeva zračenja, tako da takva kuća nema potrebu koristiti priključke električne struje, plina, toplane, itd.

Pasivna kuća

Pasivna kuća za zagrijavanje koristi 15 kWh/m² godišnje, što se može izraziti ekvivalentom od 1 litre loživog ulja, pa se naziva i jednolitarska kuća.

Koncepcija pasivne kuće zasniva se na zabrtvljenosti ljuske građevine i kontroliranoj ventilaciji. Uz preduvjet odgovarajuće visokovrijedne toplinske zaštite, upotreba toplinske crpke i ventilacijskog sustava (koji kontinuirano dovodi svježi zrak u prostor) te upotreba dostupnih obnovljivih energija na pasivan i aktivan način za zagrijavanje vode i proizvodnju električne energije (fotonaponske ćelije), rezultiraju samodostatnim i energetski neovisnim objektom. [2]

Toplina

Toplina, Q [J] je energija koja zbog razlike temperature prelazi iz područja više temperature u područje niže temperature, dok sa ne uspostavi termička ravnoteža.

Toplina se može prenositi na tri osnovna načina :

- Vođenjem (kondukcijom) - u čvrstim, tekućim i plinovitim materijalima
- Strujanjem (konvekcijom) - u tekućim i plinovitim materijalima
- Zračenjem (radijacijom) - u plinovitim materijalima i vakuumu [3]

Količina topline

Da bi se povećala temperatura nekog tijela potrebno je tom tijelu dovesti određenu količinu topline. Fizikalna veličina - količina topline Q [J=Joule], označava toplinsku energiju koja prelazi s jednog tijela na drugo, pri njihovom dodiru ili zračenju [5].

Specifični toplinski kapacitet

Specifični toplinski kapacitet c [J/(kg·K)] je količina topline potrebna da se jediničnoj masi nekog tijela povisi temperatura za jedinicu. Vrijednost „ c “ ovisi o temperaturi pri kojoj je izmjerena, i stoga se u građevinarstvu koristi njena srednja vrijednost koja vrijedi za određeni temperaturni interval [5].

Toplinska provodljivosti

Toplinska provodljivost je svojstvo materijala da provede toplinu. Iskazuje se vrijednošću λ [W/(m·K)], tj. mjerom toplinske provodljivosti određenog materijala. Ona navodi kolika količina topline [Q] u jedinici vremena [s] po jedinici površine [m²] prolazi kroz homogeni materijal debljine 1 metar [m], ako temperaturna razlika između toplije i hladnije strane materijala iznosi 1°K.

Toplinska provodljivost ovisi o obujamskoj masi (omjeru mase i volumena), tj. poroznosti, o kemijskom sastavu, sadržaju vlage i temperaturi materijala [5].

Niska toplinska provodljivost odražava niski stupanj prodiranja topline kroz određeni materijal, tj. visoki stupanj toplinske izolacije tog materijala.

Kod planiranja građevinskih konstrukcija se u pravilu primjenjuje tzv. „nazivna vrijednost“ (računska vrijednost) toplinske provodljivosti. Prethodno se u laboratorijima određuje tzv. „laboratorijska vrijednost“ – pri temperaturi od 100°C i u suhom stanju [5].

Otpor prolaza topline R

Za određivanje ukupnog toplinskoizolacijskog svojstva jednog konstruktivnog elementa, moraju se uzeti u obzir toplinskoizolacijske osobine svih pojedinačnih materijala iz kojih je konstruktivni element sastavljen – uključujući debljine tih materijala, kao i vrijednosti tzv. „otpora prijelazu topline“ istih na površini (unutrašnjoj i vanjskoj) relevantnog građevinskog konstruktivnog elementa.

Prije nego što toplina iz zraka dopre u neki konstruktivni element (pod, ploču ili zid) ili taj isti element napusti, ona mora proći kroz jedan tzv. „granični sloj“ (zrak/element). Ovaj granični sloj tom prolazu topline pruža otpor [m²·K/W]. Pritom važnu ulogu ima strujanje zraka, kao i sastav i položaj površinske strukture konstruktivnog elementa - na otvorenom prostoru u pravilu postoje jaka strujanja zraka. Iz tog razloga je otpor prolaza topline nizak. U zatvorenom prostoru strujanja zraka su slabija i tamo je otpor prolaza topline visok. Iz ovog proizlazi da je postojanje otpora prolaza topline izazvano uslijed postojanja razlika između temperature u unutrašnjosti prostorija i temperature na površinskom sloju zida.

$$R = d / \lambda [(m^2 \cdot K)/W]$$

Vrijednost otpora prolaza topline za zidove, ploče i podove je određena normama (ovisno o položaju elementa u konstrukciji) [4].

Koeficijent prolaska topline

Koeficijent prolaska topline U [$W/(m^2 \cdot K)$] određuje kolika količina topline prođe kroz jedan konstruktivni element (po jedinici vremena [s] i jedinici površine [m^2] tog konstruktivnog elementa) ako je temperaturna razlika na vanjskoj i unutrašnjoj površini tog konstruktivnog elementa 1 K. Vrijednost U predstavlja recipročnu vrijednost sume otpora prolaska topline, uz uzimanje u obzir odnosa između debljine materijala i toplinske provodljivosti i neophodna je za obračun gubitaka topline kroz određeni konstruktivni element u objektu [5].

$$U = 1 / (R_i + R + R_e) [W/(m^2 \cdot K)] ,$$

gdje je : $R_i = 1 / \alpha_i$ (otpor unutarnjeg prijelaza topline) [$(m^2 \cdot K)/W$] ,

$$R_e = 1 / \alpha_e \text{ (otpor vanjskog prijelaza topline) } [(m^2 \cdot K)/W] ,$$

$$\alpha_i = \text{koeficijent unutarnjeg prijelaza topline } [W/(m^2 \cdot K)] ,$$

$$\alpha_e = \text{koeficijent vanjskog prijelaza topline } [W/(m^2 \cdot K)] [5].$$

3. Održiva gradnja

Ubrzanom potrošnjom u svim segmentima ljudskog života dolazi do velike iscrpljenosti resursa. Javlja se potreba za smanjenjem potrošnje tj. težnja prema održivom suživotu s okolinom. Temeljna odrednica suživota čovjeka i prirode je ideologija održivog razvoja (Slika 1.). **Održivi razvoj** je razvoj koji zadovoljava današnje potrebe čovjeka bez ugrožavanja mogućnosti da i buduće generacije ostvare svoje potrebe. Važan dio održivog razvoja se odnosi na graditeljstvo. Prihvatljiva izgradnja bila bi ona koja bi se potpuno s odredbama održivog razvoja tj. održiva gradnja.



Slika 1. Shema održivog razvoja

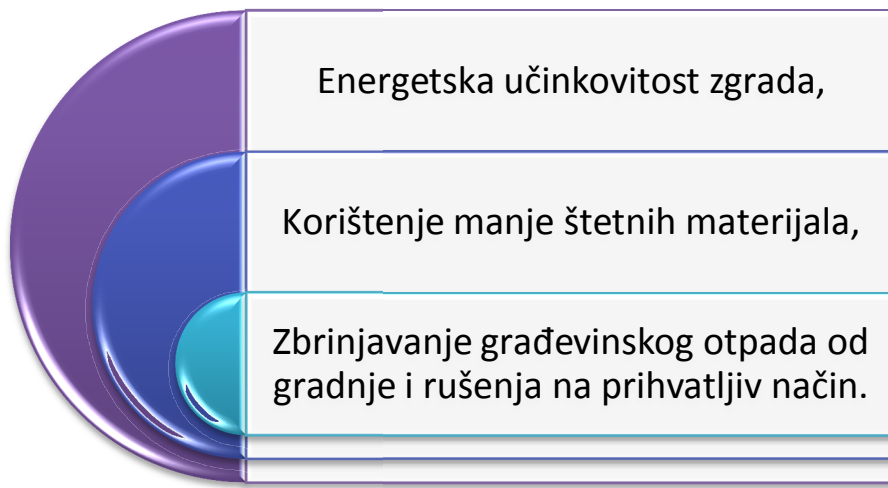
Energetski održiva gradnja predstavlja smanjenje energetske potrebe u zgradarstvu bez smanjenja kvalitete građenja i stanovanja. U kontekstu održivog razvoja održiva gradnja mora osigurati trajnost, kvalitetu oblikovanja i konstrukcija uz financijsku, ekološku i ekonomsku prihvatljivost. Energetski i ekološki održivo graditeljstvo teži prema:

- smanjenju gubitaka topline iz zgrade poboljšanjem toplinske zaštite vanjskih elemenata i povoljnim odnosom oplošja i volumena zgrade
- povećanju toplinskih dobitaka u zgradi povoljnom orijentacijom zgrade i korištenjem Sunčeve energije
- korištenju obnovljivih izvora energije u zgradama (biomasa, sunce, vjetar i dr.)
- povećanju energetske efikasnosti termoenergetskih sustava

Održivoj potrošnji energije treba dati prioritet planiranjem potrošnje, te implementacijom mjera energetske učinkovitosti u sve segmente energetskog sustava neke zemlje.

Niskoenergetske i pasivne kuće su temelj primjene održive gradnje tijekom cijelog životnog vijeka počevši od građevinskog materijala čija proizvodnja ne opterećuje okoliš, preko njihove energetske učinkovitosti i racionalnog trošenja energenata tijekom životnog vijeka, pa sve do racionalnog gospodarenja otpadom.

Održiva gradnja kao važan dio održivog razvoja je podjeljena na tri cjeline (slika 2.):



Slika 2. Podjela održivog razvoja

3.1. Energetska učinkovitost

Europska komisija donijela je krajem 2006. godine i akcijski plan o energetske učinkovitosti pod naslovom „Ušteda za 20% do 2020. godine“ (Povećati udio proizvedene energije iz obnovljivih izvora energije za 20%; Povećati udio biogoriva na europskom tržištu goriva za 20%; Smanjiti emisiju stakleničkih plinova a poglavito CO₂ za 20%) jer je utvrđeno da se unatoč sve skupljim energentima, sve težim posljedicama za okoliš te sve većoj ovisnosti o nabavi fosilnih goriva van granica Europske unije, najmanje 20 posto energije troši nepotrebno.[6]

Energetska učinkovitost je suma isplaniranih i provedenih mjera čiji je cilj korištenje minimalno moguće količine energije tako da razina udobnosti i stopa gospodarske proizvodnje ostanu sačuvane.[6]

Energetska učinkovitost se ne smije promatrati kao štednja energija. Štednja uvijek podrazumijeva odricanja, dok učinkovita uporaba energije ne narušava uvjete rada i življenja, odnosno poboljšava ih ili barem zadržava na istoj razini. Može se reći da energetska učinkovitost prvenstveno zavisi o svijesti ljudi i njihovoj volji za promjenom ustaljenih navika prema energetski učinkovitijim rješenjima.

Kada je razina svijesti potrošača o potrebi učinkovite uporabe energije razvijena, potrebno je potrošača usmjeravati na nove, tehničke mjere za smanjenje potrošnje energije, o čijoj primjeni će se odlučiti na temelju njihove isplativosti, a čime će se uz energetske podići i ekonomska učinkovitost.

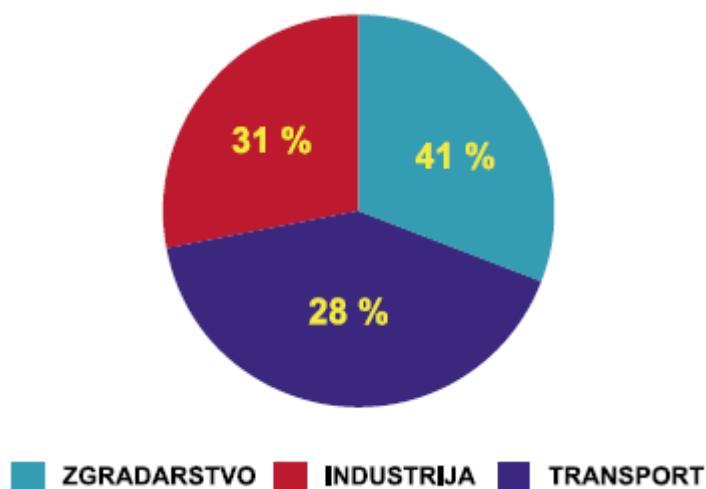
Kvalitetna koncepcija energetski učinkovitog građenja podrazumijeva istovremeno razmatranje svih aspekata građevine, od arhitekture, pročelja i funkcije, preko konstrukcije, protupožarne zaštite, akustike, pa do potrošnje energije i ekološke kvalitete zgrade. Osnovne metode projektiranja energetski učinkovite zgrade uključuju tri bitna elementa: (1) smanjenje potreba za energijom (energetske uštede), (2) maksimiziranje korištenja obnovljivih izvora energije te (3) korištenje fosilnih goriva na optimalan način u pogledu

zaštite okoliša. Osnovna tri segmenta energetske potrebe koje je nužno promijeniti u želji za postizanjem energetske učinkovitosti su prikazani na slici 3:



Slika 3. Energetske potrebe [6]

Zgradarstvo je najveći pojedinačni potrošač energije i važan dio u želji za postizanjem energetske učinkovitosti. Na zgradarstvo otpada potrošnja energije od približno 41 % (slika 4.) pa se postavljaju veliki zahtjevi za energetske učinkovitost stambenih prostora.



Slika 4. Potrošnja energije prema sektorima [7]

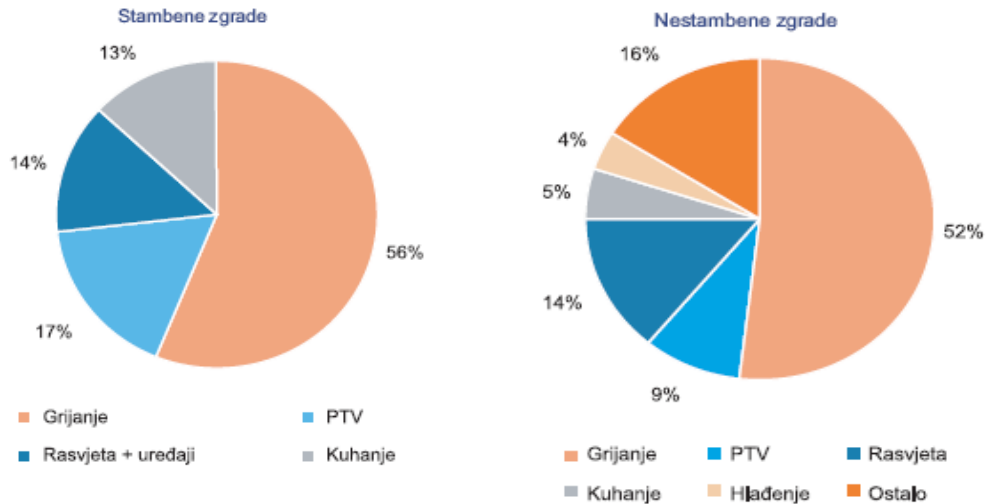
Postojeće zgrade predstavljaju veliki potencijal energetske i ekološke uštede zbog visokog postotka zgrada s nezadovoljavajućom toplinskom zaštitom. Ako se postojeće zgrade izgrađene nakon donošenja zahtjeva u pogledu toplinske zaštite zgrada u okviru norme HRN U.J5.600: Toplinska tehnika u građevinarstvu, tehnički uvjeti za projektiranje i građenje zgrada iz 1987. godine, prihvate kao uvjetno zadovoljavajuće sa stajališta toplinske zaštite i uštede energije, čak i u tom slučaju oko 83 posto naseljenih zgrada u Hrvatskoj ima nezadovoljavajuću toplinsku zaštitu, s prosječnom potrošnjom energije za grijanje prostora od **150 do 200 kWh/m²**. [6]



Slika 5. Toplinska zaštita u zgradarstvu [6]

Mjere energetske učinkovitosti u zgradarstvu uključuju cijeli niz različitih područja mogućnosti uštede toplinske i električne energije, uz racionalnu primjenu fosilnih goriva te primjenu obnovljivih izvora energije u zgradama, gdje god je to funkcionalno izvedivo i ekonomski opravdano. Naravno najveći dio energije potrošene u zgradarstvu otpada na grijanje. Ipak ovisno o zgradi i klimatskim prilikama, hlađenje može sudjelovati s većim udjelom u ukupnim potrebama za grijanje i klimatizaciju, a s vremenom, podizanjem standarda gradnje, ovaj će udjel kontinuirano rasti. U zgradama su, također, značajne potrebe za energijom za pripremu potrošnje tople vode. Na potrošnju energetskih procesa grijanja zgrade prvenstveno utječe trajanje sezone grijanja i zahtijevana temperatura prostora, a što ovisi o klimatskim uvjetima i standardu korištenju prostora. Značajan utjecaj na potrošnju energije za grijanje prostora ima izbor sustava grijanja, omjer grijane i ukupne površine zgrade te sastav vanjske ovojnice zgrade, odnosno toplinska izolacija. Za hlađenje objekta slični su prethodno navedeni utjecajni čimbenici, no ovdje je osnovni energent najčešće električna energija.

Na slici 6. su pokazani rezultati analiza Energetskog instituta Hrvoje Požar i HEP Toplinarstva d.o.o. koje pokazuju da prosječna potrošnja energije za grijanje iznosi od 30 do 60% ukupne potrošnje energije u zgradama, ovisno o klimatskim prilikama. Potrošnja za pripremu potrošnje tople vode iznosi od 10 do 25 %, a za kuhanje također 5 do 10 %. Potrošnja energije za rasvjetu iznosi od 10 do 25 % ukupne potrošnje energije, a za ostale ne toplinske potrebe (npr. električna energija za računala, TV i sl.) još oko 15 posto. U zgradama koje se hlade, za ove potrebe troši se od 3 do 10 % ukupne potrošnje energije, dok samo ventilacija iznosi u prosjeku oko 3 % ukupne potrošnje. [6]



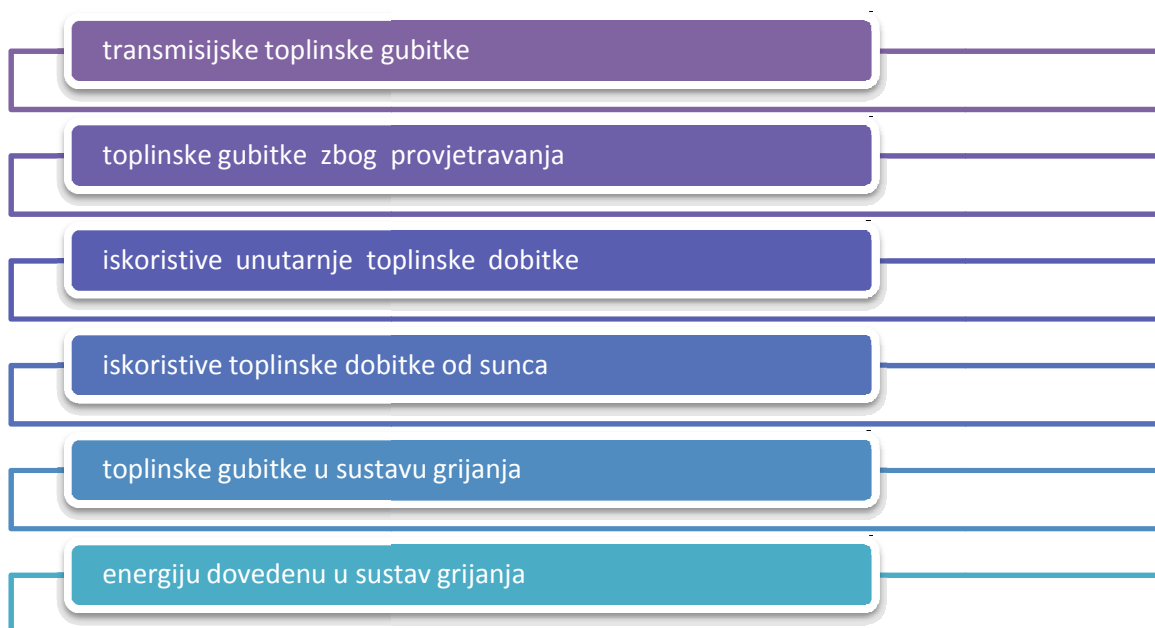
Slika 6. Potrošnja električne energije u stambenom i nestambenom sektoru [6]

Potrebna količina energije u kući ili zgradi ovisi o obliku zgrade, orijentaciji, sastavu konstrukcije i nivou toplinske izolacije vanjske ovojnice zgrade, te o klimatskim uvjetima. Nedovoljna toplinska izolacija dovodi do povećanih toplinskih gubitaka zimi, hladnih obodnih konstrukcija, oštećenja nastalih kondenzacijom (vlagom) te pregrijavanja prostora ljeti. Posljedice su oštećenja konstrukcije te neudobno i nezdravo stanovanje i rad. Zagrijavanje takvih prostora zahtjeva veću količinu energije što dovodi do povećanja cijene korištenja i održavanja prostora, ali i do većeg zagađenja okoliša. Poboljšanjem toplinsko izolacijskih karakteristika zgrade moguće je postići smanjenje ukupnih gubitaka topline građevine za prosječno od 40-80 % [6]. Toplinski gubici kroz građevni dio zgrade ovise o sastavu, orijentaciji i koeficijentu toplinske provodljivosti svakog materijala od kojeg je sastavljen. Bolju toplinsku izolaciju postizemo ugradnjom materijala niske toplinske vodljivosti, odnosno visokog toplinskog otpora. Možemo zaključiti da ukupna potrošnja energije u zgradi ovisi o sustavima i dijelovima zgrade prikazanim na slici 7.



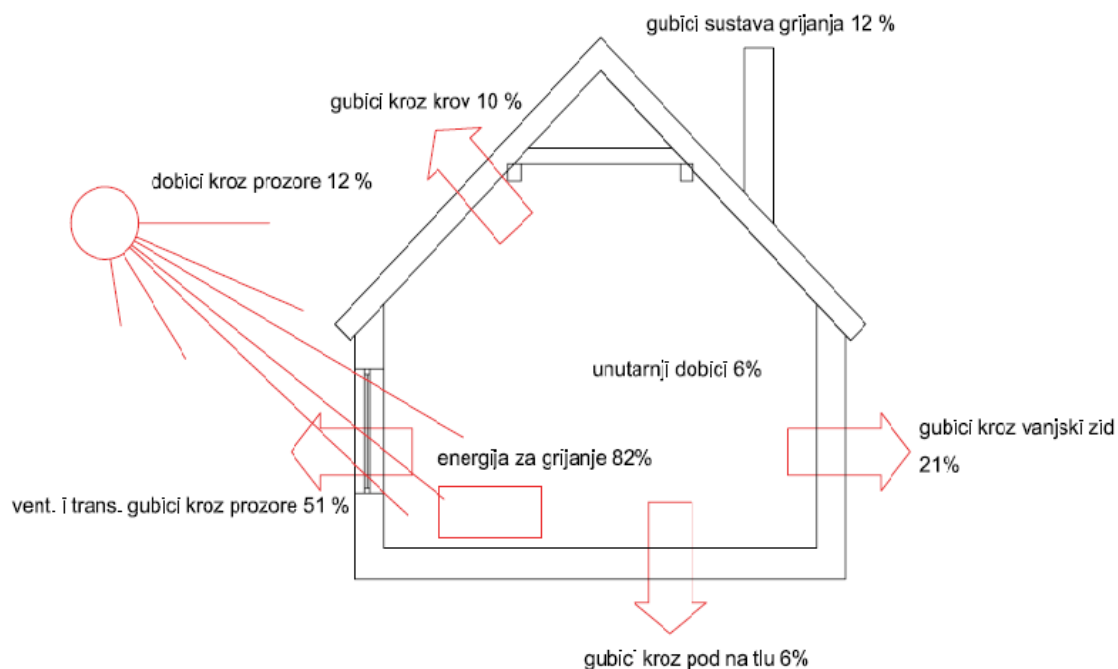
Slika 7. Ukupna potrošnja zgrade

Važno je ustanoviti sve gubitke koje zgrada ima te ih se definira energetsom bilancom. Energetskom bilancom analiziraju se energetski tokovi i odnosi u energetsom sustavu. Ukupna energetska bilanca kuće je prikazana na slici 8.



Slika 8. Energetska bilanca

Izgradnjom kuće ili zgrade po načelima pasivne gradnje maksimalno se iskorištavaju svi dobici te se pokušavaju maksimalno smanjiti svi gubici u energetskej bilanci. Energetska bilanca prosječne stambene kuće je prikazana na slici 9.:



Slika 9. Energetska bilanca obiteljske kuće [7]

Prema današnjim zahtjevima najveći dio objekata u Hrvatskoj izgrađen je upravo u razdoblju prije 1980. Energetskom obnovom starih kuća i zgrada, naročito onih građenih prije 1980. godine, moguće je postići uštedu u potrošnji toplinske energije od preko 60 %. Osim zamjenom prozora, najveće uštede mogu se postići izolacijom vanjskog zida. Dodatna ulaganja u toplinsku izolaciju pri obnovi već dotrajale fasade kreću se u ukupnoj cijeni sanacije fasade 20-40 %, što daje povoljne ekonomske rezultate u usporedbi s dugoročnim uštedama koje se postižu.[4]

Uspješna implementacija mjera energetske učinkovitosti u zgradarstvu temelji se na:

- promjeni zakonodavnog okruženja i usklađivanju s europskom regulativom na području toplinske zaštite i uštede energije te primjene obnovljivih izvora energije
- povećanju toplinske zaštite postojećih i novih zgrada
- povećanju učinkovitosti sustava grijanja, ventilacije i klimatizacije
- povećanju učinkovitosti sustava rasvjete i energetske trošila
- propisivanju ciljne vrijednosti ukupne godišnje potrošnje zgrade po m² ili m³
- uvođenju energetskog certifikata kao sistema označavanja zgrada prema godišnjoj potrošnji energije i
- stalnoj edukaciji i promociji mjera povećanja energetske učinkovitosti

3.1.1. Zakonodavni okvir

Prvi propisi o toplinskoj zaštiti zgrada u Hrvatskoj doneseni su 1970. godine (Pravilnik o tehničkim mjerama i uvjetima za toplinsku zaštitu zgrada - Službeni list SFRJ 35/70). Godine 1980. doneseni su novi zahtjevi u pogledu toplinske zaštite zgrada u okviru norme HRN. Toplinska tehnika u građevinarstvu, tehnički uvjeti za projektiranje i građenje zgrada, kojima su vrijednosti dopuštenih koeficijenata prolaska topline U smanjene za 30%.

U Zakonu o energiji (NN 68/2001) prvi put je izražen pozitivan stav države prema učinkovitom korištenju energije i jasno naglašeno da je učinkovito korištenje energije u interesu Republike Hrvatske

Zakon o gradnji (NN 175/2003, 100/04) određuje da je ušteda energije i toplinska zaštita jedan od šest bitnih zahtjeva za građevinu

Zakon o fondu za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (NN 107/2003) potencira: očuvanje, održivo korištenje, zaštitu i unaprjeđivanje okoliša, te energetske učinkovitost i korištenje obnovljivih izvora energije.

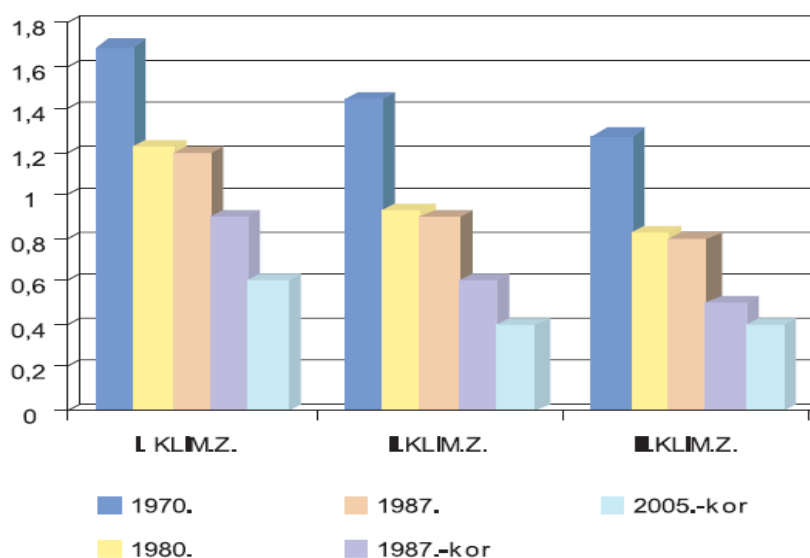
Novo hrvatsko zakonodavstvo usmjereno je prema usklađivanju s europskim zakonodavstvom, gdje treba naglasiti tri bitne EU Direktive koje se odnose na područje toplinske zaštite i uštede energije:

Direktiva 89/106/EEC o usklađivanju zakonskih i upravnih propisa država članica o građevnim proizvodima / Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products (Official Journal L 40/12 of 1989-02-11)/

Direktiva 93/76/EEC o ograničavanju emisija ugljikovog dioksida kroz povećanje energetske efikasnosti / Council Directive 93/76/EEC of 13 September 1993 to limit carbon dioxide emissions by improving energy efficiency (SAVE) (Official Journal L 237 , 22/09/1993

Direktiva 2002/91/EC o energetskim karakteristikama zgrada / Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings (Official Journal L 001,04/01/2003)/.

Zakonodavne promjene su ključne za uspješnu implementaciju odrednica energetske učinkovitosti. Na slici 10. su prikazane promjene zadovoljavajućeg koeficijenta prolaska topline u ovisnosti prema promjenama zakonodavnog okvira kroz godine, prema starim propisima:



Slika 10. Dozvoljeni i korigirani zadovoljavajući koeficijent prolaska topline U [W/m^2K] za vanjski zid u ovisnosti o zakonskim promjenama [6]

3.2. Korištenje manje štetnih materijala

Od ključne je važnosti trajnost materijala uključujući i izolaciju za okoliš i održivu gradnju. Nije potrebno ekološkom izolacijom zamijeniti onu ne ekološku ukoliko ona ne smanjuje koeficijent prolaska topline U vrijednost tj. ne pridonosi ukupnom očuvanju energije. Ukoliko se manje energije potroši pri proizvodnji nekog materijala a on ima slabija toplinsko izolacijska svojstva, dugoročno se prilikom ugradnje takvog materijala u sam objekt gubi znatno veća količina energije nego li je uštedeno pri proizvodnji. Znači potrebno je promatrati cjelokupni vijek nekog materijala i kako će njegova svojstva dugoročno donijeti smanjenje potrošnje energije.

Energija uštedena tijekom cijelog životnog vijeka građevine može se povećati pravilnim odabirom materijala i njegovom kvalitetnom implementacijom u odnosu na energiju koje se uštedi prilikom proizvodnje istoga. Nužno je sagledati prilikom projektiranja ukupnu potrošnju energije pri proizvodnji i korištenju nekog materijala jer se tako mogu ostvariti značajne uštede. Dobro poznavanje toplinskih svojstava građevinskih materijala jedan je od preduvjeta za projektiranje energetski efikasnih zgrada:

- Toplinski gubici kroz građevni element – ovise o sastavu elementa, orijentaciji i koeficijentu toplinske provodljivosti
- Bolju toplinsku izolaciju postizemo ugradnjom materijala niske toplinske provodljivosti, odnosno visokog toplinskog otpora
- Toplinski otpor materijala povećava se obzirom na debljinu materijala
- Koeficijent U je bitna karakteristika vanjskog elementa konstrukcije i igra veliku ulogu u analizi ukupnih toplinskih gubitaka (kWh/m^2), a time i potrošnje energije za grijanje
- Što je manji koeficijent prolaza topline, to je bolja toplinska zaštita zgrade

Danas je na tržištu prisutan čitav niz proizvoda za toplinsku izolaciju zgrada kako za pasivnu tako i za niskoenergetsku gradnju. Proizvodi se najviše razlikuju u tome dali imaju samo toplinsku izolacijsku ulogu ili mogu imati i nosivu ulogu.[5]

3.2.1. Toplinsko izolacijski materijali

Uvod o toplinskoj izolaciji

Temeljno načelo smanjenja energetske potreba za grijanje kuće ili povećanja energetske efikasnosti je optimalna toplinska zaštita cijele vanjske ovojnice i izbjegavanje toplinskih mostova.

Dakle, zadaća toplinske izolacije jest smanjenje toplinskih gubitaka i posredno troškova energije, ali i zaštita nosive konstrukcije pred vanjskim vremenskim utjecajima i njihovim posljedicama. Ušteda energije, odnosno toplinska izolacija pojedinog prostora ne zavisi samo o debljini i kvaliteti izolatora, već i o kvalitetnom načinu postavljanja i ugradnje. Osim toga, nekvalitetno ugrađen izolator u zidovima objekta omogućava ulazak najsitnijoj prašini i otrovnim česticama u unutrašnje prostorije i njihovo trajno taloženje.

Pažljivom ugradnjom pojedinih komponenata, bez toplinskih mostova, postiže se zatvoreni sustav koji će omogućiti ugodnu unutrašnjost – omotač zgrade postaje nepropustan za zrak i omogućuje visoko kvalitetnu zaštitu od hladnoće, topline i buke, a sve zbog male

razlike između temperature zraka i površinske temperature, kako u zimskim, tako i u ljetnim mjesecima.

