Utjecaj toplinske izolacije na smanjenje potrošnje energije u zgradarstvu

Blagojević, Bojan

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic Pula - College of Applied Sciences / Politehnika Pula - Visoka tehničko-poslovna škola s pravom javnosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:212:408140

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

Digital repository of Istrian University of applied sciences

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

POLITEHNIKA PULA

Visoka tehničko-poslovna škola s.p.j.

ZAVRŠNI RAD

UTJECAJ TOPLINSKE IZOLACIJE NA SMANJENJE POTROŠNJE ENERGIJE U ZGRADARSTVU

Bojan Blagojević

Pula, rujan 2016.

POLITEHNIKA PULA

Visoka tehničko-poslovna škola s.p.j.

UTJECAJ TOPLINSKE IZOLACIJE NA SMANJENJE POTROŠNJE ENERGIJE U ZGRADARSTVU

Student: Bojan Blagojević

Studijski program: studij Politehnike

Smjer: Proizvodno inženjerstvo

Mentor: Prof.dr.sc. Dario Matika

Komentor: Goran Vratović ing.politech.

Pula, rujan 2016.

SADRŽAJ

Sažetak
Summary
Popis slika
Popis tablica
Popis nacrta
1. UVOD 1
1.1. Opis i definicija problema 1
1.2. Cilj i svrha rada 1
1.3. Polazna hipoteza 2
1.4. Struktura završnog rada 2
2. GODIŠNJA POTROŠNJA ENERGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ 4
3. POVIJEST TOPLINSKIH IZOLACIJA GRAĐEVINA 7
3.1. Prirodni izolacijski materijali 7
3.2. Umjetno proizvedeni izolacijski materijali 11
3.3. Građevni elementi kao toplinski izolatori 16
4. FIZIKALNA SVOJSTVA TOPLINE 25
4.1. Prijenos topline 30
4.2. Toplinska vodljivost i toplinski otpor 31
5. POTROŠNJA ENERGIJE U ZGRADI 36
5.1. Tehnički opis zgrade 37
5.2. Fizikalne karakteristike zgrade 43
5.2.1. Vanjski zidovi 44
5.2.2. Pod na tlu 45
5.2.3. Strop prema negrijanom tavanu 47
5.2.4. Kosi krov iznad grijanog prostora 48
5.2.5. Vanjski otvori 49
5.3. Godišnji gubici i dobici topline 50
5.3.1. Godišnji gubici topline 50
5.3.2. Godišnji dobici topline 55
5.4. Godišnje potrebe energije građevine za grijanje i hlađenje 57
6. UPOTREBA TOPLINSKE IZOLACIJE U CILJU SMANJENJA POTROŠNJE ENERGIJE 62
6.1. Tehnička rješenja za primjenu toplinske izolacije na građevini 62
6.1.1. Izolacija vanjskih zidova 63
6.1.2. Izolacija stropa prema tavanu 64
6.1.3. Zamjena vanjskih otvora 65
6.2. Godišnje potrebe energije izolirane građevine 66
6.3. Analiza godišnjih potreba energije prije i nakon primjene toplinske izolacije 71
7. ANALIZA ISPLATIVOSTI INVESTICIJE 73
7.1. Analiza cijene investicije 73
Iz troškovnika radova vidljivo je da je cjelokupna investicija vrijedna 116 250,00 kn, od čega su najskuplje stavke izrada izolacije vanjskih zidova (59 220,00 kn) te zamjena postojećih

prozora i vrata (46 680,oo kn). Cijene izvođenja radova navedene u troškovniku su informativne prirode i predstavljaju srednju cijenu takvih radova na području Istrarske županije. 74
7.2. Isplativost investicije za različite tipove grijanja i hlađenja 74
7.3. Mogući izvori financiranja 77
7.3.1. Sufinanciranje od strane Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost. . 77
7.3.2. Kreditiranje putem „zelenih“ kredita 79
8. ZAKLJUČAK 81
9. POPIS LITERATURE 82
10. PRILOZI 84

Sažetak

Završni rad obrađuje problematiku potrošnje energije za grijanje i hlađenje prostora u sektoru zgradarstva i utjecaj toplinske izolacije na smanjenje potrošnje energije. U radu je prikazana analiza godišnjih potreba energije za grijanje i hlađenje jedne obiteljske kuće na području grada Pule. Proučavanjem rezultata koeficijenata prolaska topline građevnih elemenata i godišnjih energetskih potreba izdvajaju se kritične zone zgrade na kojima je potrebno primijeniti toplinsku izolaciju. Izračunom godišnjih potreba za energijom izolirane zgrade stječe se jasan uvid u godišnje uštede energije te se kroz ekonomsku analizu istražuje isplativost investiranja u toplinsku izolaciju. U završnom radu prikazan je način kako unaprijediti energetsku učinkovitost zgrade u dobrobit samog korisnika i u opću korist zajednice.

Ključne riječi: Energija, toplina, zagrijavanje prostora, toplinska izolacija, transmisijski gubitci, ušteda

Summary

The thesis deals with issues of cooling and heating energy consumptions in building sector and the impact of thermal insulation on reduction of energy consumption. This paper presents an analysis of annual cooling and heating energy requirements for a family house built in the town of Pula. By studying the results of heat flow coefficients of building's constructional elements and annual energy requirements, critical bulding zones for which thermal insulation is needed can be highlighted. The calculation of annual energy requirements for insulated building gains clear insight into annual energy savings and an economic analysis examines the profitability of investing in thermal insulation. This thesis shows a way to improve building's energy efficiency for the benefit of an user himself, and for the common good of the comunity.

Key words: Energy, heat, space heating, thermal insulation, transmission losses, savings

Popis slika

Slika 1: Godišnja potrošnja energije u RH po sektorima 4

Slika 2: Godišnja potrošnja energije u kućanstvima 5

Slika 3: Replika šatora od drva i životinjskih koža iz doba paleolitika 7

Slika 4: Konstrukcija mongolske jurte 8

Slika 5: Srednjovjekovna kuća sa slamnatim krovnim pokrovom 9

Slika 6: Izolacijske ploče od prirodnih materijala 10

Slika 7: Kamena vuna i proizvodi od kamene vune 11

Slika 8: Staklena vuna i proizvodi od staklene vune 12

Slika 9: Pjenasto staklo i proizvodi od pjenastog stakla 13

Slika 10: Ćelijasta struktura ekspandiranog polistirena i ekstrudiranog polistirena 14

Slika 11: Blok Aerogel® izolacije 15

Slika 12: Raspodjela tržišta po proizvodnji i upotrebi različitih izolacijskih materijala 16

Slika 13: Otok Orkney , Škotska, naselje iz doba neolitika 17

Slika 14: Sušena cigla;čerpić 18

Slika 15: Raličite vrste šuplje blok opeke 19

Slika 16: Obiteljska kuća u cijelosti izgrađena od porobetonskih elemenata 20

Slika 17: Različiti tipovi izvedbe drvenog prozora 22

Slika 18: Prozor od PVC-a (lijevo) i aluminijski prozor (desno) 23

Slika 19: Konstrukcija izo stakla 23

Slika 20: Smanjenje toplinskih gubitaka djelovanjem LOW-E stakla 24

Slika 21: Graf ovisnosti temperature o primljenoj toplini 28

Slika 22: Pad temperature kroz višeslojnu konstrukciju 34

Slika 23: Grafički prikaz potrebne energija za grijanje i hlađenje neizolirane zgrade 60

Slika 24: Energetski razred neizolirane zgrade 61

Slika 25: Primjena izolacije na vanjskim zidovima 63

Slika 26: Primjena izolacije na stropu na tavanu 64

Slika 27: Zamjena postojeće vanjske stolarije novom 65

Slika 28 Grafički prikaz potrebne energija za grijanje i hlađenje izolirane zgrade 69

Slika 29: Energetski razred izolirane zgrade 70

Slika 30: Godišnje potrebe energije za grijanje i hlađenje prije i nakon izvedbe izolacije 71

Slika 31: Postotak sufinanciranja od strane Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost 78

Popis tablica

Tablica 1: Specifični toplinski kapacitet materijala 27
Tablica 2: Specifični toplinski kapaciteti nekig građevinskih materijala 27
Tablica 3: Specifični koeficijenti toplinske vodljivosti nekih materijala 32
Tablica 4: Osnovne dimenzijske karakteristike zgrade 43
Tablica 5: Sastav, fizikalne karakteristike i koeficijent prolaska topline vanjskih zidova 44
Tablica 6: Sastav, fizikalne karakteristike i koeficijent prolaska topline poda na tlu 45
Tablica 7: Sastav, fizikalne karakteristike i koeficijent prolaska topline stropa prema negrijanom tavanu 47
Tablica 8: Sastav, fizikalne karakteristike i koeficijent prolaska topline kosog krova 48
Tablica 9: Količina, površine i koeficijent prolaska topline vanjskih otvora 49
Tablica 10: Osnovni podaci o zgradi i klimatološki podaci lokacije 51
Tablica 11: Ukupni koeficijenti transmisijskih gubitaka neizolizane zgrade 53
Tablica 12: Koeficijenti gubitaka provjetravanjem neizolizane zgrade 54
Tablica 13: Ukupni mjesečni i godišnji toplinski gubici neizolirane zgrade 54
Tablica 14: Ukupni mjesečni i godišnji toplinski gubici neizolirane zgrade 56
Tablica 15: Mjesečni unutarnji toplinski dobici neizolirane zgrade 56
Tablica 16: Ukupni godišnii dobici topline neizolirane zgrade 56
Tablica 17: Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje neizolirane zgrade 58
Tablica 18: Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje neizolirane zgrade 59
Tablica 19: Rezultati proračuna potrebne energija za grijanje i hlađenje neizolirane zgrade 59
Tablica 20: Ukupni mjesečni i godišnji toplinski gubici izolirane zgrade 67
Tablica 21: Ukupni mjesečni i godišnji toplinski dobici izolirane zgrade 67
Tablica 22: Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje izolirane zgrade .. 68
Tablica 23: Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje izolirane zgrade 68
Tablica 24: Rezultati proračuna potrebne energija za grijanje i hlađenje izolirane zgrade 69
Tablica 25: Rezultati proračuna potrebne energija za grijanje i hlađenje izolirane zgrade 71
Tablica 26: Utjecaj toplinske izolacije na godišnju potrošnju energije 72
Tablica 27: Troškovnik radova 73
Tablica 28: Godišnje uštede energenata po jedinici količine i novčanoj vrijednosti 76
Tablica 29: Vrijeme povrata investicije 76
Tablica 30 Usporedba „zelenog“ i namjenskog kredita 80

Nacrt 1: Tlocrt prizemlja **38**
Nacrt 2: Tlocrt kata **39**
Nacrt 3: Presjeci **40**
Nacrt 4: Istočno i južno pročelje **41**
Nacrt 5: Zapadno i sjeverno pročelje **42**

1. UVOD

Ubrzani rast broja stavnovnika na Zemlji tokom zadnjih nekoliko stoljeća te eksponencijalni razvoj znanosti, tehnologije i proizvodnje u posljednjih 150 godina doveli su do sveobuhvatne eksploatacije prirodnih resursa i ogromnih potrebe za energijom. Predviđa se da će se do 2035. godine samo potrošnja električne energije udvostručiti u odnosu na 2015. godinu. S druge strane, Europski energetski portal je 2010. godine objavio studiju Međunarodne agencije za energiju (skr. IEA) u kojoj se, ukoliko se ne promijeni trenutna potrošnja fosilnih goriva, predviđa iscrpljenje nafte do 2047. godine, prirodnog plina do 2068. godine te ugljena do 2144. godine.[1] Jedno je to od brojnih upozorenje Europske unije i Međunarodne agencije za energiju o nužnosti planiranja gospodarenja resursima i racionalnog korištenja energije na globalnoj razini, kao i o potrebi za smanjenjem zagađenja okoliša i emisije CO_2, kao direktene posljedice trenutnih trendova potrošnje. Još je važnija činjenica da se sadašnje energetske potrebe mogu smanjiti za gotovo 50 % i to s tehnologijom i znanjem s kojim trenutno raspolažemo.

1.1. Opis i definicija problema

Problem koji ovaj rad obrađuje je godišnja potrošnja energije za zagrijavanje i klimatizaciju prostora u kućanstvima u Istarskoj županiji.

1.2. Cilj i svrha rada

Cilj završnog rada je ukazati na značaj racionalnog gospodarenja energijom u zgradarstvu, količinu energije koja se utroši tokom eksploatacije stambenog objekta te značaj upotrebe adekvatne toplinske izolacije na smanjenje potrošnje energije za grijanje i hlađenje u kućanstvima.

[1] https://www.energy.eu/publications 23.03.2015.

Svrha završnog rada je precizno analizirati koliki je utjecaj toplinske izolacije na smanjenje potrebne količine energije za zagrijavanje i hlađenje prostora u jednoj obiteljskoj kući. Analiza obuhvaća tehničko tehnološke mogućnosti pri izgradnji i rekonstrukciji objekata, proračun smanjenja godišnje potrebne potrošnje energije za grijanje i hlađenje, te ekonomsku analizu povrata investicije.

1.3. Polazna hipoteza

Primjenom odgovarajuće toplinske izolacije pri izgradni ili rekonstrukciji stambenog objekta na području grada Pule, moguće je smanjiti energetske potrebe objekta za 30%, te samim time ostvariti dugoročne uštede kroz vrijeme eksploatacije.

1.4. Struktura završnog rada

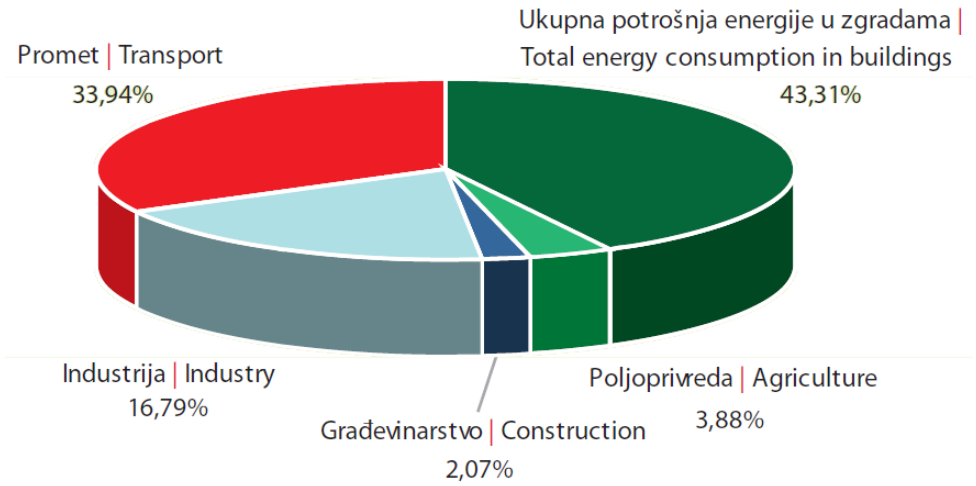
Završni rad se sastoji od nekoliko osnovnih poglavlja u kojima se obrađuje problematika potrošnje energije u sektoru zgradarstva u Republici Hrvatskoj. Prvo poglavlje se sastoji od uvoda u sam problem, određuje se cilj rada, definira svrha i postavlja hipoteza. Drugo poglavlje završnog rada prikazuje ukupnu potrošnju energije u Republici Hrvatskoj, podjelu potrošnje po sektorima, količinu energije koji se troši u kućanstvima i čimbenike koji utječu na potrošnju energije. Treće poglavlje rada prikazuje razvoj izolacijskih materijala i njihovu primjenu u gradnji kroz povijest. Četvrto poglavlje se bavi toplinom kao fizikalnom pojavom, prijelazom topline, toplinskim svojstvima građevinskih materijala (toplinski otpor/koeficijent prolaska topline) i prolaskom topline kroz građevinske konstrukcije.

Peto poglavlje rada se bavi analizom fizikalnih svojstava zgrade, obrađujući kao primjer energetske potrebe samostojeće obiteljske kuće izgrađene na području grada Pule. Analiziraju se godišnje energetske potrebe za zagrijavanje i hlađenje objekta, transmisijski gubici i dobici topline kroz konstruktivne elemente objekta bez upotrebe toplinske izolacije (prototip objekta izgrađenog tradicionalnom tehnologijom građenja 80-ih i 90-ih godina). Proračuni se vrše u računalnom programu „KI Ekspert Plus“. Šesto poglavlje rada obrađuje mogućnosti smanjenja transmisijskih gubitaka objekta, tehnologiju toplinskih izolacija u gradnji i rekonstrukciji te se prikazuju kritični dijelovi objekta gdje se najviše topline gubi. Zatim se vrši proračun godišnjih energetskih potreba toplinskih gubitaka i dobitaka objekta s izrađenom toplinskom izolacijom zidova i krovišta te izmijenjenom stolarijom. Dobiveni rezultati se uspoređuju sa prijašnjim proračunom. Sedmo poglavlje se sastoji od ekonomske analize ulaganja u toplinsku izolaciju. Analiza u sebi sadrži troškove investicije, godišnju uštedu sredstava kroz smanjenje troškova energenata i izračun povrata investicije ostvaren kroz uštede kod različitih tipova grijanja prostora. U sedmom poglavlju su navedeni i mogući izvori financiranja od strane Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost te mogućnost povoljnijeg kreditiranja putem „zelenih“ kredita. Osmo poglavlje je završni dio rada koje sadrži rezime cjelokopnog rada sa zaključkom i prilozima.

2. GODIŠNJA POTROŠNJA ENERGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Energetsko izviješće Ministarstva gospodarstva iz 2012. godine pokazalo je ukupnu godišnju potrošnju energije od 101 538 888 888,89 kWh. Republika Hrvatska je s takvom potrošnjom u odnosu na broj stanovnika blago ispod europskog prosjeka, iako, u sektoru proizvodnju energije iz obnovljivih izvora zaostaje od ciljane količine u trenutnom vremenskom razdoblju.

Gledajući potrošnju po sektorima, od ukupne potrošene godišnje količine energije, oko 43% energije se troši u sektoru zgradarstva (slika 1).

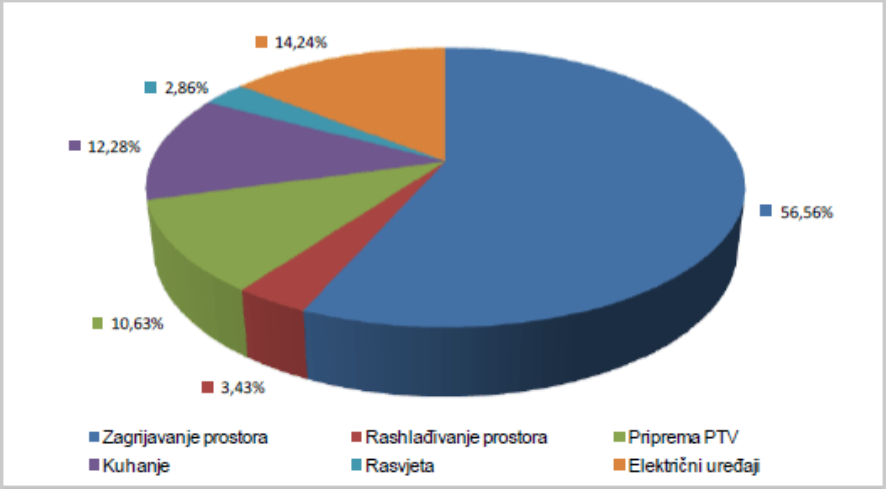


Slika 1: Godišnja potrošnja energije u RH po sektorima

(Izvor: Energija u Hrvatskoj-godišnji energetski pregled, Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2012(17.07.2016))

Potrošnja energije u zgradama uzima velik udio u ukupnoj godišnjoj potrošnji energije, stoga se lako može zaključiti da u tom sektoru leži veliki potencijal za uštede. Kako se od ukupne potrošene energije u stambenim i poslovnim prostorima gotovo 60% troši na zagrijavanje prostora (slika 2), dolazi se do zaključka kako se jedna četvrtina godišnje potrošene energije u

Republici Hrvatskoj troši samo na zagrijavanje prostora.



Slika 2: Godišnja potrošnja energije u kućanstvima

(Izvor: Energija u Hrvatskoj-godišnji energetski pregled, Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2012(17.07.2016))

Godišnja količina energije potrebna za zagrijavanje prostora je individualna za svaku zgradu, te je također zbog utjecaja nekoliko čimbenika varijabilna za svaku godinu. Na potrebnu količinu energije za zagrijavanje zgrade utječu:

- Klimatski uvjeti
- Karakteristike građevine
- Energetski sustavi unutar zgrade
- Navike korisnika

Klimatski uvijeti u području u kojemu se objekt nalazi jedan su od najvećih čimbenika koji utječu na godišnju potrošnju energije zgrade. Istarska županija nalazi se u području mediteranske klime koju odlikuju sušna i topla ljeta te blage i vlažne zime, stoga je potrošnja energije potrebna za zagrijavanje manja nego u poručjima s kontinentalnom klimom. Međutim, ljeti se javlja potreba za klimatizacijom prostora, te se potrebna količina energije za rashlađivanjem u zadnjih desetak godina gotovo udvostručila.