Dobra i kvalitetna toplinska izolacija pojedinačnih dijelova – krova, vanjskog zida ili podruma, je najsigurniji i najodrživiji način da se izbjegnu toplinski gubici. Svi neprozirni elementi omotača kuće trebaju imati, prema standardima pasivne gradnje, toplinsku izolaciju čiji koeficijent prolaska topline (U – vrijednost) nije veći od $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Tablica 1.). Drugim riječima, ne smije se izgubiti više od maksimalnih $0,15 \text{ W}$ energije za grijanje za svaki stupanj promjene temperature i svaki kvadratni metar vanjskog prostora.

Tablica 1. Preporučene U -vrijednosti za omotač kuće prema standardima pasivne gradnje

Tip konstrukcije	U – vrijednost ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Vanjski zid	$\leq 0,15$
Krov / strop / pod	$\leq 0,15$
Pod iznad podzuma	$\leq 0,15$
Prozori	$\leq 0,8$

Podjela toplinskoizolacijskih materijala

Toplinskoizolacijski materijali se mogu podijeliti obzirom na kemijski sastav i strukturu na anorganske i organske, vlaknaste i pjenaste materijale, a nerijetka je i podjela na klasične (“tradicionalne”) i alternativne (tzv. “ekološke”) (Tablica 2.).

U ekološko toplinskoizolacijske materijale svrstavaju se svi oni koji u cijelom ciklusu, od proizvodnje preko upotrebe do uklanjanja, što manje zagađuju okoliš.

Tablica 2. Podjela toplinskoizolacijskih materijala

Anorganski toplinskoizolacijski mat.		Organski toplinskoizolacijski mat.	
TI od miner. vlakana	Pjenasti TI materijali	TI od biljnih i životinjskih vlakana	Pjenasti TI materijali
staklena vuna	penasto staklo	kokosova vlakna, slama	ekspandirani polistiren
kamena vuna	vermikulit	TI od drvenih vlakana	ekstrudirani polistiren
	perlit	pamuk, ovčja vuna, pluta	prozirni TI
	ekspandirana glina	celulozna TI, papirna TI	

Koji materijal ćemo koristiti ovisi o mnogo faktora, a ponajprije o toplinskoj provodljivosti. Što je manja provodljivost materijala, to se materijal otporniji toplinskoj provodljivosti. Ipak, treba uzeti u obzir i druge čimbenike, npr. ekološku prihvatljivost materijala, zapaljivost, moguću štetnost za zdravlje te svrhu za koju materijal trebamo.

S ekološkog stajališta, energija koja je potrebna za proizvodnju toplinskoizolacijskih materijala, također je važan čimbenik, a ona se uvelike razlikuje od materijala do materijala. Niske vrijednosti postižu mineralna vuna, celuloza, kokos... Srednju vrijednost ugrađene energije obzirom na postignutu toplinsku vrijednost ima ekspanzirani i ekstrudirani polistiren, drvene ploče od strugotina..., dok u energetski rasipne materijale spadaju pjenasto staklo i drvena vlakna. Mogućnost djelomične ili potpune reciklaže predstavlja dodatnu prednost.

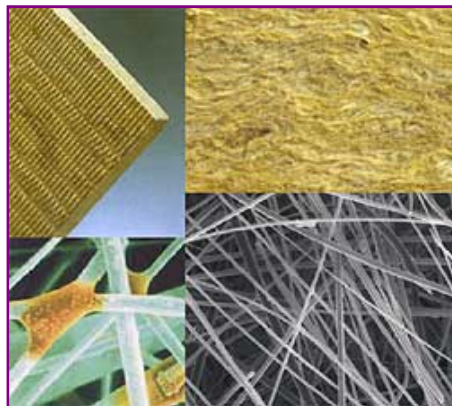
Danas su materijali uglavnom tako pripremljeni da ne predstavljaju problem pri izvedbi izolacije. Međutim, ipak je potrebna točnost i pažljivost ugradnje, jer svaka greška pri postavljanju potencira povećanje toplinske provodljivosti, čime se gubi smisao ugradnje [3].

Kamena vuna

Kamena vuna je izolacijski materijal mineralnog porijekla za toplinsku, zvučnu i protupožarnu izolaciju u graditeljstvu, industriji i brodogradnji. Kao sirovine za proizvodnju kamene vune upotrebljavaju se prirodni (kamen diabaz i dolomit, a u manjoj mjeri i bazalt) i umjetni silikatni materijali.

Kamena vuna kombinira mehaničke osobine kamena (čvrstoću, visoku točku paljenja) s osobinama koje posjeduje vuna (fleksibilnost, toplinsku izolaciju). Gustoća, sadržaj veziva u sastavu kao i orijentacija vlakana vune čine presudnu stavku koja definiira kojim točno zahtjevima može udovoljiti proizvod - od mekih ploča za zvučnu izolaciju neznatne gustoće do krovnih ploča koji su ekstremno otporni materijali. Izolacijski proizvodi od kamene vune imaju u usporedbi s drugim građevinskim materijalima vrlo niske vrijednosti toplinske vodljivosti λ , te tako štite vanjske građevinske elemente od velikih toplinskih gubitaka.

Kamena je vuna vodoodbojna, paropropusna, vatrootporna, postojana na starenje, otporna na truljenje, gljivice i bakterije, te ima zanemarivo mali koeficijent izduženja, što joj daje dobru postojanost i kompatibilnost s raznim građ. materijalima. Zbog navedenog, izolacijska svojstva ostaju nepromijenjena i kod ekstremnih uvjeta eksploatacije.



Slika 11. Kamena vuna

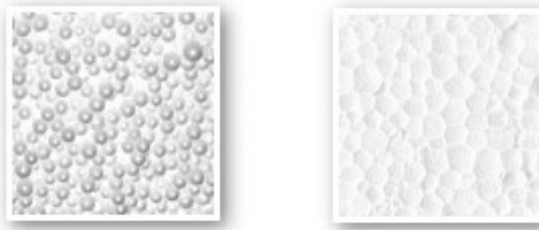
Najčešća primjena kamene vune jest kod gradnje pregradnih zidova ili za poboljšanja zvučne izolacije unutarnjih prostorija. Koristi se i kao tehnički izolator. U ovom slučaju kamena vuna reducira potrošnju energije određenih procesa i smanjuje toplinske gubitke cijevnih instalacija [3].

Ekspandirani polistiren

Ekspandirani polistiren (EPS) ili *Stiropor* je izolacijski materijal koji se koristi za toplinsku izolaciju, a u manjoj mjeri za zvučnu. Najčešće se upotrebljava u građevinarstvu, makar je svoju primjenu našao i u industriji.

Ekspandirani polistiren kao materijal ima jako dobra toplinskoizolacijska (malu toplinsku provodljivost ; $\lambda = 0.035$ do 0.041 W/mK) i mehanička svojstva. Gustoća [kg/m^3] najviše utječe na svojstva EPS-a, a iznosi od 12 kg/m^3 do 30 kg/m^3 (čak i do 40 kg/m^3). Porastom gustoće toplinska vodljivost pada (bolje izolacijsko svojstvo). Važno mehaničko svojstvo EPS-a je i njegova tlačna čvrstoća. EPS gustoće 15 kg/m^3 , na primjer, doseže granicu elastičnosti kod 2% stišnjavanja. Daljnje opterećenje vodi do trajnih deformacija. Prema HRN EN normama, najčešće se i označava prema tlačnoj čvrstoći [Pa].

S povećanjem gustoće EPS-a raste i otpor difuziji vodene pare. S obzirom da ovaj materijal nije topljiv u vodi niti bubri u njoj, on upija neznatnu količinu vode, što mu je i omogućilo široku primjenu (oko 40 % udjela u potrošnji toplinskoizolacijskih materijala). U 1 m^3 ima prosječno 98 % zraka i 3 – 6 milijuna zatvorenih ćelija (Slika 12.), što ga ujedno čini i izvanrednim toplinskim izolatorom. I nakon što bude 28 dana potopljen u vodi može upiti vode do maksimalno 4% svoga volumena (znači samo površinski). To je iznimno važno zato jer se ne pogoršavaju njegova toplinskoizolacijska svojstva.



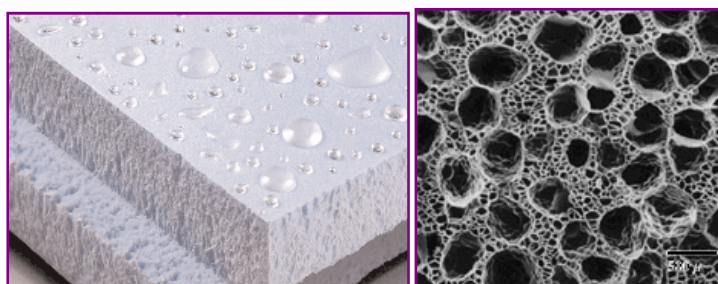
Slika 12. Ekspandirajuće granule polistirena

U normama je EPS kvalificiran kao – teško zapaljivi materijal. On u dodiru s plamenom ne gori nego se samo tali, a pri uklanjanju plamena prestaje se taliti.

Ekspandirani polistiren ima relativnu kemijsku otpornost. Treba izbjegavati proizvode koji u sebi sadrže organska otapala, što je najviše slučaj kod nekih ljepila (za plastiku, gumu i sl.) ili boja. Uobičajena građevinska ljepila, mortovi ili cementni estrisi mogu se upotrebljavati. Treba izbjegavati bitumenske mase zagrijane na temperaturi većoj od 70°C (EPS se ne polaže u vreli bitumen). Isto vrijedi i za nanošenje vrelog bitumena izravno na ploče. EPS ne pospešuje rast mikroorganizama, ne truli, ne stvara plijesni, ne raspada se i “ne nestaje”, otporan je na anorganske kiseline i soli. Nije otrovan, a ako se i zapali ne razvija štetne plinove. Lako se reciklira. Prednost mu je i niska cijena. Njegova se primjena preporučuje kod ravnih krovova (parna brana), zbog visoke čvrstoće na tlak, male toplinske provodljivosti i vodoupojnosti, trajne otpornosti na povišene temperature... [3].

Ekstrudirani polistiren

Ekstrudirani polistiren (XPS) je toplinski izolator s zatvorenim ćelijama, u obliku saća (Slika 5.). Proizvodi se od polistirena pogodnog za toplinsko oblikovanje, koji procesom polimerizacije i konstantne ekstrudacije dobiva oblik tvrde pjenaste ploče. Polistiren, polimer ugljika i vodika čini 88-93% njegove težine. Osim toga sadrži i manji postotak dodatnih supstanci, npr. boje.



Slika 13. Ekstrudirani polistiren

Općenito, proizvodni je postupak manje ugodan za okoliš nego kod ekspandiranog polistirena – potrebno je nešto više energije, a u proizvodnji se nerijetko koriste i CFC (kloro-fluoro-ugljikohidrati) plinovi štetni za ozonski omotač.

Glavna karakteristika ekstrudiranog polistirena jest mala vodoupojnost koja je manja od 0.2% svog volumena. To je osnovni razlog zašto je upravo XPS preporučljiv na mjestima gdje je toplinska izolacija u neposrednom dodiru s vodom (podrumi, obrnuti ravni krovovi...), unatoč većoj cijeni u usporedbi s ekspandiranim polistirenom.

Karakterizira ga i mala toplinska provodljivost ($\lambda=0,024 - 0,028$ W/mK), kao i visoka mehanička čvrstoća (350-800 kN/m² pri 10%-tnoj stišljivosti) [12]. Klasificiran je kao teško zapaljiv (B1) materijal, a temperatura upotrebe je od -50°C do +75°C.

XPS se primjenjuje u izolaciji zidova (unutrašnjih i vanjskih), podova, podruma, ravnih i kosih krovova. Međutim, za vanjske zidove XPS ipak nije najpovoljnije rješenje, bez obzira što ima niski koeficijent toplinske provodljivosti. Jer osim što je izrazito paronepropustan, nema ni dostatnu otpornost na temperaturni rad, što ga čini osjetljivim kako na nagle promjene temperature, tako i na povišene temperature (jak utjecaj sunčeve topline). Dakle, njegova je primjena u prvom redu izolacija podrumskih zidova i podova na tlu s povećanom opasnošću od prodora vlage i vode [3].

Poliuretanska pjena

Poliuretanska pjena je proizvod koji nastaje kemijskom reakcijom poliola i toluenizocijanata, uz prisustvo aditiva. Sirovina za proizvodnju je iz naftno-prerađivačke industrije, pri čemu kao nus-produkt nastaju otrovni plinovi. Kod proizvodnje tvrdih pjena do nedavno su se koristili potisni plinovi štetni za ozonski omotač. U novijim postupcima za proizvodnju tvrdih pjena koriste se potisni plin pentan i izopentan te CO₂ (uglavnom za proizvodnju mekih pjena). Ispuštanje štetnih kemijskih plinova nakon ugradnje je zanemarivo. Slabost predstavlja razvijanje otrovnih plinova pri gorenju.

Karakteriziraju je elastičnost, postojanost, ćelijska struktura, relativno mala masa, mogućnost proizvodnje različitih tvrdoća (90–190 N pri 40% deformacije), dobra otpornost na mehaničko opterećenje, prozračnost, velika nosivost, postojanost oblika i dugi vijek trajanja. Otporne su na organska otapala i nisu podloga za razvoj gljivica.

Jako su dobri toplinski izolatori s koeficijentom prolaza topline U od 0.02 do 0.035 [$W/m^2 \cdot K$]. U građevinarstvu se primjenjuju i kao apsorberi – zvučna izolacija, čak i u prostorima s izrazito visokom razinom buke. U tom slučaju se izrađuju u reljefnom obliku što povećava površinu apsorpcije.

Poliuretanska pjena se prije svega koristi u industriji i kod nekih postupaka sanacije krovova. Otporna je na temperaturne promjene do $150^{\circ}C$, vlagu i UV zračenja.

Zbog načina ugradnje i spajanja a drugim materijalima problematično je njeno uklanjanje. Cijenom se poliuretanska pjena svrstava u skuplje materijale, u skupinu s npr. ekstrudiranim polistirenom i pjenastim staklom [3].

Celuloza

Celuloza je reciklirani proizvod koji se dobiva preradom starih novina, koje se prvo grubo režu, a zatim se posebnim postupkom dodaje borova sol. To pahuljicama daje impregnacijski sloj, koji štiti izolaciju od pljesni i insekata.

Mnogi alternativni materijali, prije svega organskog izvora, obrađeni su borovim vezivima, kako bi se primjerice, smanjila njihova gorljivost. Borovi spojevi su otrovni, stoga pri radu s njima treba koristiti zaštitna sredstva. Potrebno je također i pravilno izabrati izbor deponija. Te materijale ne valja kompostirati, premda neki proizvođači to preporučuju.

Celuloza je primjerena za izolaciju krovova i stropova i suhomontažnih podova, a upotrebljava se također u kućama s drvenom šupljom konstrukcijom. U rasutom se stanju stišće u mekoslaknaste ploče, koje su primjerene za oblaganje zidova. Izolacija se na površinu ili u kalup upuhuje posebnim strojem što se ističe kao prednost ovog materijala. Upuhivanjem se postiže jednakomjerno raspoređivanje pahuljica po površini i zapuhivanje svih dijelova, pa čak i teško dostupnih mjesta.

Ova je izolacija reciklirani prirodni materijal za čiju je izradu potrebno malo energije. Toplinska provodljivost λ je od 0,040 do 0,045 W/mK . Preporuča se oko 10-12 cm debeli sloj nanosa na ili u zidu i 20-25 cm za izolaciju potkrovlja, što znači približno 0,45 W/m^2K . Sa ugradnjom papirnate parne pregrade dobro se ujednačava vlažnost zraka. Papirnata parna pregrada može upijati i gubiti velike količine vodene pare, a da pri tome ne gubi termoizolacijske karakteristike [3].

Pluto

Pluto i ekspanzirano pluto su toplinskoizolacijski materijali s dugom tradicijom uporabe. Prirodni je materijal za čiju izradu nije potrebno mnogo energije. Zbog sadržaja prirodnih sokova, nije potrebno dodavati ljepila i organska otapala. Karakterizira se kao dobar toplinski i zvučni izolator, ima veliku tvrdoću i dugotrajan je, ne mrvi se, paropropustan je pa ne upija kondezate, otporan je na glodavce i ostale nametnike. Slabost tog materijala predstavljaju dugi transportni putevi, jer se pluto uvozi iz Portugala, Španjolske, Afrike...

Izrađuje se u oblicima ploča različitih debljina, a primjeren je za izolaciju vanjskih i unutrašnjih zidova, drvenih konstrukcija, poda i potkrovlja.

Na unutrašnjim stijenama se ljepljenjem ugrađuju ploče debljine 8-12 cm, koje zadovoljavaju prolaz topline $U = 0,38 - 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$. Primjeren je za oblaganje stijena iz svih građevinskih materijala osim iz drvenih špaleta, na vanjskoj i unutrašnjoj strani. Cijena pluta je snažno povezana s njihovom kvalitetom [3].

3.2.2. Kuća od slame

Kuća od slame je primjer uspješnog povezivanja težnje za energetskom učinkovitošću kroz korištenje prirodnih materijala odličnih svojstava. Pozivanje na ekologiju i održivost u posljednje vrijeme postaje neizbježno u svim aspektima življenja. U tom smislu, jedna od vrlo važnih tema su energetski i ekološki održivi materijali koji služe za gradnju zgrada. Jedan od takvih materijala je slama (slika 14.).

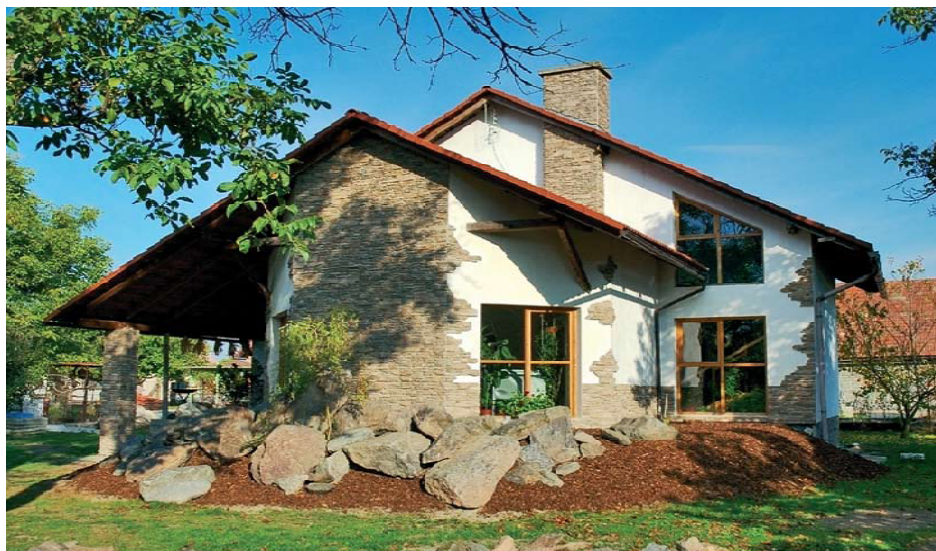


Slika 14. Slama kao materijal u izvornom obliku

Zgradama od slame promovira se manja potrošnja energije i materijala, korištenje obnovljivih izvora energije, uporaba obnovljivih i ekoloških sirovina, smanjenje troškova izgradnje te unapređenje kvalitete življenja. Prednosti slame kao građevinskog materijala su brojne, a najčešće se navode sljedeće:

- dobra toplinska i akustična izolacija,
- relativno dobra otpornost na požar,
- statička čvrstoća,
- otpornost na potres,
- otpornost prema nametnicima,
- dostupnost i niska cijena slame kao sirovine

U Velikoj Britaniji je dosad izgrađeno nekoliko stotina tisuća takvih kuća. Ono što je posebno zanimljivo je da se zidovima od slame može vrlo lako postići kriterij pasivne kuće, koja je postala paradigma dobro izolirane kuće. Ključni pojam za razumijevanje slame kao građevinskog materijala je novi koncept izgradnje, tzv. "faktor 10", po kojem se znatno smanjuje energija za izvedbu građevina te energija tijekom eksploatacije te građevine, a sve za deset puta, odnosno kuće od slame troše deset puta manje energije u odnosu na konvencionalnu izgradnju.



Slika 15. Primjer kuće napravljene od ploča slame [8]

Iako se slama u Hrvatskoj danas smatra otpadom, ona može biti vrlo jeftini građevinski materijal. Isporučena bala slame košta u prosjeku samo oko 1 EUR ili 0,5 EUR s polja. Zidovi dvokatne kuće imaju cijenu oko 900 EUR, a što je zaista malo u usporedbi s cijenom zidova od opeka i blokova koji koštaju oko 15.000 EUR. Budući da je način gradnje kuće od slame tako jasan, u gradnji mogu sudjelovati ljudi bez prethodnog iskustva, štedeći tako troškove rada. Slama na raspolaganju za izgradnju u Hrvatskoj iznosi oko 270.000 tona, a što bi moglo biti dostatno za izgradnju oko 13.500 pasivnih kuća godišnje. Daljnji razvoj građevinskih elemenata od slame orijentiran je prema izradi elemenata koji su mnogo podjednaki za primjenu u graditeljstvu. U tom smislu su razvijeni građevinski elementi od prešane slame, najčešće kao ploče različitih dimenzija te tzv. CP blokovi. Gustoća bale ovisi o vrsti žitarica, sadržaju vlage i stupnju kompresije balirke, ali općenito bi trebala iznositi najmanje $1,1 \text{ kN/m}^3$ ako se namjerava koristiti kao nosivi element.



Slika 16. Ploče od prešane slame [8]

Slama osigurava odličnu izolaciju po prihvatljivoj cijeni. Koeficijent toplinske vodljivosti u bali slame iznosi 0,09 W/mK; ova vrijednost kombinirana sa zidovima debljine u pravilu iznad 450 mm debljine daje koeficijent prijelaza topline 0,13 W/m²K, što je dva do tri puta manje od današnjih materijala i puno niže nego zahtijeva trenutno važeća regulativa u graditeljstvu. Slama, osobito organski uzgojena, predstavlja zdravu alternativu modernim materijalima. Prirodna je i bezopasna. Stanovanje unutar zidova od slame može poboljšati kvalitetu zraka kojeg udišemo. Još jedna blagodan po zdravlje u kući od slame je miran, ugodan i tih ambijent zahvaljujući visokom stupnju zvučne izolacije, najvišem termalnom komforu i visokoj kvaliteti zraka.

Međutim ono što je posebno važno je činjenica da se gradnjom kuća od slame *energija potrebna za izgradnju i eksploataciju takvih građevina smanjuje čak za deset puta* tako da, uz sve navedeno, nije pretjerano navesti da je slama danas superiorni građevinski materijal. [8]

Tablica 3. Vrijednosti koeficijenata toplinske vodljivosti kojim se zadovoljavaju pasivni standard za kuću prosječne površine od 150 m² [8]

Vrsta izolacije	λ [W/mK]	Debljina [cm]	Cijena [EUR/m ²]	Cijena [EUR]
Bala slame	0,045	30	3,63	1453
Celuloza	0,045	30	18,31	7325
EPS	0,038	24	20,35	8130
Kamena vuna	0,038	24	23,55	9418

4. Energetska certifikacija

Jedan od glavnih zapreka za uspješno ostvarivanje energetske učinkovitosti na razini države je loša informiranost.

Nužnost smanjenja energetske potrošnje je očigledna i činjenična. Iako oni koji se bave energetskom učinkovitosti u zgradama misle da je potpuno razumljivo i logično da je niskoenergetska zgrada bolja i kvalitetnija od standardne zgrade, pa je zato isplativo platiti više i sagraditi niskoenergetsku zgradu, takvo mišljenje nije prevladavajuće niti kod investitora, a niti kod izvođača. Činjenica je da je značaj energije nepoznat i nevidljiv za većinu investitora te da su trenutno u Hrvatskoj niskoenergetske zgrade jednako cijenjene na tržištu kao i standardno građene zgrade. Analizom zatvorenog kruga sa slike 17. uočava se mišljenje koje prevladava u području gradnje i investiranja, uočavamo osnovne probleme kod provođenja energetski učinkovite gradnje:



Slika 17. Zatvoreni krug mišljenja

Važan utjecaj na mijenjanje ovakvog razmišljanja će imati **razvoj energetske certifikacije zgrada**. Omogućiti će razlikovanje i klasifikaciju prema kvaliteti tj. prekinuti će se krug loše informiranosti.

Od siječnja 2006., naime, u EU je obvezna energetska certifikacija zgrada većih od 1000 četvornih metara, s podacima o godišnjoj potrošnji energije za grijanje prema Direktivi 2002/91/EC o energetskim karakteristikama zgrada.

Direktiva 2002/91/EC o energetske značajkama zgrada /*Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings* (Official Journal L 001,04/01/2003) **propisuje:**

- uspostavu općeg okvira za metodologiju proračuna energetske karakteristike zgrada
- primjenu minimalnih zahtjeva energetske učinkovitosti za nove zgrade s ukupnom korisnom površinom većom od 1000 m². Države članice jamče da će se prije početka gradnje razmotriti tehnička, ekološka i gospodarska primjenjivost alternativnih sustava kao što su:
 - decentralizirani sustavi za opskrbu energijom na temelju obnovljivih energenata,
 - kogeneracija,
 - daljinsko/ blokovsko grijanje ili daljinsko/ blokovsko hlađenje, ako postoji,
 - toplinske pumpe pod određenim uvjetima.
- poduzeti potrebne mjere kojima se osigurava da će energetske profil zgrada, s ukupnom korisnom površinom većom od 1.000 m² koje se podvrgavaju većem obnavljanju, biti prilagođen minimalnim zahtjevima, ako je to tehnički, funkcionalno i gospodarski izvedivo
- energetske certifikaciju zgrada i izdavanje energetske certifikata koji mora sadržavati referentne vrijednosti kao što su pravne norme i mjerila kako bi potrošačima omogućio usporedbu i procjenu energetske značajke zgrade. Certifikatu treba priložiti preporuke za troškovno povoljno poboljšanje energetske značajke,
- redovitu inspekciju kotlova i sustava za kondicioniranje zraka u zgradama i poduzeti će mjere kako bi osigurale da korisnici dobiju savjete za zamjenu kotlova, za ostale izmjene na sustavu grijanja i za alternativna rješenja,
- kontrolu sustava za kondicioniranje zraka u cilju smanjenja potrošnje energije i ograničenja emisije ugljičnog dioksida države članice će poduzeti potrebne mjere kako bi zajamčile redovnu kontrolu uređaja za kondicioniranje zraka nazivne snage veće od 12 kW. [9, 10]

Glavni je cilj Direktive uspostava trajnih, jedinstvenih mehanizama za poboljšanje energetske svojstava zgrada stambene i javne namjene na razini EU-a. Jedna od važnijih karakteristika Direktive jest da se s energetske gledišta zgrada promatra kao energetska cjelina. Ta cjelina obuhvaća s jedne strane energetske svojstva građevne konstrukcije i elemenata, a s druge strane svu instaliranu energetske opremu u zgradi (sustav za grijanje, hlađenje, pripremu tople vode, prozračivanje i dr.) Direktiva ne obuhvaća neinstaliranu opremu u zgradi (npr. kućanski uređaji, uredska oprema, samostojeća rasvjetna tijela...). Zahtjev Direktive o integralnom pristupu različitim energetske parametrima u zgradi i zajedničkoj metodologiji i nazivlju na razini EU omogućuje definiranje jedinstvenih pokazatelja energetske svojstava zgrade. Time se olakšava postizanje osnovnih zajedničkih ciljeva, a to su **povećanja potencijalnih energetske ušteda i smanjenja emisije CO₂** kroz zgradarstvo EU-a.

Potom, Direktiva nalaže da sve zgrade koje se grade, prodaju ili iznajmljuju moraju biti certificirane i takvi energetske certifikati zgrada, odnosno energetske iskaznice zgrada s podacima o godišnjoj potrošnji energije moraju biti dani, a uvid svim zainteresiranim stranama. Sve to trebalo bi pokrenuti tržište u smjeru povećanja energetske učinkovitosti u zgradarstvu. Za provedbu certificiranja energetske svojstava zgrada, potrebno je imati kvalificirane i objektivne ocjenitelje. Stoga Direktiva određuje da države članice moraju

osigurati ovlaštene stručnjake za postupak certificiranja zgrada, nadzora sustava za grijanje i ventilaciju te sastavljanje pratećih preporuka za poboljšanja tih sustava u smislu uštede energije i smanjenje emisije stakleničkih plinova. [11]

Ciljani datum za implementaciju Direktive u zakonodavstvo RH je 31. prosinac 2008.

Pri projektiranju novih kao i rekonstrukciji postojećih zgrada potrebno je razmotriti mogućnosti primjene slijedećih sustava:

- aktivni solarni sustavi i drugi sustavi za proizvodnju topline i električne energije na temelju obnovljivih energenata;
- proizvodnja toplinske i električne energije putem kogeneracije;
- sustavi daljinskog ili blokovskog grijanja i hlađenja;
- toplinske crpke ili dizalice topline;
- prirodno osvjetljenje;

Preporuka Direktive je klasifikacija zgrada na slijedeće kategorije:

- obiteljske kuće različitih načina gradnje;
- kuće s više stanova;
- poslovne zgrade;
- obrazovne zgrade;
- bolnice;
- hoteli i restorani;
- sportski objekti;
- zgrade veleprodaje i maloprodaje;
- ostale vrste zgrada koje troše energiju.

Direktiva uvodi certifikat energetske učinkovitosti (Slika 18.) zgrade koji je dostupan potencijalnom kupcu ili korisniku zgrade kako bi se ustanovila vrijednost nekretnina prema energetskej potrošnji. Valjanost certifikata iznosi 10 godina.

Prema definiciji iz Akcijskog plana kojeg je izdala Vlada Republike Hrvatske certifikat energetske učinkovitosti znači certifikat priznat od strane države članice ili neke pravne osobe koju je ova imenovala, a koji sadrži rezultat izračuna energetskej značajki zgrade.

Energetski certifikat za stambene zgrade	$Q_{H,nd,ref}$	kWh/(m ² a)	Izračun
A+	≤ 15		
A	≤ 25		
B	≤ 50		B
C	≤ 100		
D	≤ 150		
E	≤ 200		
F	≤ 250		
G	> 250		
Podaci o osobi koja je izdala certifikat			
Ovlaštena fizička osoba			
Ovlaštena pravna osoba i imenovana osoba			
Registarski broj ovlaštene osobe			
Broj certifikata			
Datum izdavanja/brok važenja			
Potpis			
Podaci o zgradi			
A_w [m ²]			
V_w [m ³]			
f_v [m ⁻¹]			
$H_{L,w}$ [W/(m ² K)]			

Slika 18. Certifikat energetske učinkovitosti za stambene zgrade [8]

Certifikat mora sadržavati opis stvarnih energetske značajke zgrade. Certifikat je moguće revidirati. Zgrade uprave i zgrade s velikim prometom ljudi moraju u pogledu odnosa prema okolišu i energiji biti uzor i zato podliježu redovnom energetske certificiranju. Isticanjem energetske certifikata na vidnim mjestima povećava se transparentnost širenja informacija o energetske značajkama. Prikaz službeno preporučene sobne temperature popraćen sa stvarnom izmjerenom temperaturom treba spriječiti neučinkoviti rad sustava za grijanje, te uređaja za klimatizaciju i provjetravanje. Prikaz temperature bi trebao spriječiti rasipanje energije i osigurati ugodne sobne klimatske uvjete (toplinsku ugodu) u odnosu na vanjsku temperaturu.

Izgled i sadržaj energetske certifikata kao i klasifikacija zgrada u energetske razrede bit će u RH propisani posebnim pravilnikom. U većini europskih zemalja koje su počele primjenjivati energetske certifikaciju, provodi se klasifikacija zgrada u energetske razrede od A, A+, ili A++ do G, odnosno od najučinkovitije do najneučinkovitije zgrade, tj. zgrade s najvećom potrošnjom energije.

Granične vrijednosti za pojedine razrede u smislu energetske učinkovitosti su prikazane tablicom 4.

Tablica 4. Granične vrijednosti za energetske razrede u smislu energetske učinkovitosti

Energetski razred	Potrošnje energije [kWh/m²/god]
A	<75
B	75-150
C	150-225
D	225-300
E	300-380
F	380-450
G	>450

Energetski certifikat najčešće se sastoji od tri ili četiri stranice, pri čemu je na prvoj stranici skala i podatak o potrošnji energije te opći podaci o zgradi, certifikatoru i slično, a na ostalim stranicama slijede podaci iz proračuna te podaci o svim energetske sustavima zgrade, kao i prijedlog mjera za povećanje energetske učinkovitosti s periodom povrata investicije.

Zgrade s ukupnom korisnom površinom većom od 1.000 m², te javne zgrade koje ljudi često posjećuju moraju imati certifikat o energetske značajkama na jasno vidljivom mjestu.