Karakteristike građevine podrazumijevaju dimenzije, gabarite, smještaj, orjentaciju, fizikalna svojstva objekta, vrste i količine materijala korištene pri izgradnji, te samu tehnologiju izgradnje. Karakteristike građevine definiraju se projektiranjem samog objekta, gdje se u obzir uzima i energetska učinkovitost objekta, odnosno, objekt se projektira tako da se količina energije potrebna za zagrijavanje svede na što moguće nižu razinu. U tom segmentu toplinska izolacija ima ključnu ulogu. Zbog niske cijene energenata te visoke cijene i nedostupnosti izolacija velik broj zgrada s kraja 20-og stoljeća u Hrvatskoj izgrađen je s vrlo lošom energetskom učinkovitošću. Danas je energetska učinkovitost objekta prioritet prilikom projektiranja i izgradnje, dok se kod postojećih objekata uzima u obzir mogućnost poboljšanja energetske učinkovitosti kroz rekonstrukciju i adaptaciju.

Energetski sustavi u zgradi predstavljaju sustave za grijanje, klimatizaciju, ventilaciju i pripremu potrošne tople vode, kao i kućanske aparate i uređaje koji se u objektu koriste. Zastarjele i dotrajale sustave potrebno je zamijeniti novim, energetski učinkovitim sustavima kako bi se potrošnja energije smanjila. Pritom se prvenstveno cilja na sustave za grijanje i hlađenje, kao i sustave za pripremu potrošne tople vode, budući da ti sustavi troše najveću količinu energije u zgradi.

Navike korisnika imaju znatnu ulogu u smanjenju godišnje potrošnje energije u građevinskim objektima. Pregrijavanje prostora zimi, odnosno, povećavanje temperature prostora iznad projektne kod sustava za grijanje drastično povećava količinu potrošenje energije. Također, isključivanje sustava kada korisnik nije u objektu, umjesto da sustav radi na održavanju minimalne temperature može prouzročiti dodatnu potrošnju energenata za grijanje. Navike korisnika moguće je promijeniti savjetovanjem, edukacijom i povećanjem svijesti o energetskoj učinkovitost na dobrobit samog korisnika i njegove okoline.

3. POVIJEST TOPLINSKIH IZOLACIJA GRAĐEVINA

Jedna od osnovnih potreba ljudi je uz potrebe za hranom i pitkom vodom, bila i potreba za zaštitom od vremenskih uvijeta i opasnosti iz okoline. Prve ljudske nastambe su činile raznolike prirodne formacije poput špilja, jama i zasjeka u prirodnom terenu. Zbog nomadskog načina života i neprestanom potragom za hranom i plijenom, nije uvijek bilo moguće pronaći prirodni zaklon, te se javlja potreba za gradnjom prvih nastambi. Kako bi se zaštitili od jakih zima i visokih ljetnih temperatura, prvi ljudi uviđaju potrebu da svoje nastambe poboljšaju nekakvim oblikom toplinske izolacije, te takve materijale počinju tražiti u prirodi.

3.1. Prirodni izolacijski materijali

Prve ljudske nastambe građene su kao privremena skloništa, u obliku šatora, s konstrukcijom od drva ili životinskih kostiju prekrivenih prirodnim materijalima sličnima onim odjevnim; životinjskim kožama, krznima ili vunom (Slika 3).

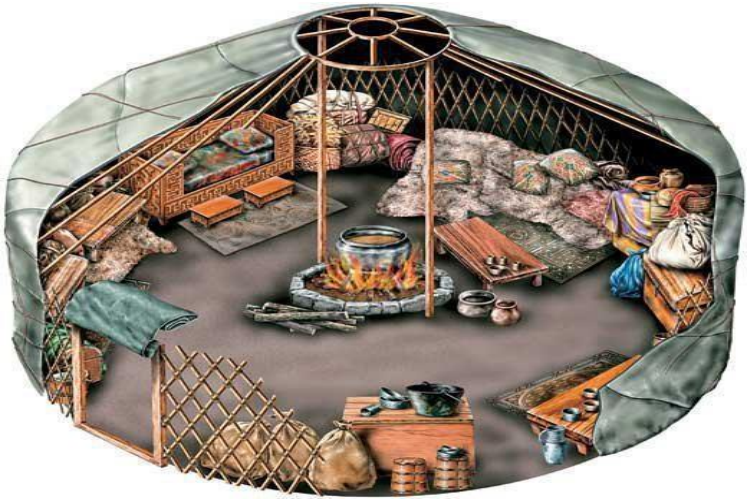


Slika 3: Replika šatora od drva i životinjskih koža iz doba paleolitika

(Izvor: http://static.panoramio.com/photos/large/31132135.jpg (20.04.2015))

Kako je od takvih materijala bila izrađena i odjeća koja ih je štitila od hladnoće, primjenjivali su iste materijale pri izgradnji nastambi.

Pokrov privremenih nastambi od kože kasnije zamjenjuju razna ručno tkana platna od vune, konoplje i lana često impregnirani životinjskim mastima ili voskom. Najpoznatiji sačuvani primjerci nastambi građenih od životinskih krzna, koža i su laponske kote u Finskoj, natambe slične šatorima i prekrivene sobovskim krznom koji finske nomade štite od temperatura koje padaju do -40 °C. Sačuvani primjerci nastabi od tkanina su indijanski šatori odnosno tipiji u SAD-u, i mongolske jurte u Aziji (Slika 4). Obije vrste su izrađene od drvene konstrukcije preko koje je razapeto platno od vune, u nekoliko slojeva. Kao i finske kote, štitili su od niskih temperatura zimi, ali i od visokih temperatura tokom ljeta.



Slika 4: Konstrukcija mongolske jurte

(Izvor: https://www.pinterest.com/pin/214906213444188254 (21.08.2015))

Stabilniji objekti počinju se graditi otprilike prije 15 000 godina, kada se ljudi iz nomadskog načina života stacioniraju i formiraju manje zajednice i plemena i najčešće u blizini pitke vode počinju graditi sojenice izrađene od drveta, granja i lišća, dok se razvojem poljodjelstva i stočarstva počinju graditi čvrste nastambe od kamena, gline i zemlje. Toplinska izolacija pada u drugi plan dok se prioritet stavlja na stabilnost objekta i razvoj unutarnjeg ložišta za zagrijavanje prostora. Na području Rimskog carstva u prvom stoljeću počinje se s upotrebom pluta kao izolacijom krovne konstrukcije, dok se na području današnje Španjolske kora pluta koristi kao zidna obloga. Kasnije, tokom

srednjeg vijeka, stanovnici sjeverne Europe grade kuće sa slamnatim krovnim pokrovom debljine do 150 cm, kao zaštitu od hladnih zima (Slika 5). Upotrebljavaju se i materijali poput trske, lišća i slame kao obloga zidova i krovišta, često miješani s glinom kako bi se povezali i nanijeli na kamene, ciglene i drvene zidove i krovišta.



Slika 5: Srednjovjekovna kuća sa slamnatim krovnim pokrovom

(Izvor: http://www.shelterpub.com/_blog/hangleton%20cottage.jpg (21.08.2015))

Industrijskom revolucijom u 19. stoljeću započinje se s ozbiljnom primjenom i proizvodnjom izolacijskih materijala. Sve do tada, objekti su se gradili po iskustvenom načelu, s dugogodišnjim graditeljima na čelu izgradnje svih većih građevinskih pothvata. Po prvi puta se zgrade počinju graditi na temelju projektiranja i izračuna nosivosti samih konstrukcija, kao i proračuna ostalih fizikalnih svojstava zgrade. Također, počinje se s upotrebom novih materijala kao što su željezo, staklo, pečena opeka i beton. Prilikom upotrebe tih materijala dolazilo bi do različitog širenja materijala prilikom promjena temperature, te je bilo nužno zaštititi dijelove konstrukcije od naglih temperaturnih promjena. Industrijskom revolucijom dolazi i do nagle potrošnje energenata, samim time i porastom njihovih cijena, te se toplinska izolacija počinje primjenjivati i u ekonomskom kontekstu, kako bi se smanjila potrošnja drveta i ugljena u samim industrijskim pogonima ali i stambenim zgradama.

Sustavi za zagrijavanje i ventilaciju stambenih prostora naglo se razvijaju 1880-ih godina. Proračuni toplinskih gubitaka i dobitaka postaju ključan problem za građevinske i strojarske inženjere, te se znanost o fizikalnim svojstvima zgrade i izolacijskih materijala razvija paralelno s upotrebom.

Jedni od prvih izolacijskih materijala proizvedenih u komercijalnoj proizvodnji su razni paneli i plaštevi izrađeni od pluta, slame, celuloze, piljevine, konoplje ili ovčje vune stlačeni između dva sloja tvrdog papira ili ljepenke i pomiješani s adhezivom (Slika 6). Prednosti ovakvih izolacija su njihova dobra izolacijska svojstva, neškodljivost po zdravlje, pristupačnost i biološka razgradivost kod odlaganja. S druge stranje, nisu otporne na vlagu, zapaljive su, postoji sklonost razmnožavanja kukaca i nametnika unutar takvih izolacija te ih je potrebno tretirati insekticidima i fungicidima.



Slika 6: Izolacijske ploče od prirodnih materijala

(Izvor:http://www.zelena-gradnja.hr/proizvodi/eko-toplinska-izolacija(13.06.2015))

Iako su u drugoj polovici 20-og stoljeća uvelike zamijenjene mineralnim i polimernim izolacijskim materijalima, početkom 21-og stoljeća se ponovno vraćaju u upotrebu kao ekološki prihvatljivi materijali koji se mogu proizvoditi recikliranjem postojećih materijala ili se za njihovu proizvodnju koristi nusprodukt i/ili otpadni materijal druge industrije (drvna, tekstilna industrija ...).

3.2. Umjetno proizvedeni izolacijski materijali

Krajem 19-og i početkom 20-g stoljeća počinje proizvodnja i korištenje umjetnih termoizolacijskih materijala. Jedan od prvih umjetno stvorenih termoizolacijskih materijala bila je kamena vuna. Prirodna mineralna vuna je materijal koji prirodno nastaje vulkanskim djelovanjem, kada vruće pare naglo ekspandiraju iz lave i ostavljaju za sobom fina porozna mineralna vlakna slična vuni. Umjetni proces stvaranja kamene vune osmislio je američki kemičar Charles Corydon 1895. godine[2]. Kamena vuna se proizvodi zagrijavanjem vapnenca i bazalta u posebnim pećima na temperaturi od 1500-1600 °C, zatim se taljeni materijal pomoću rotacije oblikuje u tanke dugačke niti kojima se dodaje vezivni materijal (fenol-formaldehidna smola, uljna emulzija) koji osigurava njihovu stabilnost[3]. Kamena vuna je materijal koji je zbog svoje neškodljivosti, vatrootpornosti i dobrih izolacijskih svojstava u širokoj upotrebi i danas te zauzima gotovo polovicu tržišta izolacijskih materijala (Slika 7).



Slika 7: Kamena vuna i proizvodi od kamene vune

(Izvor:http://www.bygma.dk/images/Produktbilleder/Rockwool-p.jpg(13.08.2015))

[2] Bozsaky, D.:"The historical development of thermal insulation materials", Periodica Polytechnica-Architecture , 2011

3 Džepni priručnik – Sve o izolaciji, Ursa Insulation, Madrid, 2009

Staklena vuna, kao materijal vrlo sličan kamenoj vuni pojavio se 1938 godine. Izrađuje se miješanjem vapnenca, dolomita i recikliranog stakla (udio od 50-60%) zagrijavanjem na visokim temperaturama (1400-1500 °C) te brizganjem otopljene smjese kroz sitne brizgalice pri visokoj temperaturi u mlaznoj komori. Materijal se potom oblaže vezivom (fenol-formaldehidna smola) i oblikuje u blokove i panele (Slika 8). Sličnih je izolacijskih svojstava kao i kamena vuna, no zbog svojih škodljivih svojstava (iritacija kože, očiju i dišnog sustava) je sve rjeđe u upotrebi i zbog zdravstvenih rizika zabranjena velikom broju zemalja diljem svijeta.



Slika 8: Staklena vuna i proizvodi od staklene vune

(Izvor:http://www.scg-trading.com/upload/images/product/Glass-Wool-Blanket.jpg13.08.2015)

Još jedan izolacijski materijal na bazi stakla je i pjenasto staklo (eng. Foamglass), proizveden prvi puta 1930. godine u SAD-u. Metoda je usavršena do 1940. godine od strane američkog tehnologa Williama Lytlea te se 1943. godine kreće u komercijalnu proizvodnju. Proizvodnja pjenastog stakla se vrši miješanjem sitno mjevenog stakla i agensa za pjenjenje (cink oksid, boraks, kalcijev karbonat) te zagrijavanjem na temperature taljenje stakla. Kada staklo postane tekuće, agens prelazi iz krutog u plinovito stanje stvarajući pritom zračne mjehuriće u staklu, koji stvrdnjavanjem stakla ostaju zarobljeni. Pjenasto staklo ima vrlo dobar toplinski otpor, otporno je na vrlo visoke teperature, vodu, klimatske uvjete, utjecaj kemikalija , ima veliku nosivost i vrlo malu težinu (Slika 9).



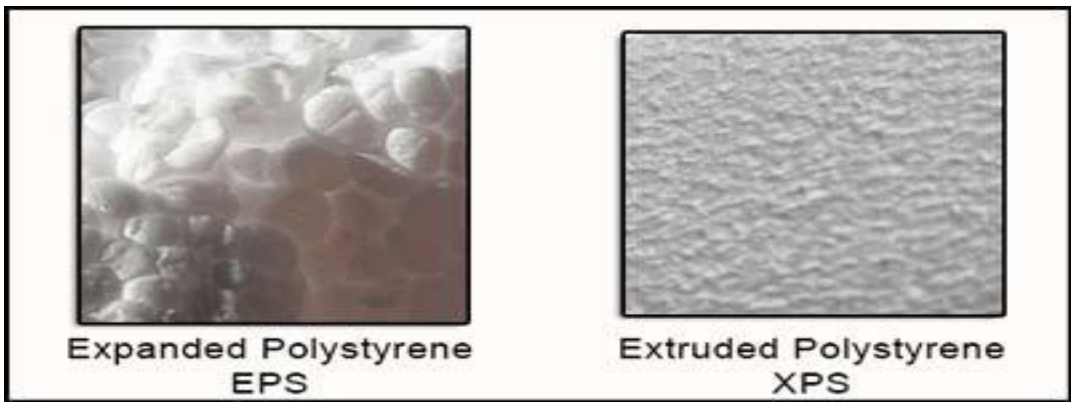
Slika 9: Pjenasto staklo i proizvodi od pjenastog stakla

(Izvor:http://en.foam-glass.net/imageRepository/b14fbb1f-718c-40b9-9540-2920cb20b18b.jpg (13.08.2015))

Velika revolucija u proizvodnji izolacijskih materijala započinje 1940-ih i 1950-ih godina pojavom prvih polimernih pjena (polistireni i poliuretani). Iako je proizvodnja polimernih materijala započela još početkom 20-og stoljeća (proizvodnja bakelita 1907. godine) te svoju ekspanziju doživjela 1930-ih godina (vinil kloridi, najlon, polistiren, PVC), tek je 1941. godine inženjer Otis Ray McIntire u tvornici Dow Chemical Company razvio proizvodnju ekstrudiranog polistirena (XPS). Zagrijavajući granule polistirena na 200 °C dodajući mješavini klorometan (agens za pjenjenje) i protiskujući smjesu kroz brizgalicu uspio je dobiti ploče od ekstrudiranog polistirena sa 98 %-tnom zatvorenom strukturom ćelija. Usavršen proizvod stavljen je na tržište pod komercijalnim nazivom “Styrofoam®” , na našim prostorima poznat kao stirodur. 1950. godine inženjeri u njemačkoj tvornici IG Farbenindustrie AG razvijaju još jedan oblik proizvodnje polistirenske pjene. Koristeći pentan kao agens za pjenjenje granule polistirena se zagrijavaju pomoću pare, te povećanjem temperature ekspandiraju u kuglice koji povećaju volumen do 50 puta. Prilikom ekspanzije unutar kuglica se stvara ćelijasta zatvorena struktura čime se poprimaju izvrsna termoizolacijska svojstva. Kako bi se zasebne kuglice povezale u upotrebljive blokove i ploče lijevaju se u kalupe te

se ponovno izlažu vodenoj pari. Pentan na površini se ponovno otapa te se kuglice međusobno povezuju, bez dodavanja veziva, čime se dobijaju blokovi ekspandiranog polistirena (EPS).

Prvi ovakav proizvod pušten je na komercijalno tržište 1951. godine pod komercijalnim nazivom “Styropor®”, kako je općepoznat i danas. Ekspandirani polistiren (XPS) i ekstrudirani polistires (EPS) su u suštini isti materijal, kod kojih je razlika u samom procesu izrade. Kod ekspandiranog polistirena (EPS) se između povezanim kuglica nalaze sitne zračne šupljine , što kod ekstrudiranog polistirena (XPS) nije slučaj, čime on postiže nešto bolja izolacijska svojstva (Slika 10). S druge strane je ekstrudirani polistiren (XPS) ima veću zbijenost ćelija a time veću gustoću i dosta veću čvrstoću.



Slika 10: Ćelijasta struktura ekspandiranog polistirena i ekstrudiranog polistirena

(Izvor: http://www.fisherboards.com/wp-content/uploads/2014/07/eps-xps.jpg(13.08.2015))

Izumom procesa poliadicije, kao treće metode proizvodnje umjetnih polimera, 1933. godine inženjeri Reginald Gibson i Eric Fawcet su reakcijom etilena i benzaldehida pod visokom temperaturom i tlakom uspjeli dobiti polietilen. Koristeći njihovu metodu, njemački inženjer Otto Bayer stvorio je 1937. godine poliuretan (PUR). Poliuretanska pjena koristila se za vrijeme Drugog svjetskog rata u avioindustriji, dok je komercijalnu upotrebu doživjela 1951. godine u obliku blokova i panela za izolaciju. Velika prednost poliuretanske pjene je u tome što je moguće primjenjivati je kao ispunu i

brtvljenje različitih elemenata konstrukcije, budući da se može u tekućem obliku transportirati u bocama i spremnicima, a brizgati i zapunjavati njome na samom gradilištu. Iako se proizvodi i u gotovim pločama, upotreba je znatno manja zbog veće upotrebe ekspandiranog i ekstrudiranog polistirena.

Nakon 1950-ih godina tržište preplavljuju nove vrste toplinske izolacije s polimernom bazom. Neke od tih novih izolacija su također bile polimerne pjene, tako da su poliesterna pjena (PES) i polietilenska pjena (PE) proizvedene 1950-ih. Fenolna (PF) i formaldehidna (UH) pjena su se pojavile 1970-ih, a melaminska (ME) pjena 1990-ih godina.[4] Razvoj termoizolacijski materijala se nastavio do danas, i na tržištu se stalno pojavljuju novi tipovi izolacija kao što su nanoćelijaste izolacije, vakumski izolacijski paneli i Aerogel® (Slika 11).



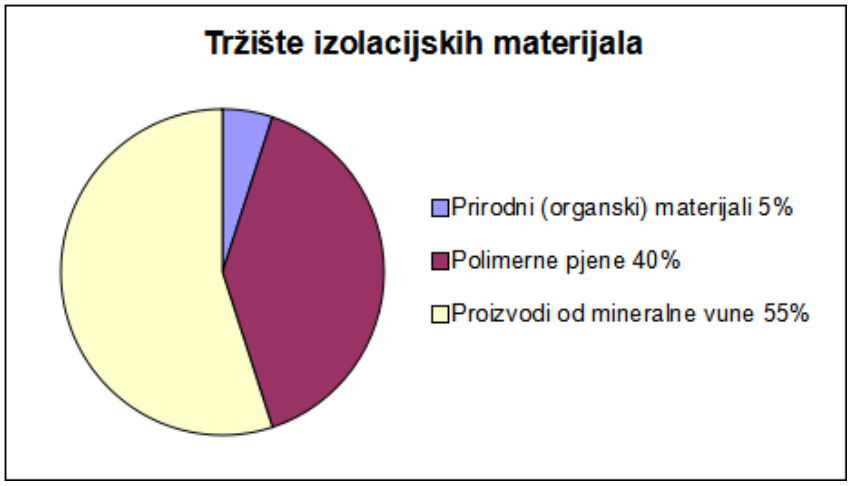
Slika 11: Blok Aerogel® izolacije

(Izvor: http://makezine.com/wp-content/uploads/2012/02/aerogel-example.jpg(13.08.2015))

Umjetno proizvedeni termoizolacijski materijali zauzimaju najveći udio tržišta izolacijskih materijala danas. U samom sektoru zgradarstva, najveći

[4] Bozsaky, D.:"The historical development of thermal insulation materials", Periodica Polytechnica-Architecture , 2011

udio izolacija koje se upotrebljavaju u gradnji su proizvodi od mineralne vune , te polimerne pjene (slika 12).