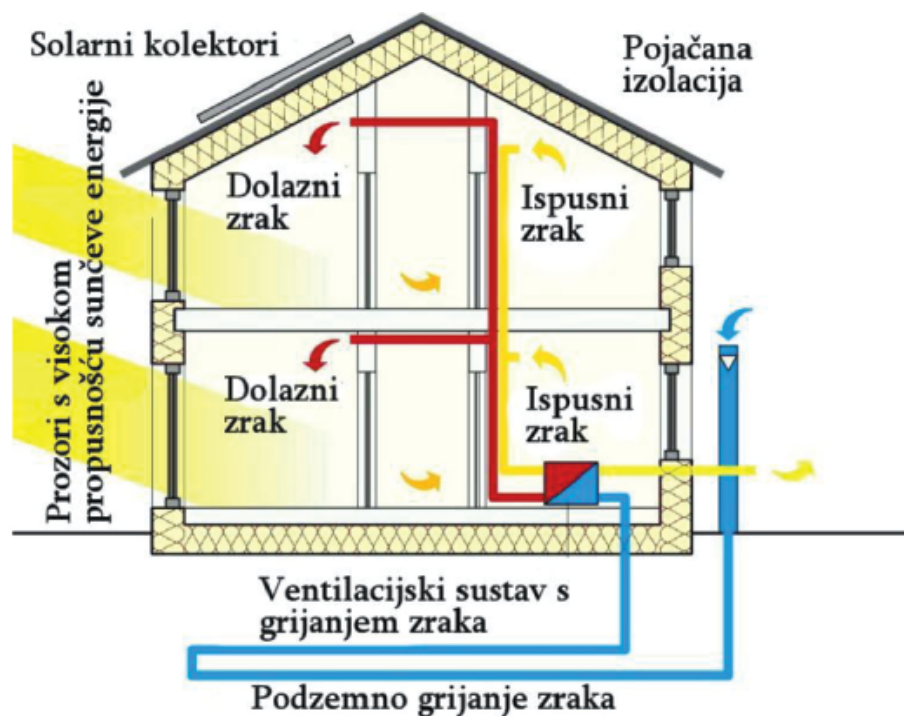
Države članice moraju osigurati ovlaštene stručnjake za postupak certificiranja zgrada, nadzor sustava za grijanje i prozračivanje, te sastavljanje pratećih preporuka za poboljšanja tih sustava u smislu uštede energije i emisije štetnih tvari.

5. Pasivna kuća

5.1. Opće karakteristike

Izraz „Pasivna kuća“ upotrebljen je zato što pasivni toplinski dobici dobiveni eksterno iz sunčevog zračenja kroz prozore i interno iz toplinskih emisija kućanskih aparata i ukućana je u osnovi dovoljno za održavanje ugodne temperature prostorija tijekom sezone grijanja. Postoje brojne dvojbe vezane za sam naziv i mišljenja koje on donosi jer većina Pasivnih kuća u Srednjoj Europi koristi aktivan sustav grijanja. Obično je to samo grijaća spirala u ventilacijskoj cijevi. Odnosi se na poseban standard gradnje obiteljskih kuća s udobnim uvjetima tijekom ljeta i zime, bez tradicionalnog sustava grijanja i aktivnog hlađenja. To podrazumijeva vrlo dobru izolaciju, vrlo visoku zrakonepropusnost, dok kvalitetu zraka garantira mehanički ventilacijski sustav visoke toplinske učinkovitosti. Pasivna kuća predstavlja uznapredovali stadije niskoenergetske kuće. [12]

Kao niskoenergetske kuće označavaju se objekti koji imaju male potrebe za toplinom grijanja i toplom vodom. Potrošnja energije za grijanje ili hlađenje niskoenergetske kuće ne prelazi 40 kWh/m^2 godišnje. Dok godišnji utrošak energije za grijanje ili hlađenje prostora kod pasivne kuće ne prelazi 15 kWh/m^2 što se može izraziti ekvivalentom od 1 litre loživog ulja, pa se naziva i jednolitarska kuća. Pasivne kuće trebaju oko 80 % manje energije za grijanje nego nove zgrade projektirane prema njemačkom standardu za toplinsku izolaciju iz 1995. godine.



Slika 19. Presjek kroz pasivnu kuću [12]

5.2. Projektiranje pasivne kuće - Opći pristup

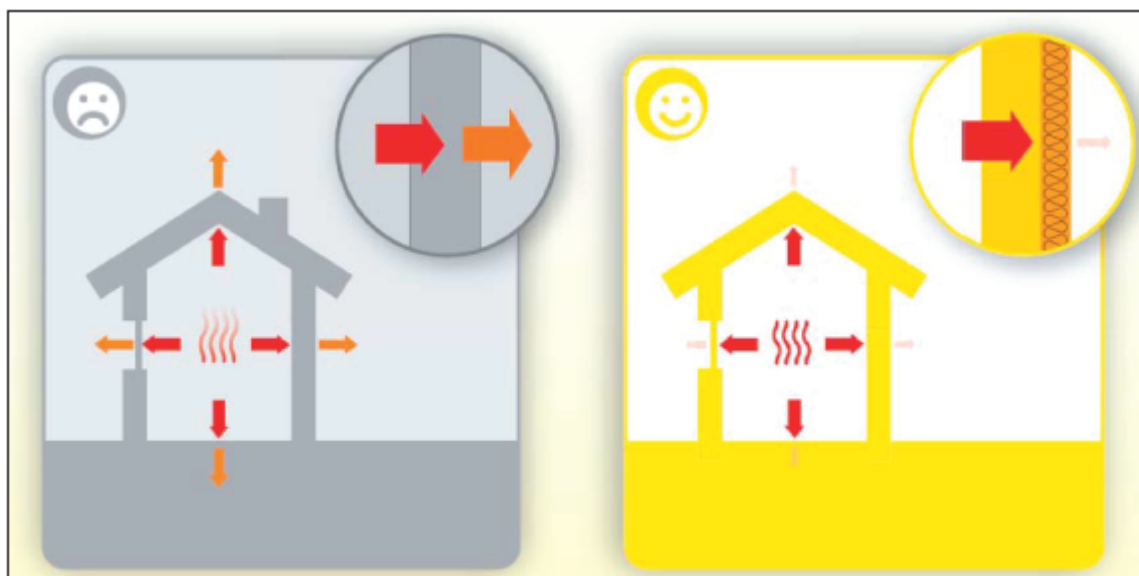
U Europi i svijetu je do danas izvedeno više od 9000 certificiranih pasivnih kuća od kojih je većina u Njemačkoj i Austriji (Slika 14.). Razvoj i izgradnja pasivnih kuća, istraživačkim projektom Europske unije CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as European Standards – Učinkovite Pasivne kuće kao EU standard) sa znanstvenim monitoringom, potvrdilo je energetska i ekonomsku učinkovitost pa se pasivna kuća u novom akcijskom planu EU predlaže kao standard gradnje. [14] Neki od brojnih primjera izvedenih pasivnih kuća su prikazani na slici 20.:



Slika 20. Primjeri Pasivnih kuća [13]

Koncept pasivnih kuća temelji se na održivoj i energetski učinkovitoj gradnji. Osnovno načelo takvih kuća je smanjiti zahtjeve za energijom potrebnom za zagrijavanje prostora, odnosno reducirati toplinske gubitke što je više moguće jer će time toplinski dobici biti gotovo u cijelosti dovoljni kako bi se postigla i održala željena temperatura u unutrašnjosti objekta. Takvi se uvjeti prije svega postižu povoljnom orijentacijom i oblikovanjem kuće, visokim nivoom njene toplinske izolacije vanjske opne te kvalitetnim sustavom provjetranja (ventilacije) prostora koji je neophodan u takvom konceptu.

5.2.1. Uvjeti za dobivanje „PassivHaus certifikata“



Slika 21. Energetska učinkovitost [12]

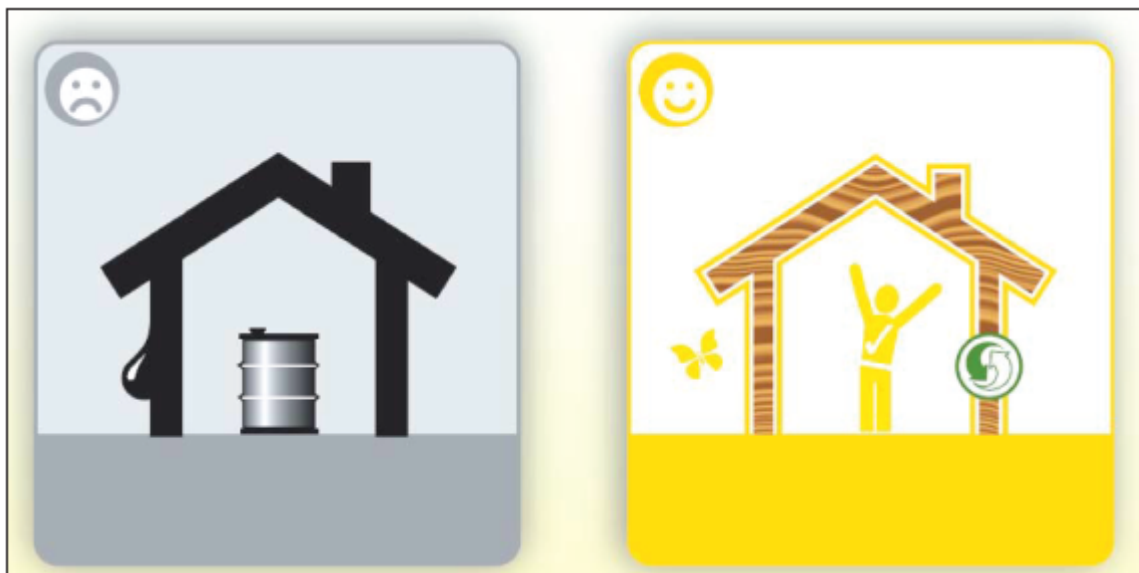
Jedan od glavnih uvjeta je da projektiran toplinski tok bude ograničen samo na toplinu koja može biti transportirana uz minimum potrebne ventilacije. Uvjeti su:

- Ukupna energija potrebna za grijanje ili hlađenje prostora nije veća od **15 kWh/m²** obrađene podne plohe,
- Ukupan primarni utošak energije za sve potrebe kućanstva, sanitarna topla voda, grijanje i hlađenje prostora nije veća od **120 kWh/m²**,
- Smanjeni gubitak topline visokim stupnjem izolacije na zidovima, podovima i krovu,
- Trostruko ostakljeni prozori,
- Smanjeni gubici zrako - neprospusnošću zgrade,
- Garancija kvalitete zraka mehaničkim ventilacijskim sustavom uz visoki stupanj povrata topline,
- Pasivno korištenje sunčeve energije,
- Upotreba učinkovitih kućanskih aparata [12]

Pasivna kuća ima visok stupanj izolacije, minimum toplinskih mostova, nisku infiltraciju, koristi dobitke od sunčeve energije i povrat topline.

5.2.2. Orientacija i koncept oblikovanja

Već je Sokrat prije 2500 godina shvatio da kuća može biti prijemnik Sunčeve energije i da je njen položaj u prirodi te izgled jako važan. Optimalna orijentacija objekta i nepostojanje bilo kakvih zapreka koje bi na objekt stvarale sjenu predstavljaju daljnje pretpostavke kako bi pasivna sunčeva energija – svjetlost i toplina - nesmetano prodirala u unutrašnjost.



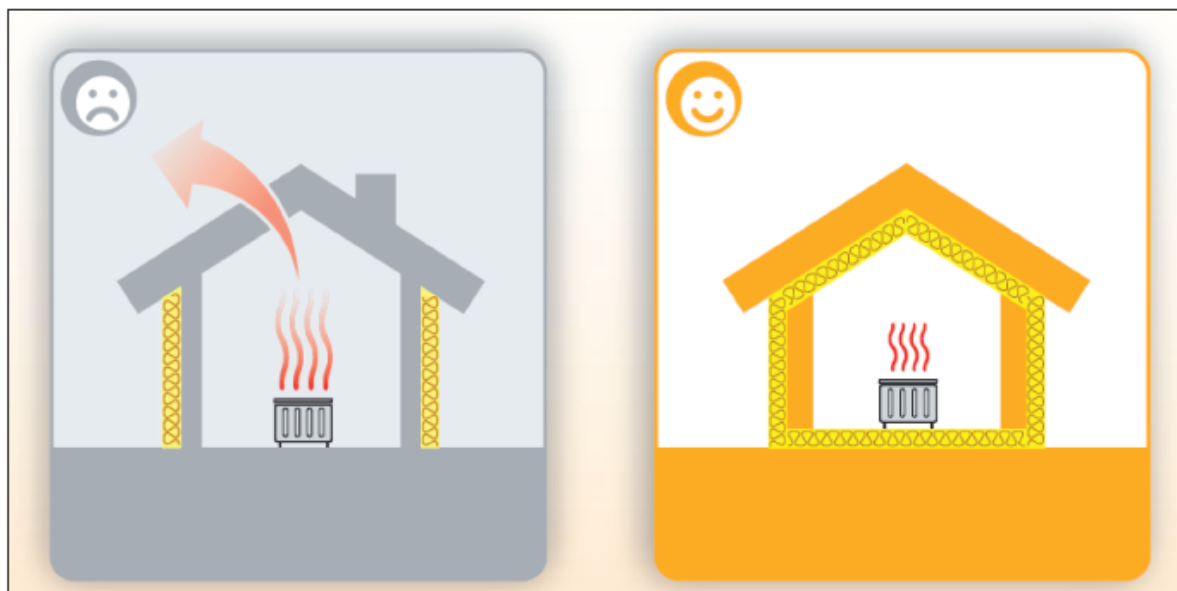
Slika 22. Konstruktivski materijali [12]

Pravilno oblikovanje zgrade omogućiti će manje vanjskih površina na kojima se gubi toplina. Staklene površine sa južne strane moraju biti relativno velike, a one sa sjeverne strane dovoljne da zadovolje potrebe za osvjetljenjem. Važno je da prozori omogućavaju maksimalno iskorištenje dnevnog svjetla i da se izbjegavaju prevelika osunčavanja tijekom ljetnih perioda, dobro je predvidjeti i sjenila, odnosno nadstrešnice koje će osigurati umjerenu osunčanost prozora ljeti. Zgrada mora biti što kompaktnija, bez razvedenih krila, dogradnji, masivnih neizoliranih balkona i sl. jer svaki dio objekta koji je izložen ili izbačen povećava potrošnju energije. Stoga je u pogledu konfiguracije kuće veoma važno da su omotač kuće i njen unutrašnji prostor usklađeni, odnosno da postoji minimalna površina omotača prostora koji se grije, jer gubitak topline i troškovi izgradnje su to niži što je površina omotača manja.

Ako je pasivna kuća građena u izvedbi na kat odnosno na dva i više katova standard pasivne kuće može funkcionirati i bez da je objekt orijentiran prema južnoj strani. Prije svega valja obratiti pozornost na to da građevinski teren bude što osunčaniji, da nije u kotlini ili na vlažnom močvarnom području. Uglavnom, „**prava lokacija**“ i smještaj objekta stvara uštede već na početku.

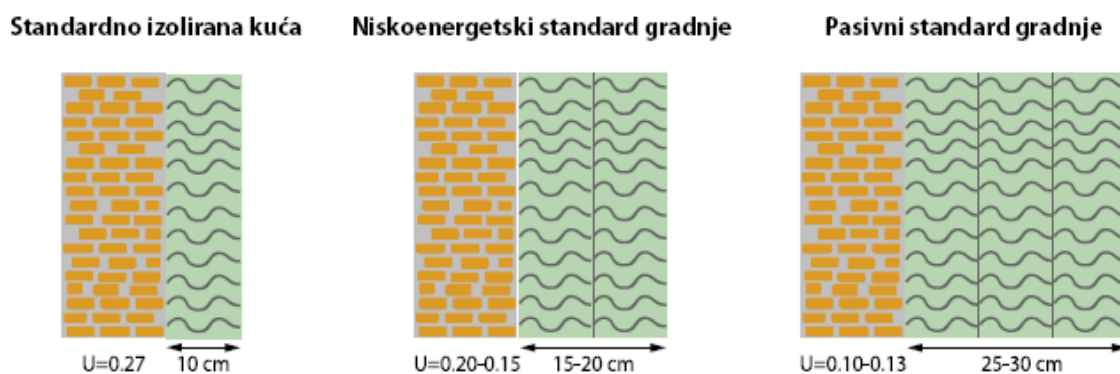
5.2.3. Toplinska zaštita i izbjegavanje toplinskih mostova

Temeljno načelo smanjenja energetske potrebe za grijanje kuće ili povećanja energetske efikasnosti je optimalna toplinska zaštita cijele vanjske ovojnice i izbjegavanje toplinskih mostova. Zadaća toplinske izolacije jest smanjenje toplinskih gubitaka i posredno troškova energije, ali i zaštita nosive konstrukcije pred vanjskim vremenskim utjecajima.



Slika 23. Toplinska izolacija [12]

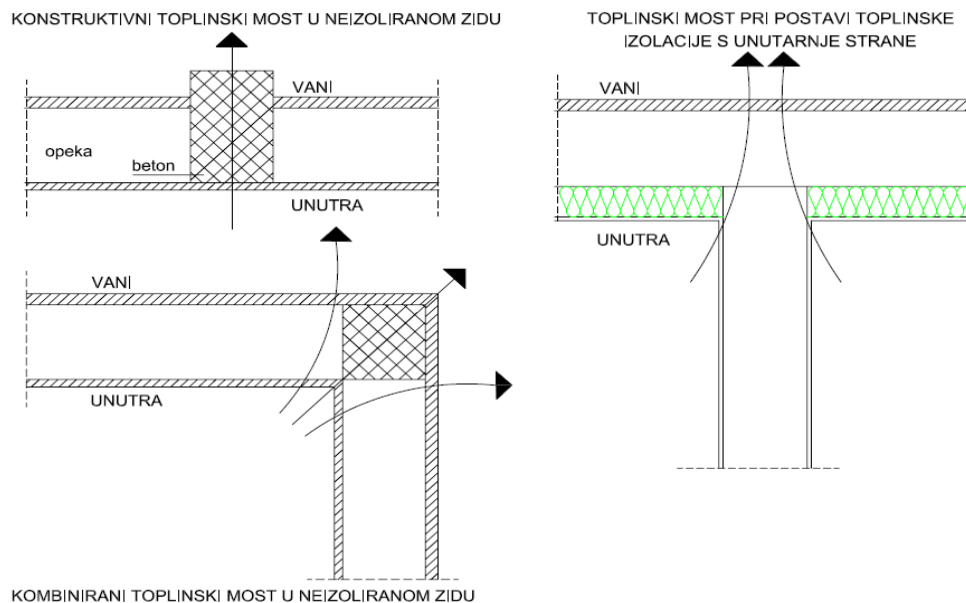
Dobra i kvalitetna toplinska izolacija pojedinačnih dijelova – krova, vanjskog zida ili podruma, je najsigurniji i najodrživiji način da se izbjegnu toplinski gubici. Svi neprozirni elementi omotača kuće trebaju imati, prema standardima pasivne gradnje, toplinsku izolaciju čiji koeficijent prolaza topline U – vrijednost nije veći od $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ne smije se izgubiti više od maksimalnih $0,15 \text{ W}$ energije za grijanje za svaki stupanj promjene temperature i svaki kvadratni metar vanjskog prostora. To se postže primjenom izolacije debljine od 25 cm do 30 cm što je značajno više od klasične gradnje kao što je prikazano na slici 24. Cijeli je vanjski omotač kuće potrebno izvesti u kvalitetnoj toplinskoj izolaciji. Rubovi, kutovi, spojna mjesta i otvori moraju se dobro isplanirati kako bi se izbjegla pojava toplinskih mostova.



Slika 24. Debljina toplinske izolacije u ovisnosti o vrsti gradnje [7]

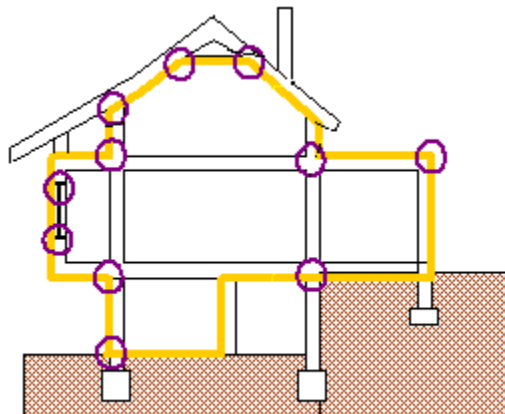
Toplinski most je manje područje u omotaču grijanog dijela zgrade kroz koje je toplinski tok povećan radi promjene materijala, debljine ili geometrije građevnog dijela. Zbog smanjenog otpora toplinskoj propustljivosti u odnosu na tipični presjek konstrukcije, temperatura unutarnje površine pregrade na toplinskom mostu manja je nego na ostaloj površini, što povećava opasnost od kondenziranja vodene pare. Ovisno o uzroku povišene toplinske propustljivosti, imamo dvije vrste toplinskih mostova koji su prikazani na slici 25.:

- konstruktivni toplinski mostovi - nastaju kod kombinacija različitih vrsta materijala;
- geometrijski toplinski mostovi - nastaju uslijed promjene oblika konstrukcije



Slika 25. Primjeri toplinskih mostova [15]

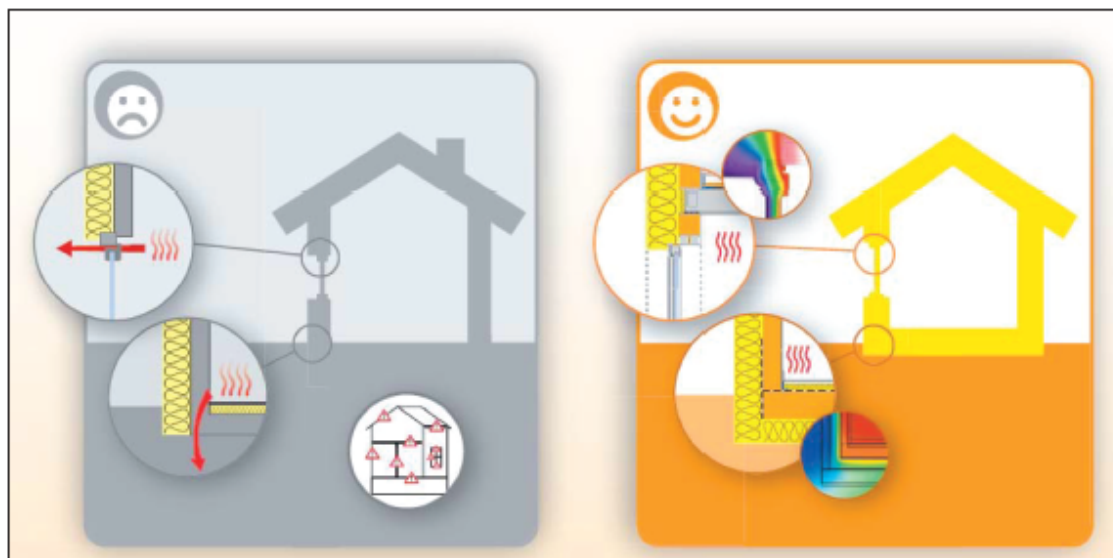
Uz kvalitetnu toplinsku izolaciju vanjske ovojnice kuće, izbjegavanje jakih toplinskih mostova preduvjet je energetski efikasne gradnje. Najveći gubici topline se ostvaruju kroz prozore i vanjske zidove, te se njihovom kvalitetno izvedenom izolacijom postižu velike uštede, kao i izolacijom krova iznad negrijanog prostora. Neka od potencijalnih mjesta nastanka toplinskih mostova su na slici 26. Postavom toplinske izolacije s vanjske strane možemo izbjeći većinu toplinskih gubitaka kod toplinskih mostova.



Slika 26. Potencijalna mjesta nastanka toplinskih mostova [5]

5.2.4. Prozori i vrata

Prozor je element vanjske ovojnice zgrade koji omogućava dnevnu rasvjetu prostora, pogled u okolicu, propuštanje Sunčeve energije u zgradu i prozračivanje prostora. Ujedno važno je i da bude dobar izolator i da omogućuje zadržavanje topline unutar objekta.



Slika 27. Toplinski mostovi [12]

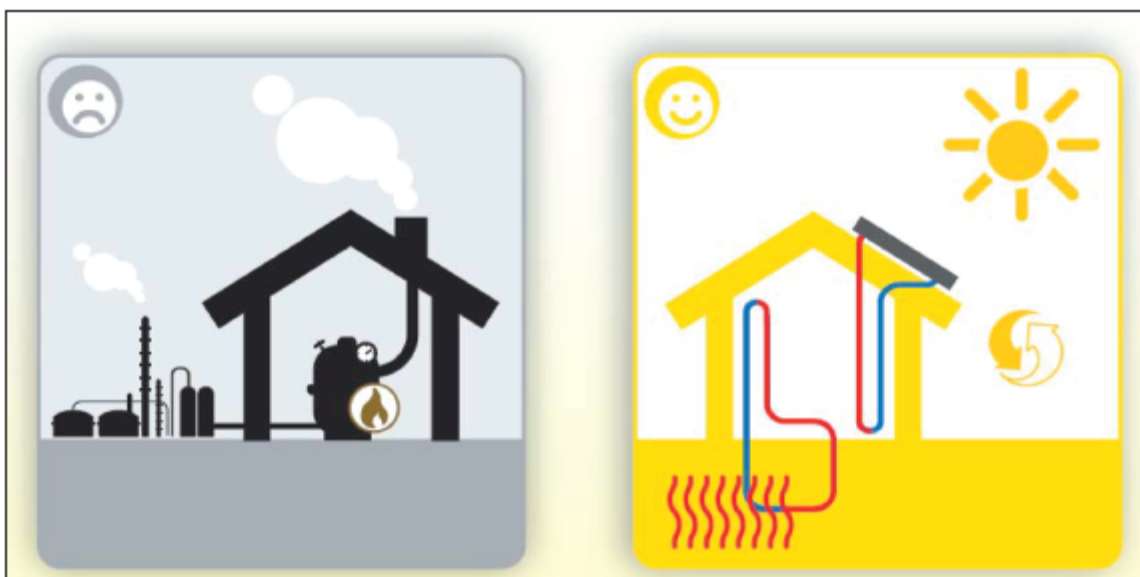
Prozor kao najdinamičniji dio vanjske ovojnice zgrade, koji istovremeno djeluje kao prijemnik koji propušta Sunčevu energiju u prostor, te kao zaštita od vanjskih utjecaja i toplinskih gubitaka mora biti pažljivo odabran. Ako zbrojimo transmisijske toplinske gubitke kroz prozore i gubitke provjetravanjem, ukupni toplinski gubici kroz prozore predstavljaju više od 50 posto toplinskih gubitaka zgrade. Gubici kroz prozore obično su deset pa i više puta veći od onih kroz zidove, pa je jasno koliku važnost igra energetska efikasnost prozora u ukupnim energetskim potrebama zgrada. Dok se na starim zgradama koeficijent U prozora kreće oko $3,00 - 3,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ i više, europska zakonska regulativa propisuje sve niže i niže vrijednosti, i one se danas kreću u rasponu $1,40 - 1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$. Na suvremenim niskoenergetskim i pasivnim kućama taj se koeficijent kreće između $0,80-1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$. Koeficijent prolaska topline za prozore i balkonska vrata može iznositi maksimalno $U = 1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$. Na slici 28. prikazane su neke vrste prozora prema toplinskim svojstvima. [7]



Slika 28. Vrste prozora prema toplinskim svojstvima [7]

5.2.5. Povrat topline i obnovljivi izvori energije

Pasivna se kuća može definirati kao građevina bez aktivnog sustava za zagrijavanje konvencionalnim izvorima energije, a neophodnu energiju moguće je akumulirati iz alternativnih izvora, odnosno iz zemlje, vode, zraka ili pak tehnologijom solarnih kolektora. Kod ispunjavanja zahtjeva koji se postavljaju na pasivne kuće, toplinske su crpke gotovo neizbježne. Primjena klasičnog uređaja za provjetravanje i otvora kroz koji bi u prostorije ulazio vanjski zrak, u pasivnoj bi kući značio preveliki gubitak topline koji bi se javljao kao posljedica odlaska toplog potrošenog zraka. Gledano kroz energetske bilancu, takvi bi veliki toplinski gubici bili nadoknadivi samo uz učestalo i snažno zagrijavanje ili hlađenje. Pomoću toplinske crpke iskorištava se toplina sunca akumulirana u tlu, vodi i zraku odnosno obnovljive izvore energije.



Slika 29. Obnovljivi izvori energije [12]

Povrat topline pomoću toplinskih pumpi ili izmjenjivača topline ne bi smio biti manji od 80%. Toplinska pumpa (dizalica topline) je uređaj koji vrši oduzimanje topline nekom toplinskom spremniku, koju taj radni medij može prenositi dalje kao korisnu toplinu. Ukoliko je taj toplinski spremnik konstantne temperature (npr. morska voda, toplina tla i sl.), postiže se dobra efikasnost procesa pa ovakav uređaj predstavlja energetski najpovoljnije rješenje u slučaju korištenja električne energije za grijanje.

Velika zrakonepropusnost je nužna kao i nepostojanost klasičnog provjetravanja. Provjetravanje se postiže pomoću sustava ventilacije a prilikom izbacivanja zraka dio energije se preuzima pomoću izmjenjivača topline.

U današnjem vremenu energetskih kriza korištenje obnovljivih izvora energije je sve učestalije. Prednosti su višestruke: jeftinija, pouzdanija, „čišća“ energija koja je svima dostupna. Obnovljivi izvori su oni izvori energije koji su sačuvani u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelomično, a posebno : energija vodotoka, vjetra, Sunčeva energija, biogoriva, biomasa, bioplin, geotermalna energija, morskih mijena i morskih valova. Neki od obnovljivih izvora su prikazani na slici 24.



Slika 30. Korištenje obnovljivih izvora energije [7]

Biomasu je moguće pretvoriti u razne oblike korisne energije: toplinu, električnu energiju te tekuća goriva za upotrebu u prijevozu. Tehnologije pretvorbe biomase mogu se podijeliti na primarne (konačni proizvod je toplina odnosno para te tekuća i plinovita goriva) i sekundarne (konačni proizvod je električna energija, toplina za kućanstva/industriju te goriva za korištenje u prijevozu). Proizvodnja toplinske energije uobičajen je način korištenja biomase, posebno ogrjevnog drva u raznim oblicima (briketi, peleti, drvena sječka, cjepanice). Peći za izgaranje peleta i drvene sječke, posebice one manje snage za primjenu u domaćinstvima i područnom grijanju zgrada i manjih naselja, dostigle su visoki stupanj tehnološke i komercijalne zrelosti.

Sunčeva energija je neiscrpan izvor energije koji u zgradama koristimo na tri načina:

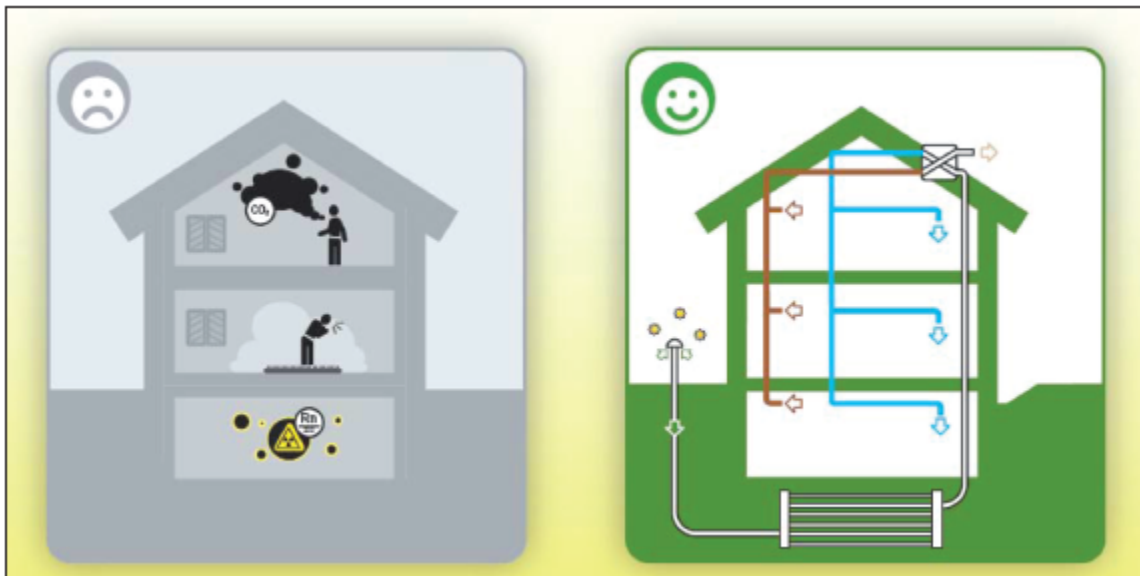
- Pasivno - za grijanje i osvjetljenje prostora
- Aktivno - sustav sa sunčanim kolektorima i spremnikom tople vode
- Fotonaponske sunčane ćelije za proizvodnju električne energije

U pasivnoj sunčanoj arhitekturi koriste se sva tri načina iskorištavanja Sunčeve energije. Korištenjem Sunčeve energije može se smanjiti potrebe za energijom u kućama za 70 - 90 %. Sunčani kolektori pretvaraju Sunčevu energiju u toplinsku energiju vode (ili neke druge tekućine). Fotonaponske ćelije su poluvodički elementi koji direktno pretvaraju energiju Sunčeva zračenja u električnu energiju. Fotonaponske ćelije mogu se koristiti kao samostalni izvori energije ili kao dodatni izvor energije.