Slika 12: Raspodjela tržišta po proizvodnji i upotrebi različitih izolacijskih materijala

(Izradio: Autor)

Jedan mali udio tržišta uzimaju i prirodni izolacijski materijali, te se unazad 10 godina primjećuje trend porasta proizvodnje i upotrebe takvih izolacija.

3.3. Građevni elementi kao toplinski izolatori

Prve čvrste građevine građene su od kamena, drveta i granja sa zemljanim pokrovom, odnosno materijalima koji su bili lako dostupni u prirodi. Budući da je zbog čvrstoće zemljana konstrukcija bila veće debljine, ujedno je pružala dobru toplinsku zaštitu od klimatskih uvijeta. Debela zemljana stijenka je zbog gustoće stvarala termičku barijeru, te su se promjene temperature unutrašnjosti polako mijenjale, što je omogućilo dugoročno zadržavanje topline nakon zagrijavanja prostora. Najstarije sačuvane zemljane nastambe pronađene su u Škotskoj (Slika 13), datiraju iz 3000 god. pr. n.e., izgrađene su od kamena i zemlje, s debelim travnatim krovnim pokrovom[5] Slične nastambe su građene u Rusiji, Grenlandu, Skandinaviji, Islandu i Aljasci, i pružale su dobru zaštitu od oštrih klimatskih uvjeta na sjeveru.

[5] Bozsaky, D.:"The historical development of thermal insulation materials", Periodica Polytechnica-Architecture, 2011



Slika 13: Otok Orkney , Škotska, naselje iz doba neolitika

(Izvor: http://www.wondermondo.com/Images/Europe/UK/Orkney/SkaraBrae.jpg (05.05.2015))

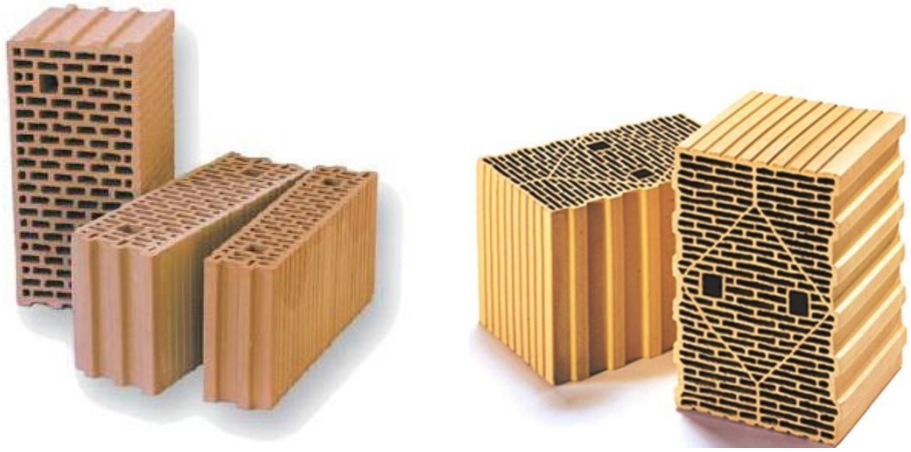
Ovakav način gradnje zadržati će se do otkrića proizvodnje opeke od sušene zemlje. Čerpić, ili sušena opeka je građevni materijal dobiven miješanjem blata, pijeska i organskog materijala kao što su slama, životinjski izmet, trina i slično, te drvenim kalupima oblikovan u blokove i sušen na suncu (Slika 14). Proizvodnja i korištenje čerpića seže otprilike 2000 g.pr.n.e. na području Mezopotamije i Egipta gdje je korišten kao građevinski materijal za kuće i svjetovne objekte ali i za veće objekte poput hramova i palača. Kao kompozitni materijal pokazao se superiornim zbog svoje brze i jednostavne proizvodnje i dobrih građevnih svojstava, modularnog oblika koji je omogućavao lakšu i bržu izgradnju ali i zbog svojih izolacijskih svojstava. Iako je slama u sušenoj cigli imala ulogu da materijal drži kompaktnim i sprječava pucanje tijekom sušenja i ugradnje, ujedno je činila materijal poroznim i lakšim što mu je davalo dodatno svojstvo veće otpornosti prolaska topline u odnosu na kamen i zbijenu glinu. Sušena opeka korištena je kroz povijest u gotovo svim dijelovima svijeta, te je u određenim dijelovima svijeta upotrebi do danas.



Slika 14: Sušena cigla;čerpić

(Izvor:http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Milyanfan-adobe-bricks-8038.jpg(05.05.2015))

Opeka je građevinski materijal koji se koristi i danas, s tim da se kroz povijest mijenjala i prilagođavala, od izuma pečene opeke do standardizacije dimenzija i proizvodnje standardnih tipskih opekarskih elemenata. Krajem 19. stoljeća javljaju se prvi pokušaji da se opeka olakša i da joj se poboljšaju termoizolacijska svojstva stvaranjem šupljina unutar opekarskog elementa. Prvi pokušaji su podbacili budući da je dobivena opeka imala znatno slabiju nosivost dok su termoizolacijska svojstva bila mnogo manja od očekivanih. Tek je početkom 20-og stoljeća proizvodnja šuplje opeke poboljšana i na tržištu se javljaju različiti tipovi šuplje opeke. Razvoj se nastavio do danas i proizvodnja šupljih opekarskih blokova je usavršena. Na tržištu nalazi veliki broj opekarskih blokova koji zbog svoje čvrstoće u velikoj mjeri zadovoljavaju kriterije nosivosti, dok s druge strane, zbog svoje strukture zatvorenih ćelija ispunjavaju i zadane termoizolacijske kriterije (Slika 15).



Slika 15: Raličite vrste šuplje blok opeke

(Izvor:https://www.google.hr/search?q=porotherm&espv (05.10.2015))

Švedski arkitekt, Johan Axel Eriksson započeo je istraživanje u potrazi za novim građevinskim materijalom. 1923. Godine patentirao je metodu proizvodnje aeriranog betona tj. porobetona, miješajući vapno, metalni prah, mljeveni uljni škriljac s vodom. Vapno u reakciji s vodom i metalnim prahom stvara kemijsku reakciju stvarajući mjehuriće zraka u smjesi, koje prilikom vezivanja u kalupima pod visokim tlakom i temperaturom ostaju zarobljeni, stvarajući tako vrlo poroznu strukturu. 1928, godine August Carlen počinje komercijalnu proizvodnju ovih blokova pod komercijalnim nazivom "YTONG®". Danas se blokovi od porobetona proizvode miješanjem kalcitnog vapna, gipsa, kvarcnog pijeska i aluminijskog praha kao agensom za pjenjenje. Vapno u reakciji s vodom stvara gašeno vapno (kalcij hidroksid), koje u reakciji s aluminijskim prahom stvara vodik koji pjeni, odnosno aerira mješavinu. Prilikom pjenjenja u smjesi se stvaraju mjehurići promjera do 2mm. Smjesa se zatim lijeva u posebne kalupe, autoklave, gdje stvrdnjava pod visokim pritiskom (8-12 bara) i visokom temperaturom (170-190 °C)[6].

Porobeton ispunjava zahtijeve visoke nosivosti, ima vrlo dobra termoizolacijska, zvučno-izolacijska svojstva te je kao materijal vatrootporan.

[6] Bozsaky, D.:"The historical development of thermal insulation materials", Periodica Polytechnica-Architecture , 2011

Također, ne sadrži štetne spojeve, neškodljiv je za okoliš, te se može reciklirati. S druge strane, zbog svoje poroznosti potrebno ga je kvalitetno hidroizolirati, budući da ima visoku upojnost i tendenciju stvaranja plijesni i gljivica. Iako je zbog svojih karakteristika odličan materijal za izgradnju i rekonstrukciju zgrada (Slika 16), zbog svoje visoke cijene nije strekao veliku popularnost na našim prostorima.



Slika 16: Obiteljska kuća u cijelosti izgrađena od porobetonskih elemenata

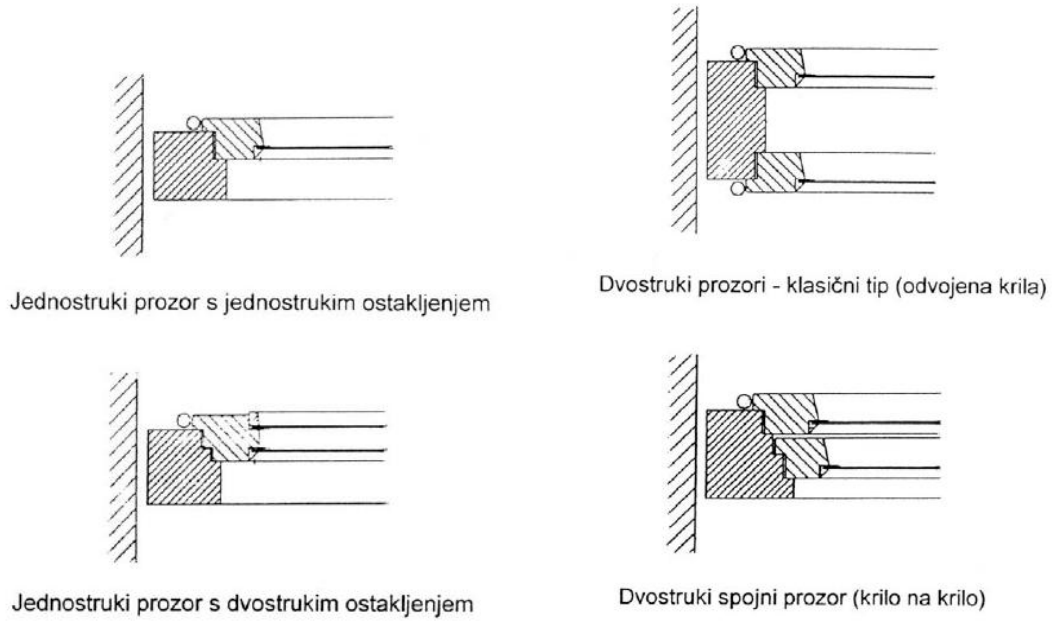
(Izvor: http://www.novotek.co/uploadfile/2014/0828/20140828034140749.jpg (05.10.2015))

Prozori su građevinski elementi zgrade koji služe za propuštanje svjetlosti u prostor te provjetravanje prostora. Budući da su to dijelovi konstrukcije koji predstavljaju vrlo tanku barijeru između unutarnjeg i vanjskog prostora,veliki gubici topline kroz njih su neizbježni. Prva prozorska okna korištena su za provjetravanje prostora i prodor svjetlosti u prostor, a predstavljala su samo otvor u zidu. Prvenstveno su se otvori zatvarali pomoću životinskih koža ili tkanina, da bi se kasnije razvojem tehnologije obrade drva koristili prozori od drveta, s krilima koja su se mogla otvarati i zatvarati prema

želji. Kako bi se omogućio prodor svjetlosti u prozor, a pritom smanjio gubitak topline otvaranjem, u prozore se počinju umetati prozirni materijali kao što su prešani komadi rogova životinja, komadi prirodnog stakla ili tanke ploče mramora. Korištenje stakla u izradi prozora započeto je u Rimskome Carstvu, na području današnjeg Egipta gdje se u prozore umeću ploče lijevanog stakla, uglavnog malih dimenzija i velike debljine. Razvojem proizvodnje stakla ploče postaju sve tanje i sve većih dimenzija, tako da su ostakljeni prostori bili dostupni široj javnosti početkom 17-og stoljeća. Materijal za izradu prozora i vrata je do danas ostalo drvo, koje ima dobra izolacijska svojstva, no, problem koji se javlja je brtvljenje staklene površine s drvenom konstrukcijom, brtvljenje samog prozorskog krila s doprozornikom i velik gubitak topline kroz samo staklo. Problem brtvljenja se s vremenom rješava uporabom smjese za zaptivanje, dok se samo brtvljenje prozorskog krila s doprozornikom umetanjem fleksibilnih brtvi na spojeve (guma, neopren, silikon...). Kako bi se riješio gubitak topline kroz staklo, izrađuju se prozori s dvostukim prozorskim krilima, a kasnije i s dvostrukim ostakljenjem (slika 17). Prema broju krila, prozori se dijele na:

1. Jednostruke prozore
    a) S jednostukim ostakljenjem
    b) S dvostrukim ostakljenjem
2. Dvostruke prozore
    a) Klasični tip
    b) Spojni tip[7]

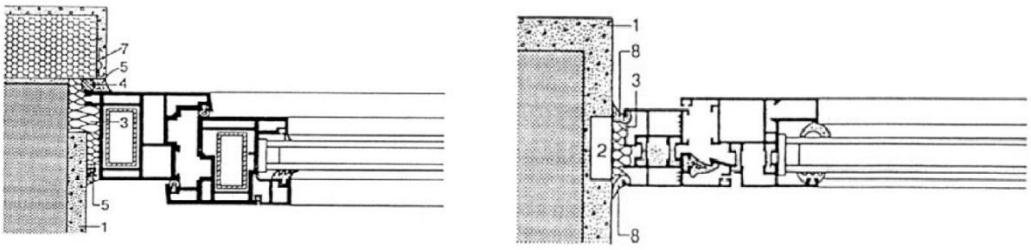
[7] Veršić Z.; Tehnička regulativa gradnje. Prozori i stakla, Tehničko veleučilište Zagreb, Graditeljski odjel 2014



Slika 17: Različiti tipovi izvedbe drvenog prozora

(Izvor: Veršić Z.;Tehnička regulativa gradnje. Prozori i stakla,Tehničko veleučilište Zagreb,Graditeljski odjel, 2014 (05.10.2015))

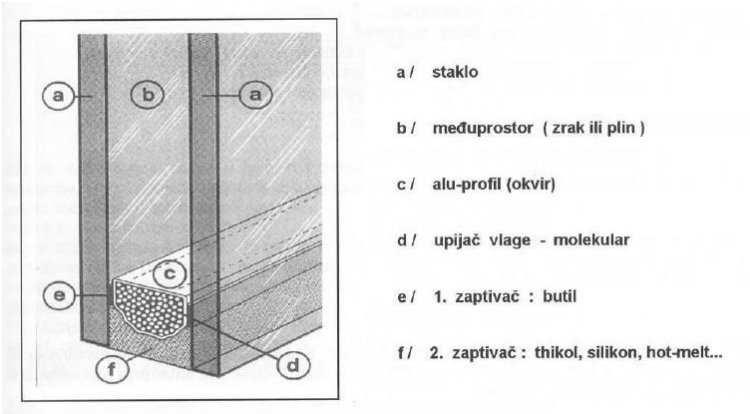
Prozori izrađeni od plastičnih masa pojavili su se na tržištu krajem druge polovice 20-og stoljeća. Potreba za uvođenjem novih materijala u izradi građevinske stolarije javlja se zbog ekonomičnih razloga, te potrebe za smanjenjem potrošnje drvnog materijala. U početku se prozori od plastičnih masa izrađuju od stakloplastičnih kompozita, da bi se nakon nekog vremena polivinilklorid (PVC) ustalio kao material za izradu. Aluminijski i PVC prozori izrađuju je od profila koji se sastoje od nekoliko zatvorenih komora, kako bi se dobila zatvorena ćelijasa struktura i time postigla zadovoljavajuća mehanička, toplinska i akustična svojstva (Slika 18). Kod aluminijskih profila , poseban problem predstavlja visoka toplinska vodljivost samog aluminija, te se iz tog razloga profili izrađuju iz dva zasebna dijela s prekinutim toplinskim mostom.



Slika 18: Prozor od PVC-a (lijevo) i aluminijski prozor (desno)

(Izvor: Veršić Z.;Tehnička regulativa gradnje. Prozori i stakla,Tehničko veleučilište Zagreb,Graditeljski odjel, 2014 (05.10.2015))

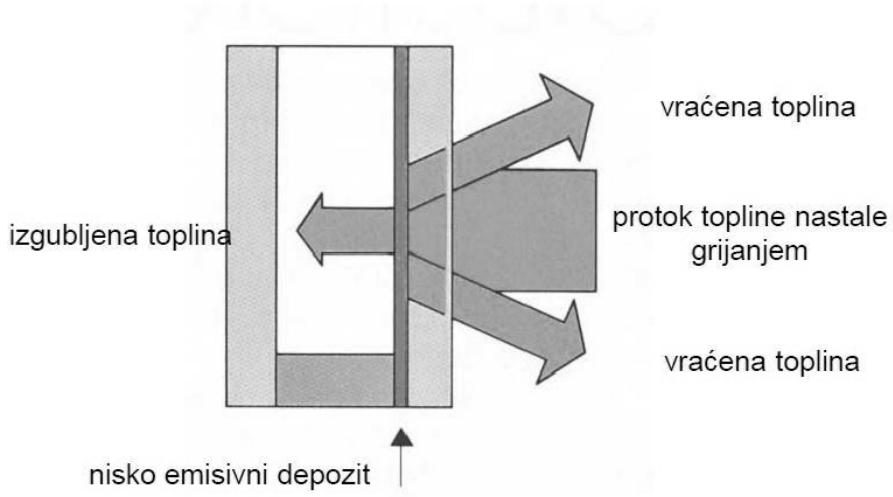
Najveći potencijali imaju kombinacije nekoliko različitih materijala, kako bi se postigla maksimalna učikovitovitost. Najčešće se upotrebljavaju kombinacije aluminija i drva (aluminij s vanjske, drvo s unutarnje strane), aluminij i PVC (povećana mehanička i termoizolacijska svojstva), te drvo u kobinaciji s polimernim premazima (otpornost na vremenske uvijete). Također, komore profila se ispunjavaju polimernim pjenama kako bi se dodatno smanjili toplinski gubici kroz okvir prozora. Staklena konstrukcija, koja je kritični dio prozora,koja čini oko 80 % površine prozora i kroz koji nastaju najveći toplinski gubici izvedena je kao izo staklo.



Slika 19: Konstrukcija izo stakla

(Izvor: Veršić Z.;Tehnička regulativa gradnje. Prozori i stakla,Tehničko veleučilište Zagreb,Graditeljski odjel, 2014 (05.10.2015))

Izo staklo je staklena konstrukcija sastavljena od dvije ili više staklenih ploha, odvojenim međuprostorom, koji je hermetički zatvoren i ispunjen zrakom ili plinom. Ovakva konstrukcija predstavlja zatvoren ćelijast sustav čija su termoizolacijska svojstva gotovo dvostuko bolja od jednostrukog stakla. Kako bi se dodatno poboljšala termoizolacijska svojstva izo stakla, međuprostor se ispunjava inertnim plinovima kao što su kripton, argon, ksenon ili sumpor-heksaflourid (SF_6), čija su toplinske i akustične vodljivosti gotovo dvostruko manje od zraka. Kako bi se dodatno smanjili toplinski gubici kroz staklenu površinu, na staklo se deponira posebno tanak sloj željeznog oksida, čime se dobiva staklo niske emisije, takozvano LOW-E staklo.



Slika 20: Smanjenje toplinskih gubitaka djelovanjem LOW-E stakla

(Izvor: Veršić Z.;Tehnička regulativa gradnje. Prozori i stakla,Tehničko veleučilište Zagreb,Graditeljski odjel, 2014 (05.10.2015))

Depozit željeznog oksida ima ulogu da stvori propusni sloj za infracrveni spektar svjetla izvana, dok s druge strane reflektira dio infracrvenog zračenja iz unutrašnjeg prostora, zadržavajući tako dio topline u prostoru (Slika 20).

4. FIZIKALNA SVOJSTVA TOPLINE

Toplina (Q) je dio unutarnje energija tijela (U) koja prelazi sa tijela (sustava) više temperature na tijela (sustav) niže temperature . Toplinu je prvi definirao njemački fizičar Rudolf Julius Emenuel Clausius kao kinetičku energiju čestica tvari. Unutarnja energija tijela (U) je ukupna količina potencijalne i kinetičke energije svih molekularnih čestica tijela (sustava). Točnu količinu kinetičke energije svih atomskih čestica unutar nekog tijela moguće je izračunati samo teoretski (u slučaju idealnog plina), pa se promjene unutarnje energije promatraju promjenama na makroskopsoj razini, u međudjelovanju tijela s njegovom okolinom. Temperatura (T) je fizikalna veličina kojom se izražava toplinsko stanje nekog tijela u zavisnosti s njegovom okolinom i ovisi o tome koliko unutarnje energije sadrži tijelo određene mase i tlaka. Tijelo koje ima višu temeraturu (ΔT>0) od okoline ima i više unutarnje energije ili topline . Toplina prelazi sa tijela više temperature na tijelo niže temperature dok se dvije temperature ne izjednače, odnosno, dok ne dođe do termodinamičke ili toplinske ravnoteže (ΔT=0). Kemijske reakcije koje vežu toplinu iz okoline jesu endotermne reakcije, a reakcije kod kojih se toplina oslobađa i prenosi na okolinu jesu egzotermne reakcije [8]

Toplina je oblik energije, te je mjerna jedinica topline džul (J), dok se kao ekvivalentne jedinice smatraju njutnmetar (Nm) i wat sekunda (Ws). Na temenju navedenog slijedi da je 1kWh energije ekvivalentan energiji od 3,6 MJ[9]. Unutarnja toplinska energija tijela na određenoj temperaturi zavisna je o masi tijela, specifičnom toplinskom kapacitetu materijala i temperaturi tijela (1).

$$Q = m \cdot c \cdot T \ [J] \tag{1}$$

[8] https://hr.wikipedia.org/wiki/Toplina

[9] Plesić S.; Prijelaz topline - Predavanja iz Fizike ,Fakultet elektronike i računarstva, Zagreb, 2013

gdje su:

Q – toplinska energija tijela [J];

M – masa tijela [kg];

T – temperatura tijela [K].

Količina topline koju je nekom tijelu potrebno dovesti da bi se temperatura povisila za jedan stupanj ovisi o toplinskom kapacitetu materijala. Toplinski kapacitet definiran je omjerom topline (Q) koju tijelo izmjenjuje s okolinom i promjenom temperature tijela (∆T). Mjerna jedinica je džul po kelvinu (J/K), (2).

$$c = \frac{Q}{\Delta T}\ [J/K] \tag{2}$$

gdje su:

c – toplinska kapacitet [J/K];

Q – količina izmijenjene topline [J];

ΔT – promjena temperatura tijela [K].

Kod plinova se toplinski kapaciteti određuju kao specifični toplinski kapaciteti pri stalnom tlaku ili stalnom volumenu, budući da promjenom topline kod plinova mijenja volumen ili tlak. Kod tekućina i krutih tvari se toplinski kapacitet (c_p) odnosi na masu tvari i određuje koliko je topline potrebno dovesti kilogramu materijala da bi se njegova temperatura povisila za jedan stupanj[10], (3).

$$c_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}\ [J/kgK] \tag{3}$$

gdje su:

c_p– specifični toplinski kapacitet materijala[J/kgK];

Q – količina izmijenjene topline [J];

m – masa materijala [kg];

ΔT – promjena temperatura tijela [K].

[10] Plesić S.; Prijelaz topline - Predavanja iz Fizike ,Fakultet elektronike i računarstva, Zagreb, 2013

Mjerna jedinica specifičnog toplinskog kapaciteta krutih tvari je džul po kilogram kelvinu (J/kg K). Voda je jedan od materijala koji imaju relativno visok toplinski kapacitet je (c_p=4,1813 kJ/kg K), te se iz tog razloga koristi kao medij za prijenos topline u ili skladištenje topline. Specifični toplinski kapaciteti ovise o građi i strukturi materijala, te su različiti za svaki pojedini materijal (Tablica 1).

Tablica 1: Specifični toplinski kapacitet materijala

Tvar	c/(kJ/kg K)	Tvar	c/(kJ/kg K)
alkohol	2,4	platina	0,12
aluminij	0,9	srebro	0,23
bakar	0,39	staklo	0,8
cink	0,39	voda	4,19
led	2,1	željezo	0,45
olovo	0,13	živa	0,14

(Izvor: „Priprema za predavanja iz Fizike 1“,dr.sc.S.Plesić,FER Zagreb, (18.08.2016))

Kod građevinskih materijala specifični toplinski kapacitet materijala (Tablica 2) ima važnost kod akumulacije topline prilikom zagrijavanja prostora zimi. Materijali s visokim toplinskim kapacitetom kroz razdoblje grijanja danju imaju svojstvo akumulacije topline koju potom predaje prostoru u noćnom periodu, kada je sustav grijanja isključen ili radi u fazi dogrijavanja. Na taj način se osigurava stabilna temperatura u prostoru i sprječavaju nagle teperaturne razlike u prekidima grijanja.

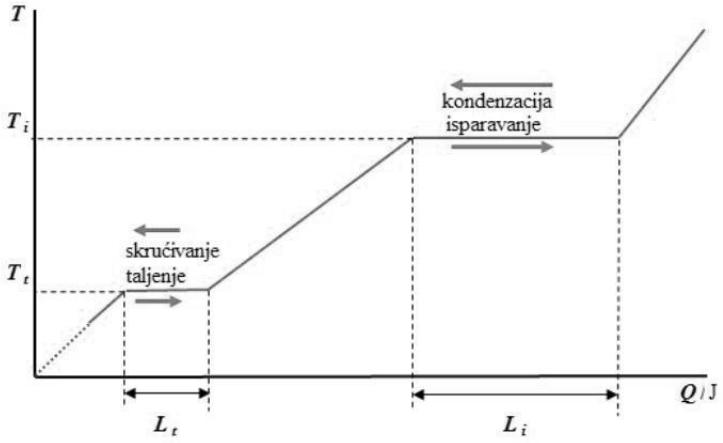
Tablica 2: Specifični toplinski kapaciteti nekig građevinskih materijala

Materijal	Gustoća (kg/m^3)	C_p(kJ/kgK)
Čelik	7800 kg/m^3	460 J/kgK
Aluminij	2700 kg/m^3	880 J/kgK
Beton	2500 kg/m^3	100 J/kgK
Puna opeka	1800 kg/m^3	900 J/kgK
Gipskartonske ploče	900 kg/m^3	900 J/kgK
Drvo (jelovina)	350-750 kg/m^3	1400 J/kgK
Eksp.polistiren (XPS)	15-30 kg/m^3	1450 J/kgK

(Izradio: Autor)

Toplina koju materijal predaje ili prima iz okoline pritom uzrokujući promjenu temperature naziva se osjetna toplina. Prilikom promjene agregatnog stanja tvari, toplina koju tijelo primi ili preda okolini ne uzrokuje promjenu temperature već se utroši na promjenu agregatnog stanja , odnosno faze (Slika 21). Toplinu koju tvar utroši na promjenu agregatnog stanja po jedinici mase naziva se latentna toplina. S obzirom na tip prijelaza faza razlikuju se ti vrste latentne topline:

- Toplina isparavanja/kondenzacije - toplina izmijenjena pri prijelazu tvari iz tekućeg u plinovito stanje i obrnuto
- Toplina taljenja/skrutnjavanja - toplina izmijenjena pri prijelazu iz krutog u tekuće stanje i obrnuto
- Toplina kristalizacije/reklistalizacije - toplina izmijenjena pri prijelazu iz amorfnog stanja u kristalično i obrnuto[11]



Slika 21: Graf ovisnosti temperature o primljenoj toplini

(Izvor: Keindl R.; Nove generacije toplinsko izolacijskih materijala, Tehničko veleučilište Zagreb, Zagreb (24.08.2016))

[11] Keindl R.; Nove generacije toplinsko izolacijskih materijala, Tehničko veleučilište Zagreb, Zagreb 2011

Latentna toplina materijala ovisi masi i specifičnoj energiji promjene faze materijala (4).

$$Q_L = q_s \cdot m \, [J] \tag{4}$$

gdje su:

Q_L– latentna toplina [J];

q_s– specifični energija promjene faze[J/kg];

m – masa materijala [kg];

Specifična energija promjene faze definira količinu topline koju tvar preuzima ili predaje prilikom promjene agregatnog stanja po jedinici mase. Mjerna jedinica je J/kg. Ukoliko pri promjeni temperature materijal prolazi kroz promjenu agregatnog stanja, latentna toplina je uz osjetnu toplinu dio ukupne topline koju tijelo prima ili predaje okolišu[12] (5).

$$Q_U = Q_{os} + Q_l = c_p \cdot m \cdot \Delta T + q_s \cdot m \, [J] \tag{5}$$

gdje su:

Q_U – ukupna izmijenjena toplina [J];

Q_{os} – osjetna izmijenjena toplina [J];

Q_l – latentna izmijenjena toplina [J];

Građevinski materijali imaju vrlo visoke temperature taljenja i izloženi su relativno malim temperaturnim promjenama, te latentna toplina nije bitan element kod samog izračuna toplinskih dobitaka i gubitaka budući da ne dolazi do faznih promjena u materijalu. Kako je latentna toplina dio ukupne topline koju materijali mogu uskladištiti ili predati okolini, materijali koji imaju mogućnost pohrane velikih količina latentne topline prikladi su za upotrebu kao spremnici topline.

[12] Biluš M.; Suvremeni i noviji/alternativni sustavi toplinske izolacije zgrada, Arhitektonski fakultet u Zagrebu, Zagreb, 2013

4.1. Prijenos topline

Prijenos topline je proces kojim se toplina prenosi unutar tvari, prenosi s jednog tijela na drugo ili prenosi s tijela na okolinu. Uvijet za odvijanje procesa vođenja topline je temperaturna razlika, odnosno toplinska neravnoteža. Prijenos topline se može vršiti na tri načina:

1. Vođenje ili kondukcija topline: način prijenosa topline koji se u najvećem broju slučajeva odvija u krutim tvarima. Materijal kroz koji se toplina prenosi sastavljen je od čestica koje imaju stabilnu strukturu, te se prijenos energije vrši prijenosom kinetičkih energija vibracija molekula ili gibanjem slobodnih elektrona. Kod povećanja temperature jednog dijela krutog tijela molekule zbog prijema energije počinju brže titrati (slobodni elektroni se brže gibaju kod metala) te se kinetička energija širi kroz tijelo dok se ne izjednači u svim česticama tijela.

2. Strujanje ili konvekcija topline: način prijenosa topline čiji se mehanizam razlikuje od kondukcije, budući da je za prijenos topline bitno kretanje čestica u materijalu, odnosno, prijenos tvari. Konvekcija topline se javlja kod fluida (tekućine i plinovi) iz razloga što se molekule u fluidima slobodno kreću prostorom, te se energija prenosi kinetičkim gibanjem čestica. U praksi se najčešće razmatra prijenos topline prilikom analize prijenosa topline s krutih tvari na fluide koji struje uz njih.

3. Zračenje ili radijacija topline: Svako tijelo zrači u okoliš elektromagnetno zračenje male valne duljine (infracrvene zrake) čija energija i spektar ovise o temperaturi tijela.[13] Zračenje topline važno je za prijenos topline među tijelima koje imaju velike temperaturne razlike te tijelima koja među kojima ne postoji tvar kojom bi se toplina prenosila. Konkretno se ovdje misli na prijenos topline u svemirskim uvjetima gdje se toplina Sunca prenosi zračenjem na Zemlju.

[13] Plesić S.; Prijelaz topline - Predavanja iz Fizike ,Fakultet elektronike i računarstva, Zagreb, 2013

Elektromagnetno zračenje uzrokuje pobudu u molekulama tvari, uzrokujući povećanje kinetičke energije čestica materijala i porast temperature.

U realnim uvjetima sve tri ili samo dvije vrste prijenosa topline djeluju paralelno. U zgradarstvu se odvijaju sve tri vrste prijenosa topline, budući da je zgrada izložena zračenju Sunca, toplina iz unutarnjeg prostora se prenosi vođenjem kroz konstrukciju zgrade prema vani, a strujanje zraka uz oplošje zgrade prenosi toplinu konstrukcije na okolni zrak. Kod energetskih sustava za grijanje, hlađenje i pripremu tople vode, strujanje fluida vrši prijenos topline od izvora topline (kotlovnica) u ostale prostore zgrade. Kako ovaj rad obrađuje temu gubitaka energije kroz samu konstrukciju zgrade, vrste prijenosa topline koji su važni su prijenos vođenjem (gubici topline kroz konstrukciju) i prijenos topline zračenjem (dobici topline kroz ostakljene otvore).

4.2. Toplinska vodljivost i toplinski otpor

Toplinska vodljivost je fizikalna veličina koja opisuje prolazak topline kroz tvari u zavisnosti o vremenu, strukturi tvari, gustoći, vlažnosti i temperaturi. Toplinska vodljivost jednaka je količini topline koja prolazi kroz jedinicu površine, u jedinici vremena, pri stalnim uvjetima, da bi se temperatura smanjila za jedan stupanj po jedinici puta prolaza topline (6).

$$\lambda = \frac{Q \cdot l}{A \cdot t \cdot \Delta T} \ [W/mK] \qquad (6)$$

gdje su:

Q- toplina (Ws);

l- duljina materijala koji provodi toplinu (m);

A- površina presjeka materijala okomita na prolaz topline(m^2);

Δt- vrijeme provođenja topline(s);

ΔT- razlika u temperaturi na krajevima materijala (K). [14]

[14] Labinac V.; Osnove fizike IV, Filozofski fakultet Rijeka,Odsjek za fiziku, Rijeka, 2006

Mjerna jedinica za toplinsku vodljivost je W/mK. Koeficijent toplinske vodljivosti materijala izračunava se eksperimentalno, u laboratorijskim uvjetima, tako da svaki materijal ima svoj specifični koeficijent toplinske vodljivosti (Tablica 3).

Tablica 3: Specifični koeficijenti toplinske vodljivosti nekih materijala

Materijal	Koeficijent toplinske vodljivosti λ (W/mK)
Zrak	0,025
Voda	0,6
Beton	1,7
Staklo	1,1
Čelik	12,1-45,0
Mineralna vuna	0,043
Ekspandirani polistiren (XPS)	0,035
Guma	0,16
Drvo	0,040

(Izradio: Autor)

Koeficijent toplinske vodljivost definira svojstvo provođenja topline materijala. Što je koeficijent niži, to je materijal bolji toplinski izolator, odnosno, materijali s visokim koeficijentom toplinske vodljivost su dobri vodiči topline.

Koeficijent prolaska topline (U) definira količinu topline koju materijal gubi po kvadratnom metru površine, pri razlici temperature od jednog stupnja (W/m^2K) po sekundi (7). Kod građevinskih konstrukcija i materijala, koeficijent prolaska topline najbitnija je karakteristika materijala pri analizi toplinskih gubitaka zgrade. Materijali i konstrukcije koji imaju mali koeficijent prolaska topline dobri su toplinski izolatori, te se njihovim korištenjem u gradnji smanjuju potrebe energije za grijanjem i hlađenjem u daljnjoj eksploataciji objekta.

$$U = \frac{\lambda \cdot A}{\Delta l} = \frac{\lambda \cdot A}{d} \ [W/m^2K] \qquad (7)$$

gdje su:

λ - koeficijent toplinske vodljivosti (W/mK)

A - površina materijala okomita na smijer prolaska topline (m^2)

Δl - udaljenost između krajeva materijala kroz koji se toplina prenosi, odnosno, debljina stijenke (m). [15]

Mjerna jedinica je W/m^2K. Vrijednost suprotna koeficijentu prolaska topline je toplinski otpor (8):

$$R_T = \frac{1}{U} = \frac{\Delta l}{\lambda \cdot A} = \frac{d}{\lambda \cdot A}\ [m^2K/W] \tag{8}$$

Toplinski otpor koristi u proračunu kod prolaska topline kroz višeslojnu konstrukciju, gdje različiti materijali s različitim debljinama imaju drugačije koeficijente prolaska topline, te se različiti toplinski otpori zbrajajaju kako bi se dobio ekvivalentni toplinski otpor (9).

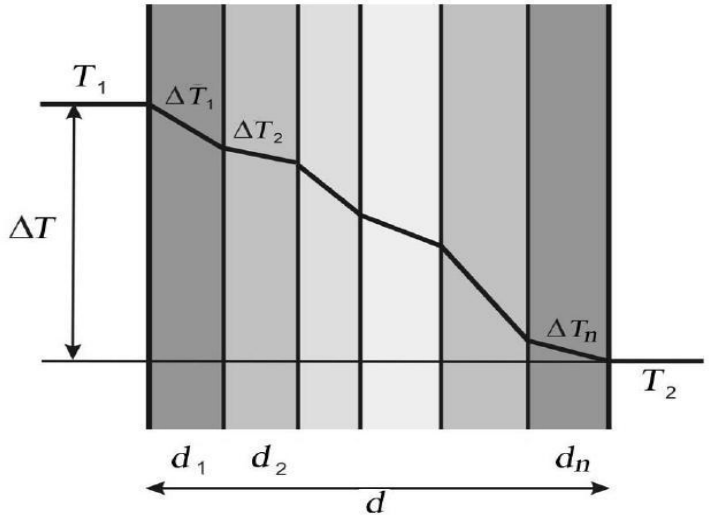
$$R_{T,ekv} = R_{T1} + R_{T2} + \cdots R_{Tn}$$
$$= \frac{d_1}{\lambda_1 \cdot A_1} + \frac{d_2}{\lambda_2 \cdot A_2} + \cdots \frac{d_n}{\lambda_n \cdot A_n}\ [m^2K/W] \tag{9}$$

Gubitak topline kroz ravnu stijenku materijala ovisi o temperaturnoj razlici na dvjema stranama, površini plohe okomite na smijer prolaska topline, te toplinskom otporu materijala, odnosno, ekvivalentnom toplinskom otporu kod višeslojne konstrukcije (10).

$$Q_p = \lambda A \frac{T_1 - T_2}{d} = \frac{\Delta T}{\left(\frac{d}{\lambda A}\right)} = \frac{\Delta T}{R_T}\ [kWh] \tag{10}$$

Kod višeslojnih konstrukcija, zbog različitih koeficijenata toplinske vodljivosti pojedinih slojeva, promjena temperature pri prolasku topline kroz slojeve ne teče linearno (Slika 21).

[15] Labinac V.; Osnove fizike IV, Filozofski fakultet Rijeka,Odsjek za fiziku, Rijeka, 2006



Slika 22: Pad temperature kroz višeslojnu konstrukciju

(Izvor: Plesić S.; Prijelaz topline - Predavanja iz Fizike ,Fakultet elektronike i računarstva, Zagreb, 2013 (10.09.2016))

Promjene temperature kroz različite slojeve daju jasnu sliku o tome gdje se toplina brže širi kroz konstrukciju, te je u tom slučaju jasno da slojevi kod kojih nema većih promjena temperature brže provode toplinu, odnosno, toplinski otpor im je malen a koeficijent toplinske vodljivosti visok. Izrada grafikona s temperaturnim promjenama u slojevima bitan je dio proračuna difuzije vodene pare, jer je potrebno konstrukciju projektirati tako da se para kondenzira u vanjskom prostoru, kako bi se uklonila mogućnost pojave plijesni i gljivica u prostoru u kojem se živi. Temperaturne promjene u slojevima računaju se po formuli (11).

$$\Delta T_1 = Q_p \frac{d_1}{\lambda_1 A_1} \, , \Delta T_2 = Q_p \frac{d_2}{\lambda_2 2} \, , \Delta T_n = Q_p \frac{d_n}{\lambda_n A_n} \, [K] \qquad (11)$$

Zbrajanjem svih temperaturnih razlika dobija se ukupna temperaturna razlika između krajeva konstrukcije[16], (12).

$$\Delta T = T_1 - T_2 = \frac{Q_p}{A} \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{\lambda_i} \, [K] \qquad (12)$$

[16] Plesić S.; Prijelaz topline - Predavanja iz Fizike ,Fakultet elektronike i računarstva, Zagreb, 2013

Kako bi se proračunala godišnja potrebna energija objekta za grijanje i hlađenja prostora potrebno je izračunati koeficijente prolaska topline svih građevnih elemenata koji su u dodiru s vanjskim zrakom ili s negrijanim prostorom preko kojeg neposredno gube toplinu. Gubici topline kroz građevne dijelove zgrade nazivaju se još i transmisijski gubici topline. Ukupne energetske godišnje potrebe zgrade suma su transmisijskih gubitaka topline zgrade, gubitaka topline provjetravanjem, unutarnjih dobitaka topline (uređaji i ljudi koji borave u zgradi) i solarnih dobitaka topline.