Proizvodnja električne energije iz vjetra i sunca preporuča se u uvjetima gdje ne postoji mogućnost priključka na elektroenergetsku mrežu. Vjetroturbine zahtijevaju lokaciju izloženu vjetru i montažu na relativno visok stup, ali je cijena proizvedene energije znatno manja uz veću raspoloživost sustava. Raspoloživost sustava se značajno povećava kombinacijom sunčanih ćelija i vjetroturbine, zbog sezonskog nepodudaranja proizvodnje.[7]

5.2.6. Ventilacijski sustav

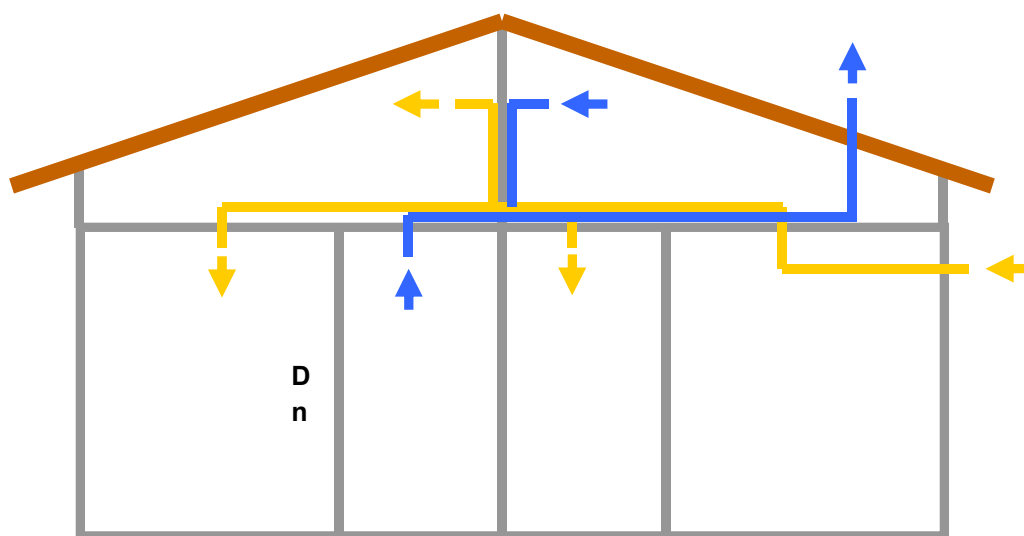
Kod pasivne kuće potrebno je osiguravanje dovoljne količine svježeg zraka. Taj problem, u ranije izgrađenim objektima, gotovo da i nije postojao jer su prozori s drvenim okvirima bili nezabrtvljeni, pa je kroz spojeve iskrivljenih drvenih okvira cirkuliralo i više zraka nego je bilo potrebno, pritom gubeći znatne količine topline. Današnjom tehnologijom proizvode se prozori koji omogućavaju potpunu zabrtvljenost pa se postavlja zahtjev nužnosti postojanja ventilacijskog sustava. Zadaća ventilacije u zgradama je kontinuirana zamjena onečišćenog zraka iz prostorije, svježim zrakom iz slobodne atmosfere radi održavanja potrebnih higijenskih uvjeta neophodnih za zdrav i ugodan boravak ljudi. Uloga ventilacije je također zagrijavanje zraka ukoliko je potrebno, odstranjivanje suvišne vlage i štetnih plinova iz prostora, te rashlađivanje zraka u ljetnom razdoblju. Kontroliranim sustavom cirkulacije zraka postiže se ušteda energije i veća udobnost unutar same građevine.



Slika 31. Ventilacijski sustav [12]

U proljetnom, ljetnom i jesenskom periodu potrebna količina zraka od 10 do 30 m³ po osobi postiže se povremenim otvaranjem prozora. Međutim, ovakav način provjetravanja u zimskom periodu nije prihvatljiv. Za jednu spavaću sobu za dvije osobe, čija je uobičajena veličina 20m², tj. 50m³, bez otvaranja prozora bi količina svježeg zraka bila dovoljna za 2,5 sata. Ako se uzme u obzir da je unutrašnja zapremnina sobe umanjena namještajem, te da zrak u uglovima sobe slabije cirkulira, dolazi se do rezultata da će se svježi zrak potrošiti za 1,5 sat, a ostatak vremena se udiše vlastiti ugljični dioksid. Kao rješenje ovog problema najprikladnija se pokazala primjena kontroliranog mehaničkog sistema provjetravanja. Koristeći neznatnu količinu električne energije za pogon svojih elektromotora odnosno ventilatora, ovaj sistem može toplinskim izmjenjivačima vratiti do 80% topline koja bi se izgubila kod uobičajenog načina provjetravanja. Zbog svoje efikasnosti kontrolirani sistem provjetravanja za stambene objekte se sve više primjenjuje i u konvencionalnoj stambenoj gradnji, dok je kod pasivne kuće obavezni sastavni dio objekta, jer bez njega kuća kao takva ne bi mogla funkcionirati. [5]

Sistem je koncipiran tako da se zbog povećanja inertnih dobitaka energije u zimskom periodu svježi vanjski zrak predgrijava toplinom tla uz pomoć zemljanih kolektora, ili toplinom podzemne vode. U ljetnom periodu je situacija obrnuta – tlo je puno hladnije od vanjskog zraka pa se prolaskom kroz cijevi zemljanog kolektora zrak hladi te rashlađuje prostorije. Sistem za provjetravanje s centralnim uređajem uz funkciju odvođenja i dovodenja zraka, posredstvom izmjenjivača vrši oduzimanje topline istrošenom izlazećem zraku. Sa stupnjem učinka do 80% izmjenjivači uspijevaju sačuvati najveći dio topline, tako da je za nadoknadu gubitaka dovoljan grijač koji po potrebi dogrijava ulazeći svježi zrak. Shema takvog uređaja je prikazana na slici 26.



Slika 32. Shema sustava za provjetravanje [5]

Toplina dodatnog grijača u dovodima svježeg zraka dolazi iz sistema za pripremu tople sanitarne vode. Za razliku od konvencionalne kuće kod koje je zagrijavanje sanitarne vode sporedna funkcija sistema grijanja, u pasivnoj kući je zbog vrlo malih gubitaka topline iz kuće, zagrijavanje prostorija sporedna funkcija uređaja za pripremu tople vode. Jasno je da se primjenom ovakvih sustava te uvažavanjem svih prethodno objašnjenih načela projektiranja pasivne kuće, potrošnja električne energije bitno smanjuje.

Rezultat je energetski učinkovita kuća koja smanjenjem potrošnje električne energije doprinosi smanjenju emisije ugljičnog dioksida.

5.3. Smanjenje emisije CO₂ primjenom pasivne kuće

Ekološke posljedice energetske potrošnje su tema koja je predugo vremena bila zapostavljena, a iako se, generalno gledano, i dalje ne vodi dovoljno računa o socijalnim, ekološkim, ekonomskim i sigurnosnim aspektima korištenja energije radi zadovoljenja sve većih energetskih potreba, danas je ipak prepoznato i u velikom broju, prvenstveno razvijenih zemalja, prihvaćeno da je dosadašnji, nekontrolirani pristup potrošnji energije neodrživ.

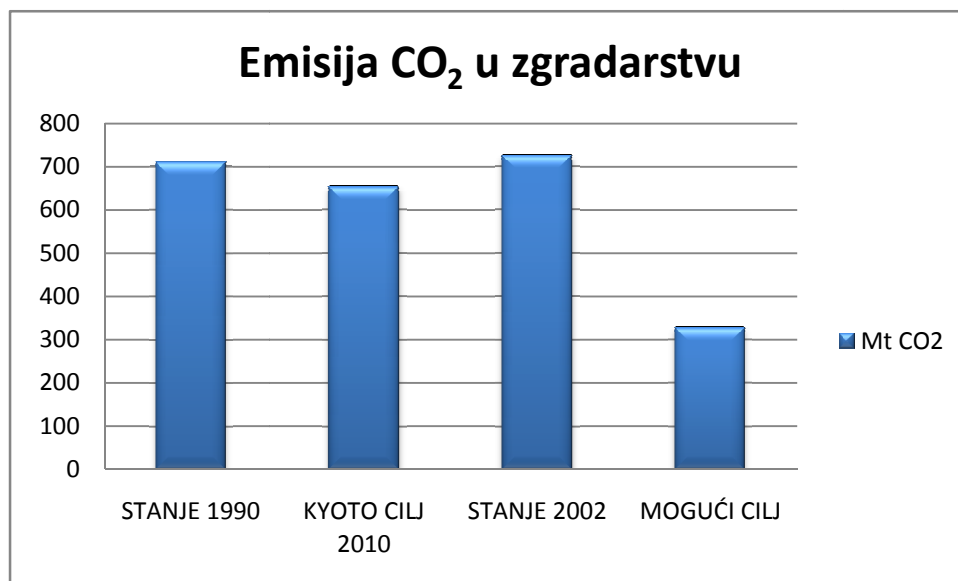
Stambeni sektor je u EU izvor četvrtine emisije CO₂, a na grijanje otpada 60 – 80 %. Ukoliko se uspije smanjiti energetska potrošnja za nekih 20 – 25 %, to bi dovelo do smanjenje emisije CO₂ u EU za 12,5%. [12]

Akcijski plan Europske komisije o energetskej učinkovitosti sadrži paket prioriternih mjera koje pokrivaju ekonomski isplative i energetske učinkovite inicijative, koje uključuju akcije u područjima: učinkovitosti kućanskih uređaja, energetske učinkovitosti u zgradarstvu s naglaskom na promociju niskoenergetskih i pasivnih zgrada, energetske učinkovitosti u prometu, energetske učinkovite proizvodnje i distribucije energije, prijedloge mehanizama financiranja energetske učinkovitosti, te promociju i podizanje svijesti o energetskej učinkovitosti. U planu se ističe značaj energetske učinkovitosti za EU, te se naglašava da ukoliko se odmah krene s primjenom predloženih mjera do 2020. bi se mogla smanjiti potrošnja za 100 milijardi eura godišnje, a emisija CO₂ pala bi za 720 milijuna tona. Plan bi trebao biti implementiran u državne zakone članica EU-a u sljedećih 6 godina.[15]

Tablica 5. Mjere za smanjenje emisije u kućanstvima i uslugama 2010. [KtCO₂]

Mjere za smanjenje emisije u kućanstvima i uslugama 2010.	KtCO ₂ /god.
Smanjenje toplinskih gubitaka -nove zgrade	48
Smanjenje toplinskih gubitaka -krovovi	1,5
Smanjenje toplinskih gubitaka -prozori	7,8
Smanjenje toplinskih gubitaka -kompletna rekonstrukcija	9,2
Solarna energija -potrošna topla voda	7
Solarna energija -napredni sustavi	22
Gorive ćelije i fotovoltaići	14
Korištenje biomase u malim toplanama i kućanstvu	136
Uštede električne energije u kućanstvu -rasvjeta	149
Uštede električne energije u kućanstvu -aparati	101
Uštede električne energije u kućanstvu -smanjenje potrošnje energije za grijanje	10
Povećanje centraliziranog toplinskog sustava i kogeneracije	14
Energetska efikasnost u ustanovama	165
Obnovljivi izvori u ustanovama	39
Ukupno godišnje	720
Ukupno 2020. godina	2012

Ako promatramo emisije onečišćujućih tvari u zrak u sektoru zgradarstva u Hrvatskoj, kao i u EU, možemo primijetiti zabrinjavajući rastući trend emisija CO₂ uzrokovan povećanom potrošnjom fosilnih goriva. Na slici 27 . prikazane su emisije CO₂ u sektoru zgradarstva za područje Europske unije.

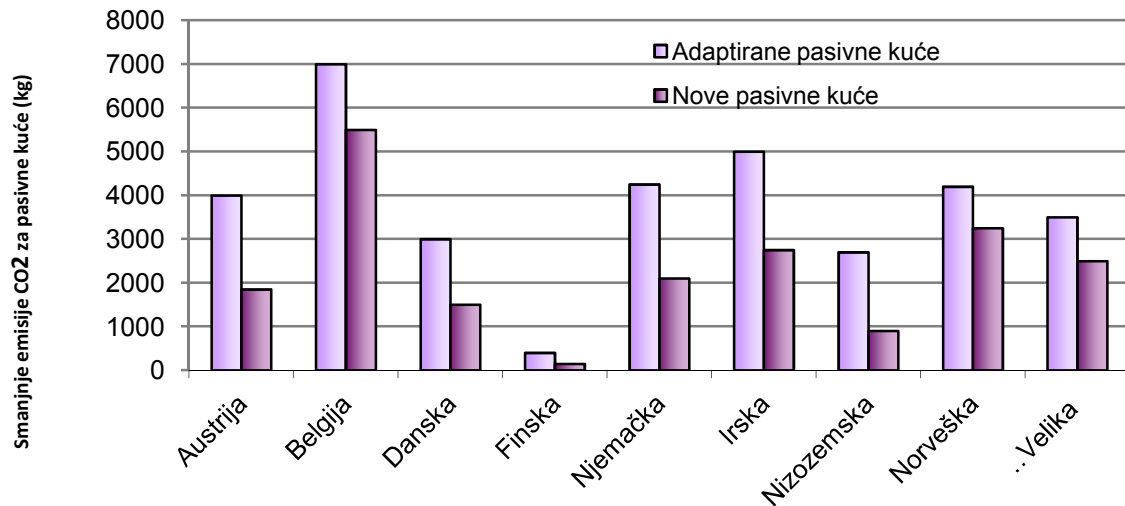


Slika 33. Emisije CO₂ u zgradarstvu u EU [5]

Pod pojmom mjere energetske efikasnosti u obiteljskim kućama i stambenim i nestambenim zgradama podrazumijeva se široki opseg djelatnosti kojima je krajnji cilj smanjenje potrošnje svih vrsta energije u promatranom objektu, što rezultira smanjenjem emisije CO₂ uz nepromijenjenu toplinsku, svjetlosnu i drugu udobnost stanara. Hrvatska se ratifikacijom Kyotskog protokola obvezala emisije stakleničkih plinova smanjiti 5% u odnosu na baznu godinu 1990. u razdoblju od 2008. do 2012. godine.

Najveći dio emisija CO₂ dolazi upravo iz energetskog sektora, tj. nastaje uslijed proizvodnje i potrošnje energije. Nepobitna je činjenica da će potrošnja energije u budućnosti samo rasti, a time će rasti i emisije stakleničkih plinova. Značaj učinkovite uporabe energije jest upravo u tome da se trend porasta potrošnje energije uspori. Poboljšanje učinkovitosti samih procesa proizvodnje energije i uporabu goriva nefosilnog podrijetla, doprinijet će se i ukupnom smanjenju emisija stakleničkih plinova.

Primjenom pasivne gradnje kao standarda gradnje doprinjet će se velikom smanjenju potrošnje energije te kao rezultat toga i smanjnu potrošnje emisije CO₂. Na slici 34. prikazana su smanjenja emisije CO₂ u ovisnosti o količini pasivne gradnje. Vidljivo je da Austrija pokazuje značajno smanjenje emisije CO₂, Nizozemska pokazuje prosječno smanjenje emisije CO₂ dok Finska pokazuje malo smanjenje emisije CO₂ ako se uzme u obzir da Finska posjeduje veliki broj pasivnih kuća. Njemačko smanjenje emisije postignuto je isključivo uštedom električne energije. Irska svoje smanjenje emisije pripisuje velikom uštedi električne energije i uštedi loživog ulja za pokretanje sustava grijanja.



Slika 34.. Smanjenje emisije CO₂ za pasivne kuće u Europskim državama

Treba spomeniti da se velika emisija CO₂ stvara pri proizvodnji cementa. Prilikom proizvodnje jedne tone klinkera portland cementa oko jedne tone CO₂ se emitira u okoliš, Istraživanja su pokazala da na cementnu industriju otpada 7 % ukupne svjetske emisije, potrebne su dodatna ulaganja ne samo u smanjenje emisije kroz smanjenje potrošnje energije već i kroz nove procesne postupke pri proizvodnji. [16]

5.4. Ekonomске karakteristike

Kako pasivna kuća predstavlja uznapredovali stadije niskoenergetske kuće, a sve komponente niskoenergetskih kuća nisu u konačnici ništa drugo nego poboljšane varijante, za novogradnju uobičajenih neophodnih građevinskih elemenata, niskoenergetska kuća se tako može urediti bez posebnog dodatnog utroška vremena i rada. Na Hrvatskom tržištu postoji patentirana tipska niskoenergetska kuća tvrtke YTONG koja nudi 198 m² prostora za 167 000 kn (slika 35.). U cijenu je uključen cijeli materijal s transportom do mjesta ugradnje bez strojarskih instalacija, ventilacije.. Garantirana je maksimalna potrošnja energije za grijanje ili hlađenje od 40 kWh/m² godišnje. [17]



Slika 35. Tipska YTONG niskoenergetska kuća [14]

Opće procjene govore da je pasivna gradnja za otprilike 8 – 10 % skuplja u odnosu na konvencionalnu gradnju ali te procjene vrijede za Austrijske standard gradnje koji su ipak znatno veći od naših. Gradnja bi bila skuplja za približno **15 % - 20 %** kad se gradi u odnosu na Hrvatski standard. Pošto nije točno specificirano na što se tih 15 – 20 % odnosi temeljem rezultata istraživačkog rada prikazanog u daljnjem dijelu teksta pretpostavlja se da se radi o cijeni troškova materijala.

Značajan utjecaj na količinu izgrađenih objekata utječe i subvencioniranje države. Hrvatska država još nije ozbiljno počela s tom praksom ali u budućnosti s mogućim ulaskom u EU bit će prisiljena. Potrebno je spomenuti aktivnosti Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (FZOEU) počelo se sustavno pristupati rješavanju problematike financiranja područja zaštite okoliša, energetske učinkovitosti i korištenja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj.

Svrha Fonda je poticati realizaciju onih aktivnosti i mjera korištenja obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti koje su isplative za društvo, tj. koje rezultiraju pozitivnim vanjštinama, a ne bi bile realizirane samostalno od strane investitora i/ili nisu isplative po kriterijima financijera. U mnogim zemljama Europske Unije sasvim je izvedivo i isplativo za osobe s prosječnim primanjima da se prilikom gradnje kuće odluče za pasivnu gradnju jer nešto veće izdatke za kvalitetnije prozorske okvire, sustav prozračivanja i kvalitetnu toplinsku izolaciju u programima sufinancira i država svojim kreditima. Tako Njemačka svojim građanima isplatu kredita za gradnju ovakvih objekata osigurava direktno putem banaka, a

pojedine savezne pokrajine čak i dodatnim mjerama potiču gradnju pasivnih kuća. To je jedan od razloga zašto je diljem Njemačke i Austrije već sada izgrađeno preko 3000 pasivnih i niskoenergetskih objekata (primjeri na slici 36.).



Slika 36. Primjer Pasivne kuće

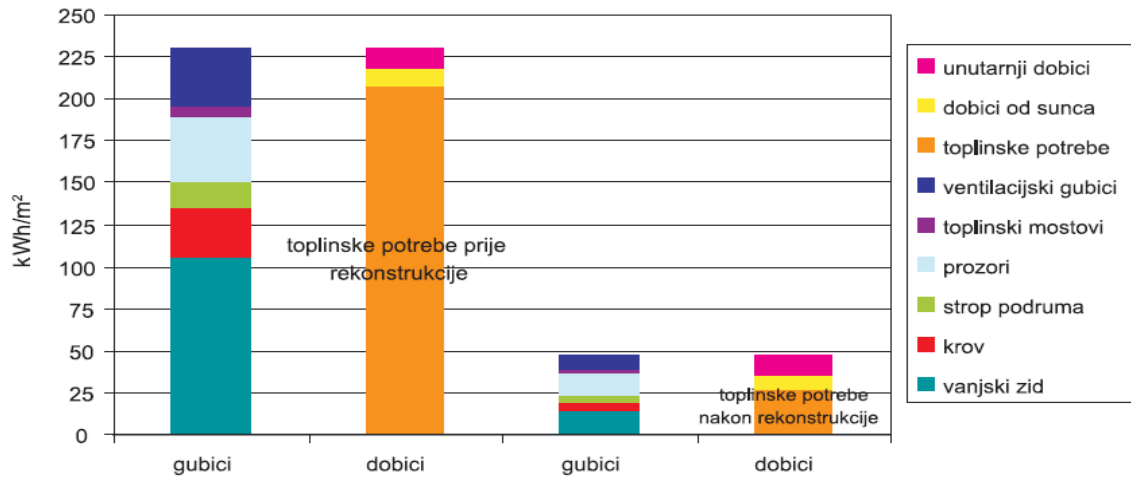
Bez ovakvih financijskih poticaja od strane države, gradnja pasivne kuće isplativija je od gradnje konvencionalne kuće – dugoročno gledano ušteda u energiji čini je neusporedivo boljim i prihvatljivijim rješenjem. Udobnost i povećanje kvalitete života u ovakvim domovima je neopisivo veće. Nažalost unutar hrvatskog programa poticane stanogradnje nema niti naznaka poticanju racionalnog raspolaganja energijom. Svakako će se to morati mijenjati ukoliko se želi držati korak sa EU, a bez državnih poticaja teško se može doći do potpunog uspjeha. Postoje određeni programi koji omogućuju sufinanciranje izgradnje ali nisu vezani za energetska efikasnost.

U skoroj budućnosti bi cijena pasivne gradnje trebala biti neznatno manja od cijene troškova klasične gradnje jer će se povećanjem broja objekata sagrađenih pasivnom gradnjom trebala smanjiti cijena proizvodnje visokokvalitetnih građevinskih komponenti, a samim time i ukupna cijena zgrade.

Ostvarivanje pasivnog standarda gradnje kod rekonstrukcija je dosta otežana ali je moguća. Naravno zahtjeva dosta veća ulaganja pošto je najčešće riječ o potpunoj promjeni svih djelova konstrukcije. Važno je naglasiti da je veliki broj stambenih objekata u Hrvatskoj izgrađen u razdoblju prije 1970. godine i imaju minimalnu ili nikakvu toplinsku izolaciju. U to vrijeme nije se toliko razmišljalo o trajnosti konstrukcija kao niti o energetske učinkovitosti jer je tada cijena i dostupnost energenata bila povoljnija od današnjice. Za postizanje značajnih ušteda u takvim objektima nije potrebno uspostavljati pasivni standard gradnje.

Prosječni gubici topline kod takvih starih zgrada kreću se uglavnom između 200 i 250 kWh/m² godišnje. Analize pokazuju da se povećanjem toplinske izolacije vanjske ovojnice, prvenstveno vanjskog zida, te zamjenom prozora, gubici topline smanjuju na 60-90 kWh/m²

godišnje, što je ušteda u potrošnji energije za oko 70%. Na slici 37. prikazani su energetski učinci pravilne rekonstrukcije zgrade izgrađene 70-tih godina. [6]



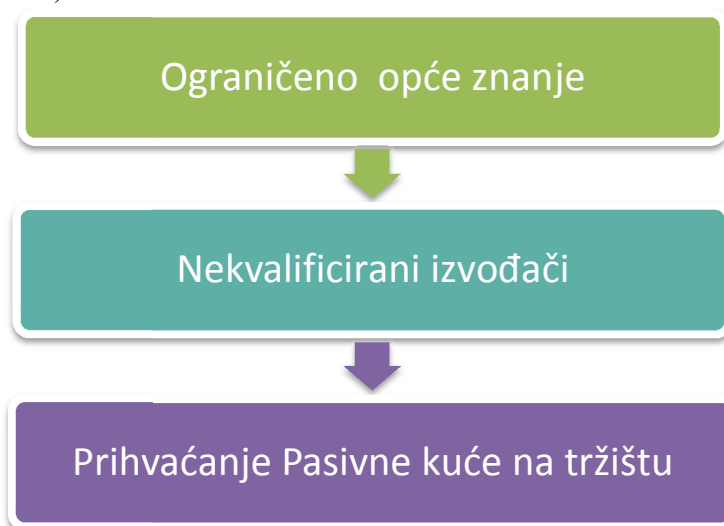
Slika 37. Energetska bilanca prosječne zgrade građene 70-tih godina, prije rekonstrukcije i bilanca nakon rekonstrukcije primjenom standarda niskoenergetske i pasivne gradnje [6]

5.5. Najbolje prakse u Europi

Projekt PEP (Promotion of European Passive Houses – Promocija Europske Pasivne kuće) prikazuje različita rješenja konstruktivnih elemenata po zemljama. Osnovni smisao PEP-a je ponuditi dokumentaciju i kvalitetna rješenja koja su se kroz praksu i teoriju nametnula u europskoj. Zaključci doneseni u zajedničkom istraživanju zemalja partnera koji bi trebali pomoći da lakše i kvalitetnije pasivna gradnja postane standard gradnje u budućnosti su:

- Energetska certifikacija – nužna kako bi se pasivne kuće mogle vrednovati na tržištu. Omogućiti će raspoznavanje građevina prema kvaliteti izvedbe;
- Dostupnost i brzina dobivanja energetske certifikacije, odnosno transparentnost i dostupnost papirologije nužne za dobivanje certifikata;
- Pridržavanje propisanih projektantskih uvjeta (točka 4.2.)
- Ekonomska isplativost primjene – povećanjem interesa za gradnjom dostupnost materijala potrebnih za izgradnju će se povećati te će im cijena biti manja. [18]

Zaključak PEP-a: Najčešći problemi koji se pojavljuju u zemljama koje su sudjelovale u projektu su (slika 38):



Slika 38. Problemi implementacije

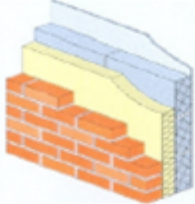
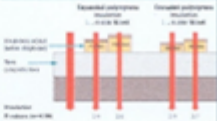
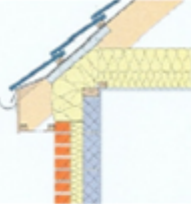


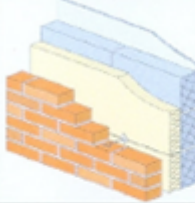
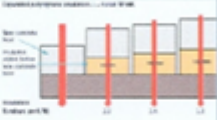
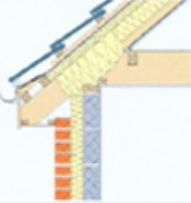

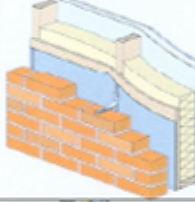
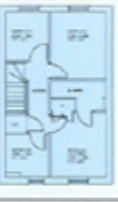

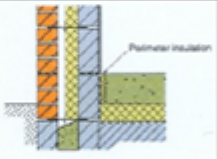
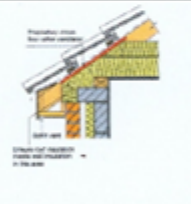


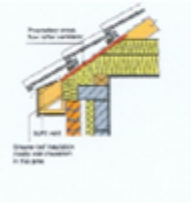




Iz prikazanog se može zaključiti da veliki dio pažnje mora biti posvećen edukaciji i promociji informacija vezanih uz pasivnu gradnju. Upravo u tom smjeru je bio usmjeren čitavi projekt PEP-a. Na slikama 39, 40, 41. se vide primjeri rješenja konstruktivnih elemenata u ovisnosti o području tj. klimi u kojoj je objekt smješten.

	Fasada Vani - unutra	Pod	Krov	Prozor Vani - unutra	Konstrukcija/ Primjeri
Njemačka					
Belgija					
Norveška					
Austrija					
Finska					

Slika 39. Primjeri prakse iz EU [18]

	Fasada Vani - unutra	Pod	Krov	Prozor Vani - unutra	Konstrukcija/ Primjeri
Njemačka					
Belgija					
Norveška					
Austrija					
Finska					
Danska					

Slika 40. Primjeri prakse iz EU [18]

	Fasada Vani - unutra	Pod	Krov	Prozor Vani - unutra	Konstrukcija/ Primjeri
UK					
					
					
Irska					
					
					

Slika 41. Primjeri prakse iz EU [18]

5.6. Pasivna kuća u Hrvatskoj

Prva realizirana hrvatska pasivna kuća

Prva hrvatska pasivna kuća u Bestovju kod Zagreba (Slika 44.). Investitor i vlasnik Branko Mihaljev uložio je u gradnju 80.000 EUR, u što je uključena i cijena parcele, dobivši tako komfornu kuću od 100 četvornih metara, plus 100 kvadrata u potkrovlju. Cijena je 20% viša nego u klasičnoj gradnji, ali mu je potrošnja energije pet do šest puta manja.[19]

Zidovi su napravljeni od poroznog betona. Instalacijski sistem pasivne kuće sastoji se od zemnog izmjenjivača sa podzemnom vodom koja se koristi u sistemu toplinske crpke. Vanjski elementi objekta su izolirani tako da koeficijent prolaza topline ne prelazi vrijednost od $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Staklene površine konstruirane su tako da je najniža vrijednost koeficijenta $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, a stupanj propuštanja ukupne energije g nije manji od 0,5. Prethodni zahtjevi realizirani su troslojnim staklom ispunjenim argonom, a na prozorskim okvirima nema toplinskih mostova. Sa malom potrošnjom energije ($< 0,45 \text{ W/m}^3$) postignut je visoka učinkovitost povrata topline u sustavu za provjetranje, sa stupnjem iskoristivosti većim od 75%. [5]

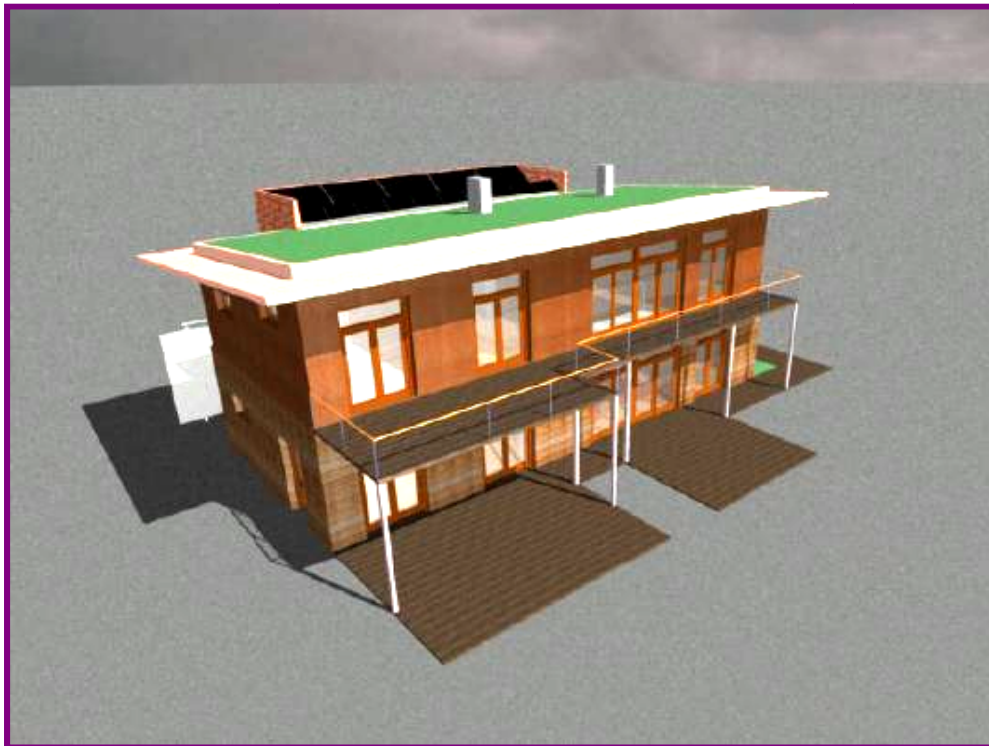
Izvor energije je toplinska pumpa koje crpi energiju iz podzemne vode čija je stalna temperatura od 11 do 14 °C. S nazivnom snagom od tri kilovata struje iz mreže Hrvatske elektroprivrede, kuća zapravo troši 14 kW/h, a razliku proizvodi toplinska pumpa. Troškovi struje za cijelu kuću od 200 kvadrata (što uključuje grijanje, hlađenje, toplu vodu i sve kućanske uređaje) iznose samo 2200 kuna godišnje, odnosno manje od 200 kuna mjesečno. Mihaljev ističe da je kuća ne samo energetski jeftina, već izuzetno ugodna za stanovanje. [20]



Slika 42. Prva hrvatska pasivna kuća u Bestovju kod Zagreba [2]

Prva drvena pasivna kuća

Prvi hrvatski projekt drvene pasivne kuće nazvane “CV1” projektiran je 2003. godine i još uvijek je u izgradnji. Lokacijski je smješten u Kupinečkom Kraljevcu nedaleko od Zagreba. Projekt karakterizira uporaba drveta kao tradicionalnog materijala, a primjenjena je na fasadi objekta. Projekt je prema zahtjevima za kvalitetu života, veličini i materijalima od koji je izgrađen prilagođen zahtjevima za visoku energetske učinkovitost. Na južnoj fasadi nalazi se veliki broj otvora, dok je sjeverna strana gotovo bez njih. Kako bi se spriječilo pregrijavanje prostora u ljetnim periodima, na kući je konstruirana nadstrešnica. Energetski sustav kuće sadrži toplinske crpke za grijanje, sistem za provjetravanje te solarne kolektore na krovu (Slika 45).[5]



Slika 43. Prva drvena pasivna kuća u Hrvatskoj [5]

6. Istraživački rad s računalnom podlogom

U Europi su provedena opsežna istraživanja kojima se željela prikazati ekonomska i energetska opravdanost pasivne gradnje. Zaključci su da je pasivna gradnja kao standard gradnje u budućnosti nužnost, a ne želja. Razlog tome leži u činjenici da pasivnim standardom gradnje zadovoljavamo ekonomske, energetske i što je dosta važno ekološke aspekte gradnje.

U Hrvatskoj ne postoje objavljeni podaci o cijeni koštanja poboljšanja učinkovitosti zgrada po stavkama materijala i postrojenja na razini pasivne kuće i isto tako podataka koji bi ekonomski opravdali pasivne kuće i isplativost povećanja izolacije u odnosu na standard gradnje.

Cilj rada je napraviti proračun građevinske fizike prosječne obiteljske kuće s ciljem zadovoljavanja trenutnih propisa, pokušati poboljšati energetska efikasnost, iste obiteljske kuće povećanjem toplinske izolacije, promjenom toplinskih svojstava prozora i vrata, te proračunati istu kuću prema „pasivnom standardu“. Prikupljeni su podaci o ekonomskoj isplativosti svakog od proračunatih objekata.

6.1 Računalni program IGH- toplinska zaštita

Proračun potrošnje električne energije za grijanje/hlađenje kuće proveden je u programu *IGH-toplinska zaštita*, a detaljni rezultati i ulazni parametri korišteni za proračun dani su u tablicama 8 i 9.



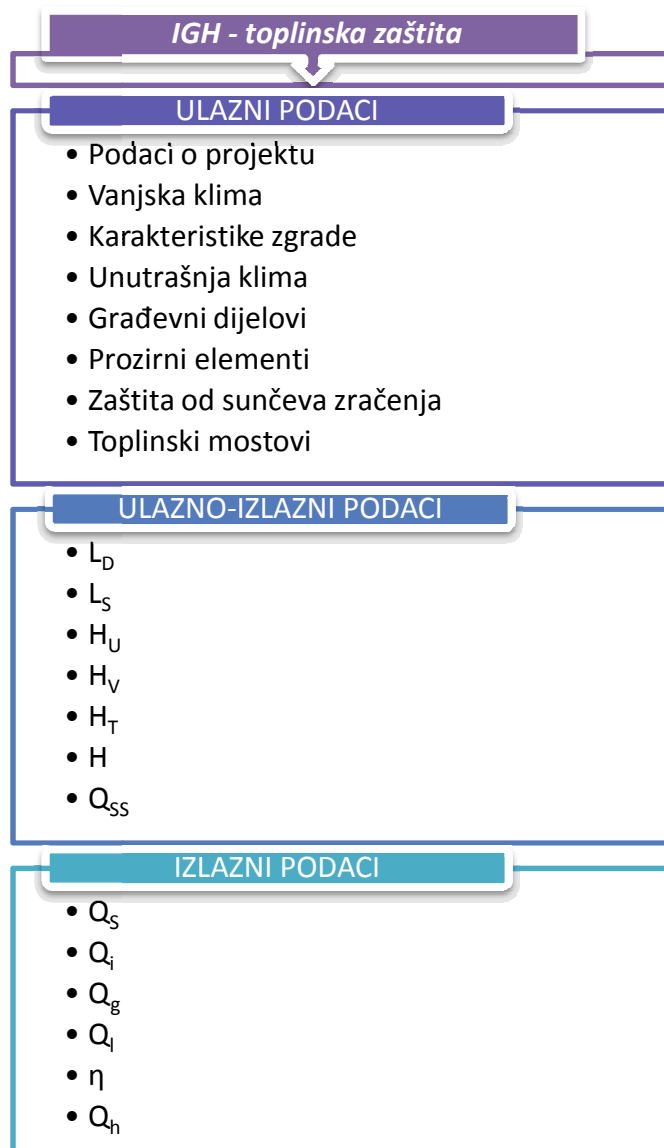
Slika 44. Logo programa

Osnovni podaci o programu

Autori : mr. sc. Vladimir Šimetin dipl. ing. građ.
mr. sc. Željko Štromar dipl. ing. građ

Izdavač : IGH d.d.
Janka Rakuše 1, Zagreb
II. izdanje, 2008. godina

Program je namijenjen projektantima zgrada kao profesionalna podrška u primjeni zahtjeva iz Tehničkog propisa o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama tijekom projektiranja. Program omogućava provođenje svih bitnih dokaza ispunjenja zahtjeva glede uštede toplinske energije i toplinske zaštite prema hrvatskim normama koje su prihvaćene europske norme na koje upućuje tehnički propis. Osnovni dijagram tijekom funkcioniranja programa IGH – toplinska zaštita prikazan je na slici 45.:



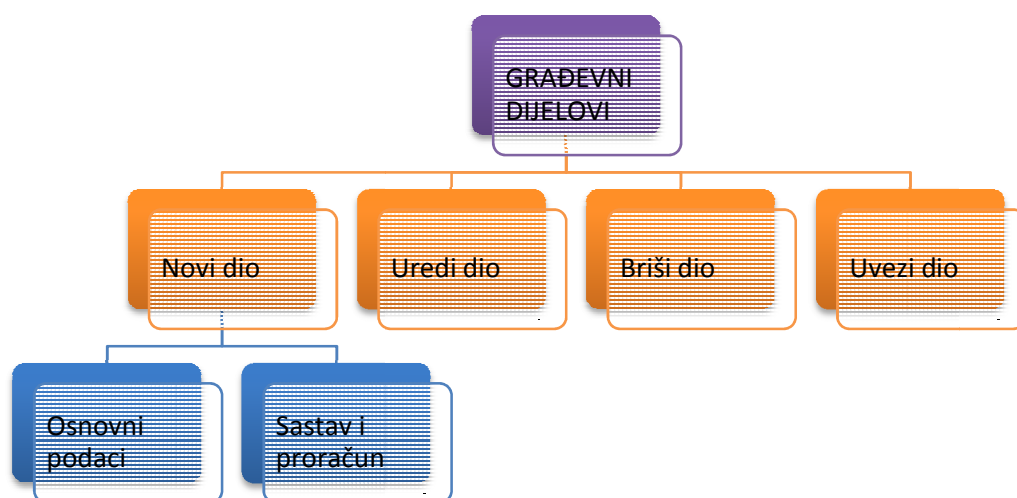
Slika 45. Ulazno-izlazni podaci za IGH-toplinska zaštita [21]

Objašnjenja oznaka prikazanih u dijagramu tijekom (slika 45.) prikazani su u tablici 6.

Tablica 6. Oznake podataka koji se unose u IGH-toplinska zaštita

OZNAKE	OBJAŠNENJA
L_D	Koeficijent izravnog toplinskog povezivanja kroz omotač zgrade
L_S	Koeficijent toplinskog gubitka kroz tlo
H_U	Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka kroz negrijane prostorije
H_V	Koeficijent toplinskog gubitka provjetranjem
H_T	Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka
H	Koeficijent toplinskog gubitka
Q_{SS}	Prikupljanje sunčeve energije
Q_S	Toplinski dobitci od sunca kroz prozirne elemente
Q_i	Unutarnji toplinski dobitci
Q_g	Ukupni toplinski dobitci
Q_l	Toplinski gubici zgrade
η	Stupanj iskorištenja toplinskih dobitaka
Q_h	Potrebna toplina za grijanje zgrade

Osnovni dijagrami tijekom unosa za unos parametara za proračun građevinskih dijelova zgrada, prozirnih elemenata, zaštite od sunčeva zračenja, toplinskih mostova u programu IGH – toplinska zaštita prikazani su na slikama 46, 47, 48, 49:



Slika 46. Građevni dijelovi

PROZIRNI ELEMENTI

- Osnovni podaci
 - Naziv elementa
 - Tip elementa
 - Odabir vrste proračuna

Slika 46. Prozirni elementi

ZAŠTITA OD SUNČEVA ZRAČENJA

- Orijehtacija pročelja
- Krov
- Provjera za prostoriju

Slika 47. Zaštita od sunčeva zračenja

TOPLINSKI MOSTOVI

- Vrsta proračuna
- Linijski toplinski gubici
- Točkasti toplinski mostovi

Slika 48. Toplinski mostovi

6.2 Osnovne karakteristike obiteljske kuće

Objekt na kojemu je provedeno istraživanje nalazi se na području Zagreba, radi se o prizemnoj kući korisne površine 79,2 m² koja se sastoji od 3 spavaće sobe, kupaone, dnevnog boravka, kuhinje i blagovaonice (Tablica 7., slika 48). Sve prostorije su grijane centralnim sustavom grijanja.

Tablica 7. Prikaz osnovnih parametara objekta

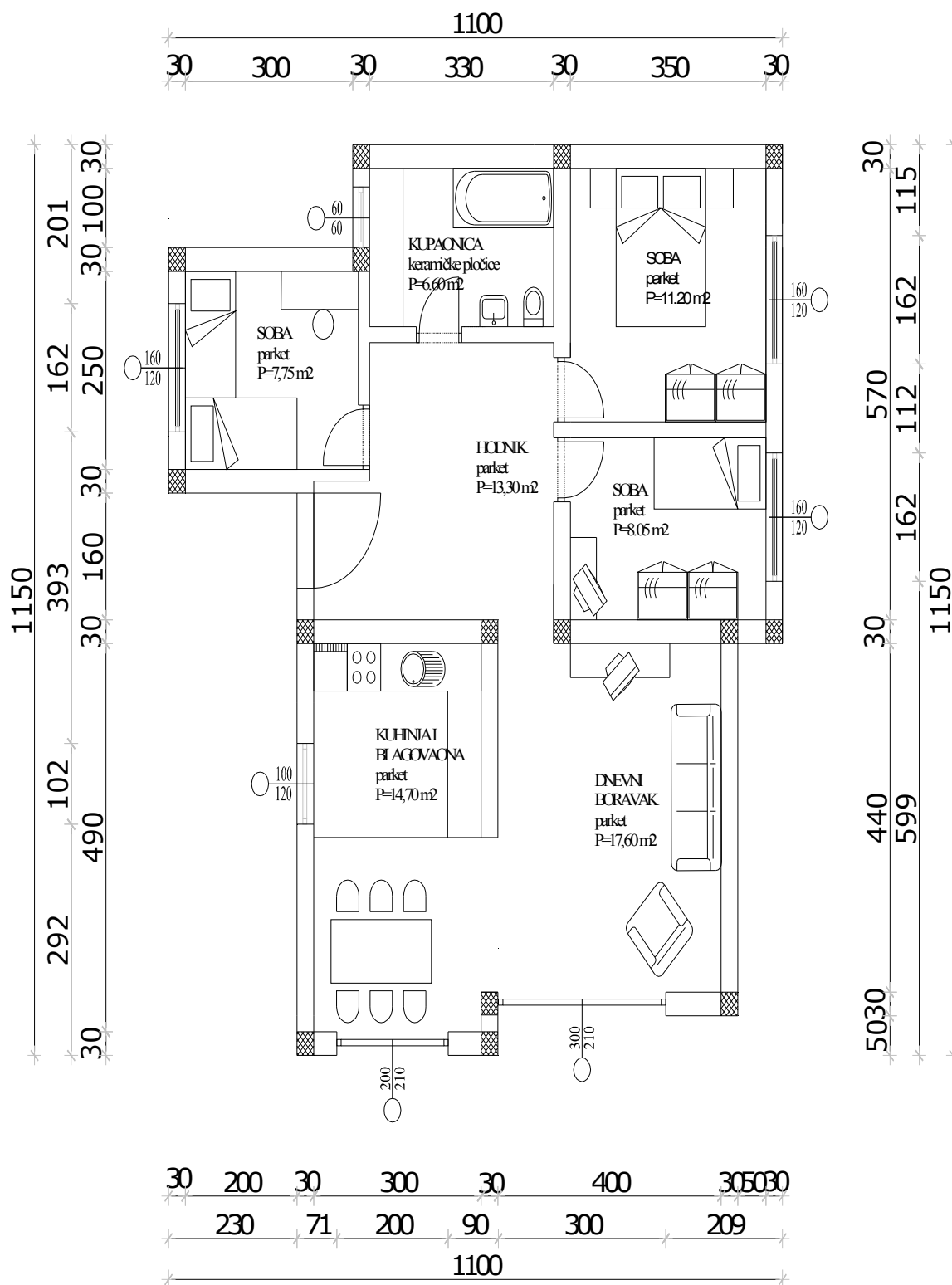
Naziv prostorije	Ploština prostorije [m ²]	Volumen prostorije [m ³]	Pod
Kupaonica	6,6	18,48	Pločice
Soba 1	7,75	21,7	Parquet
Soba 2	11,2	31,36	Parquet
Soba 3	8,05	22,54	Parquet
Hodnik	13,3	37,24	Parquet
Dnevni boravak	17,6	49,28	Parquet
Kuhinja i blagavaona	14,7	41,16	Parquet
Ukupno	79,2	221,76	

Detaljni podaci o gabaritima te samim svojstvima elemenata kuće za standardnu i pasivnu gradnju prikazani su u tablici 8. str 55. – 60. za standardnu kuću i u tablici 9. str 61. – 66. za pasivnu kuću.

Na prikazanom objektu su provedene dvije studije:

- 1) Isplativost i energetska učinkovitost izgradnje pasivne kuće u odnosu na standardno izoliranu kuću za nove objekte
- 2) Isplativost ugradnje bolje toplinske zaštite prilikom rekonstrukcije/adaptacije za postojeće objekte

Rezultati i zaključci doneseni nakon provedenih istraživanja bit će prikazani dalje u tekstu.



Slika 48. Tlocrt kuće za koju je napravljen proračun

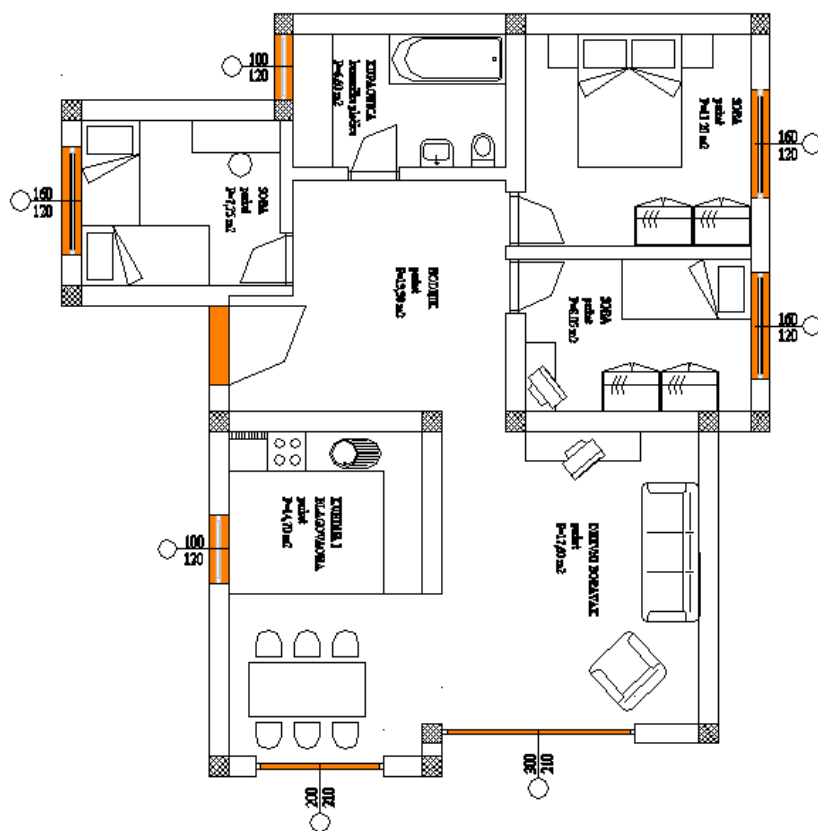
Tablica 8. Iskaznica standardno izolirana kuća

STANDARDNO IZOLIRANA KUĆA																																																																																																																																																									
PODACI O PROJEKTU																																																																																																																																																									
Tip projekta	Glavni																																																																																																																																																								
Projektiranje	Nova zgrada																																																																																																																																																								
Sustav grijanja	Centralno																																																																																																																																																								
Vrsta energenta	Električna struja																																																																																																																																																								
Obnovljivi izvori energije	Nema																																																																																																																																																								
METEOROLOŠKI PODACI																																																																																																																																																									
Meteorološka postaja	Zagreb - Maksimir																																																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="14">Meteorološki parametri</th> </tr> <tr> <th>Mjeseci</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> <th>V</th> <th>VI</th> <th>VII</th> <th>VIII</th> <th>IX</th> <th>X</th> <th>XI</th> <th>XII</th> <th>God.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Temperatura θ_e [°C]</td> <td>-0,8</td> <td>1,9</td> <td>5,9</td> <td>10,6</td> <td>15,3</td> <td>18,5</td> <td>20,1</td> <td>19,3</td> <td>15,8</td> <td>10,5</td> <td>5,3</td> <td>0,9</td> <td>10,3</td> </tr> <tr> <td>Vlažnost ϕ_e [-]</td> <td>0,84</td> <td>0,79</td> <td>0,73</td> <td>0,69</td> <td>0,70</td> <td>0,71</td> <td>0,70</td> <td>0,74</td> <td>0,79</td> <td>0,82</td> <td>0,84</td> <td>0,85</td> <td>0,77</td> </tr> <tr> <td>Tlak p_e [Pa]</td> <td>100,0</td> <td>103,2</td> <td>107,6</td> <td>111,5</td> <td>116,3</td> <td>121,3</td> <td>126,0</td> <td>130,8</td> <td>135,4</td> <td>140,6</td> <td>147,8</td> <td>153,9</td> <td>161,8</td> </tr> <tr> <td>Brzina vj. \mathbf{V} [m/s]</td> <td>1,3</td> <td>1,7</td> <td>2,0</td> <td>2,0</td> <td>1,8</td> <td>1,6</td> <td>1,4</td> <td>1,3</td> <td>1,3</td> <td>1,3</td> <td>1,4</td> <td>1,3</td> <td>1,5</td> </tr> </tbody> </table>														Meteorološki parametri														Mjeseci	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.	Temperatura θ_e [°C]	-0,8	1,9	5,9	10,6	15,3	18,5	20,1	19,3	15,8	10,5	5,3	0,9	10,3	Vlažnost ϕ_e [-]	0,84	0,79	0,73	0,69	0,70	0,71	0,70	0,74	0,79	0,82	0,84	0,85	0,77	Tlak p_e [Pa]	100,0	103,2	107,6	111,5	116,3	121,3	126,0	130,8	135,4	140,6	147,8	153,9	161,8	Brzina vj. \mathbf{V} [m/s]	1,3	1,7	2,0	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,5																																																								
Meteorološki parametri																																																																																																																																																									
Mjeseci	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.																																																																																																																																												
Temperatura θ_e [°C]	-0,8	1,9	5,9	10,6	15,3	18,5	20,1	19,3	15,8	10,5	5,3	0,9	10,3																																																																																																																																												
Vlažnost ϕ_e [-]	0,84	0,79	0,73	0,69	0,70	0,71	0,70	0,74	0,79	0,82	0,84	0,85	0,77																																																																																																																																												
Tlak p_e [Pa]	100,0	103,2	107,6	111,5	116,3	121,3	126,0	130,8	135,4	140,6	147,8	153,9	161,8																																																																																																																																												
Brzina vj. \mathbf{V} [m/s]	1,3	1,7	2,0	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,5																																																																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="14">Globalno sunčevo zračenje (MJ/m²) za nagib od 90°</th> </tr> <tr> <th>Orijentacija</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> <th>V</th> <th>VI</th> <th>VII</th> <th>VIII</th> <th>IX</th> <th>X</th> <th>XI</th> <th>XII</th> <th>God.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N - sjever</td> <td>51</td> <td>73</td> <td>125</td> <td>163</td> <td>206</td> <td>214</td> <td>214</td> <td>186</td> <td>135</td> <td>96</td> <td>56</td> <td>41</td> <td>1561</td> </tr> <tr> <td>NE - sjeveroistok</td> <td>51</td> <td>73</td> <td>125</td> <td>185</td> <td>290</td> <td>327</td> <td>328</td> <td>239</td> <td>136</td> <td>96</td> <td>56</td> <td>41</td> <td>1947</td> </tr> <tr> <td>E - istok</td> <td>87</td> <td>136</td> <td>238</td> <td>319</td> <td>396</td> <td>410</td> <td>435</td> <td>383</td> <td>295</td> <td>201</td> <td>97</td> <td>64</td> <td>3061</td> </tr> <tr> <td>SE - jugoistok</td> <td>135</td> <td>193</td> <td>290</td> <td>336</td> <td>373</td> <td>365</td> <td>395</td> <td>386</td> <td>348</td> <td>280</td> <td>148</td> <td>97</td> <td>3346</td> </tr> <tr> <td>S - jug</td> <td>166</td> <td>227</td> <td>307</td> <td>309</td> <td>315</td> <td>299</td> <td>324</td> <td>339</td> <td>349</td> <td>324</td> <td>180</td> <td>119</td> <td>3258</td> </tr> <tr> <td>SW - jugozapad</td> <td>135</td> <td>193</td> <td>290</td> <td>336</td> <td>373</td> <td>365</td> <td>395</td> <td>386</td> <td>348</td> <td>280</td> <td>148</td> <td>97</td> <td>3346</td> </tr> <tr> <td>W - zapad</td> <td>87</td> <td>136</td> <td>238</td> <td>319</td> <td>396</td> <td>410</td> <td>435</td> <td>383</td> <td>295</td> <td>201</td> <td>97</td> <td>64</td> <td>3061</td> </tr> <tr> <td>NW - sjeverozapad</td> <td>51</td> <td>73</td> <td>125</td> <td>185</td> <td>290</td> <td>327</td> <td>328</td> <td>239</td> <td>136</td> <td>96</td> <td>56</td> <td>41</td> <td>1947</td> </tr> </tbody> </table>														Globalno sunčevo zračenje (MJ/m ²) za nagib od 90°														Orijentacija	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.	N - sjever	51	73	125	163	206	214	214	186	135	96	56	41	1561	NE - sjeveroistok	51	73	125	185	290	327	328	239	136	96	56	41	1947	E - istok	87	136	238	319	396	410	435	383	295	201	97	64	3061	SE - jugoistok	135	193	290	336	373	365	395	386	348	280	148	97	3346	S - jug	166	227	307	309	315	299	324	339	349	324	180	119	3258	SW - jugozapad	135	193	290	336	373	365	395	386	348	280	148	97	3346	W - zapad	87	136	238	319	396	410	435	383	295	201	97	64	3061	NW - sjeverozapad	51	73	125	185	290	327	328	239	136	96	56	41	1947
Globalno sunčevo zračenje (MJ/m ²) za nagib od 90°																																																																																																																																																									
Orijentacija	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.																																																																																																																																												
N - sjever	51	73	125	163	206	214	214	186	135	96	56	41	1561																																																																																																																																												
NE - sjeveroistok	51	73	125	185	290	327	328	239	136	96	56	41	1947																																																																																																																																												
E - istok	87	136	238	319	396	410	435	383	295	201	97	64	3061																																																																																																																																												
SE - jugoistok	135	193	290	336	373	365	395	386	348	280	148	97	3346																																																																																																																																												
S - jug	166	227	307	309	315	299	324	339	349	324	180	119	3258																																																																																																																																												
SW - jugozapad	135	193	290	336	373	365	395	386	348	280	148	97	3346																																																																																																																																												
W - zapad	87	136	238	319	396	410	435	383	295	201	97	64	3061																																																																																																																																												
NW - sjeverozapad	51	73	125	185	290	327	328	239	136	96	56	41	1947																																																																																																																																												
KARAKTERISTIKE ZGRADE							ORIJENTACIJA ZGRADE																																																																																																																																																		
Tip zgrade:	stambena zgrada, jedna zona																																																																																																																																																								
Površina zgrade	79,2 m ²																																																																																																																																																								
Obujam zgrade	221,76 m ³																																																																																																																																																								
Broj etaža	1																																																																																																																																																								
UNUTARNJA KLIMA																																																																																																																																																									
Klimatizacija zgrade	klimatizirana																																																																																																																																																								
Temperatura unutarnjeg zraka	20°C																																																																																																																																																								



GRAĐEVNI DIJELOVI		
VANJSKI ZID		
Materijal sloja	Debljina sloja [cm]	
1. Vapneno cementna žbuka	2	
2. Porotherm opeka*	30	
3. Tervol DP LAM*	5	
4. Polimerna žbuka	0,5	
Koef. prolaska topline	0,34 W/m² K	
Dopušteni koef. prolaska topline	0,80 W/m² K	
Difuzija vodene pare	Zadovoljava	
POD- PARKET		
Materijal sloja	Debljina sloja [cm]	
1. Drvo	1,5	
2. Cementni estrih	5	
3. Polietilen	0,015	
4. Tervol TP*	5	
5. Bitumenska ljepenka	2	
6. Armirani beton	16	
Koef. prolaska topline	0,53 W/m² K	
Dopušteni koef. prolaska topline	0,65 W/m² K	
Difuzija vodene pare	Ne zadovoljava***	
POD - PLOČICE		
Materijal sloja	Debljina sloja [cm]	
1. Pločice	1	
2. Cementni estrih	5	
3. Polietilen	0,015	
4. Tervol TP*	5	
5. Bitumenska ljepenka	2	
6. Armirani beton	16	
Koef. prolaska topline	0,56 W/m² K	
Dopušteni koef. prolaska topline	0,65 W/m² K	
Difuzija vodene pare	Ne zadovoljava***	
STROP		
Materijal sloja	Debljina sloja [cm]	
1. Vapneno-cementna žbuka	2	
2. Armirani beton	16	
3. Polietilen	0,015	
4. Tervol TP*	5	
5. Cementni estrih	5	
Koef. prolaska topline	0,59 W/m² K	
Dopušteni koef. prolaska topline	0,70 W/m² K	
Difuzija vodene pare	Zadovoljava	

PROZORI**		VRATA**	
Tip elementa	Prozor, balkonska vrata	Tip elementa	Puna, neprozirna vrata
Uw elementa	1,1 W/m ² K	Uw elementa	1,1 W/m ² K
Dopuštena vrijednost Uw elementa	1,8 W/m ² K	Dopuštena vrijednost Uw elementa	1,8 W/m ² K
Proračun površinske kondenzacije	Zadovoljava	Proračun površinske kondenzacije	Zadovoljava
Vrsta okvira	PVC 5 komorni profil	Vrsta okvira	PVC 5 komorni profil
Naprave za zaštitu od sunčeva zračenja	žaluzine	Naprave za zaštitu od sunčeva zračenja	nema
NAZIV ORIJENTACIJE	PLOŠTINA[m ²]	NAZIV ORIJENTACIJE	PLOŠTINA[m ²]
N - sjever	0	N - sjever	0
E - istok	3,84	E - istok	0
S - jug	10,5	S - jug	0
W - zapad	3,84	W - zapad	2,52

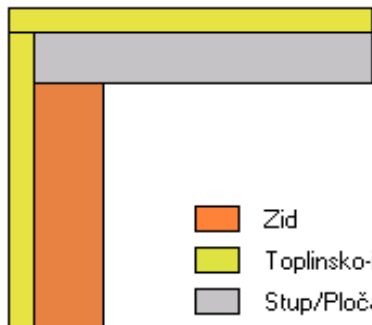


Prozori i vrata

TOPLINSKI MOSTOVI - prema HRN EN ISO 14683:2000

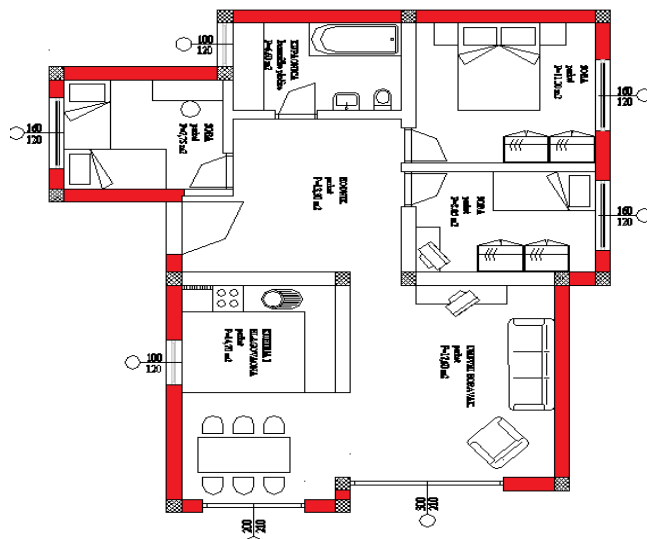
SPOJ KROVA I VANJSKOG ZIDA

Oznaka	R9
Duljina [m]	42,7
Gubitak ψ [W/mK]	-0,05



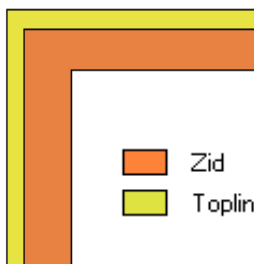
- Zid
- Toplinsko-izolacijski materijal
- Stup/Ploča

Spoj krova i vanjskog zida



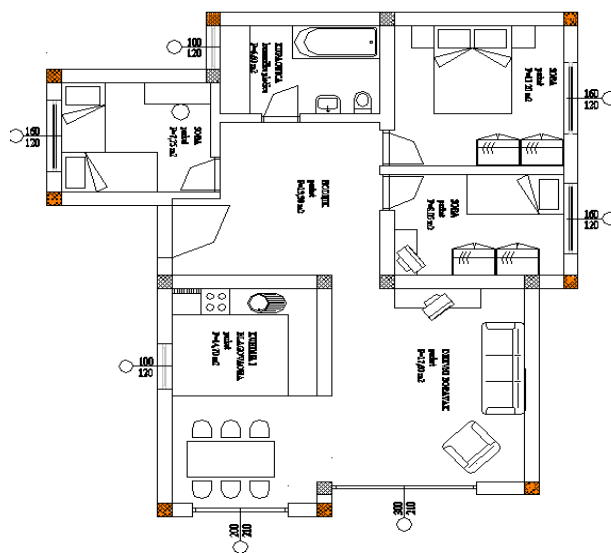
KUT DVA VANJSKA ZIDA -1

Oznaka	C1
Duljina [m]	22,4
Gubitak ψ [W/mK]	-0,05



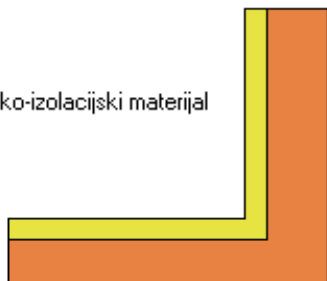
- Zid
- Toplinsko-izolacijski materijal


Kut dva vanjska zida

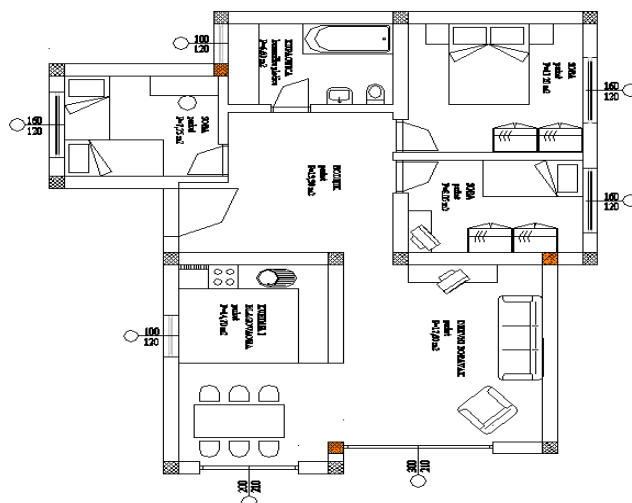


KUT DVA VANJSKA ZIDA - 2	
Oznaka	C5
Duljina [m]	8,4
Gubitak ψ [W/mK]	0

-  Zid
-  Toplinsko-izolacijski materijal







 Kut dva vanjska zida

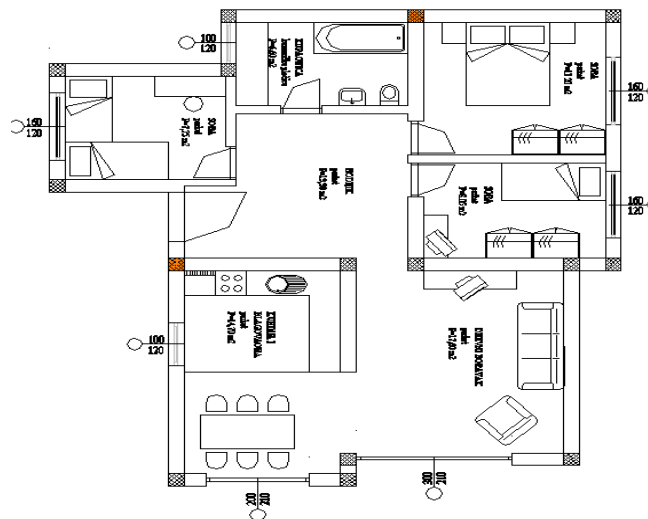


STUP U VANJSKOM ZIDU	
Oznaka	P3
Duljina [m]	5,6
Gubitak ψ [W/mK]	1,05



-  Zid
-  Toplinsko-izolacijski materijal
-  Stup/Ploča


 Stup u vanjskom zidu

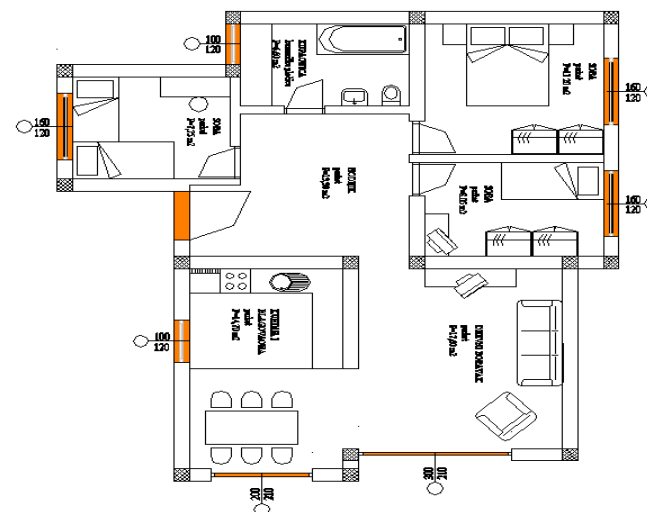


SPOJ PROZORA/VRATA I VANJSKOG ZIDA	
Oznaka	w12
Duljina [m]	44,8
Gubitak ψ [W/mK]	0,05