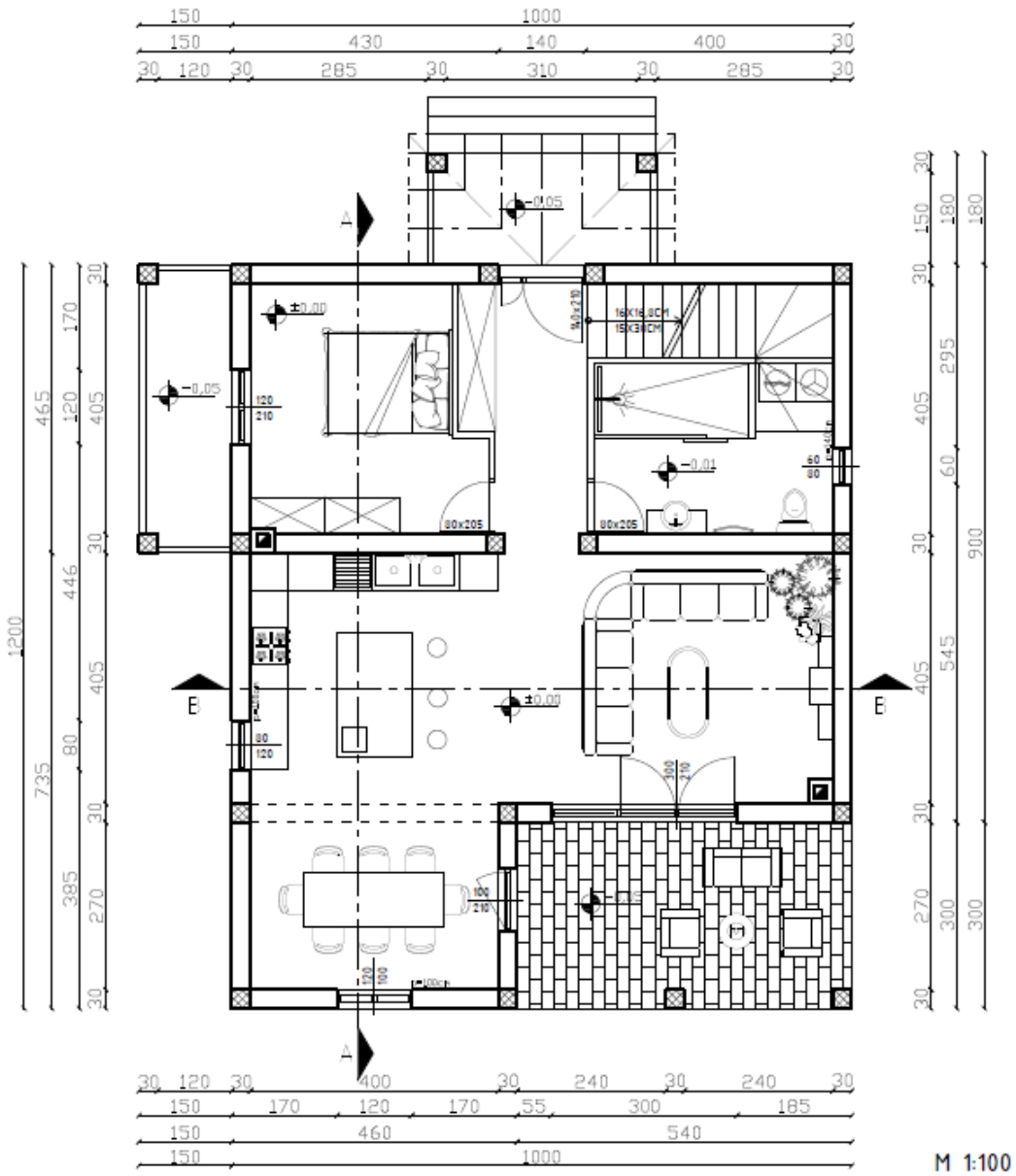
5. POTROŠNJA ENERGIJE U ZGRADI

Potrošnja energije za grijanje i hlađenje prostora individualna je za svaku pojedinu zgradu, te je zbog toga i proračun energetskih potreba zgrade različit za svaki pojedini objekat. Izrada energetskog pregleda i energetskog certifikata zgrade daje realnu sliku o potrošnji energenata svrstavajući objekt u određeni razred energetske učinkovitosti. Kako bi se izračunale ukupne godišnje potrebe energije za grijanje i hlađenje, te utjecaj toplinske izolacije na te potrebe, izraditi će se izračun godišnje potrebe energije i energetski certifikat za jednu stambenu zgradu na području grada Pule. Obiteljske kuće čine 65% stambenog fonda u Hrvatskoj koji je odgovoran za 40% od ukupne potrošnje energije na nacionalnoj razini. Najviše obiteljskih kuća u Hrvatskoj je izgrađeno prije 1987. godine te nemaju gotovo nikakvu ili samo minimalnu toplinsku izolaciju (energetski razred E i lošiji)[17]. Iz tog razloga će se za primjer uzeti samostojeća obiteljska kuća, budući da je takav objekat najnepovoljniji po pitanju godišnje potrošnje energije. Izračun će se vršiti u računalnom programu „KI Expert Plus“, čiji je algoritam izračuna izrađen u skladu s *HRN EN ISO 13790* normom za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade.

[17] http://www.fzoeu.hr/hr/energetska_ucinkovitost/enu_u_zgradarstvu/energetska_obnova_obiteljskih_kuca/

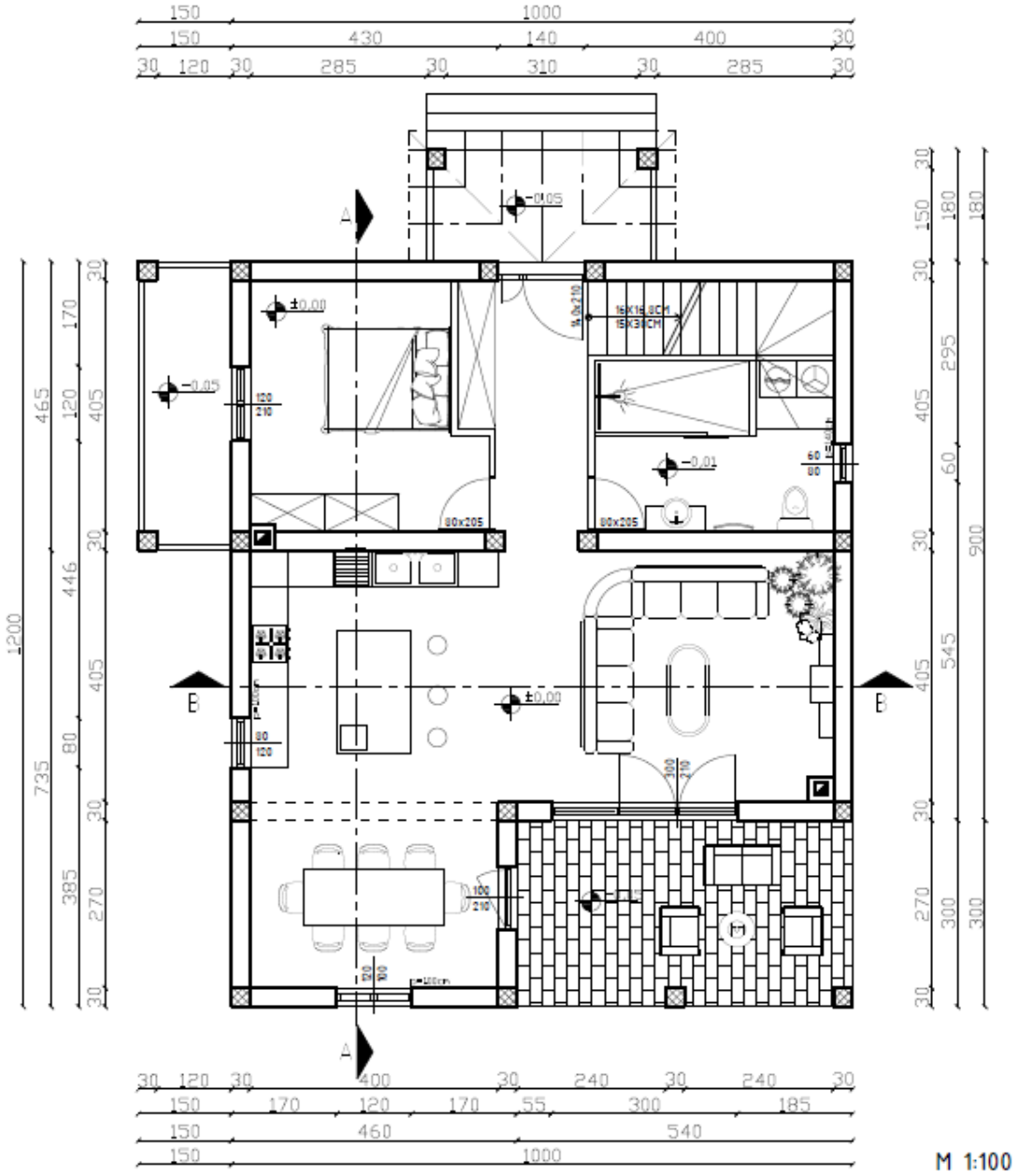
5.1. Tehnički opis zgrade

Predmet analize je idejni projekt obiteljske kuće izgrađene 1988. godine na području grada Pule. Obiteljska kuća je izgrađena kao samostojeći objekt s prizemljem, jednom etažom (P+1) i negrijanim tavanskim prostorom, pravokutnog je oblika, s najvećim vanjskim dimenzijama 12,00 m x 9,00 m i visine 7,28 m od najniže kote terena do sljemena krova. Orjentacija objekta je u smijeru sjever-jug, s natkrivenim ulazom sa sjeverne strane, netkrivenom terasom na jugu te s natkrivenim balkonima na zapadu. Ukupna bruto površina kuće je 193,80 m^2, od čega je 103,80 m^2 bruto površina prizemlja a 90,00 m^2 površina etaže. Neto korisna površina kuće iznosi 158,07 m^2, od čega je 87,23 m^2 površine prizemlja a 70,84 m^2 površine kata. Promatrana zgrada je izgrađena od šupljih opekarskih blokova, zidova debljine 30 cm s horizontalnim i vertikalnim armirano-betonskim serklažima. Međukatne konstrukcije je izvedena su kao polumontažne konstrukcije „FERT“ sustava (armiranobetonske ispune i gredice) prekrivene slojem armiranog betona debljine 6 cm. Krovišta su izrađena kao kosa drvena krovišta, s nosivom konstrukcijom od jelovih greda, podaščana jelovom daskom i prekrivena bitumenskom ljepenkom i kanalicom. Kosi krov tavana nema nikakvu izolaciju dok kosi krov prizemlja između drvenih greda ima postavljenu toplinsku izolaciju u obliku ploča od kamene vune, debljine 5 cm. Kuća je iznutra i izvana ožbukana vapneno-cementnim mortom u debljini od 2 cm. Instalacije struje, vode i grijanja su izvedene podžbukno, te je objekat priključen na komunalnu infrastukturu. Tlocrt prizemlja (Nacrt 1), tlocrt kata (Nacrt 2), presjeci kroz objekat (Nacrt 3), i pročelja objekta (Nacrt 4 i Nacrt 5) prikazani su u nastavku rada.



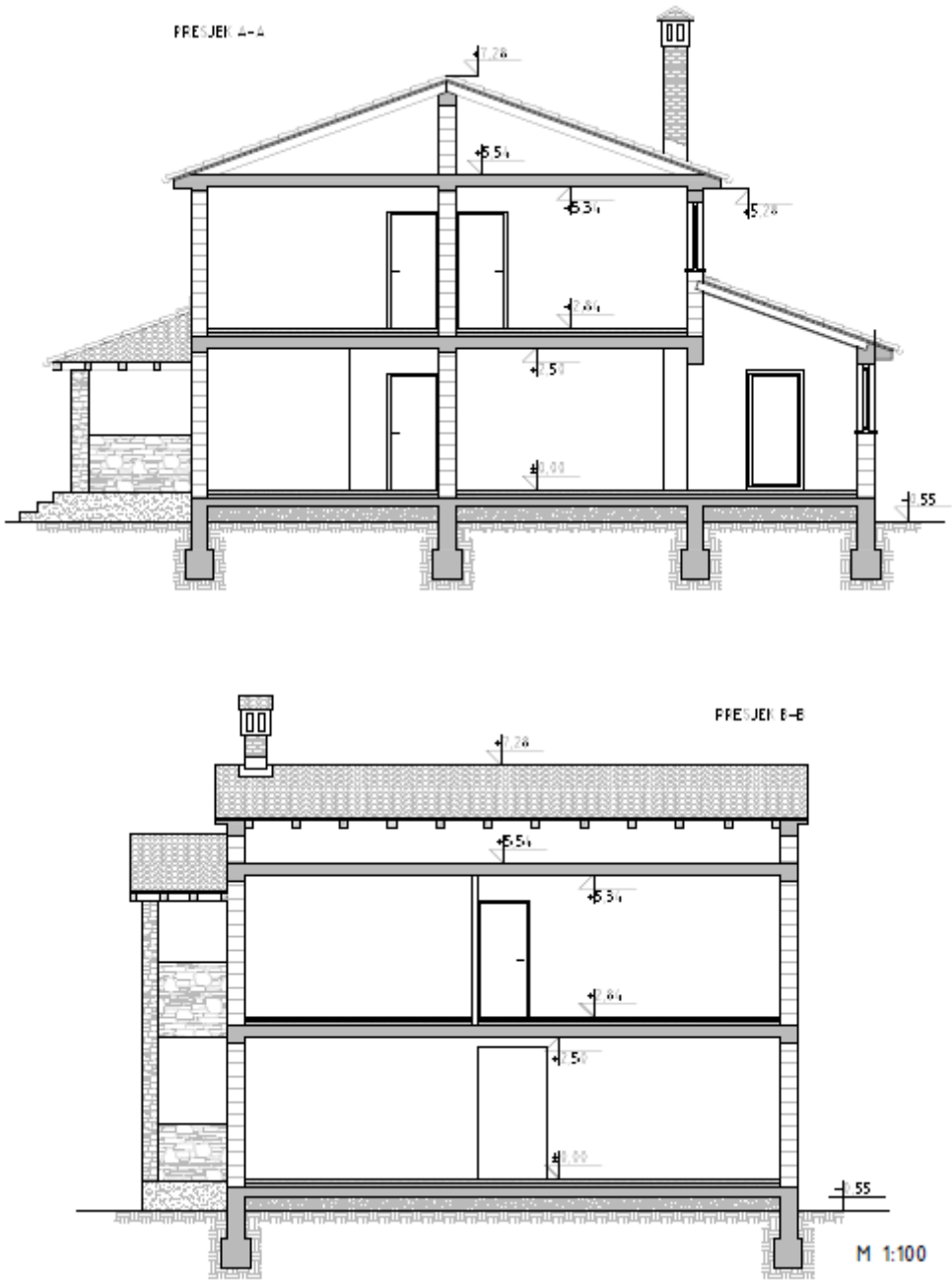
Nacrt 1: Tlocrt prizemlja

(Izradio: Autor)



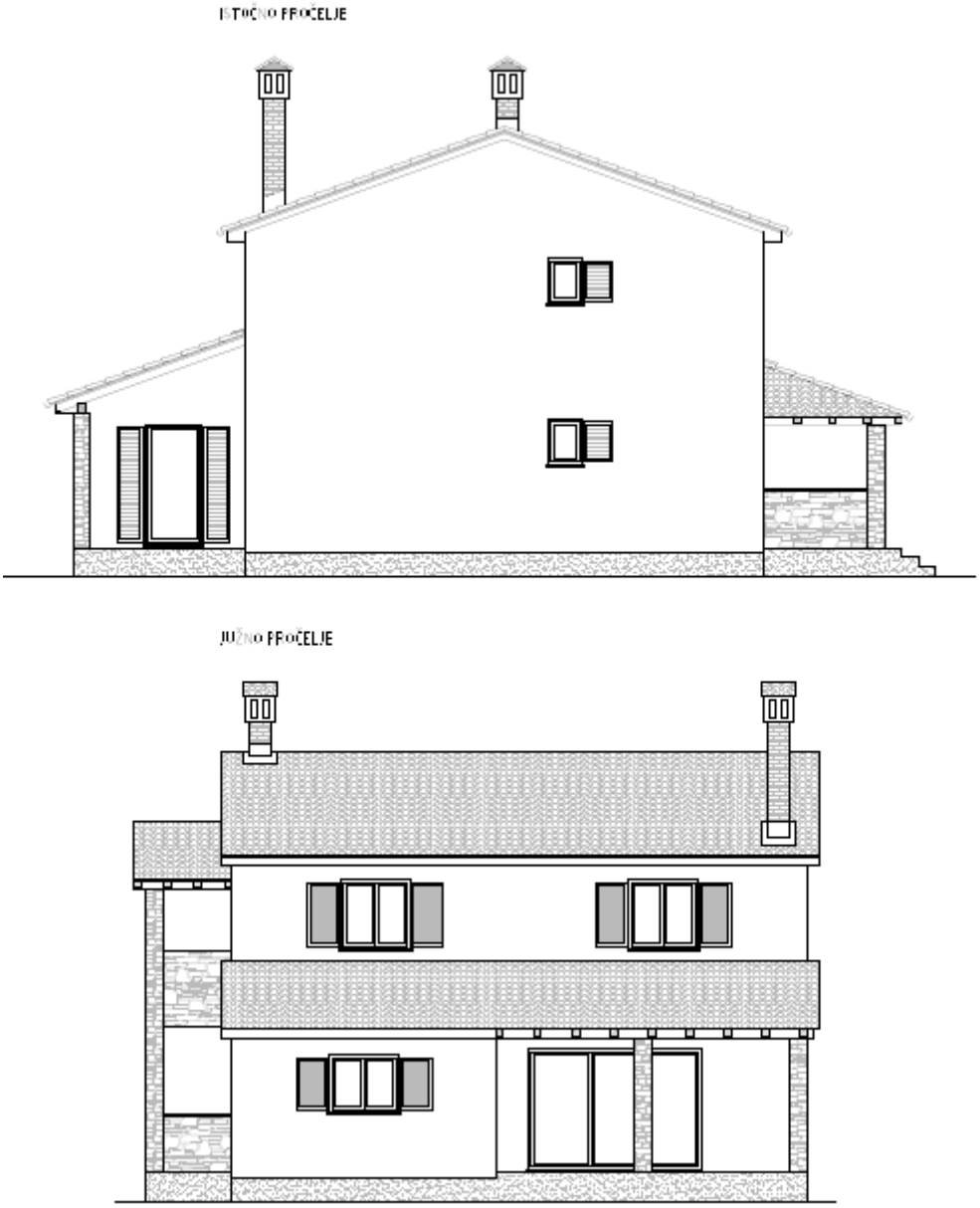
Nacrt 2: Tlocrt kata

(Izradio: Autor)



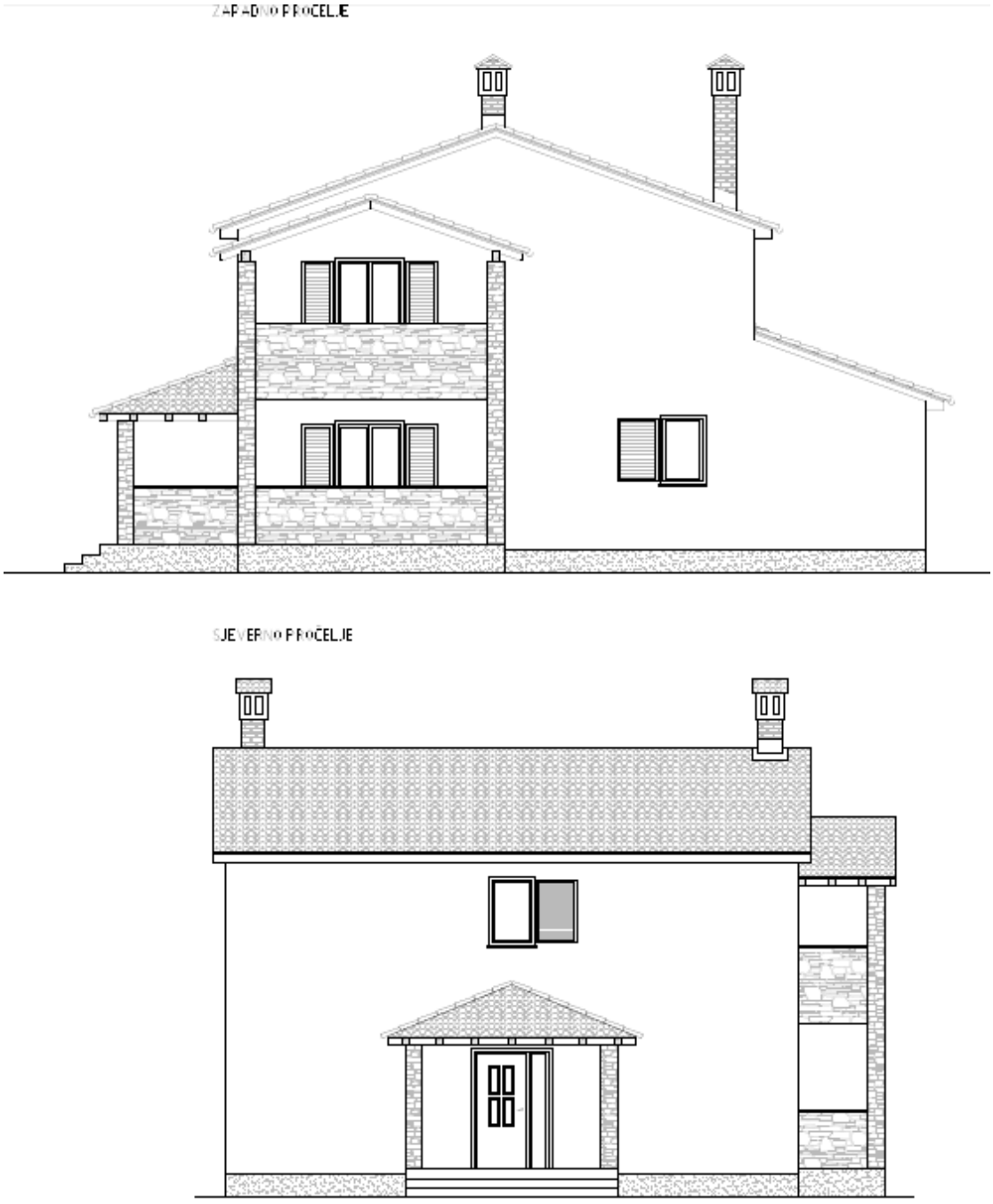
Nacrt 3: Presjeci

(Izradio: Autor)



Nacrt 4: Istočno i južno pročelje

(Izradio: Autor)



Nacrt 5: Zapadno i sjeverno pročelje

(Izradio: Autor)

Obiteljska kuća s dvije etaže i stambenom površinom od približno 200 m^2 bruto povrine izabrana je iz razloga što je 70-ih i 80-ih godina prošlog stoljeća postojao određen trend gradnje obiteljskih etažnih kuća razmjerno velike površine. Iako nisu sve takve kuće bile građene kao kuće sa jednom stambenom jedinicom (kao što je ovdje primjer), već su često u istoj kući bila smještena dva stana, cjelokupna zgrada se priključivala na jedno brojilo struje i vode, te je grijanje često izvedeno kao centralno, s mogućnošću isključenja kruga grijanja za jedan stan. Predmetnu kuću se također može promatrati i kao dvije stambene jedinice, gdje dva kućanstva snose zajedničke troškove grijanja i hlađenja objekta.

5.2. Fizikalne karakteristike zgrade

Fizikalne karakteristike zgrade direktno utječu na transmisijske gubitke topline u periodu grijanja, te je prvi korak u izračunu godišnje potrebne energije za grijanje analiza koeficijenata prolaska topline za sve konstruktivne elemente kroz koje se toplina gubi u okolni prostor. Osnovne dimenzijske karakteristike zgrade prikazane su u sljedećoj tablici (Tablica 4).

Tablica 4: Osnovne dimenzijske karakteristike zgrade

Potrebni podaci	**Zona 1**
Oplošje grijanog dijela zgrade – A [m^2]	431,39
Obujam grijanog dijela zgrade – V_e [m^3]	541,66
Obujam grijanog zraka – V [m^3]	411,66
Faktor oblika zgrade - f_0 [m^{-1}]	0,80
Ploština korisne površine – A_K [m^2]	158,07
Ukupna ploština pročelja – A_{uk} [m^2]	237,59
Ukupna ploština prozora – A_{wuk} [m^2]	23,34

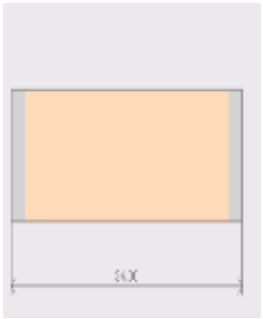
(Izradio: Autor)

Za građevne dijelove kroz koje se gubi toplina izračunavaju se osnovne dimenzijske karakteristike, te se pomoću koeficijenata toplinske vodljivosti (λ) slojeva izračunava koeficijent vođenja topline građevnog dijela (U).

5.2.1. Vanjski zidovi

Vanski zidovi su najveći element građevine preko kojih se toplina gubi, budući da su na obiteljskoj kući element koji ima najveću površinu. Izrađeni su od opečnih šupljih blokova, debljine 30 cm, s horizontalnim i vertikalnim armirano-betonskim serklažima, zidani vapneno-cementnim mortom i s obje strane ožbukani vepneno-cementnim mortom debljine 2 cm. Budući da osim samih šupljina u blok opeci ne postoji nikakva druga toplinska izolacija zidova, koeficijent prolaska topline im je visok, te su transmisijski gubici kroz zidove visoki. Koeficijent prolaska topline kroz vanjske zidove prikazan je u sljedećoj tablici (Tablica 5).

Tablica 5: Sastav, fizikalne karakteristike i koeficijent prolaska topline vanjskih zidova

Opći podaci o građevnom dijelu									
	**A_{gd} [m**	**A_I**	**A_Z**	**A_S**	**A_J**	**A_{SI}**	**A_{SZ}**	**A_{JI}**	**A_{JZ}**
	199,53	56,16	53,22	45,96	44,19	0,00	0,00	0,00	0,00
	Toplinska zaštita:			**U_{pros} [W/m^2 K] = 1,19 ≤ 0,45**			**NE ZADOVOLJAVA**		
	Površinska vlažnost: (Rizik okruženja s plijesni $\phi_{Si} \leq 0,8$)			fRsi = 0,48 ≤ 0,70			ZADOVOLJAVA		
	Unutarnja kondenzacija:			$\Sigma M_{a,god}$ = 0,00			ZADOVOLJAVA		
	Dinamičke karakteristike:			402,00 ≥ 100 kg/m^2 U = 1,19 ≤ 0,45			**NE ZADOVOLJAVA**		

	Slojevi građevnog dijela u smjeru toplinskog	**d[cm]**	**ρ[kg/m^3]**	**λ[W/mK]**	**R[m^2**
1	3.03 Vapneno-cementna žbuka	2,000	1800,00	1,000	0,020
2	1.08 Šuplji blokovi od gline	30,000	1100,00	0,480	0,625
3	3.03 Vapneno-cementna žbuka	2,000	1800,00	1,000	0,020
					R_{si} = 0,127
					R_{se} = 0,050
					R_T = 0,842
U pogledu toplinske zaštite, građevni dio s **U [W/m^2 K] = 1,19**		**U = 1,19 ≥ U_{max} = 0,45**			**NE ZADOVOLJAVA**
Plošna masa građevnog dijela **402,00 [kg/m2]**		402,00 ≥ 100 kg/m^2 U = 1,19 ≤ 0,45			**NE ZADOVOLJAVA**

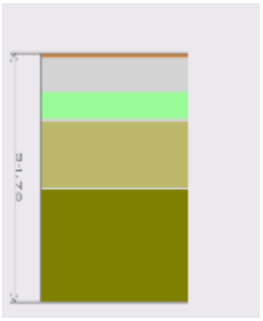
(Izradio: Autor)

Iz tablice je vidljivo da vanjski zidovi ne zadovoljavaju zahtjeve koeficijenta prolaska topline, te su element koji se moraju dodatno toplinski izolirati.

5.2.2. Pod na tlu

Pod na tlu zgrade je izveden kao armirano-betonska ploča debljine 15 cm, na nasipu od pijeska i šljunka debljine 25 cm. Na armirano-betonsku ploču zavarena je bitumenska traka, te je između dva sloja PVC folije postavljen sloj kamene vune debljine 6 cm. Preko toplinske izolacije izliven je cementni estrih debljine 6 cm na principu plivajućeg poda, te su na sloj cementnog ljepila debljine 1 cm postavljene keramičke pločice debljine 1 cm. Koeficijent prolaska topline kroz pod na tlu prikazan je u sljedećoj tablici (Tablica 6).

Tablica 6: Sastav, fizikalne karakteristike i koeficijent prolaska topline poda na tlu

Opći podaci o građevnom dijelu									
	**A_{gd} [m**	**A_{I}**	**A_{Z}**	**A_{S}**	**A_{J}**	**A_{SI}**	**A_{SZ}**	**A_{JI}**	**A_{JZ}**
	103,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Toplinska zaštita:			**U [W/m^2 K] = 0,40 ≤ 0,50**			ZADOVOLJAVA		
	Površinska vlažnost: (Rizik okruženja s plijesni $\phi_{Si} \leq 0,8$)			fRsi = 0,61 ≤ 0,90			ZADOVOLJAVA		

	Slojevi građevnog dijela u smjeru toplinskog toka	**d[cm]**	**ρ[kg/m^3]**	**λ[W/mK]**	**R[m^2 K/W]**
1	4.03 Keramičke pločice	1,000	2300,00	1,300	0,010
2	Polimerno-cementno ljepilo	1,000	1650,00	0,900	0,011
3	3.19 Cementni estrih	6,000	2000,00	1,600	0,038
4	PVC folija	0,100	1200,00	0,200	0,010
5	7.01 Mineralna vuna (MW)	6,000	10,00	0,032	1,875
6	PVC folija	0,100	1200,00	0,200	0,010
7	5.01 Bitum. traka s uloškom stakl. voala	0,500	1100,00	0,230	0,022
8	2.01 Armirani beton	15,000	2500,00	2,600	0,058
9	6.04 Pijesak, šljunak, tucanik (drobljenac)	25,000	1700,00	0,810	0,309
					R_{si} = 0,170
					R_{se} = 0,000
					R_T = 2,512
U pogledu toplinske zaštite, građevni dio s **U [W/m^2 K] = 0,40**		**U = 0,40 ≤ U_{max} = 0,50**		ZADOVOLJAVA	

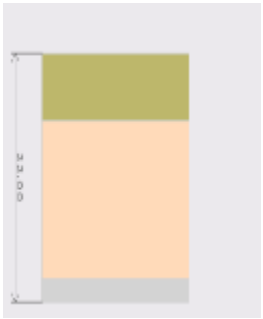
(Izradio: Autor)

Iz tablice je vidljivo da je koeficijent prolaska topline kroz pod prema tlu manji od zahtijevanog maksimalnog koeficijenta prolaska topline, odnosno udovoljava zahtjevima toplinske zaštite. Razlog tome je uzdignutost betonske ploče na šljunčanom nasipu i sloj mineralne vune koji služi kao dodatna izolacija. Kako je rekonstrukcija podova na tlu složen proces koji iziskuje veće novčane izdatke i dodatne radove, čak i u slučajevima kada koeficijent prolaska topline ne udovoljava zahtjeve toplinske zaštite, zbog neisplativosti se niti ne izvodi.

5.2.3. Strop prema negrijanom tavanu

Strop prema negrijanom tavanu izveden je kao polumontažna konstrukcija tipa „Fert“ (armirano-betonske gredice i ciglene ispune) debljine 14 cm te s armirano-betonskom pločom debljine 6 cm. Strop je s grijane strane ožbukan vapneno-cementnim mortom debljine 2 cm. Iznad stropa nalazi se negrijani tavanski prostor, koji je djelomično ventiliran zahvaljujući slabijem brtvljenju krovne konstrukcije, te je proračunu dodan i toplinski otpor negrijanog prostora R_u. Koeficijent prolaska topline kroz strop prema negrijanom prostoru prikazan je u sljedećoj tablici (Tablica 7).

Tablica 7: Sastav, fizikalne karakteristike i koeficijent prolaska topline stropa prema negrijanom tavanu

Opći podaci o građevnom dijelu									
	**A_{gd} [m**	**A_I**	**A_Z**	**A_S**	**A_J**	**A_{SI}**	**A_{SZ}**	**A_{JI}**	**A_{JZ}**
	90,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Toplinska zaštita:			**U_{pros} [W/m^2 K] = 1,47 ≤ 0,30**			**NE ZADOVOLJAVA**		
	Površinska vlažnost: (Rizik okruženja s plijesni $\phi_{Si} \leq 0,8$)			fRsi = 0,48 ≤ 0,63			ZADOVOLJAVA		
	Unutarnja kondenzacija:			$\Sigma M_{a,god}$ = 0,00			ZADOVOLJAVA		

	Slojevi građevnog dijela u smjeru	**d[cm]**	**ρ[kg/m^3]**	**λ[W/mK]**	**R[m^2]**
1	3.03 Vapneno-cementna žbuka	2,000	1800,00	1,000	0,020
2	1.08 Šuplji blokovi od gline	14,000	1100,00	0,480	0,292
3	2.01 Armirani beton	6,000	2500,00	2,600	0,023
					R_{si} = 0,097
					R_{se} = 0,050
					R_u = 0,200
					R_T = 0,681
U pogledu toplinske zaštite, građevni dio s **U [W/m^2]**		**U = 1,47 ≥ U_{max} = 0,30**		**NE ZADOVOLJAVA**	

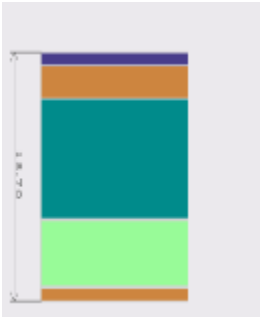
(Izradio: Autor)

Strop prema tavanu ne zadovoljava minimalne zahtjeve toplinske zaštite, konstruktivni je dio koji ima najveći koeficijent prolaska topline, te je kritičan dio zgrade koji bi trebalo toplinski izolirati ukoliko se žele smanjiti toplinski gubici u periodu grijanja.

5.2.4. Kosi krov iznad grijanog prostora

Kosi krov iznad grijanog prostora nalazi se u dijelu prizemlja iznad blagovaonice. Izrađen je kao montažni drveni krov s konstrukcijom od jelovih greda dimenzija 14 cm x 12 cm. Prostor između greda ispunjen je pločama mineralne vune debljine 5,0 cm s dekorativnim brodskim podom debljine 1 cm. Iznad sloja mineralne vune nalazi se 9 cm neventiliranog zraka, a krovna konstrukcija je podaščana jelovom daskom debljine 2,5 cm, prekrivena bitumenskom ljepenkom i prekrivena kanalicama. Krov je izrađen u nagibu od 36 %, odnosno pod kutem od 20° u odnosu na horizontalu. Koeficijent prolaska topline kroz kosi krov prikazan je u sljedećoj tablici (Tablica 5).

Tablica 8: Sastav, fizikalne karakteristike i koeficijent prolaska topline kosog krova

Opći podaci o građevnom dijelu									
	**A_{gd} [m**	**A_I**	**A_Z**	**A_S**	**A_J**	**A_{SI}**	**A_{SZ}**	**A_{JI}**	**A_{JZ}**
	14,72	0,00	0,00	0,00	14,72	0,00	0,00	0,00	0,00
	Toplinska zaštita:			**U_{pros} [W/m^2 K] = 0,18 ≤ 0,30**			ZADOVOLJAVA		
	Površinska vlažnost: (Rizik okruženja s plijesni $\phi_{Si} \leq 0,8$)			fRsi = 0,53 ≤ 0,96			ZADOVOLJAVA		
	Unutarnja kondenzacija:			$\Sigma M_{a,god}$ = 0,00			ZADOVOLJAVA		
	Dinamičke karakteristike:			40,51 < 100 kg/m^2 U = 0,18 ≤ 0,30			ZADOVOLJAVA		

	Slojevi građevnog dijela u smjeru	**d[cm]**	**ρ[kg/m^3]**	**λ[W/mK]**	**R[m^2 K/W]**
1	4.05 Drvo - meko - crnogorica	1,000	500,00	0,130	0,077
2	PVC folija	0,100	1200,00	0,200	0,010
3	7.01 Mineralna vuna (MW)	5,000	10,00	0,032	1,563
4	PVC folija	0,100	1200,00	0,200	0,010
5	Suhi zrak	9,000	1,23	0,025	3,600
6	4.05 Drvo - meko - crnogorica	2,500	500,00	0,130	0,192
7	Crijep (krovni) glina	1,000	2000,00	1,000	0,010
					R_{si} = 0,097
					R_{se} = 0,050
					R_T = 5,608
U pogledu toplinske zaštite, građevni dio s **U [W/m^2 K] = 0,18**		**U = 0,18 ≤ U_{max} = 0,30**		ZADOVOLJAVA	
Plošna masa građevnog dijela **40,51 [kg/m2]**		40,51 < 100 kg/m^2 U = 0,18 ≤ 0,30		ZADOVOLJAVA	

(Izradio: Autor)

Kosi krov iznad grijanog prostora zadovoljava minimalne uvjete toplinske zaštite te njegova rekonstrukcija neće biti potrebna. Razlog tome je sam materijal izrade krova, laka jelova građa, koja ima vrlo nizak koeficijent prolaska topline te uporaba minerane vune kao termoizolacijske ispune u prostoru između drvenih greda.

5.2.5. Vanjski otvori

Vanjski otvori, prozori i vrata su građevni element kroz koje se najviše topline izmjenjuje između unutarnjeg i vanjskog prostora. Ostakljene površine su vrlo tanka barijera koja kroz koju toplina lako prodire, no s druge strane, zbog propusnosti svjetla kroz nju se ostvaruju toplinski dobici solarnim zračenjem. Gubici kroz prozore se dijele na transmisijske gubitke kroz okvire i ostakljenje te ventilacijske gubitke uslijed prozračivanja. Prozori na objektu su izrađeni od drva, debljine okvira od 5 cm s dvostrukim ostakljenjem sa slojem zraka između stakala. Ulazna vrata u objekat su izrađena od drva, debljine okvira od 8 cm, s jednostrukim ostakljenjem koje zauzima 8 % ukupne površine otvora.

Tablica 9: Količina, površine i koeficijent prolaska topline vanjskih otvora

Naziv otvora	**n**	**A_w**	**U_w**	**$U_{w,max}$**	**Zadovoljava**
Ulazna vrata	1,00	2,94	2,90	2,0	**NE**
Prozor 60x80	2,00	0,48	3,10	1,40	**NE**
Prozor 80x120	2,00	0,96	3,10	1,40	**NE**
Prozor 120x100	1,00	1,20	3,10	1,40	**NE**
Prozor 120x120	2,00	1,44	3,10	1,40	**NE**
Balkonska vrata 100x210	1,00	2,10	3,10	1,40	**NE**
Balkonska vrata 120x210	2,00	2,52	3,10	1,40	**NE**
Staklena stijena 300x210	1,00	6,30	2,90	1,40	**NE**

(Izradio: Autor)

Vanjski prozori i vrata zbog visokog koeficijenta topline (Tablica 9) ne zadovoljavaju minimalne zahtjeve toplinske zaštite. Visokog koeficijenta prolaska topline, dotrajalost i loše brtvljenje, razlog su zbog kojeg se najviše topline gubi u razdoblju grijanja te ih je potrebno zamijeniti.

5.3. Godišnji gubici i dobici topline

Godišnji gubici i dobici topline definiraju kolika će količina energije biti potrebna za grijanje i hlađenja prostora. Godišnji gubici topline dijele se na transmisijske gubitke kroz dijelove oplošja zgrade te ventilacijske gubitke nastale provjetravanjem prostora. Razlika između godišnjih toplinskih gubitaka i toplinskih gubitaka daje potrebnu godišnju količinu energije za grijanje i hlađenje.

5.3.1. Godišnji gubici topline

Godišnji gubici topline suma su transmisijskih godišnjih gubitaka topline kroz oplošje zgrade te ventilacijskih gubitaka kroz otvore. Transmisijski gubici se računaju po formul (13).

$$Q_{TR} = H_{Tr}/1000 \cdot \left(\vartheta_{int,H} - \vartheta_e\right) \cdot t \; [kWh] \qquad (13)$$

gdje su:

H_{Tr} – koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone (W/K);

$\vartheta_{int,H}$ – unutarnja postavna temperatura grijane zone (°C);

ϑ_e – srednja vanjska temperatura za proračunski period (sat ili mjesec) (°C);

t - trajanje proračunskog razdoblja (h).[18]

Koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone je suma svih koeficijenata transmisijske izmjene topline kroz oplošje zgrade . Računa se po formuli (14).

$$H_{Tr} = H_D + H_U + H_A + H_{g,m} \; [W/K] \qquad (14)$$

[18] Soldo V.; Novak S.; Horvat I., Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790,FSB, Zagreb,2014

gdje su:

H_D – koeficijent transmisijske izmjene topline prema vanjskom okolišu (W/K);

H_U – koeficijent transmisijske izmjene topline kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu (W/K);

H_A – koeficijent transmisijske izmjene topline prema susjednoj zgradi (W/K);

$H_{g,m}$ – koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu za proračunski mjesec (W/K).

Gubici topline provjetravanjem rezultat su cirkulacije svježeg zraka u prostoru, prilikom željene ventilacije prostora i cirkulacije zraka prilikom ulaska i izlaska iz objekta. Računaju se po formuli (15)

$$QVe = HVe\ /1000 \cdot (\vartheta int, H - \vartheta e)\ t\ [kWh] \qquad (15)$$

gdje su:

H_{Ve} – koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone (W/K);

$\vartheta_{int,H}$ – unutarnja postavna temperatura grijane zone (°C);

ϑ_e – srednja vanjska temperatura za proračunski period (sat ili mjesec) (°C);

t - trajanje proračunskog razdoblja (h).[19]

Proračun godišnjih transmisijskih gubitaka i gubitaka provjetravanjem izrađen je u računalnom programu „KI Expert Plus“ i prikazan je u nastavku. Osnovni fizikalni podadi o zgradi i klimatološki podaci prikazani su u sljedećoj tablici (Tablica 10)

Tablica 10: Osnovni podaci o zgradi i klimatološki podaci lokacije

Osnovni podaci	
Oplošje grijanog dijela zgrade – A [m^2]	431,39
Obujam grijanog dijela zgrade – V_e [m^3]	541,66
Obujam grijanog zraka – V [m^3]	411,66
Faktor oblika zgrade - f_0 [m^{-1}]	0,80
Ploština korisne površine – A_K [m^2]	158,07
Ukupna ploština pročelja – A_{uk} [m^2]	237,59

[19] Soldo V.; Novak S.; Horvat I., Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790,FSB, Zagreb,2014

Ukupna ploština prozora – A_{wuk} [m^2]	23,34
Način grijanja	Centralno
Prosječna unutarnja projektna temperatura grijanja °C	24,00
Prosječna unutarnja projektna temperatura hlađenja °C	22,00
Meteorološka postaja s nadmorskom visinom	Pula (63,00 m n.v.)
Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade Θ e,mj,min (°C)	6,00
Srednje mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade Θ e,mj,max (°C)	24,90
Predmetna građevina se nalazi na lokaciji referentne klimatološke postaje Pula, u 4. zoni globalnog Sunčevog zračenja sa srednjom mjesečnom temperaturom vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade Θ e,mj,min > 3 o C i unutarnjom temperaturom Θ i ≥ 18°C.	