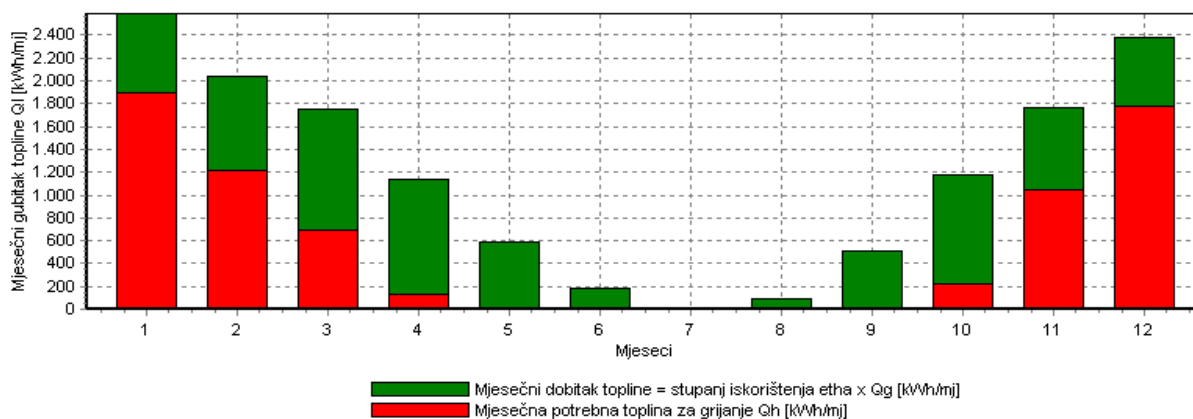
-  Zid
-  Toplinsko-izolacijski materijal

 Spoj prozor/vrata i vanjskog zida



POTREBNA KOLIČINA TOPLINE ZA GRIJANJE

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_i [MJ]	9319	7324	6317	4075	2106	650	0	314	1821	4256	6373	8557
η [-]	1,00	1,00	0,98	0,85	0,46	0,14	0,14	0,07	0,42	0,90	1,00	1,00
Q_g [MJ]	2502	2931	3916	4213	4596	4525	4804	4684	4348	3865	2585	2138
Q_h [MJ]	6817	4393	2479	494	0	17	0	0	0	778	3788	6419
Q_h [kWh]	1894	1220	689	137	0	5	0	0	0	216	1052	1783
Q_h' [kWh/(m ² mj)]	6,79	4,38	2,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,77	6,40
Q_h'' [kWh/(m ² mj)]	21,22	13,68	7,72	1,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,42	11,79	19,98



Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici korisne površine zgrade

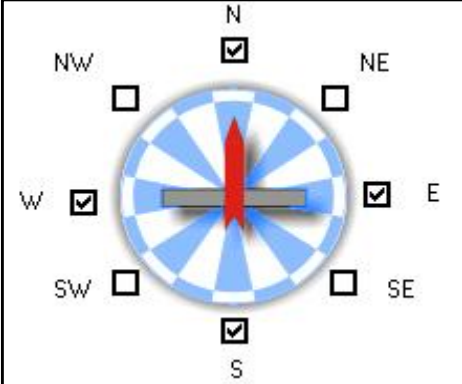
$$Q_h'' = 78,35 \text{ kWh/m}^2 \text{ a.}$$

* Prilog 1. Materijali korišteni kod proračuna

** Prilog 2. Stolarija

*** Građevni dio ne zadovoljava u pogledu difuzije vodene pare, ali zbog toga što je to temeljno tlo, kondicionirana vlaga se ne može isušiti te se uvažava [22], ali je potrebno u tom slučaju proračunati nakon koliko godina će doći do zasićenja materijala vodenom parom. Za prikazani građevni dio to je vrlo mala vrijednost i do zasićenja bi došlo tek nakon više od 47 godina, što je gotovo jednako vijeku trajanja izolacijskog materijala kada je ionako potrebna zamjena tog istog materijala.

Tablica 9. Iskaznica pasivno izolirane kuće

PASIVNO IZOLIRANA KUĆA													
PODACI O PROJEKTU													
Tip projekta	Glavni												
Projektiranje	Nova zgrada												
Sustav grijanja	Centralno												
Vrsta energenta	Električna struja												
Obnovljivi izvori energije	Ima (sunce, temperatura zemlje)												
METEOROLOŠKI PODACI													
Meteorološka postaja	Zagreb - Maksimir												
Meteorološki parametri													
Mjeseci	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
Temperatura θ_e [°C]	-0,8	1,9	5,9	10,6	15,3	18,5	20,1	19,3	15,8	10,5	5,3	0,9	10,3
Vlažnost ϕ_e [-]	0,84	0,79	0,73	0,69	0,70	0,71	0,70	0,74	0,79	0,82	0,84	0,85	0,77
Tlak p_e [Pa]	100,0	103,2	107,6	111,5	116,3	121,3	126,0	130,8	137,4	140,6	147,8	153,9	161,8
Brzina vj. v [m/s]	1,3	1,7	2,0	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,5
Globalno sunčevo zračenje (MJ/m²) za nagib od 90°													
Orijentacija	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
N - sjever	51	73	125	163	206	214	214	186	135	96	56	41	1561
NE - sjeveroistok	51	73	125	185	290	327	328	239	136	96	56	41	1947
E - istok	87	136	238	319	396	410	435	383	295	201	97	64	3061
SE - jugoistok	135	193	290	336	373	365	395	386	348	280	148	97	3346
S - jug	166	227	307	309	315	299	324	339	349	324	180	119	3258
SW - jugozapad	135	193	290	336	373	365	395	386	348	280	148	97	3346
W - zapad	87	136	238	319	396	410	435	383	295	201	97	64	3061
NW - sjeverozapad	51	73	125	185	290	327	328	239	136	96	56	41	1947
KARAKTERISTIKE ZGRADE							ORIJENTACIJA ZGRADE						
Tip zgrade:	stambena zgrada, jedna zona												
Površina zgrade	79,2 m ²												
Obujam zgrade	221,76 m ³												
Broj etaža	1												
UNUTARNJA KLIMA													
Klimatizacija zgrade	Neklimatizirana												
Temperatura unutarnjeg zraka	20°C												

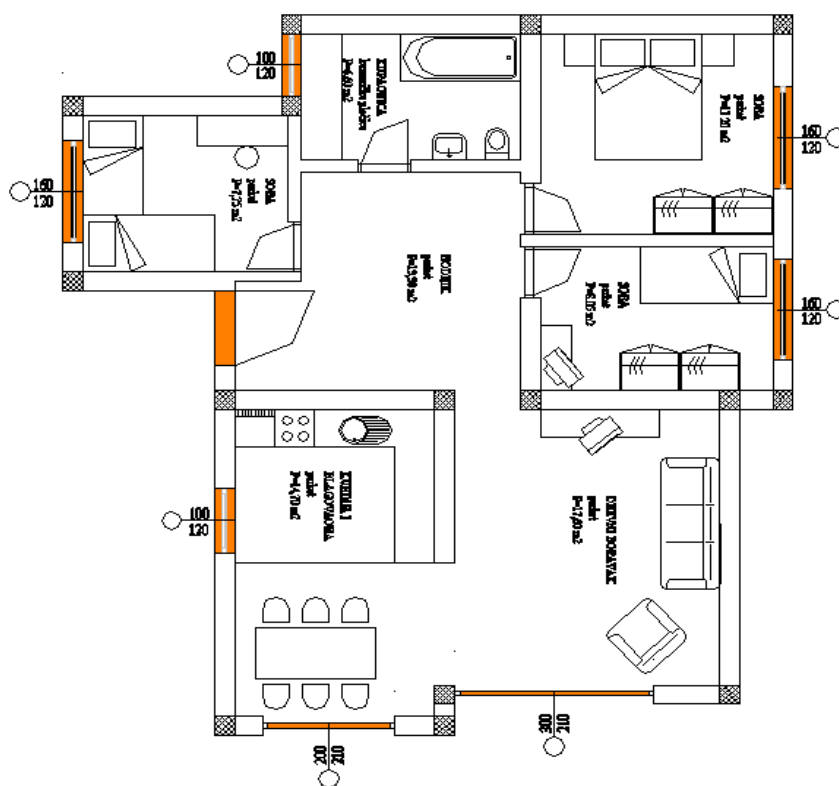


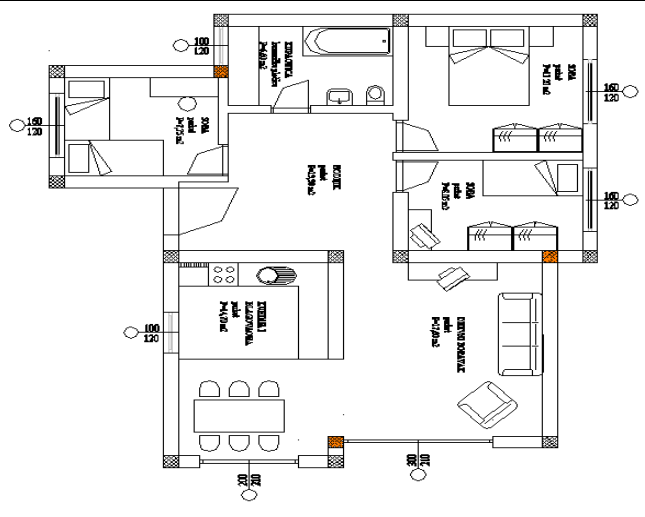
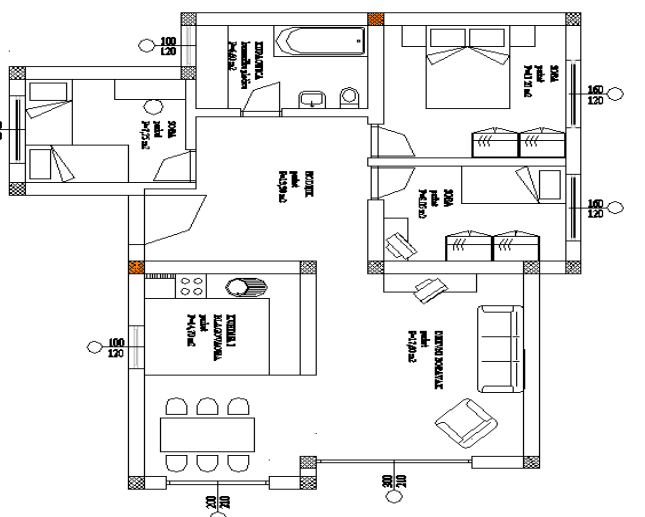
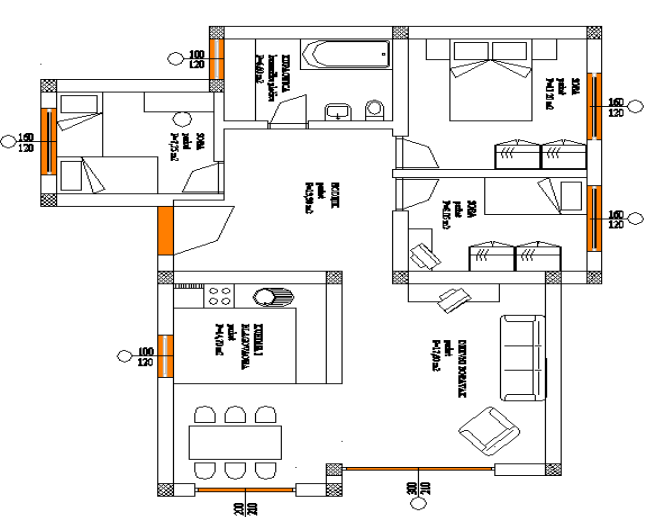
GRAĐEVNI DIJELOVI		
VANJSKI ZID		
Materijal sloja	Debljina sloja [cm]	
1. Vapneno cementna žbuka	2	
2. Porotherm opeka*	30	
3. Tervol DP LAM*	30	
4. Polimerna žbuka	0,5	
Koef. prolaska topline	0,11 W/m² K	
Dopušteni koef. prolaska topline	0,15 W/m² K	
Difuzija vodene pare	Zadovoljava	
POD- PARKET		
Materijal sloja	Debljina sloja [cm]	
1. Drvo	1,5	
2. Cementni estrih	7	
3. Polietilen	0,015	
4. Tervol TP*	25	
5. Bitumenska ljepenka	2	
6. Armirani beton	16	
Koef. prolaska topline	0,13 W/m² K	
Dopušteni koef. prolaska topline	0,15 W/m² K	
Difuzija vodene pare	Ne zadovoljava***	
POD - PLOČICE		
Materijal sloja	Debljina sloja [cm]	
1. Pločice	1	
2. Cementni estrih	5	
3. Polietilen	0,015	
4. Tervol TP*	25	
5. Bitumenska ljepenka	2	
6. Armirani beton	16	
Koef. prolaska topline	0,14 W/m² K	
Dopušteni koef. prolaska topline	0,15 W/m² K	
Difuzija vodene pare	Ne Zadovoljava ***	
STROP		
Materijal sloja	Debljina sloja [cm]	
1. Vapneno-cementna žbuka	2	
2. Armirani beton	16	
3. Polietilen	0,015	
4. Tervol TP*	25	
5. Cementni estrih	5	
Koef. prolaska topline	0,14 W/m² K	
Dopušteni koef. prolaska topline	0,15 W/m² K	
Difuzija vodene pare	Zadovoljava	

PROZORI**		VRATA**	
Tip elementa	Prozori i balkonska vrata	Tip elementa	Puna, neprozirna vrata
Uw elementa	0,8 W/m ² K	Uw elementa	0,8 W/m ² K
Dopuštena vrijednost Uw elementa	0,8 W/m ² K	Dopuštena vrijednost Uw elementa	0,8 W/m ² K
Proračun površinske kondenzacije	Zadovoljava	Proračun površinske kondenzacije	Zadovoljava
Vrsta okvira	PVC 5 komorni profili	Vrsta okvira	PVC 5 komorni profili
Naprave za zaštitu od sunčeva zračenja	Žaluzine, lamele	Naprave za zaštitu od sunčeva zračenja	nema
NAZIV ORIJENTACIJE	PLOŠTINA[m ²]	NAZIV ORIJENTACIJE	PLOŠTINA[m ²]
N - sjever	0	N - sjever	0
E - istok	3,84	E - istok	0
S - jug	10,5	S - jug	0
W - zapad	3,84	W - zapad	2,52



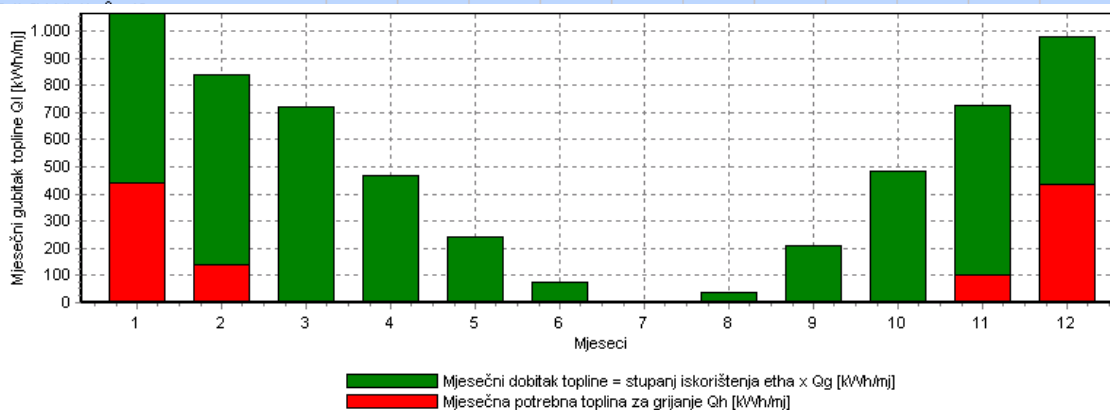
Prozori i vrata



KUT DVA VANJSKA ZIDA - 2		 <p>Kut dva vanjska zida</p>
Oznaka		
Duljina [m]	8,4	
Gubitak ψ [W/mK]**	0	 <p>Stup u vanjskom zidu</p>
STUP U VANJSKOM ZIDU		
Oznaka		
Duljina [m]	5,6	
Gubitak ψ [W/mK]**	0	 <p>Spoj prozora/vrata i vanjskog zida</p>
SPOJ PROZORA/VRATA I VANJSKOG ZIDA		
Oznaka		
Duljina [m]	44,8	
Gubitak ψ [W/mK]**	0,035; 0,035; 0,047	

POTREBNA KOLIČINA TOPLINE ZA GRIJANJE

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_i [MJ]	3831	3011	2597	1675	866	267	0	129	749	1750	2620	3518
η [-]	1,00	0,98	0,76	0,46	0,22	0,07	0,07	0,03	0,20	0,52	0,98	1,00
Q_g [MJ]	2245	2567	3381	3612	3928	3863	4095	3998	3721	3340	2304	1953
Q_h [MJ]	1586	495	27	13	2	0	0	9	5	13	362	1565
Q_h [kWh]	441	138	8	4	0	0	0	3	1	4	101	435
$Q_{h'}$ [kWh/(m ³ mj)]	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,56



Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici korisne površine zgrade

$Q_{h''} = 12,48 \text{ kWh/m}^2 \text{ a.}$

* Prilog 1. Materijali korišteni kod proračuna

** Prilog 2. Stolarija

*** Građevni dio ne zadovoljava u pogledu difuzije vodene pare, ali pošto je to pod ispod kojeg je zemlja ta para se ne može isušiti te se uvažava ali se mora proračunati nakon koliko godina će doći do zasićenja elementa vodenom parom.

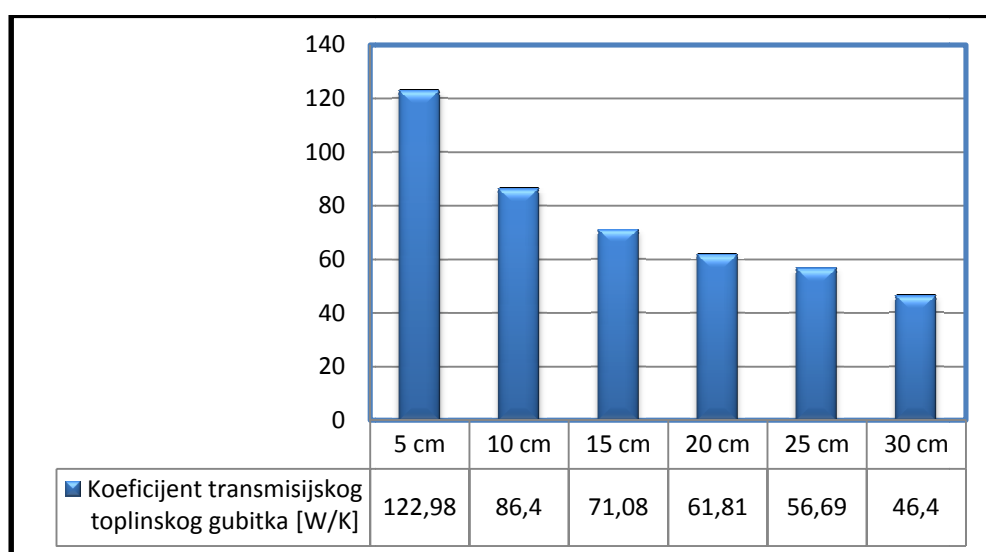
**** Prilog 3. Toplinski mostovi

U tablici 10 su dani podaci o godišnjim gubicima i dobicima topline, te vrijednosti koeficijenta transmisijskog toplinskog gubitka i koeficijenta toplinskog gubitka provjetravanjem

Tablica 10. Rezultati proračuna

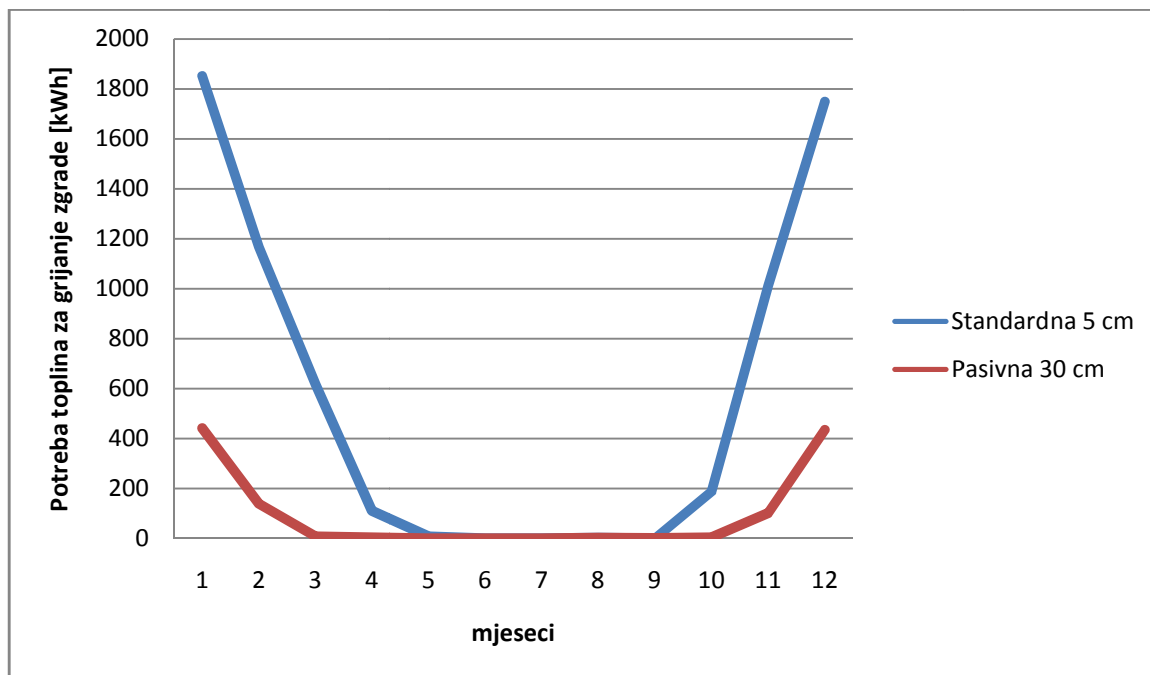
	Standardna kuća					Pasivna kuća
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka H_T (W/K)	122,98	86,40	71,08	61,81	56,69	46,40
Koeficijent toplinskog gubitka provjetravanjem H_V (W/K)	43,23	43,23	43,23	43,23	43,23	22,36
Ukupni godišnji gubici topline Q_i (kWh)	1828.39	1425.91	1257.40	1155.41	1099.07	756.46
Godišnji iskoristivi unutarnji dobici topline Q_i (kWh)	506.44	506.44	506.44	506.44	506.44	506.44
Godišnji iskoristivi solarni dobici topline Q_s (kWh)	1239.68	1239.68	1239.68	1239.68	1239.68	897.80
Ukupni godišnji iskoristivi dobici topline Q_g (kWh)	1746.13	1746.13	1746.13	1746.13	1746.13	1404.24

Na slici 49 su dane vrijednosti koeficijenta transmisijskog toplinskog gubitka po pojedinoj kući.



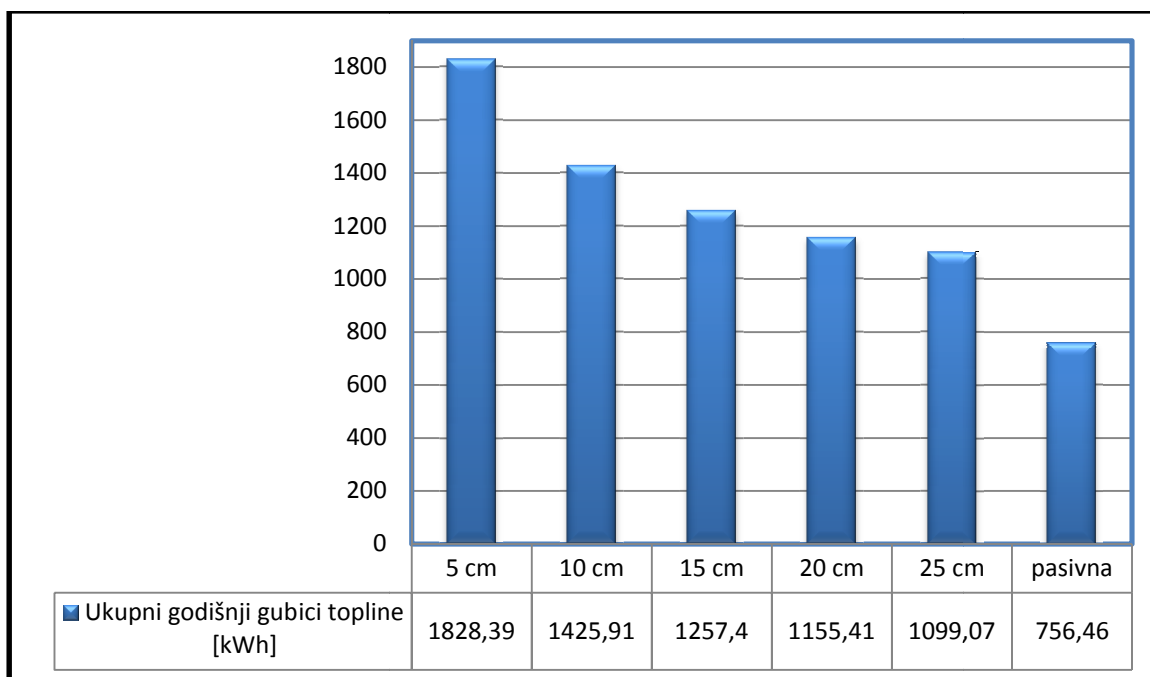
Slika 49. Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka

Na slici 50. su dane vrijednosti potrebne topline za grijanje zgrade za standardnu kuću od 5 cm i pasivnu kuću po pojedinim mjesecima.



Slika 50. Potrebna toplina za grijanje zgrade

Na slici 51. su dane vrijednosti ukupnih godišnjih gubitaka topline po pojedinoj kući.



Slika 51. Ukupni godišnji gubici topline

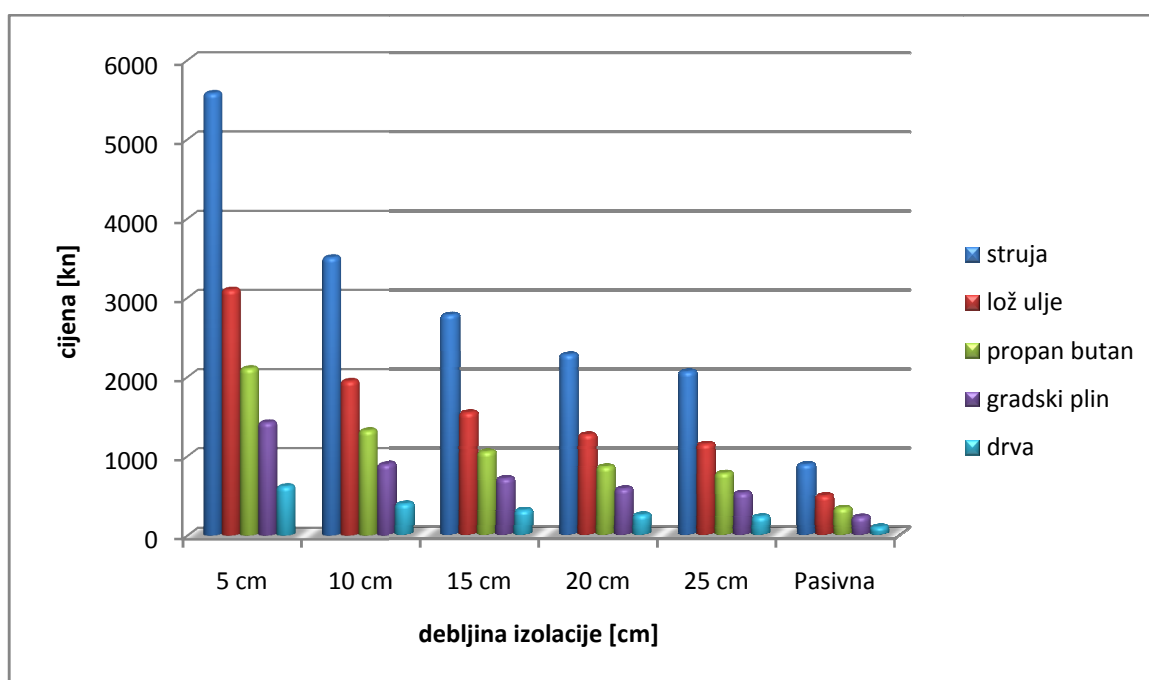
6.3 Ekonomске karakteristike

Kao što je naznačeno, postoje brojne studije napravljene u zemljama EU o isplativosti izgradnje pasivne kuće. U Hrvatskoj takve studije još nisu provedene. Važno je naglasiti da su ovim istraživanjem prikazane trenutne cijene materijala, postrojenja, stolarije i energenata. Pretpostavlja se da će se u budućnosti povećanjem potražnje cijene smanjiti. Cijene energenata će nastaviti rasti jer postepeno nestaju, u tablici 10. su prikazane prosječne jedinične cijene najčešće korištenih energenata u Hrvatskoj i ekvivalentna cijena za jedinicu mjere koja je potrebna za proizvodnju 1 kWh energije ovisno o energentu.

Tablica 11. Jedinične i ekvivalentne cijene najčešće korištenih energenata

Energent	Cijena energenta [kn]	Cijena energenta za 1 kWh [kn]
Struja [kWh]	0,9	0,9
Lož ulje [l]	3,65	0,5
Propan butan [kg]	4,5	0,34
Gradski plin [m ³]	2,43	0,23
Drva [m ³]	270	0,1

Na slici 52 prikazani su troškovi za grijanje ukupne korisne površine kuće ovisno o vrsti energenta.



Slika 52. Usporedba cijena energenata za ukupne korisne površine kuća

Trenutno Hrvatska ne sudjeluje u subvencioniranju dodatnih ulaganja kao što je to slučaj u npr. Austriji gdje država subvencionira razliku cijene izolacije između pasivne i standardne kuće, ali i to će se s vremenom promijeniti. Subvencije će omogućiti lakšu implementaciju pasivne gradnje kao standardne. Ispitivanjem tržišta dobivene su cijene materijala za pasivnu i standardnu kuću koji su prikazani u tablici 10. Potrebna količina energije za grijanje proračunata je u programu IGH-toplinska zaštita.