Osnovni klimatološki podaci

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
	Temperature zraka (^{o} C)												
m	**6**	**6,2**	**9,1**	**12,8**	**18,1**	**22,2**	**24,9**	**24,5**	**19,5**	**15,4**	**11**	**7,2**	**14,8**
min	-3,5	-6,2	-2	3,8	8,7	14	16,6	15,8	11,6	5,2	0	-5	-6,2
max	14,4	13,8	16,4	19,8	25,8	30,4	30,7	31	26,2	22,4	19,7	16	31

	Tlak vodene pare (Pa)												
m	720	730	830	1020	1360	1700	1860	1860	1630	1290	990	780	1230

	Relativna vlažnost zraka (%)												
m	76	73	71	70	68	65	62	64	69	74	77	75	70

	Brzina vjetra (m/s)												
m	2,7	3	3,1	3	2,4	2,3	2,2	2,1	2,2	2,8	2,9	2,9	2,6

	Broj dana grijanja		
	Temperatura vanjskog zraka	≤ 10 ^{o} C	124
		≤ 12 ^{o} C	157,3
		≤ 15 ^{o} C	191,8

Orij	[^{o}]	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
		Globalno Sunčevo zračenje (MJ/m^2)												
S	0	144	242	396	550	679	716	740	632	467	317	162	122	5165
	15	184	305	451	584	684	707	738	657	522	387	206	158	5585
	30	215	353	484	591	662	671	707	653	551	438	241	188	5753
	45	236	381	493	569	613	610	647	619	552	465	263	208	5656
	60	245	389	477	521	538	525	561	556	525	468	272	217	5294
	75	240	376	437	450	444	424	456	471	472	445	266	215	4697
	90	224	343	377	361	339	316	341	368	396	400	246	201	3911
SE, SW	0	144	242	396	550	679	716	740	632	467	317	162	122	5165
	15	172	286	435	575	684	710	740	651	507	366	193	147	5465
	30	192	318	458	581	669	685	719	650	528	400	215	166	5579
	45	203	334	461	566	632	639	675	625	527	415	227	177	5481
	60	205	334	444	528	574	573	609	578	504	410	229	180	5166
	75	197	317	408	471	499	491	525	510	459	386	219	174	4656
	90	179	285	356	399	413	401	431	428	397	344	199	159	3990
E, W	0	144	242	396	550	679	716	740	632	467	317	162	122	5165
	15	144	242	395	545	671	707	731	626	464	317	163	122	5129
	30	144	242	389	533	650	683	708	609	457	316	162	122	5016

	45	141	238	376	510	617	646	671	582	442	309	159	120	4809
	60	135	228	355	476	571	595	620	542	416	294	152	114	4497
	75	124	211	324	431	512	533	556	489	380	272	140	106	4079
	90	110	188	286	378	445	461	482	427	335	242	125	94	3572
NE, NW	0	144	242	396	550	679	716	740	632	467	317	162	122	5165
	15	116	195	348	507	651	698	715	592	414	262	131	97	4724
	30	97	159	299	452	598	649	660	534	358	217	109	81	4211
	45	79	133	260	398	534	582	589	471	310	185	88	68	3696
	60	72	98	223	351	472	514	520	416	271	140	77	63	3216
	75	65	86	162	293	413	452	457	356	203	110	70	56	2722
	90	58	78	130	199	316	359	354	254	140	100	62	50	2098
E, N	0	144	242	396	550	679	716	740	632	467	317	162	122	5165
	15	98	168	323	488	636	683	698	573	389	232	111	80	4478
	30	82	105	237	402	555	605	612	484	293	146	88	72	3680
	45	78	99	171	300	448	496	494	373	195	126	126	68	2930
	60	72	93	155	204	325	368	357	251	159	119	77	63	2242
	75	65	86	143	181	226	234	228	202	149	110	70	56	1749
	90	58	78	130	166	207	213	212	186	137	100	62	50	1599

(Izradio: Autor)

Izračunati koeficijenti transmisijskih gubitaka topline H_{Tr} prikazani su u sljedećoj tablici (Tablica 11).

Tablica 11: Ukupni koeficijenti transmisijskih gubitaka neizolizane zgrade

Koeficijent transmisijskih gubitaka HT dobiven prema HRN EN ISO 13790	
$H_{Tr} = H_D + H_{g,avg} + H_U + H_A$	
H_D - Koeficijent transmisijske izmjene topline prema vanjskom okolišu $H_{g,avg}$ - Uprosječeni koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu H_U - Koeficijent transmisijske izmjene topline prema negrijanom prostoru H_A - Koeficijent transmisijske izmjene topline prema susjednoj zgradi	
H_{Tr} - Koeficijent transmisijske izmjene topline	**541,311 [W/K]**
Koeficijent transmisijske izmjene topline prema vanjskom okolišu, H_D [W/K]	471,501
Uprosječeni koeficijent transmisijske izmjene topline prema tlu, $H_{g,avg}$ [W/K]	31,019
Koeficijent transmisijske izmjene topline kroz negrijani prostor, H_U [W/K]	38,791
Koeficijent transmisijske izmjene topline prema susjednoj zgradi, H_A [W/K]	0,000

(Izradio: Autor)

Izračinati koeficijent gubitaka provjetravanjem H_V izračunati su i prikazani u sljedećoj tablici (Tablica 12).

Tablica 12: Koeficijenti gubitaka provjetravanjem neizolizane zgrade

Prirodno provjetravanje	V = 411,66 [m^3] n_{min} = 0,70 V_d = 0,00 [m^3] Zaklonjenost - Nezaklonjeno Broj izloženih fasada - Više izloženih fasada Razina zrakonepropusnosti - Srednja razina
Koef. gubitka topline provjetravanjem	H_V = 95,09 [W/K]

(Izradio: Autor)

Ukupni mjesečni i godišnji gubici topline transmisijom i provjetravanjem prikazani su u sljedećoj tablici (Tablica 13).

Tablica 13: Ukupni mjesečni i godišnji toplinski gubici neizolirane zgrade

Mjesečni gubici topline [kWh]

Mjesec	Toplinski gubici grijanja [kWh]	Koef. topl. gubitka za grijanje [W/K]
Siječanj	8423,23	628,98
Veljača	7525,15	629,11
Ožujak	6990,80	630,62
Travanj	5109,10	633,57
Svibanj	2784,78	634,40
Lipanj	861,19	664,50
Srpanj	0,00	535,40
Kolovoz	0,00	468,63
Rujan	2068,70	638,49
Listopad	4078,67	637,45
Studeni	5914,68	631,91
Prosinac	7868,77	629,54

Godišnji gubici topline [kWh]

	Toplinski gubici grijanja
Godišnje	51625,08

(Izradio: Autor)

Izračunom ukupnih toplinskih godišnjih gubitaka za grijanje dobijen je rezultat od 51 625 kWh energije koju zgrada gubi u periodu grijanja. Kako bi se dobila realna količina energije za grijanje prostora, potrebno je odbiti solarne i unutarnje toplinske dobitke u periodu grijanja. Izračun toplinskih gubitaka nalazi se u sljedećem poglavlju.

5.3.2. Godišnji dobici topline

Godišnji dobici topline dijele se na unutarnje dobitke topline i solarne dobitke topline. Unutarnji toplinski dobici su dobici topline od ljudi i uređaja koji se nalaze u prostoru. Računaju se s vrijednošću od 5 W/m^2 za stambene prostore i 6 W/m^2 za nestambene, proizvodne i poslovne prostore. Unutarnji dobici topline računaju se po formuli (16).

$$Q_{int} = q_{spec} \cdot A_K \cdot t \,/\, 1000\ [kWh] \qquad (16)$$

gdje su:

q_{spec} – specifični unutarnji dobitak po m2 korisne površine, 5 W/m2 ili 6 W/m2;

A_K – korisna površina (m2);

t – proračunsko vrijeme (h).[20]

Solarni toplinski dobici su dobici zračenjem sunca kroz ostakljene otvore objekta. Računanju se po formuli (17).

$$Q_{sol} = \sum Q_{sol,k} + \sum\left(1 - b_{tr,l}\right) \cdot Q_{sol,u,l}\ [kWh] \qquad (17)$$

gdje su:

$Q_{sol,k}$ – srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz k-ti građevni dio u grijani prostor (kWh);

$b_{tr,l}$ – faktor smanjenja za susjedni negrijani prostor s unutarnjim toplinskim izvorom l prema HRN EN ISO 13 789 (-);

$Q_{sol,u,l}$ – srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz l-ti građevni dio u susjedni negrijani prostor (kWh).[21]

Proračun godišnjih unutarnih toplinskih dobitaka i solarnih toplinskih dobitaka izrađen je u računalnom programu „KI Expert Plus“ i prikazan je u nastavku.

[20] Soldo V.; Novak S.; Horvat I., Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790,FSB, Zagreb,2014

[21] Soldo V.; Novak S.; Horvat I., Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790,FSB, Zagreb,2014

Solarni mjesečni toplinski dobici i unutarnji mjesečni dobici topline prikazani su u sljedećim tablicama (Tablica 14 i Tablica 15).

Tablica 14: Ukupni mjesečni i godišnji toplinski gubici neizolirane zgrade

Solarni toplinski dobici [MJ]												
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q_{sol,k}$	1598	2352	3024	3465	2441	2443	2443	2364	2022	2845	1609	1227
$Q_{sol,u,l}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q_{sol}	1598	2352	3024	3465	2441	2443	2443	2364	2022	2845	1609	1227

(Izradio: Autor)

Tablica 15: Mjesečni unutarnji toplinski dobici neizolirane zgrade

Unutarnji toplinski dobici [kWh]												
Mj.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q	588,02	531,12	588,02	569,05	588,02	569,05	588,02	588,02	569,05	588,02	569,05	588,02

(Izradio: Autor)

Zbrajanjem mjesečnih unutarnnjih toplinskih dobitaka i mjesečnih solarnih toplinskih dobitaka dobiju se ukupni godišnji toplinski dobici, koji su iskazani u sljedećoj tablici (Tablica 16).

Tablica 16: Ukupni godišnii dobici topline neizolirane zgrade

Ukupni dobici topline	
Unutarnji dobici topline	Q_{int} = 6.923,47 [MJ]
Solarni dobici topline	Q_{sol} = 5.659,23 [MJ]
Ostali dobici topline	Q' = 0,00 [MJ]

Mjesečni dobici topline

Mjesec	**Toplinski dobici [MJ]**	**Toplinski dobici [kWh]**
Siječanj	1053,40	292,61
Veljača	996,20	276,72
Ožujak	1189,92	330,53
Travanj	1210,73	336,31
Svibanj	1017,37	282,60
Lipanj	989,05	274,74
Srpanj	1033,59	287,11
Kolovoz	1028,73	285,76
Rujan	989,06	274,74
Listopad	1164,83	323,56
Studeni	835,08	231,97
Prosinac	1074,74	298,54

Godišnji dobici topline

	Toplinski dobici [MJ]	**Toplinski dobici [kWh]**
Godišnje	12582,69	3495,19

(Izradio: Autor)

Izračun toplinskih dobitaka zgrade dao je za rezultat 3 495 kWh energije koju godišnje zgrada dobije putem solarnog zračenja na oplošje zgrade i kroz ostakljene otvore na zgradit te unutarnje dobitke energije od strane uređaja, ljudi i opreme koja se nalazi u zgradi. Razlikom godišnjih toplinskih gubitaka i dobitaka, dobija se potrebna količina energije za zagrijavanje prostora u periodu grijanja i energija potrebna za hlađenje prostora u ljetnom periodu. Rezultati proračuna su prikazani u sljedećem poglavlju.

5.4. Godišnje potrebe energije građevine za grijanje i hlađenje

Godišnje potrebe toplinske energije za grijanje rezultat su zbroja svih godišnjih toplinskih gubitaka od kojih se oduzimaju toplinski dobici zgrade. Izračunavaju se po formuli (18)

$$Q_{H,\,nd,\,cont} = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta_{H,\,gn}\,(\,Q_{int} + Q_{sol}\,)\;[kWh] \qquad (18)$$

gdje su:

Q_{Tr} – izmjenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu (kWh);

Q_{Ve} – potrebna toplinska energija za ventilaciju za proračunsku zonu (kWh);

$\eta_{H,gn}$ – faktor iskorištenja toplinskih dobitaka (-);

Q_{int} – unutarnji toplinski dobici zgrade (ljudi, uređaji, rasvjeta) (kWh);

Q_{sol} – toplinski dobici od Sunčeva zračenja (kWh).[22]

Rezultati godišnjih potreba energije za grijanje neizolirane predmetne obiteljske kuće prikazani su u sljedećoj tablici (Tablica 17).

[22] Soldo V.; Novak S.; Horvat I., Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790,FSB, Zagreb,2014

Tablica 17: Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje neizolirane zgrade

Mjesec	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,ve}$	$Q_{H,ht}$ [kWh]	$Q_{H.sol}$	$Q_{H.int}$	$Q_{H,gn}$ [kWh]	γ_H	$\eta_{H,gn}$	$\alpha_{red.H}$	$L_{H,m}$	$Q_{H,nd}$ [kWh]
MJESEČNO											
Siječanj	7.150	1.273	8.423	465	588	1.053	0,13	0,957	1,00	31,00	7.415
Veljača	6.388	1.137	7.525	465	531	996	0,13	0,954	1,00	28,00	6.575
Ožujak	5.937	1.054	6.991	602	588	1.190	0,17	0,936	1,00	31,00	5.877
Travanj	4.342	767	5.109	642	569	1.211	0,24	0,903	1,00	30,00	4.016
Svibanj	2.367	417	2.785	429	588	1.017	0,37	0,839	1,00	31,00	1.931
Lipanj	738	123	861	420	569	989	1,15	0,551	1,00	15,00	158
Srpanj	- 295	- 64	- 359	446	588	1.034	1.000,00	0,001	1,00	0,00	0
Kolovoz	- 139	- 35	- 174	441	588	1.029	1.000,00	0,001	1,00	0,00	0
Rujan	1.761	308	2.069	420	569	989	0,48	0,786	1,00	15,00	646
Listopad	3.470	608	4.079	577	588	1.165	0,29	0,878	1,00	31,00	3.055
Studeni	5.025	890	5.915	266	569	835	0,14	0,949	1,00	30,00	5.122
Prosinac	6.680	1.189	7.869	487	588	1.075	0,14	0,952	1,00	31,00	6.846
UKUPNO											41642

(Izradio: Autor)

Godišnje potrebe toplinske energije za hlađenje razlike svih toplinskih dobitaka u periodu hlađenja objekta od kojih se oduzima ukupna izmijenjena toplinska energija u periodu hlađenja. Izračunava se po formuli (19).

$$Q_{c,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} \ [kWh] \qquad (19)$$

gdje su:

$Q_{C,gn}$ – ukupni toplinski dobici zgrade u periodu hlađenja (kWh);

$Q_{C,ht}$ – ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu hlađenja (kWh);

$\eta_{C,ht}$ – faktor iskorištenja toplinskih gubitaka kod hlađenja (-).[23]

Rezultati godišnjih potreba energije za hlađenje predmetne obiteljske kuće prikazani su u sljedećoj tablici (Tablica 18).

[23] Soldo V.; Novak S.; Horvat I., Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790,FSB, Zagreb,2014

Tablica 18: Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje neizolirane zgrade

Mjesec	$Q_{C,tr}$	$Q_{C,ve}$	$Q_{C,ht}$ [kWh]	$Q_{C,sol}$	$Q_{C,int}$	$Q_{C,gn}$ [kWh]	γ_C	$\eta_{C,ls}$	$\alpha_{red,C}$	$Q_{C,nd}$ [kWh]
MJESEČNO										
Siječanj	6.390	1.132	7.522	465	588	1.053	0,14	0,133	0,73	38
Veljača	5.702	1.010	6.712	465	531	996	0,15	0,140	0,71	38
Ožujak	5.177	913	6.090	602	588	1.190	0,20	0,180	0,71	65
Travanj	3.607	630	4.237	642	569	1.211	0,29	0,251	0,71	105
Svibanj	1.608	276	1.884	429	588	1.017	0,54	0,410	0,71	174
Lipanj	3	- 14	- 11	420	569	989	1.000,00	1,000	0,71	710
Srpanj	-	- 205	-	446	588	1.034	1.000,00	1,000	0,71	1.628
Kolovoz	- 898	- 177	-	441	588	1.029	1.000,00	1,000	0,71	1.494
Rujan	1.026	171	1.197	420	569	989	0,83	0,535	0,71	248
Listopad	2.711	467	3.178	577	588	1.165	0,37	0,307	0,71	134
Studeni	4.290	753	5.043	266	569	835	0,17	0,155	0,71	37
Prosinac	5.921	1.047	6.968	487	588	1.075	0,15	0,145	0,71	43
UKUPNO										4713

(Izradio: Autor)

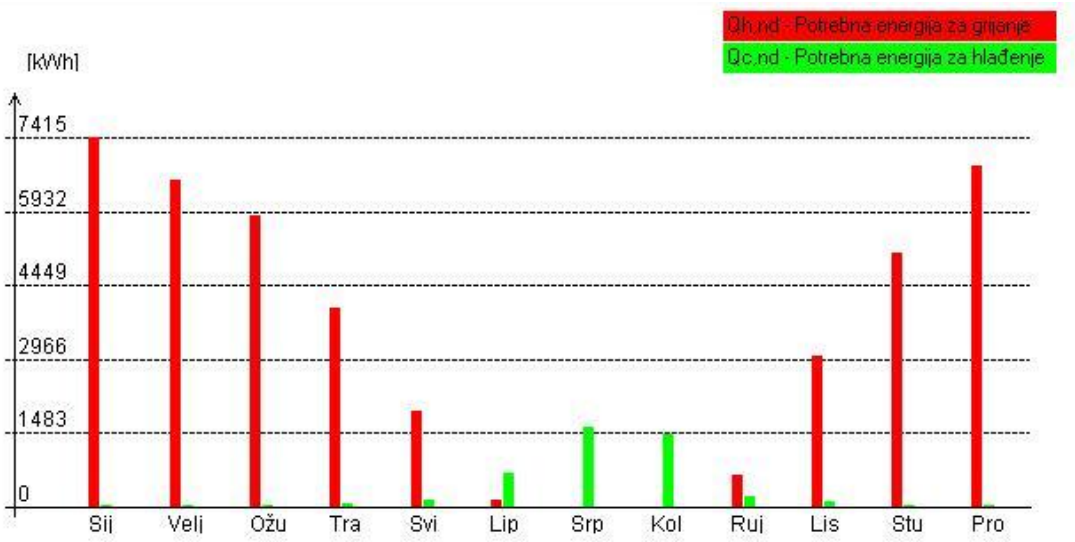
Završni rezultati proračuna sa osnovnim podacima o građevini, gubicima i dobicima topline , koeficijentima gubitaka i potrebnom energijom za grijanje i hlađenje su prikazani u sljedećoj tablici (Tablica 19).

Tablica 19: Rezultati proračuna potrebne energija za grijanje i hlađenje neizolirane zgrade

Rezultati proračuna potrebne potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje prema poglavlju VII. Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, za zgradu grijanu na temperaturu 18°C ili višu	
Oplošje grijanog dijela zgrade	$A = 431,39\ [m^2]$
Obujam grijanog dijela zgrade	$V_e = 541,66\ [m^3]$
Faktor oblika zgrade	$f_o = 0,80\ [m^{-1}]$
Ploština korisne površine	$A_k = 158,07\ [m^2]$
Godišnja potrebna toplina za grijanje	$Q_{H,nd} = 41642,31$ [kWh/a]
Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici ploštine korisne površine (za stambene i nestambene zgrade)	$Q''_{H,nd} = 263,44$ (max = 47,76) [kWh/m^2 a]
Godišnja potrebna energija za hlađenje	$Q_{C,nd} = 4713,09$ [kWh/a]
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade	$H'_{tr,adj} = 1,25$ (max = 0,64) [W/m^2 K]
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka	$H_{tr,adj} = 541,31$ [W/K]
Koeficijent toplinskog gubitka provjetravanjem	$H_{ve,adj} = 95,09$ [W/K]
Ukupni godišnji gubici topline	$Q_l = 185.850,29$ [MJ]
Godišnji iskoristivi unutarnji dobici topline	$Q_i = 24.924,48$ [MJ]
Godišnji iskoristivi solarni dobici topline	$Q_s = 27.831,24$ [MJ]

(Izradio: Autor)

Grafički prikaz godišnje potrošnje energije za grijanje i hlađenje prikazan na mjesečnoj razini nalazi se na slici 23.