Tablica 12. Troškovi izrade različito izoliranih kuća

TROŠKOVI IZRADE [kn]						
Debljina izolacije	Standardna kuća					Pasivna kuća
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm
Projekt "ključ u ruke"	576000	576000	576000	576000	576000	576000
Dodatna toplinska izolacija	0	16873	33746	50620	67493	72436
Mehaničke spojnice za izradu toplinske izolacije vanjskog zida	0	0	0	10063	10063	10063
Razlika cijena kvalitetnije stolarije	0	0	0	0	0	18611
Solarne ćelije*	0	0	0	0	0	94000
Toplinska crpka*	0	0	0	0	0	72000
Sustav ventilacije*	0	0	0	0	0	21000
Klimatizacija* (potrebne su ih 3)	22500	22500	22500	22500	22500	0
Ukupno [kn]	598500	615373	632246	659183	676056	864110
Poskupljenje u odnosu na standardno izoliranu kuću (5 cm)	0,00%	2,89%	5,78%	10,40%	13,29%	44,38%
Potrebna količina struje za grijanje (kWh/m ² a)	78,35	49,25	39,01	31,96	28,95	12,48

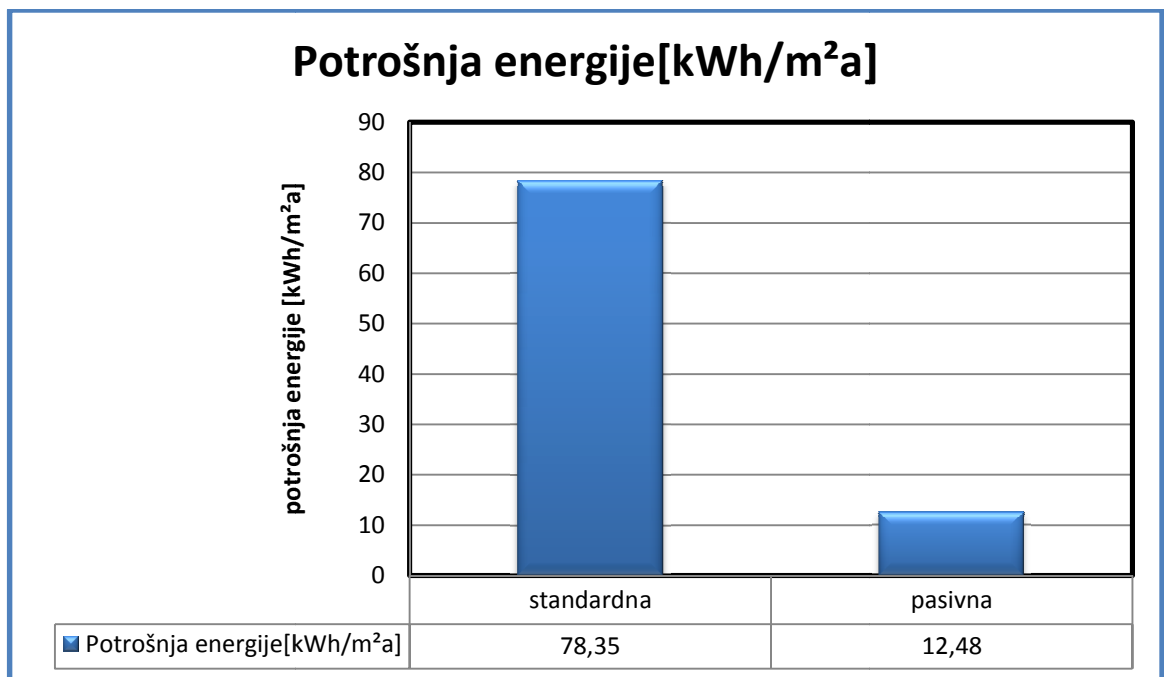
* Prilog 4. – Karakteristike strojarskih instalacija

U dogovoru s izvođačkom tvrtkom koja gradi objekat po principu „ključ u ruke“ cijena kuće od 79,2 m² u Zagrebu prema projektu u iz tablice 9. imala bi cijenu koštanja 576000 kn. U tu cijenu je uključena kompletna izgradnja kuće sa svim instalacijama i priključcima. Ako takvoj kući dodamo još 5 cm izolacije, investicija se poskupljuje za 2,89%, a ako dodamo još 10 cm, sveukupno 15 cm, investicija postaje 5,78% skuplja, ali se potreba količina struje za grijanje smanji dvostruko. Ukoliko želimo izolirati kuću s 20 ili 25 cm kamene vune, cijeni izolacije moramo pridodati i cijenu mehaničkih spojnica koje su nužne za ugradnju toplinske izolacije

6.3.1 Isplativost gradnje nove pasivne kuće u odnosu na standardno izoliranu

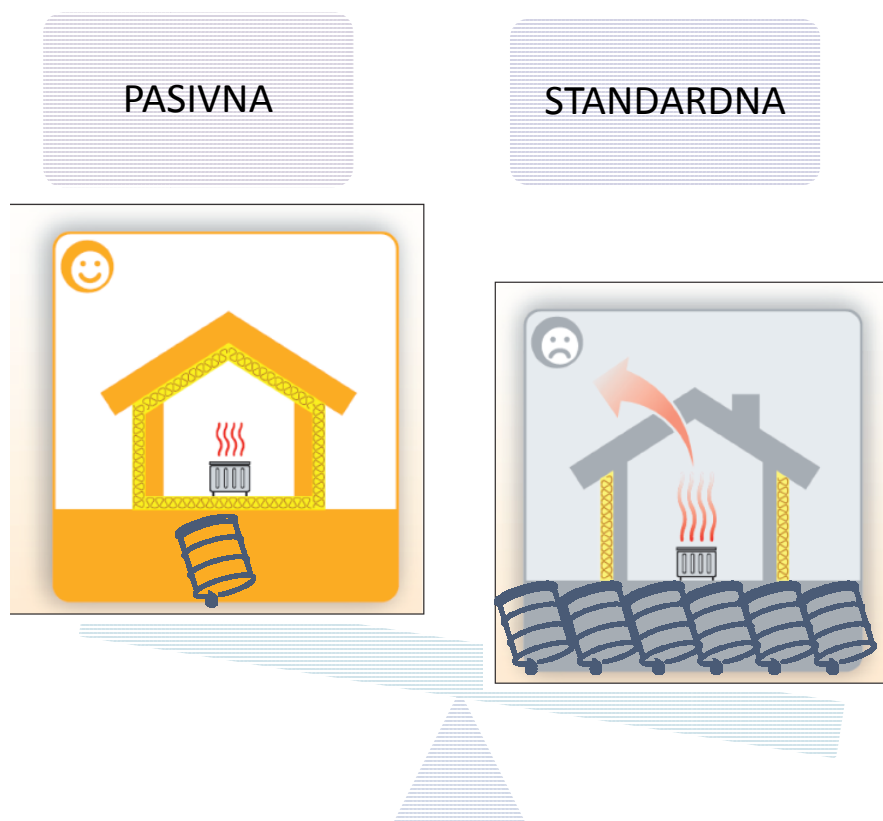
Prilikom gradnje novog objekta treba voditi računa o mnogo parametara bitnih za trajnost i općenito održivost materijala koji su navedeni u poglavlju 2.2. Dobro poznavanje toplinskih svojstava materijala jedan je od preduvjeta za projektiranje energetski učinkovitih objekata. Dobra toplinska izolacija ovojnice objekta može uštedjeti puno energije i osigurati udobniji život.

Proračunom u kompjutorskom programu dobiveni su slijedeći rezultati potrošnje energije za standardno izoliranu i pasivnu kuću (Slika 53.).



Slika 53. Potrošnja energije pasivne i standardne kuće

Iz slike 53. Može se vidjeti da energijom koju trošimo za grijanje/hlađenje standardne kuće možemo zagrijati/ohladiti čak 6 pasivnih kuća. U praksi više od 80% objekata troši više od 90 kWh/m² godišnje kako je dano propisom, pa je razlika između standardne i pasivne kuće još izraženija. Ako kWh struje preračunamo u litre loživog ulja onda možemo dobiti ekvivalent od 1 l loživog ulja po m² godišnje za grijanje pasivne kuće i najmanje 6 l loživog ulja za grijanje standardno izolirane kuće (Slika 54.).



Slika 54. Usporedba potrošnja standardne i pasivne kuće

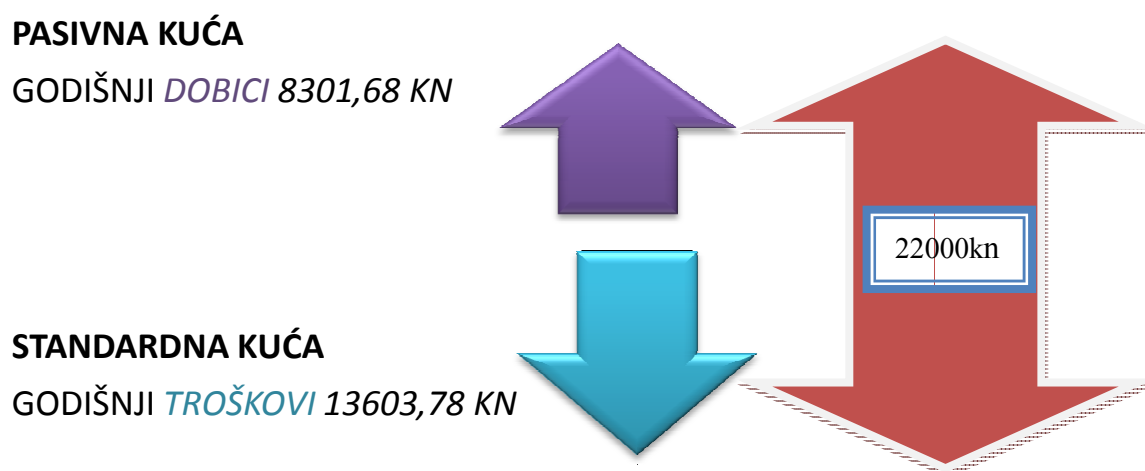
Smanjena potrošnja pasivne kuće je poznata činjenica, ali nameće se pitanje njene isplativosti. Osim dodatne izolacije vanjske ovojnice kuće, pasivna kuća zahtjeva i ugradnju dodatnih strojarских uređaja koji također poskupljuju ukupnu investiciju. Iz tablice 12. možemo vidjeti da se ukupni trošak izgradnje pasivne kuće čak 44% veći od troška izgradnje standardne kuće što se čini vrlo velikim postotkom, ali ako uzmemo u obzir godišnju potrošnju energije u standardnoj i pasivnoj kući, izračunato je da će se ukupna će se investicija vratiti nakon 12,1 godina (Tablica 13.).

Tablica 13. Troškovi održavanja

TROŠKOVI ODRŽAVANJA (GRIJANJE)[kn]		
	STANDARDNA	PASIVNA
Potrebna količina struje za grijanje(kWh/m ² a)	78,35	12,48
Cijena struje za grijanje/god [kn]	5584,78	889,57
Toplinska crpka - 80 % uštede energije [kn]	0	-711,65
Solarne ćelije 2494 kWh/godišnje [kn]	0	-8479,6
Troškovi klimatizacije [kn]	8019	0
Ukupno	13603,78	-8301,68
Razlika cijene pasivne i standardne kuće [kn]	21905,46	
Isplativost pasivne kuće [god]	12,1	

Ukupna godišnja izdvajanja za standardno izoliranu kuću su 13603,78 kn što uključuje ukupnu cijenu režija, dok je pasivna kuća „energana“ koja stvorenu i nepotrošenu energiju (dobivenu iz sunčeve enrgije) pretvara u vlastite dobitke kojise mogu prodati u javnu električnu mrežu što generira godišnje dobitke od 8301,68 kn (tablica 11.). Razlika cijena je velika i očita i iznosi gotovo 22000 kn godišnje (Slika 55).

Ako se ukupna početna investicija koja je 266 000 kn (tablica 12.) veća za pasivnu kuću podjeli s razlikom godišnjih cijena režija dobit će se rezultat od 12,1 godina (tablica 13.) nakon koliko se početni ulog u bolju izolaciju i dodatne strojarske instalacije isplati.



Slika 55. Razlika cijene pasivne i standardno izolirane kuće

6.3.2 Isplativost ugradnje bolje toplinske izolacije prilikom rekonstrukcije postojeće zgrade

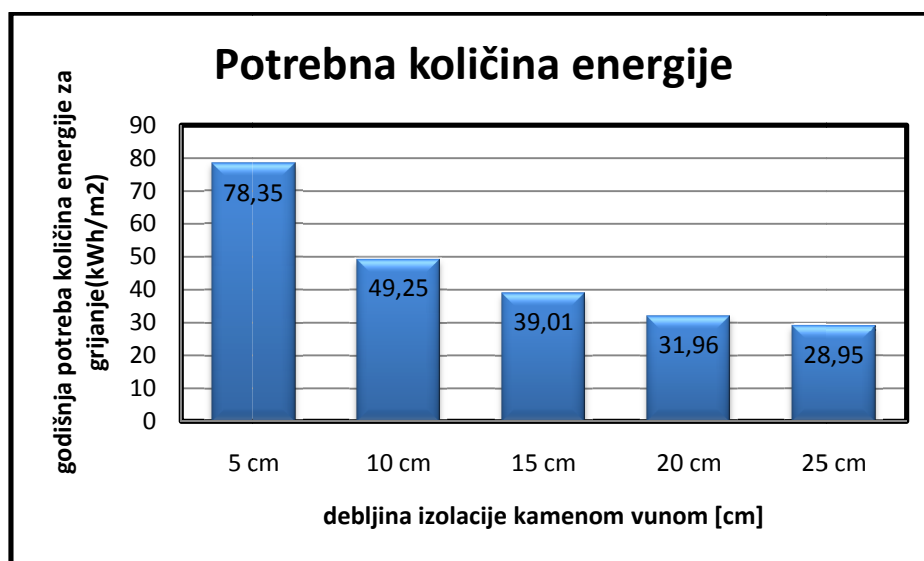
Većina objekata koji su građeni prije 1987. godine troše puno više energije za grijanje/hlađenje nego što je to dopušteno sadašnjim propisom jer imaju izvedenu neadekvatnu toplinsku zaštitu. Takve zgrade troše i do 280 kWh/m^2 godišnje što je 15 puta više od potrošnje pasivne kuće.

Prilikom adaptacije/rekonstrukcije nameće se pitanje odabira debljine toplinske izolacije. Najčešće se kod gradnje novih zgrada koristi 5-8 cm izolacijskog materijala i smatra se da je to dovoljna debljina za dobru izolaciju ovojnice zgrade.

Kako bi se opravdala isplativost ugradnje većih debljina izolacije u postojeće objekte, provedeno je istraživanje o isplativosti ugradnje 10, 15, 20 ili 25 cm izolacije prilikom adaptacije zgrade.

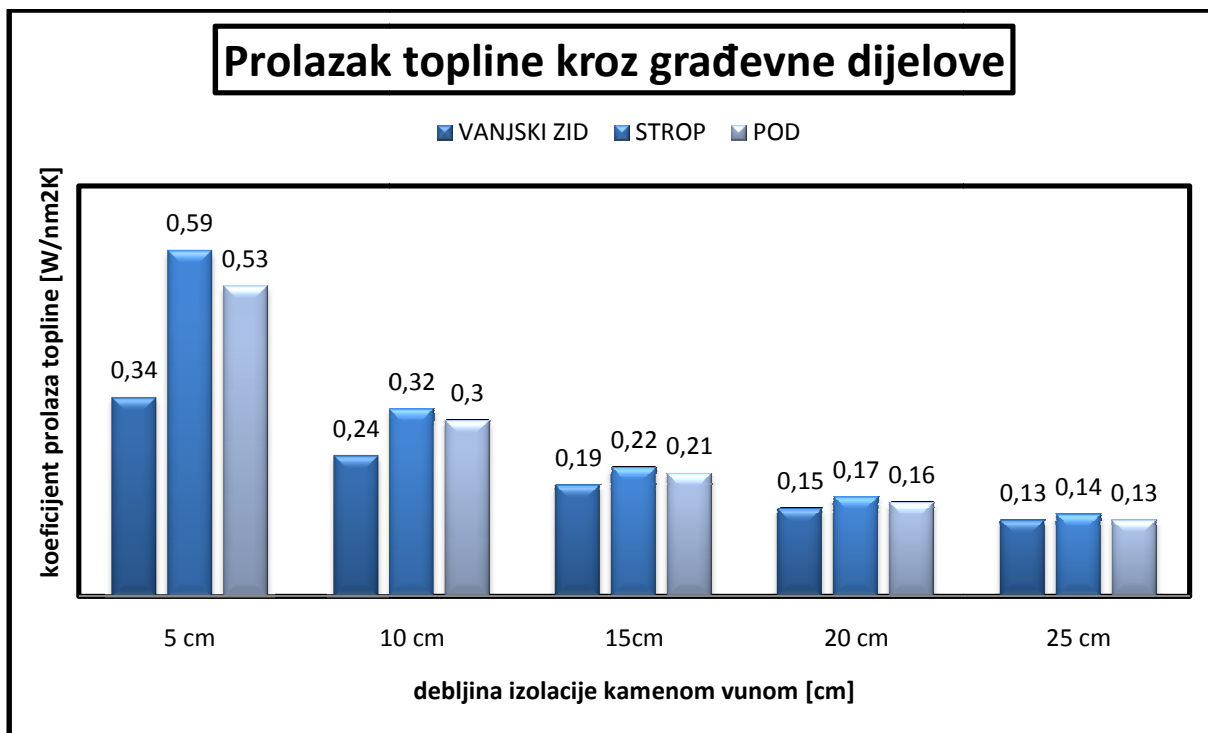
Tablicom 13. je dana potrebna količina energije za grijanje/hlađenje različito izoliranih objekata. Može se uočiti da povećanje izolacije s 5 na 15 cm daje dvostruko veće uštede u potrošnji energije.

Na slici 56. je prikazana potrebna količina energije za grijanje 1 m^2 stambenog prostora godišnje, ovisno o debljini izolacije.



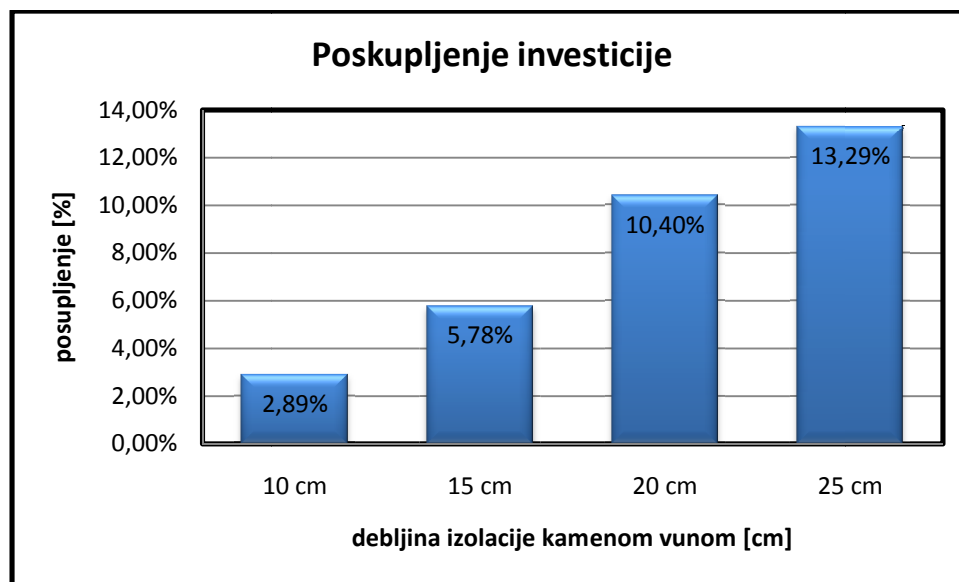
Slika 56. Potrebna količina energije ovisno o debljini izolacije

Kao što je opisano u točki 3.1. nužno je da je cijeli objekt kompaktan te da je cijela ovojnica dobro izolirana. Analizom rezultata dobivenih proračunom uočeno je da najveći dio potrošnje energije otpada na strop kao što je prikazano na slici 57. Najveća potrošnja otpada na strop zbog materijala od kojih je sastavljen strop u odnosu na vanjski zid (tablica 8. str. 56. i tablica 9. str. 62).



Slika 57. Prolazak topline kroz građevne dijelove

Postavlja se pitanje da li je ekonomično ugraditi 25 cm kamene vune ili se bolje zadržati na 10 cm jer je to kao početna investicija znatno jeftinije. Ako se promatra povećanje troškova početne investicije za različite debljine izolacije, može iz slike 58. vidjeti da se troškovi povećavaju linearno s povećanjem debljine izolacije.



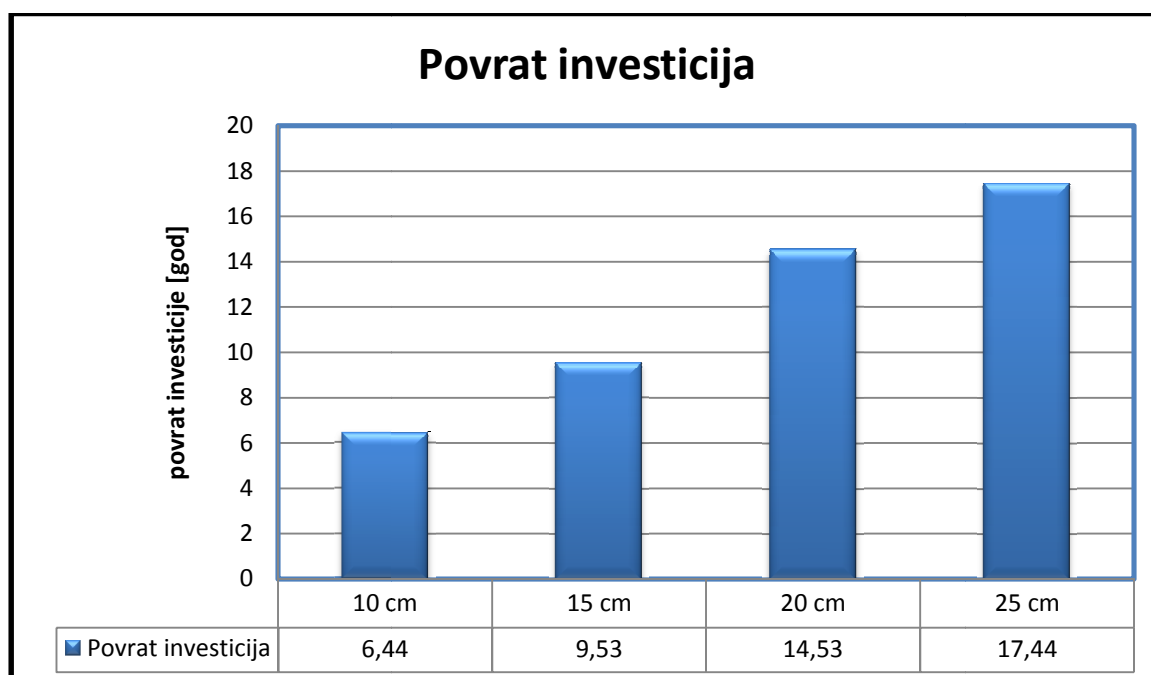
Slika 58. Poskupljenje investicije

U tablici 14. analizirani su podaci o potrebnoj količini struje za grijanje po m² kuće ovisno o debljini izolacija, troškovima klimatizacije i troškovima grijanja i hlađenja za ukupnu korisnu površinu kuće.

Tablica 14. Troškovi održavanja (grijanje)

TROŠKOVI ODRŽAVANJA (GRIJANJE)					
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
Potrebna količina struje za grijanje(kWh/m ² a)	78,35	49,25	39,01	31,96	28,95
Cijena struje za grijanje/god [kn]	5584,78	3510,54	2780,63	2278,11	2063,55
Klimatizacija [kn]	8019	8019	8019	8019	8019
Ukupni troškovi za grijanje/hlađenje [kn]	13603,38	11529,54	10799,63	10297,11	10082,55
ISPLATIVOST [god]	0,00	6,44	9,53	14,53	17,44

Povrat investicije izračunat je na osnovu ukupnih troškova energenata i potrošnje, a sve u odnosu na kuću s izolacijom debljine 5 cm (slika 59.).



Slika 59. Povrat investicije

6.4. Ekološke karakteristike

Hrvatska se ratifikacijom Kyotskog protokola obvezala se da će emisije stakleničkih plinova smanjiti 5% u odnosu na baznu godinu 1990. u razdoblju od 2008. do 2012. godine. Zgradarstvo kao najveći potrošač energije ima najveće potencijale u uštedi energije, a samim time ima velike potencijale i mogućnosti za smanjenje emisije CO₂. Primjena Pasivne kuće kao što je dokazano u radu značajno smanjuje potrošnju energije, a samim time smanjuje se i emisija štetnih plinova.

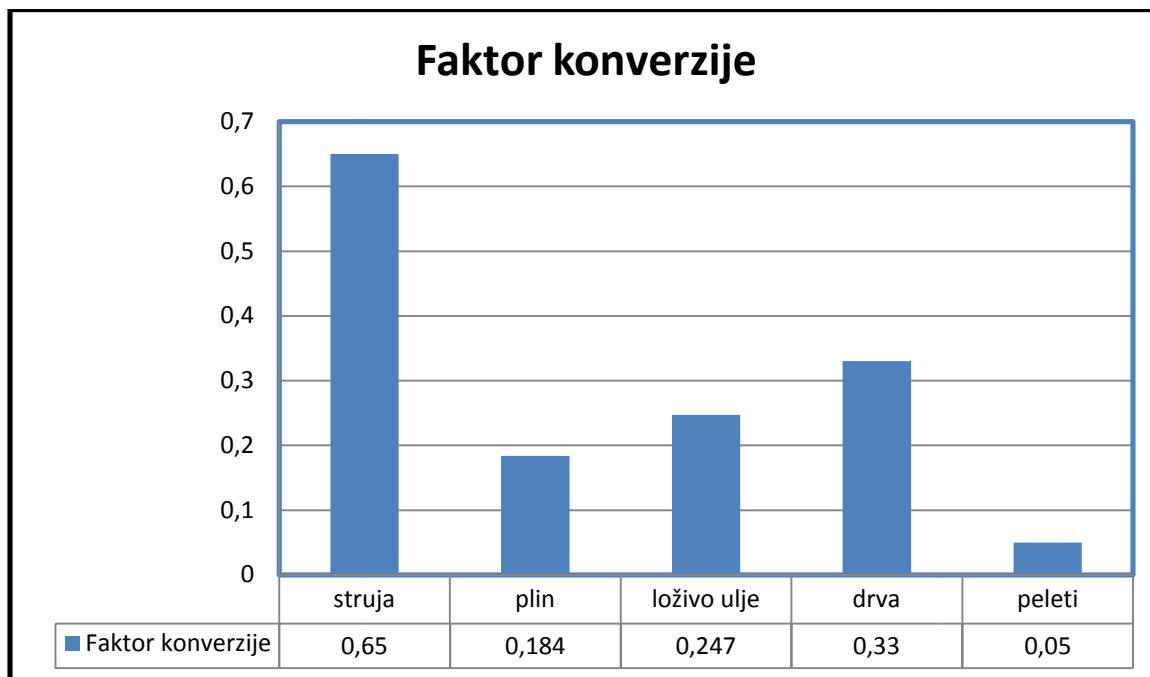
Dakle, najveći dio emisije CO₂ nastaje uslijed proizvodnje i potrošnje energije. Korištenje čim više obnovljivih izvora energije i smanjenje potrošnje energije u zgradarstvu uvelike se pridonosi smanjenju emisije CO₂ u sljedećim godinama.

Uspoređujući potrošnju različitih energenata za grijanje u stanovima, pomoću faktora konverzije, za poznatu potrošnju energije, moguće je proračunati godišnju emisiju CO₂. Rezultati proračuna emisije CO₂ za različito izolirane kuće dani su u tablici 15. i na slikama 61, 62.:

Tablica 15. Rezultati proračuna emisije CO₂ za standardnu i pasivnu kuću

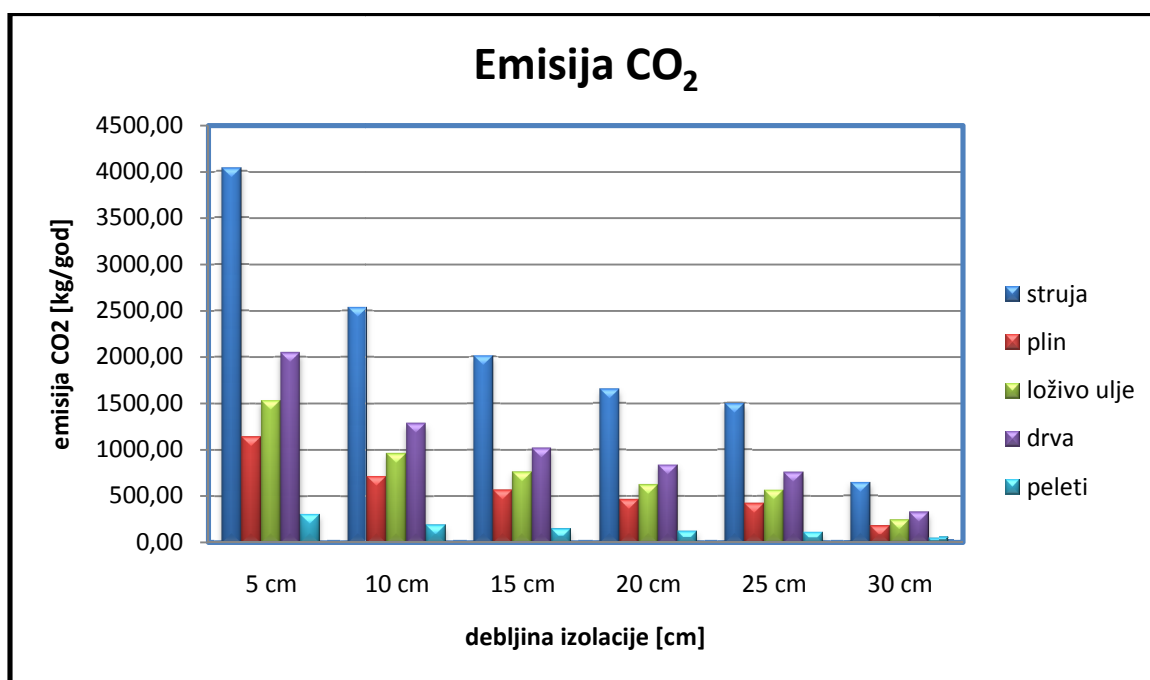
Izvor energije	Faktor konverzije [kWh/kgCO ₂]	Standardna kuća					Pasivna kuća
		5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm
Potrebna energija za grijanje [kWh]	-	6205,32	3900,6	3089,59	2531,23	2292,84	988,42
Struja	0,65	4033,46	2535,39	2008,23	1645,29	1490,35	642,47
Plin	0,184	1141,77	717,11	568,48	465,75	421,88	181,86
Ulje za loženje	0,247	1532,71	963,45	763,13	625,14	566,33	244,14
Drva	0,33	2047,75	1287,19	1019,56	835,31	756,37	326,18
Peleti	0,05	310,26	195,03	154,5	126,56	114,64	49,42

Faktor konverzije služi za obračun potrošnje drugih energenata preko jedinice kWh i preuzet je iz Irskih standarda. Promjena faktora konverzije je prikazana na slici 60.:



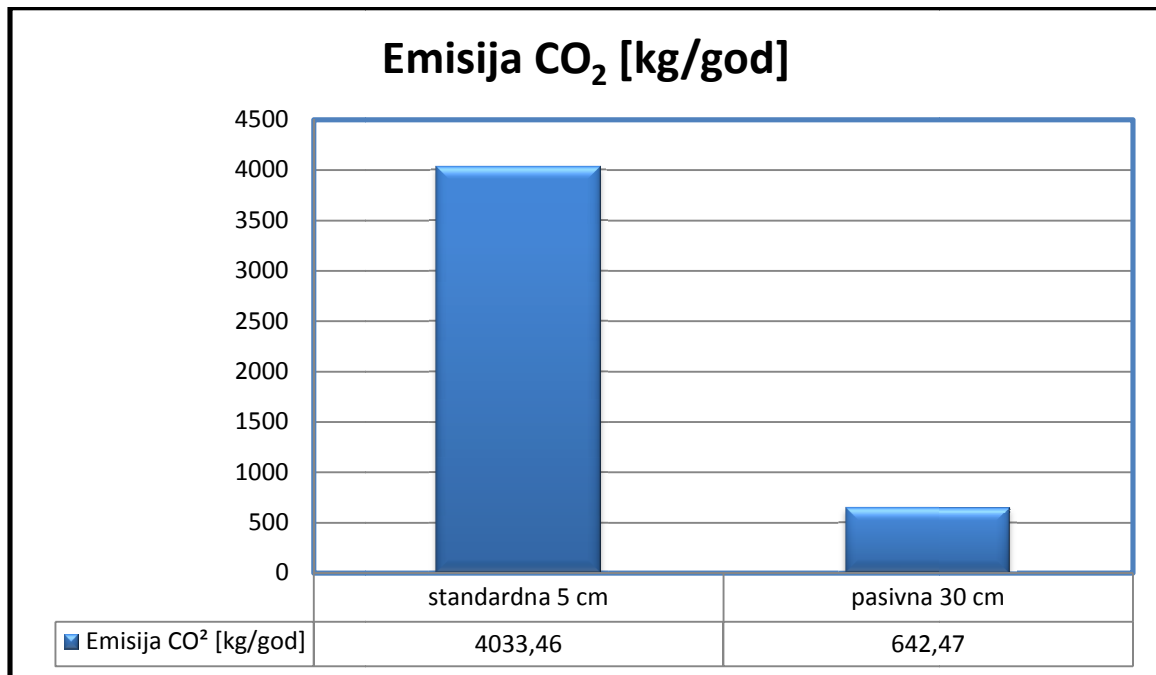
Slika 60. Faktor konverzije u ovisnosti o vrsti energenta

Važno je obratiti pažnju i na vrstu energenta koji se koristi za dogrijavanje objekta jer različiti energenti imaju i različitu emisivnost. Unatoč uvriježenom mišljenju da je struja „čisti“ energent, a sva fosilna goriva da su zagađivači, struja ima najveću emisivnost CO₂ ukoliko je korištena za zagijevanje objekta. Emisija CO₂ (tablice 15.) u odnosu na vrstu energenta za grijanje prikazana je na slici 61.:



Slika 61. Emisija CO₂ u odnosu na vrstu energenta za grijanje

Usporedba danih podataka standardne i pasivne kuće dolazi se do zaključka da pasivna kuća emitira 6 puta manje CO₂ godišnje ukoliko se radi o grijanju na struju (slika 62.).



Slika 62. Emisija CO₂ u standardnoj i pasivnoj kući

7. Zaključak

Povećanje potrošnje i smanjenje raspoloživih resursa, a samim time i povećanje cijene istih ukazuju na nužnost povećanja energetske efikasnosti. Primjenom energetske efikasnosti dobivamo smanjenje potrošnje energije koja nam postaje preskupa, a kvaliteta života postaje bolja. Dakle ne radi se o štednji već o racionalizaciji potrošnje. Smanjenje potrošnje energije posljedično će doprinjeti i smanjenju emisije štetnih plinova u atmosferu. Teži se gradnji u skladu sa smjericama održivog razvoja zbog prekomjerne narušenosti prirode i okoliša na Zemlji.

Najveća zapreka prema ostvarenju viših standarda energetske efikasnosti kroz pasivnu i niskoenergetsku gradnju je loša informiranost svih sudionika u gradnji kao i krajnjih kupaca. Država je trenutno uključena u procese edukacije svih sudionika u poslovnom procesu, a osnovno oruđe u tom postupku, kao i upostupku prikupljanja informacija o postojećim zgradama, je Energetska certifikacija zgrada. Uspješna certifikacija će omogućiti raspoznavanje građevinskih objekata prema potrošnji te će pomoći u izgradnji svijesti ljudi kao potrošača te u krajnjem cilju pomoći u pozicioniranju pasivne kuće na tržištu.

Europski literaturni podaci ukazuju na isplativost ovakvih načina gradnje uz dodatna ulaganja od nekih prosječnih 10 % - 15 % ovisno o standardu klasične gradnje. Prikazanim istraživačkim radom je utvrđeno da bi za Hrvatske okvire cijena materijala za pasivnu gradnju u odnosu na cijenu materijala standardne gradnje bila skuplja 44 % (tablica 12.). Rok isplativosti od 12 godina prikazan je na slici 59., a nakon toga dobivamo udobnu građevinu koja donosi značajne uštede koja ima 6 puta manju CO₂ emisivnost u odnosu na standardnu gradnju (slika 62.). Iako se skuplja gradnja za iznos od 44 % čini dosta velika kada pogledamo životni vijek građevine onda rok isplativosti od 12 godina i nije tako velik. Važno je naznačiti da su ovi podaci ostvareni u trenutku kada država ne daje subvencije za dodatne dijelove i kada je cijena svih dodatnih dijelova dosta velika radi male potražnje na tržištu. U budućnosti bi se to trebalo promijeniti jer pasivna kuća postepeno, ali sigurno, postaje standard gradnje. Dobici od uspješne implementacije pasivne gradnje kao standarda gradnje su višestruke: ekonomske oko 44 % (tablica 12.), energetska potrošnja 6 puta manja od standardno građene kuće (slika 56.) i ekoloških pošto pasivna kuća ima 6 puta manju emisivnost CO₂ u odnosu na standardnu kuću (tablica 15.).

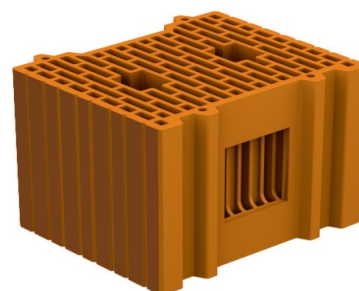
U ovom kontekstu, prihvaćanje i implementacija propisa EU, kao i razvijanje svijesti i edukacija stanovništva od iznimne je važnosti jer se samo takvim pristupom može očekivati učestalija primjena pasivnih standarda u zgradarstvu.

Literatura:

- [1] Kyoto protokol, http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php
- [2] prof. Ljubomir Mišćević; Članak: - *Prva pasivna kuća u Hrvatskoj*, www.gradimo.hr
- [3] Prof. D. Mikulić; Građevinska fizika, predavanja 2008.
- [4] Šimetin, V. ; *Građevinska fizika*, Fakultet građevinskih znanosti Sveučilišta u Zagrebu
- [5] Baus M. ; *Mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije u graditeljstvu*,
Diplomski rad; Zagreb, 2008.
- [6] Hrs Borković i drugi : *Energetska učinkovitost u zgradarstvu – Vodič za sudionike u projektiranju, gradnji, rekonstrukciji i održavanju zgrada* ; Energetski institut Hrvoje Požar, Hep toplinarstvo d.o.o, Zagreb, 2007.
- [7] Hrs Borković i drugi : *Vodič kroz energetski efikasnu gradnju* ; Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2005.
- [8] Dr.sc. Z. Glasnović, J. Horvat dip.ing. ; *Slama kao superiorni građevinski materijal*,
- [9] *Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings (Official Journal L 001,04/01/2003)*
- [10] *Akcijski plan za implementaciju EPBD u hrvatsko zakonodavstvo*, Vlada Republike Hrvatske, Zagreb, 2008.
- [11] Talajić, J., Pašagić, V. ; *Energijska iskaznica zgrade u funkciji smanjenja potrošnje energije*, Zagreb; Građevinar, vol. 60 No. 10. Studeni 2008. Str.: 877-883
- [12] Sandra Trojak; *Niskoenergetske i pasivne kuće*,
Diplomski rad, Zagreb, 2008.
- [13] *Promotion of European Passive Houses; Passive House Solutions*
www.europeanpassivehouses.org
- [14] CEPHEUS – Cost Efficient Passive Houses as European Standards
www.cephesus.de
- [15] dr.sc V. Zanki i drugi; *Priručnik za energetske savjetnike*,
www.energetska-efikasnost.undp.hr
- [16] Bjegović, Dubravka; Serdar, Marijana; Mikulić, Dunja. Development of concrete as contribution to sustainability//Networks for sustainable environment and high quality of life/Radić, Jure; Bleiziffer, Jelena (ur.). Zagreb: Structural Engineering Conferences (SECON), 2008. 339-346
- [17] prof. Lj. Mišćević, Xella porobeton HR; *Promotivni materijali za Niskoenergetsku kuću*
- [18] *PassiveHaus standard – Institut za Pasivnu kuću*
www.passive.de
- [19] Članak: - Pasivna kuća, www.gradimo.hr
- [20] prof. Ljubomir Mišćević; Članak: - *15 godina pasivne kuće*, www.gradimo.hr
- [21] Šimetin, V., Štromar, Ž., IGH – Toplinska zaštita, Priručnik za uporabu
- [22] Wolfgang M. Willems, Simone Dinter, Kai Schild; *Građevinska fizika*, priručnik 1. Dio, Vieweg; Beograd, 2008.

PRILOG 1**MATERIJALI KORIŠTENI KOD PRORAČUNA****1. Opeka Porotherm 30 S P + E plus**

Opeka Porotherm 30 S P + E plus izabrana je zbog učestalosti korištenja u izgradnji obiteljskih kuća i stanova, te zbog povoljnih toplinskih svojstava. Karakteristike opeke dane su u tablici.







KARAKTERISTIKE	POROTHERM
	30 S P+E PLUS
DIMENZIJE (cm)	30 x 25 x 23,8
Masa (kg)	13,7
Potrošnja opeke (kom./m ² //kom./m ³)	16,0//53,3
Utrošak morta sa zapunjavanjem mortnih džepova (l/m ²)	38
Koeficijent toplinske vodljivosti λ (W/mK)	0,195
Koeficijent prolaznosti topline U (W/m ² K)	0,59
Tlačna čvrstoća (N/mm ²)	10
Gustoća (kg/m ³)	780
Specifični toplinski kapacitet c (J/kgK)	920
Faktor otpora difuziji vodene pare (μ)	5/10
Računska debljina sloja kondenzirane vodene pare (m)	0,05
Vatrootpornost (Razred požarne otpornosti (minuta))	REI 180
Zvučna izolacija R _w (dB)	50

2. Tervol TP

Ovaj tip toplinske izolacije je izabran zbog svojih toplinskih karakteristika, masivne upotrebe u graditeljstvu i veće tlačne čvrstoće koja je potrebna kod pasivnih kuća zbog veće debljine izolacije. Ista vrsta je korištena za sve podne i stropne konstrukcije pasivne i standardne kuće različitih dimenzija vanjske izolacije kako se ne bi utjecalo te dobilo na različite koeficijente prolaska topline U, pa ne bi bila mjerodavna usporedba tih kuća.







KARAKTERISTIKE TERVOL TP	
<p>Namijenjene su za toplinsku, zvučnu i protupožarnu zaštitu plivajućih podova stambenih ili poslovnih prostora. Ugrađuju se ispod suhih estriha od ploča iverice 22 mm kod opterećenja do 1,5 kPa, no pogodne su i za "mokre" estrihe kod kojih se očekuju opterećenja do 10 kPa.</p>	
	<p>Oznaka po HRN EN 13162: MW-EN13162-T7-DS(TH)-WL(P)-SD??-CP2-AF60</p>
	<p>Deklarirana toplinska provodljivost po HRN EN 12667: $\lambda_D = 0,036 \text{ W/mK}$</p>
	<p>Klasa gorivosti po HRN EN 13501-1: A1</p>
	<p>Kompresibilnost po HRN EN 12431 i HRN EN 13162: CP2</p>
<p>Certifikat o sukladnosti: 1/05-ZOG-040</p>	

3. Tervol DP- LAM

Ovaj tip toplinske izolacije je izabran zbog svojih toplinskih karakteristika, zbog toga što se može proizvoditi i do 30 cm debljine te na taj način u jednom sloju ugrađivati u pasivne kuće, a time se dobio materijal istih toplinskih karakteristika u pasivnoj i standardnim kućama. Mijenjanjem debljine izolacije zidova ovim materijalom dobiva se drugačiji koeficijent prolaska topline bilo da se radi o pasivnoj kući ili standardnim kućama.

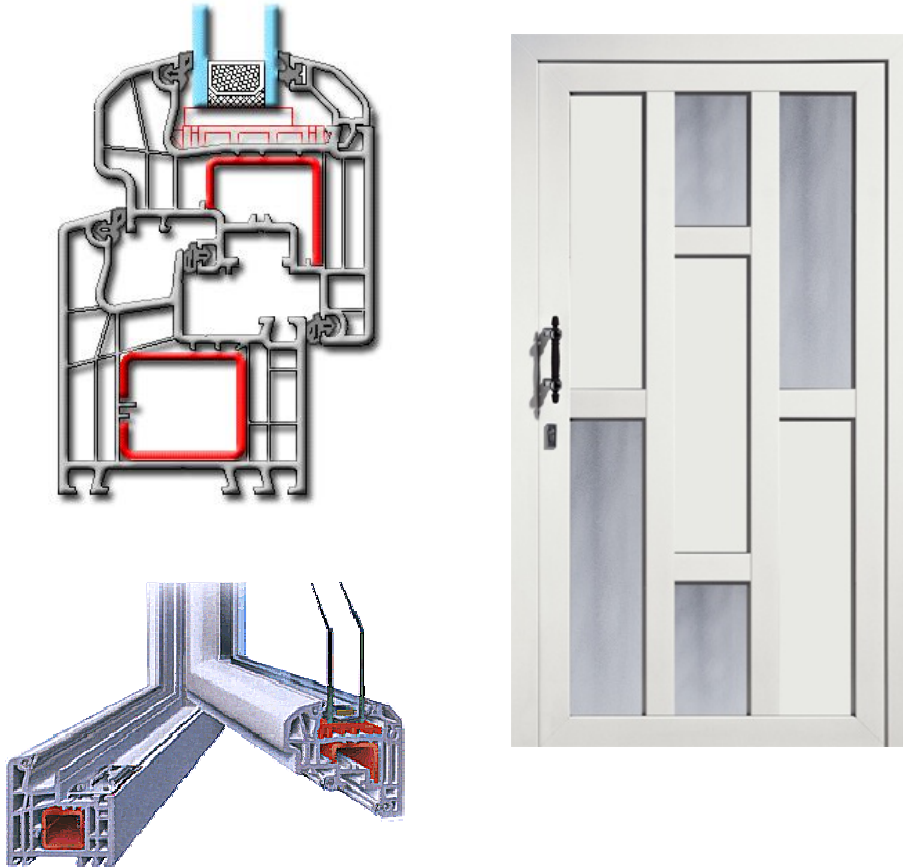


TERVOL DP – LAM	
<p>Namijenjene su za toplinsku, zvučnu i protupožarnu izolaciju i zaštitu kontaktnih fasada u sustavu s tankoslojnim žbukama. Lamele lijepimo građevinskim ljepljivom, a iznad 20 m dodatno ih mehanički pričvršćujemo. Također su pogodne za toplinsku i zvučnu izolaciju podgleda stropova garaža, podruma, lođa, haustora, itd.</p>	
	<p>Oznaka po HRN EN 13162: MW-EN13162-T5-DS(TH)-CS(10)40-TR80-WL(P)</p>
	<p>Deklarirana toplinska provodljivost po HRN EN 12667: $\lambda_D = 0,042 \text{ W/mK}$</p>
	<p>Klasa gorivosti po HRN EN 13501-1: A1</p>
	<p>čvrstoća na raslojavanje po HRN EN 1607: min. 80 kPa</p>
<p>Certifikat o sukladnosti: 1/05-ZOG-042</p>	

PRILOG 2

STOLARIJA

1. Standardna kuća – prozori i vrata



Karakteristike :

- izolacijsko staklo 4-16-4 (24mm)
- Koeficijent prolaska topline kroz prozor $U_g=1,1 \text{ Wm}^2\text{K}$,
- Zvučna izolacijska moć $R_w=32 \text{ dB}$
- Otpornost na vremenske prilike (UV zrake)
- Raščlanjen, petkomorni profil koji čini vrlo dobru izolaciju
- Tri beskonačne brtve iz trajno elastičnih masa sprječavaju prodor mraza i vlage
- Ukupna debljina stakla do 41 mm nudi mogućnost različitih kombinacija stakla
- Beskonačna mogućnost spajanja profila te mogućnost zakrivenog odvoda kondenzata
- Klasičan profilni štok debljine 70 mm, ojačan sa metalnim profilom

2. Pasivna kuća – prozori i vrata

Karakteristike :

- Toplinska izolacija : U-vrijednost= 0,8 W/m²K
- Broj komora: tehnika s 5 komora s dodatnom toplinskom izolacijom
- Trostruko izolirajuće staklo s 2 međusloja argona
- Ugradbena dubina: 120 mm
- Institut za izgradnju pasivnih zgrada iz Darmstadta certificirao je prozore kao «komponente namijenjene za pasivne objekte»
- Zvučna izolacija: visina izolacije do klase 4 (VDI 2719)
- Protuprovalna zaštita: otpornost do klase 2 (DIN V ENV 1627)
- Nepropusnost za zrak i olujnu kišu: zahtjev opterećenja do grupe C (DIN 18055)

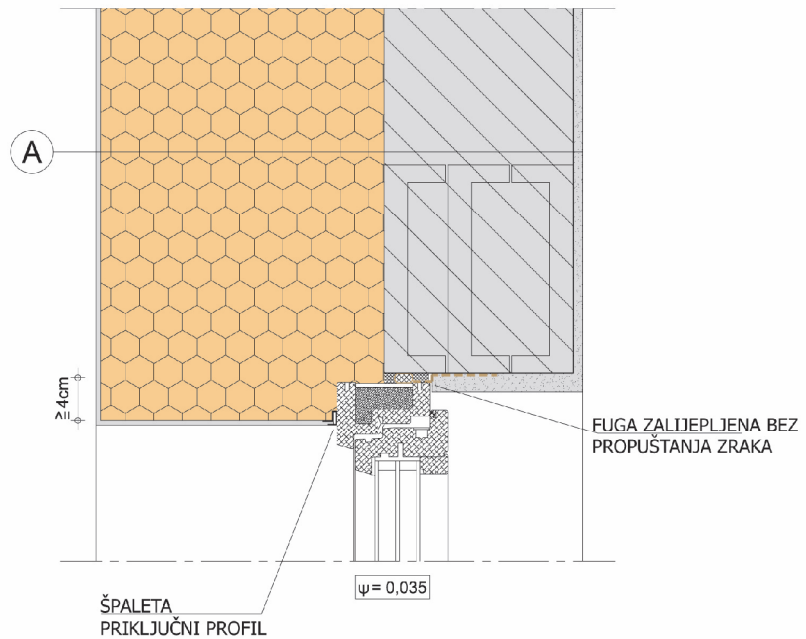


PRILOG 3

RJEŠENJA DETALJA IZVEDBE TOPLINSKIH MOSTOVA ZA PASIVNU KUĆU

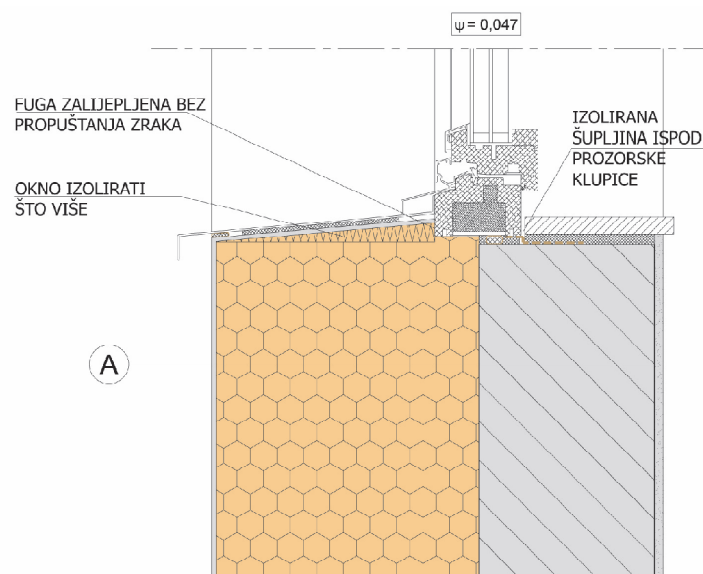
1. Priključak prozor i nadvoj

- Linijski toplinski gubitak $\Psi = 0,035 \text{ W/ mK}$



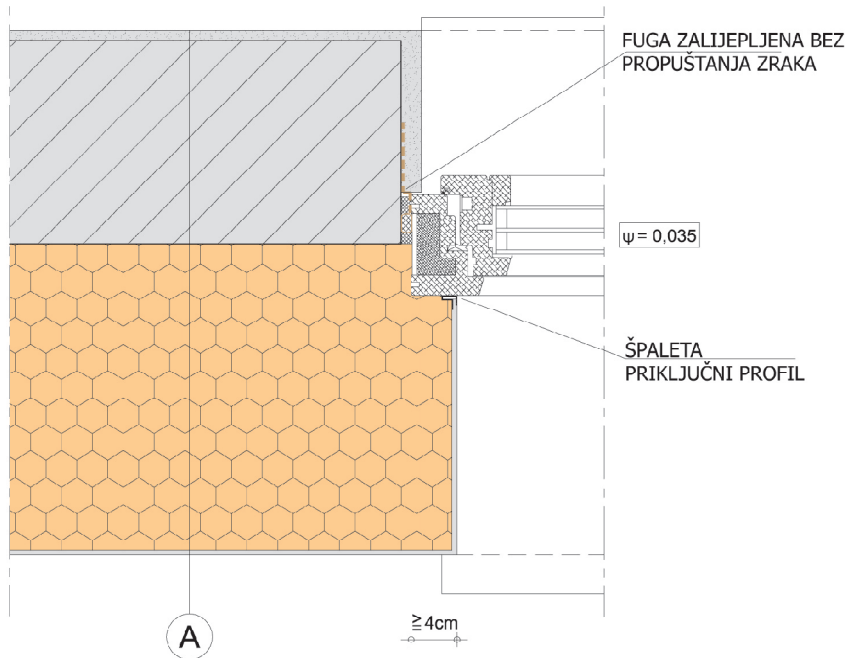
2. Priključak prozora i prozorska klupčica

- Linijski toplinski gubitak $\Psi = 0,047 \text{ W/ mK}$



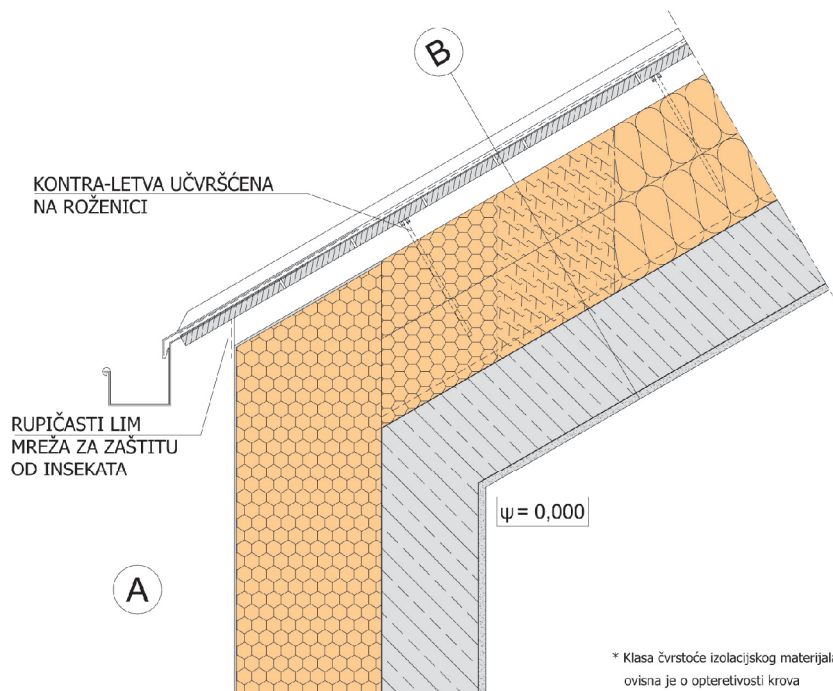
3. Priključak prozora i špaleta

- Linijski toplinski gubitak $\Psi = 0,035 \text{ W/ mK}$



4. Masivan kosi krov

- Linijski toplinski gubitak $\Psi = 0,000 \text{ W/ mK}$



PRILOG 4

STROJARSKE INSTALACIJE

1. Solarne ćelije

	Opis artikla	komada
Sistem snage 1,76 kW	FN modul HT – 220P sa kablovima i konektorima MC4	8
	Mrežni inverter Fronius IG 15 2000Wp, IP21 s ekranom	1
	Komplet nosača za kosi krov	1



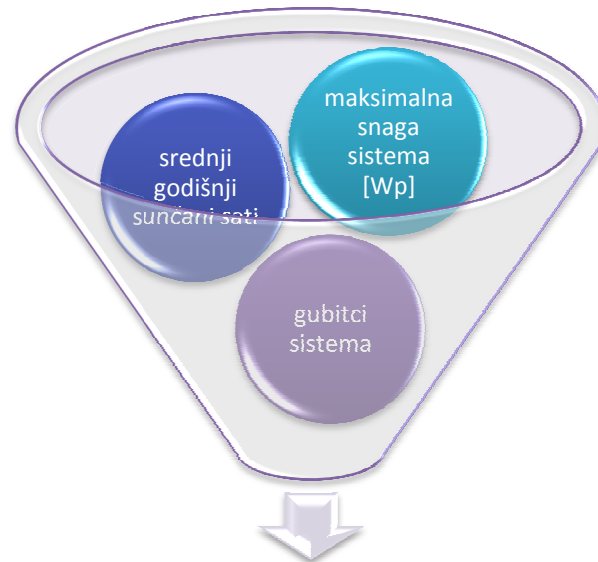
Napomena :

- cijena bazirana za nosače :
 - visina objekta do 100 m,
 - kut krova od 0 – 49°,
 - maksimalno opterećenje 100 kg/m²,
 - opterećenje vjetrom 60 kg/m²,
 - težina modula 22 kg
- montaža, puštanje u rad i drugi zavisni troškovi u dogovoru s ovlaštenim instalaterima

Mrežni sistem (eng. Grid Connected) je fotonaponski generator sačinjen od fotonaponskih modula i mrežnog invertera. Tako dobivamo male elektrane koje se ugrađuju na objekte i spajaju na elektroenergetsku mrežu. Mrežni inverter prodaje i kupuje električnu energiju ovisno o insolaciji i potrošnji u kući. Tako smanjujemo onečišćenje okoliša i trošak za struju. Sam trošak ugradnje je jeftiniji od izoliranih sistema jer nema ulaganja u akumulatore.

IZRAČUN DOBITAKA MREŽNOG SISTEMA

Godišnji dobitak energije iz fotonaponskog sistema (kWh)



godišnji dobitak energije za sistem od 1,76 kW

$$= 1,76 \times 1889,4 \times 0,75 = 2494 \text{ kWh}$$

Fotonaponski modul HT-220 :

Moduli su sastavljeni od 60 visokoučinkovitih ćelija od monokristalnog silicija koje su međusobno serijski spojene. Rezultat toga je više proizvedene energije u reduciranom prostoru kojeg zauzimaju moduli. Takvi se moduli mogu koristiti za mrežne sisteme i osmišljeni su za rad u najnepovoljnijim uvjetima. To im omogućuje kaljeno staklo od 4 mm koje izdrži tuču i okvir od anodiziranog aluminijsa.

Karakteristike :

- Prednja strana : kaljeno staklo 4 mm
- Tehnologija ćelija : monokristalni silicij
- Dimenzije ćelija : 156 mm x 156 mm
- Broj ćelija : 60 komada
- Laminacija : EVA
- Stražnja strana : tedlar
- Okvir : anodizirani aluminijs
- Spojna kutija : multicontact PV-JB/S2
 - By-pass diode : 3 komada SB1240
 - Tip modula : HT-210 HT-220
- Maksimalna snaga (P_{MAX}) : 210 WP 220 WP
- Maksimalni napon (V_{MAX}) : 29,6 V 30,0 V
- Maksimalna struja (I_{MAX}) : 7,1 A 7,3 A
- Napon praznog hoda (V_{OC}) : 36,2 V 36,6 V
- Struja kratkog spoja (I_{SC}) : 8,1 A 8,2 A
- Maksimalni napon sistema : 715 V
- Tolerancija snage : ± 3 %

2. Toplinska crpka (samo za pasivnu kuću)

Vaillant Geotherm plus VWS 102/2

Toplinska pumpa geoTHERM plus je pumpa za grijanje s integralnim spremnikom za potrošnu toplu vodu od 175 litara. Na taj način besplatna energija akumulirana u zemlji ili u geotermalnim vodama se osim za grijanje koristi i za pripremu tople vode. Spremnik za vodu je moguće mehanički odvojiti od same pumpe zbog lakšeg transporta i instalacije. Toplinska pumpa se odlikuje visokom energetske efikasnošću. Prema europskoj normi EN 255, "COP" faktor za VWS pumpe iznosi do 4,6 dok za VWW pumpe do 5,6. Integralni atmosferski regulator u kombinaciji s komunikacijskom jedinicom vnetDIALOG u potpunosti automatizira rad toplinske crpke pružajući korisniku mogućnost očitavanja besplatnih energetske prinosa i opciju daljinskog parametriziranja putem interneta. Toplinska crpka geoTHERM plus VWS 102/2 ocijenjena je najboljom toplinskom crpkom zemlja/voda na testu od strane najznačajnije njemačke nezavisne organizacije za testiranje proizvoda i usluga "Stiftung Warentest". Na usporednom testu deset modela različitih proizvođača, nezavisni ispitivači su kao kriterij uzeli: rukovanje, obradu, energetske učinkovitost i kvalitetu.



Karakteristike :

- Toplinska crpka : zemlja/voda ili voda/voda
- Snaga : 6 do 10 kW
- Tehnologija visoke energetske učinkovitosti (visoki COP faktor)
- Integralni rezervoar od 175 litara
- Integralni električni grijač za dogrijavanje
- Maksimalna temperatura vode u spremniku 55 °C (75 °C)
- Maksimalna temperatura polaznog voda 62 °C
- Isporuka pumpe u dva dijela, spremnik je moguće odvojiti
- Integralni atmosferski regulator
- Visokoefikasni „scroll“ kompresor
- Predinstalacija za ugradnju komunikacijske jedinice vnetDIALOG

3. Ventilacija

Pasivnu kuću čini cijeli sustav ventilacija koji se sastoji od nekoliko dijelova :

- *Ventilator* - je uređaj koji omogućava strujanje plinovitog medija kroz sustav na principu pretvorbe mehaničke energije vrtnje u tlak i kinetičku energiju strujanja plina. Ovisno o strujanju zraka (ili bilo kojeg drugog plina) kroz njih, postoje dvije osnovne izvedbe ventilatora: radijalni i aksijalni, te kombinacije istih.
- *Strujni otvori* - odnosno elementi za raspodjelu zraka predstavljaju vezu između kanalnog razvoda i prostorije. Zadatak im je pripremljeni zrak što bolje i ravnomjernije rasporediti, osigurati odgovarajuću brzinu strujanja zraka i homogenu temperaturno polje u zoni boravka, onemogućavanje propuha, te držanje razine buke u odgovarajućim granicama.
- *Kanalni razvod* - služi za dovod pripremljenog zraka u prostorije i odvod otpadnog zraka natrag u komoru ili okolinu.
- *Toplinska crpka* (točka 2 ovog priloga)



4. Klimatizacija (samo za standardnu kuću)

PANASONIC CS/CU-PW18DKE

Karakteristike :

- Kapacitet hlađenja : 2.6 kW
- Kapacitet grijanja : 3.6 kW
- Potrošnja pri hlađenju : 0.59 kW
- Potrošnja pri grijanju : 0.84 kW
- Klasa energetske učinkovitosti pri grijanju : A
- Klasa energetske učinkovitosti pri hlađenju : A
- Veličina prostorije pokrivena hlađenjem : 73 m³*
- Veličina prostorije pokrivena grijanjem : 81 m³
- Jačina zvuka unutrašnje jedinice : 24 dB
- Kapacitet strujanja zraka : 11 m³/min
- Maksimalna duljina cijevi : 15 m
- Dimenzije unutrašnje jedinice (v x š x d) : 280 x 799 x 183 mm
- Dimenzije vanjske jedinice (v x š x d) : 540 x 780 x 289 mm
- Težina unutrašnje/vanjske jedinice : 9/34 kg
- e-ion sustav za pročišćavanje zraka : Da

*U istraživačkom radu je izvršen proračun cijene koštanja za 3 klimatizacijska uređaja jer je obujam kuće koji se hladi 3 puta veći od obujma koji može ohladiti jedna klimatizacijska jedinica.

Sažetak

Kolić Damir, Šimunović Tomislav

EKONOMSKE I EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE ENERGETSKI UČINKOVITE GRADNJE

U ovom radu su prikazane karakteristike energetske efikasnosti zgradarstva te nužnost primjene istih kako bi se osiguralo smanjenje potrošnje energije prema principima održive gradnje. Energetska certifikacija predstavlja osnovni alat za uspješnu implementaciju smjernica energetske efikasnosti. Europska unija je sa željom smanjenja potrošnje energije i emisije CO₂ počela sa snažnom promocijom Pasivne kuće kao standarda gradnje. Istraživačkim radom sa računalnom podlogom je prikazana ekonomska i ekološka isplativost uvođenja Pasivne kuće kao standarda gradnje unutar Hrvatskih okvira.

Ključne riječi

Pasivna kuća, Emisija CO₂, Energetska učinkovitost, Održiva gradnja

Summary

Kolić Damir, Šimunović Tomislav

ECONOMICAL AND ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF ENERGY EFFICIENT CONSTRUCTION

Characteristics of the energy efficiency in the construction and building sector and their indispensable application to ensure reduction in the energy consumption according to the sustainable construction (building) principles are presented in this paper. Energy certification is a basic tool for the successful implementation of the energy efficiency guidelines. To support the reduction of the energy consumption and CO₂ emission the EU-European Union has initiated an extensive promotion of the Passive House as the building standard. Commercial and environmental cost-effectiveness of the Passive House introduction is obtained by a computer supported research work.

Key words

Passive house , CO₂ emissions, Energy efficiency, Sustainable construction

Zahvala

Prof. dr. sc. Dunji Mikulić, dipl. ing. građ. Bojanu Milovanoviću i kolegici Ani Sokačić na velikoj podršci, pomoći i pristupačnosti.