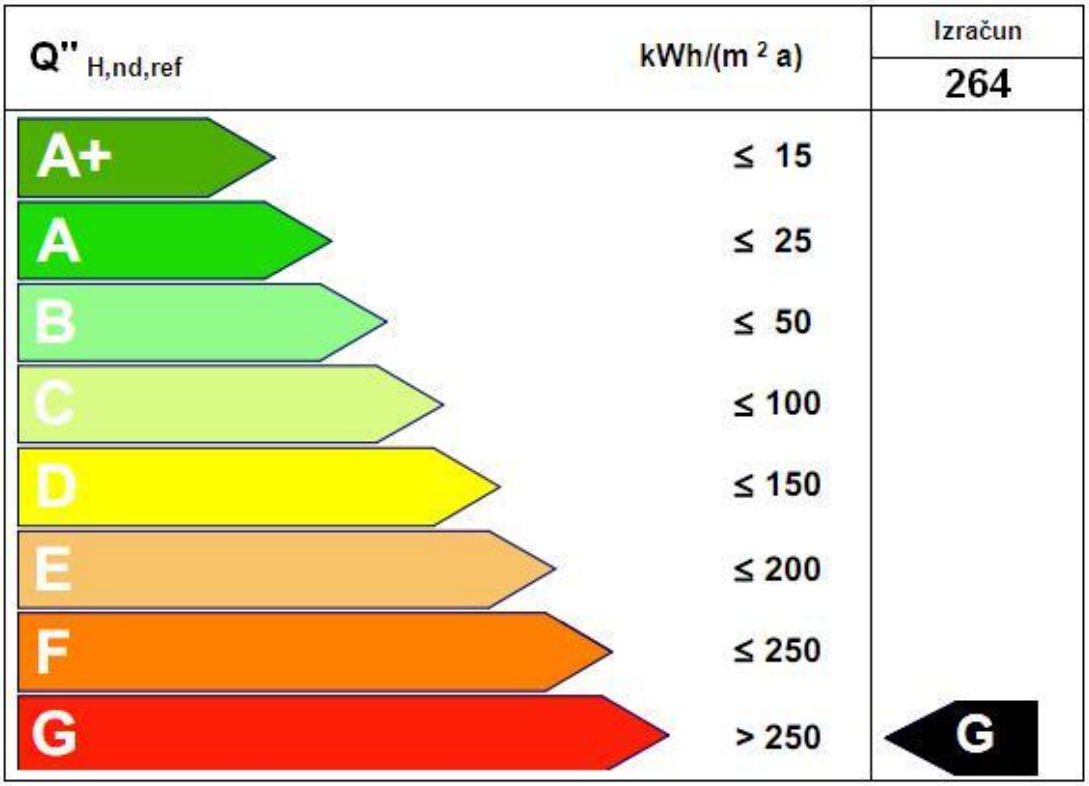


Slika 23: Grafički prikaz potrebne energija za grijanje i hlađenje neizolirane zgrade

(Izradio: Autor)

Iz prikaza godišnje potrošnje energije za grijanje i hlađenje zgrade vidljivo je da sezona gijanja traje od listopada do travnja, te da je najveća potrošnja energije za grijanje od prosinca do veljače. S druge strane, najviše energije za hlađenje se troši u srpnju i kolovozu, dok su svibanj, lipanj i rujan mjeseci gdje se kombinirano koristi i grijanje i hlađenje. Razlog tome je što su to prijelazni mjeseci u kojima dolazi do smjene godišnjih doba, te se periodi grijanja i hlađenja izmjenjuju u ovisnosti o vanjskim klimatskim uvjetima.

Prema Pravilniku o energetskom pregledu zgrade i energetskom certificiranju zgrada (NN 48/14), energetski razred zgrade je indikator energetskih svojstava zgrade. Za stambene zgrade se izražava preko godišnje potrebne energije za grijanje svedene na jedinicu površine zgrade.[24]



Slika 24: Energetski razred neizolirane zgrade

(Izradio: Autor)

Obiteljska kuća za koju smo vršili izračun za referentne klimatske podatke ima potrebnu količinu energije za grijanje po jedinici površine koja iznosi $\mathbf{Q_{H,nd}}$ **= 263,44 kWh/m^{2}a**, čime se svrstava u energetski razred **G** (Slika 24).

Cjelokupni proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade dostupan je za pregled u Prilogu 1.

[24] Pravilnik o energetskom pregledu zgrada i energetskom certificiranju zgrada (NN 48/14,150/14), Zagreb, 2014

6. UPOTREBA TOPLINSKE IZOLACIJE U CILJU SMANJENJA POTROŠNJE ENERGIJE

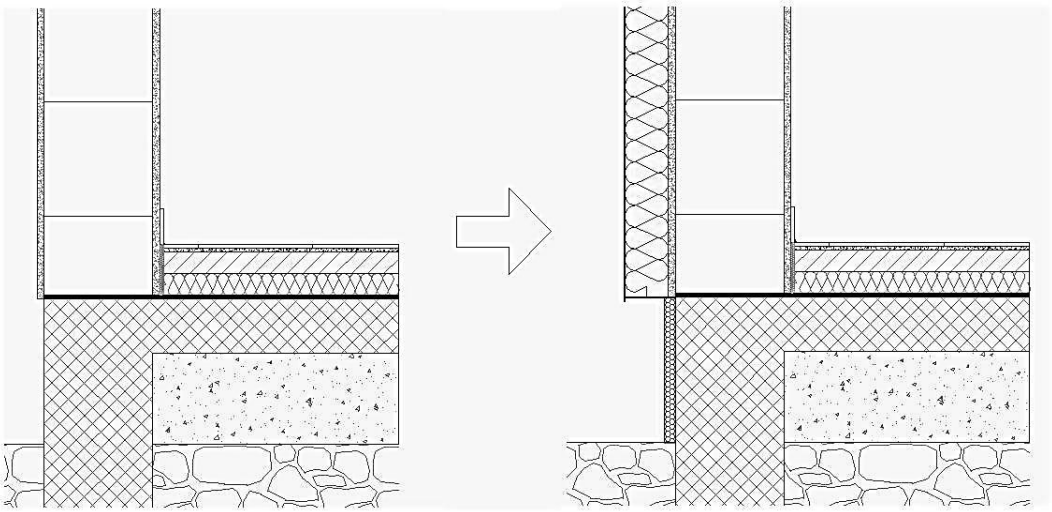
Izračunom godišnjih potreba energije za grijanje i hlađenje zgrade stekao se jasan uvid u godišnju potrošnju energije zgrade. Također, stekao se i uvid u kritične dijelove zgrade kroz koje se toplina najviše gubi i koje je potrebno sanirati kako bi se godišnja potrošnja energije smanjila. Iz dobivenog proračuna jasno je vidljivo da su dijelovi konstrukcije koje je potrebno toplinski izolirati vanjski zidovi, strop prema negrijanom tavanu i vanjski otvori, budući da svojim koeficijentima prolaska topline ne zadovoljavaju zahtjeve toplinske zaštite za nove zgrade. U daljnjem dijelu rada obradit će se i grafički prikazati tehnička rješenja primjene toplinske izolacije na tim dijelovima konstrukcije.

6.1. Tehnička rješenja za primjenu toplinske izolacije na građevini

Toplinsku izolaciju elemenata zgrade moguće je izvesti na nekoliko načina i s nekoliko različitih izolacijskih materijala. Kako bi učinkovitost izolacije bila maksimalna, potrebno je odabrati materijale koji udovoljavaju zahtjevima toplinske zaštite, primijeniti ih na način da u skladu s pravilima struke čine kvalitetan i dugotrajan dio konstrukcije građevine te odabrati materijale koji su najefikasniji po omjeru cijene i kvalitete. U nastavku rada prikazana su tehnička rješenja za primjenu izolacije ne vanjskim zidovima, stropu prema negrijanom tavanu i vanjskim otvorima zgrade.

6.1.1. Izolacija vanjskih zidova

Vanjski zidovi objekta najveći su dio oplošja zgrade, te zbog svojih loših izolacijskih karakteristika uzrokuju značajne toplinske gubitke. Izradom izolacije vanskih zidova značajno će se pridonijeti smanjenju godišnjih potrebna energije za grijanje prostora. Odabrano tehničko rješenje za izoliranje vanjskih zidova je izolacija sustava „ETICS“ (*External Thermal Insulation Composite System*), s postavom izolacije od ekspandiranog polistirena s vanjske strane zida, debljine 12 cm (Slika 25). Toplinsku izolaciju se, ukoliko je moguće, postavlja s vanjske strane kako bi konstruktivni element služili kao akumulator topline i time spriječili mogućnost pregrijavanja objekta. Zbog sprječavanja kondenzacije vodene pare u unutrašnjem dijelu objekta, te pojave plijesni i gljivica ispod izolacije, toplinska se izolacija postavlja na vanjsku stranu zida, osim ukoliko postoje razlozi zbog kojih to nije moguće (fasada s povijesnom vrijednošću, staklena fasada i sl.). Izolacijske ploče od EPS-a se postavljaju na policementno ljepilo, te se na njih nanosi sloj policementnog ljepila armiran mrežicom od staklenih vlakana. Završni sloj čini dekorativna tankoslojna silikatna ili akrilatna žbuka.



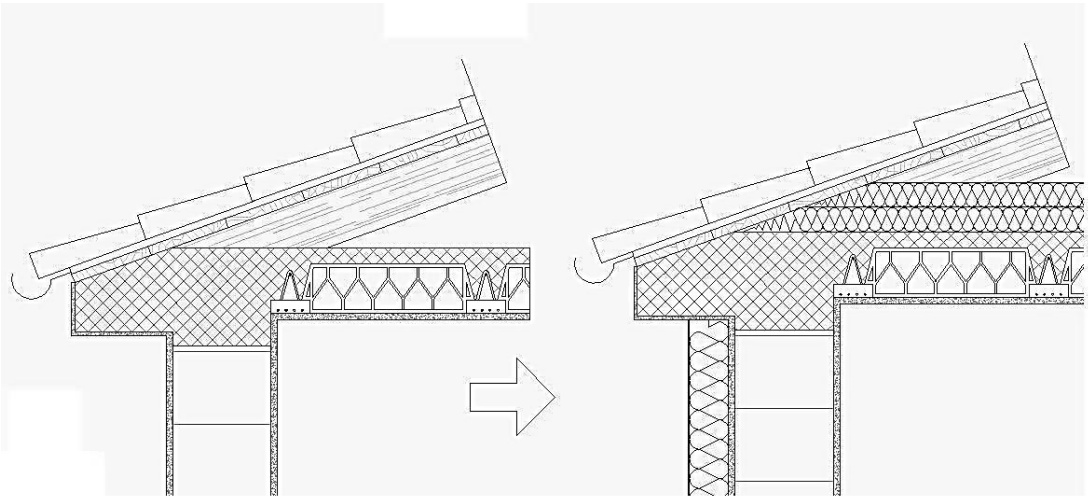
Slika 25: Primjena izolacije na vanjskim zidovima

(Izradio: Autor)

Ploče ekspandiranog polistirena imaju koeficijent toplinske provodljivosti λ= 0,037 W/mK te se njihovom primjenom unutar „ETICS“ sustava izolacije koeficijent prolaska topline kroz vanjski zid smanjuje s U= 1,18 W/m^{2}K na **U= 0,24 W/m^{2}K** čime se **ZADOVOLJAVA** najveća dopuštena vrijednost koeficijenta prolaska topline **U_{max} = 0,45 W/m^{2}K**[25].

6.1.2. Izolacija stropa prema tavanu

Izolacija stropa tavana predviđa postavljanje toplinske izolacije od mineralne vune debljine 15 cm u dva sloja, postavljene na parnu branu debljine 2mm te prekrivene PVC folijom debljine 1mm (Slika 26). Parna brana sprječava prolaz vodene pare iz unutrašnjeg prostora i nakupljanje u mineralnoj vuni. Predviđa se da se tavanski prostor ne koristi te nisu potrebni nikakvi dodatni radovi u vidu podaščavanja tavana radi mogućnosti prolaza i skladištenja.



Slika 26: Primjena izolacije na stropu na tavanu

(Izradio: Autor)

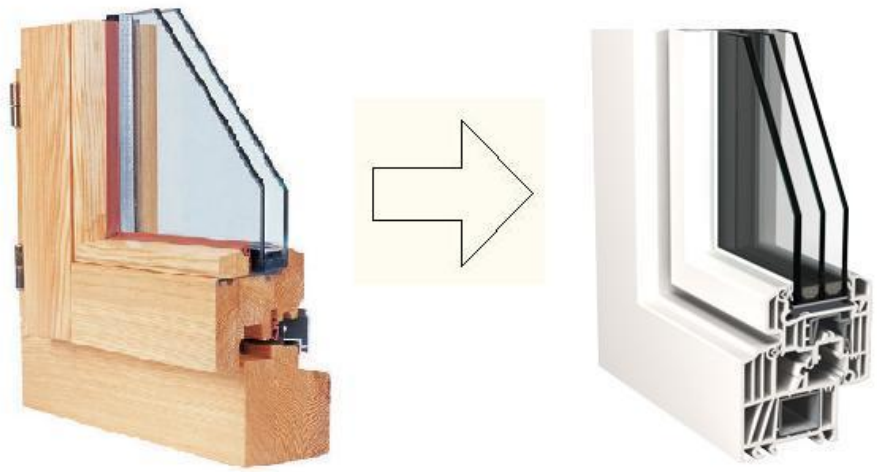
[25] Tehnički propis o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 97/14,130/14), Zagreb, 2014

Upotrebom mineralne vune, čija koeficijent toplinske vodljivosti iznosi λ= 0,035 W/mK, koeficijent toplinske vodljivosti stropa se smanjuje sa 1,46 W/m^{2}K na **U= 0,2 W/m^{2}K**, čime se **ZADOVOLJAVA** najveća dopuštena vrijednost koeficijenta prolaska topline **U_{max} = 0,30 W/m^{2}K**[26].

6.1.3. Zamjena vanjskih otvora

Dotrajalu vanjsku stolariju potrebno je zamijeniti jer ne udovoljava zahtjevima koeficijenta prolaska topline za vanjske prozore i vrata. Postojeća stolarija izrađena je od jelovine s dvostrukim ostakljenjem ispunjenim zrakom. Stolarija je ugrađena u vrijeme izgradnje objekta te je zbog starosti dotrajalo brtvljenje između okvira i krila stolarije, te između krila i ostakljena, što rezultira visokom zrakopropusnošću i gubicima topline u periodu grijanja.

Postojeća stolarija se zamjenjuje PVC stolarijom, izrađenom od višekomornih profila s trostrukim ostakljenjem ispunjenim argonom. Ostakljenje sadrži LOW-E pijemaz koji ne utječe na prolaz svjetla a reflektira dio zračenja topline iz unutrašnosti objekta (Slika 27).



Slika 27: Zamjena postojeće vanjske stolarije novom

(Izradio: Autor)

[26] Tehnički propis o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 97/14,130/14), Zagreb, 2014

Koeficijent prolaska topline postojeće stolarije iznosi između 2,9 W/m2K i 3,1 W/m^2K (ovisno o otvoru), dok nova stolarija ima koeficijent prolaska topline **U= 0,8 W/m^2K**, čime se **ZADOVOLJAVA** najveća dopuštena vrijednost koeficijenta prolaska topline **U_{max} = 1,40 W/m^2K**[27] (za prozore; za vrata U_{max}=2,1 W/m^2K)**.**

6.2. Godišnje potrebe energije izolirane građevine

Nakon provedenih mjera izrade toplinske izolacije na dijelovima konstrukcije koji imaju najlošije koeficijente prolaska topline, ponovno se vrši izračun godišnje potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora. Rezultati proračuna nalaze se u nastavku rada. Izračun je napravljen u računalnom programu „KI Expert Plus“, čiji je algoritam izračuna izrađen u skladu s HRN EN ISO 13790 normom za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade. Mjesečni i godišnji gubici topline zgrade nakon izrade toplinske izolacije prikazani su u sljedećoj tablici (Tablica 20).

[27] Tehnički propis o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 97/14,130/14), Zagreb, 2014

Tablica 20: Ukupni mjesečni i godišnji toplinski gubici izolirane zgrade

Mjesečni gubici topline [kWh]

Mjesec	Toplinski gubici hlađenja [kWh]	Toplinski gubici grijanja [kWh]	Koef. topl. gubitka za hlađenje [W/K]	Koef. topl. gubitka za grijanje [W/K]
Siječanj	3063,41	3407,54	257,34	254,45
Veljača	2734,33	3045,16	257,53	254,58
Ožujak	2494,54	2838,68	259,91	256,07
Travanj	1755,38	2088,41	265,00	258,98
Svibanj	796,53	1140,66	274,51	259,86
Lipanj	42,38	375,42	-294,33	289,67
Srpanj	0,00	0,00	209,70	161,76
Kolovoz	0,00	0,00	204,14	95,58
Rujan	522,01	855,05	290,01	263,90
Listopad	1337,42	1681,56	272,37	262,81
Studeni	2075,70	2408,73	262,08	257,34
Prosinac	2843,23	3187,36	258,21	255,01

Godišnji gubici topline [kWh]

	Toplinski gubici hlađenja	Toplinski gubici grijanja
Godišnje	17664,93	21028,57

(Izradio: Autor)

Rezultati izračuna mjesečnih i godišnjih dobitaka topline (unutarnji dobici topline i solarni dobici topline) zgrade nakon izrade toplinske izolacije prikazani su u sljedećoj tablici (Tablica 21).

Tablica 21: Ukupni mjesečni i godišnji toplinski dobici izolirane zgrade

Mjesečni dobici topline

Mjesec	Toplinski dobici [MJ]	Toplinski dobici [kWh]
Siječanj	878,88	244,13
Veljača	821,79	228,28
Ožujak	964,21	267,84
Travanj	970,10	269,47
Svibanj	856,36	237,88
Lipanj	831,55	230,99
Srpanj	866,50	240,69
Kolovoz	863,47	239,85
Rujan	831,56	230,99
Listopad	948,53	263,48
Studeni	735,32	204,25
Prosinac	892,22	247,84

Godišnji dobici topline

	Toplinski dobici [MJ]	Toplinski dobici [kWh]
Godišnje	10460,48	2905,69

(Izradio: Autor)

Rezultati proračuna za ukupne godišnje potrebe energije izolirane zgrade za grijanje prikazani su u sljedećoj tablici (Tablica 22)

Tablica 22: Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje izolirane zgrade

Mjesec	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,ve}$	$Q_{H,ht}$ [kWh]	$Q_{H,sol}$	$Q_{H,int}$	$Q_{H,gn}$ [kWh]	γ_H	$\eta_{H,gn}$	$\alpha_{red,H}$	$L_{H,m}$	$Q_{H,nd}$ [kWh]
MJESEČNO											
Siječanj	2.134	1.273	3.408	291	588	879	0,26	0,956	1,00	31,00	2.567
Veljača	1.908	1.137	3.045	291	531	822	0,27	0,952	1,00	28,00	2.263
Ožujak	1.785	1.054	2.839	376	588	964	0,34	0,929	1,00	31,00	1.943
Travanj	1.322	767	2.088	401	569	970	0,46	0,882	1,00	30,00	1.233
Svibanj	723	417	1.141	268	588	856	0,75	0,768	1,00	31,00	483
Lipanj	252	123	375	263	569	832	2,22	0,400	1,00	0,00	0
Srpanj	- 45	- 64	- 108	278	588	866	1.000,00	0,001	1,00	0,00	0
Kolovoz	0	- 35	- 36	275	588	863	1.000,00	0,001	1,00	0,00	0
Rujan	547	308	855	263	569	832	0,97	0,686	1,00	15,00	142
Listopad	1.073	608	1.682	361	588	949	0,56	0,842	1,00	31,00	883
Studeni	1.519	890	2.409	166	569	735	0,31	0,941	1,00	30,00	1.717
Prosinac	1.999	1.189	3.187	304	588	892	0,28	0,949	1,00	31,00	2.341
UKUPNO											13572

(Izradio: Autor)

Rezultati proračuna za ukupne godišnje potrebe energije izolirane zgrade za hlađenje prikazani su u sljedećoj tablici (Tablica 23).

Tablica 23: Ukupna godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje izolirane zgrade

Mjesec	$Q_{C,tr}$	$Q_{C,ve}$	$Q_{C,ht}$ [kWh]	$Q_{C,sol}$	$Q_{C,int}$	$Q_{C,gn}$ [kWh]	γ_C	$\eta_{C,ls}$	$\alpha_{red,C}$	$Q_{C,nd}$ [kWh]
MJESEČNO										
Siječanj	1.931	1.132	3.063	291	588	879	0,29	0,272	0,77	36
Veljača	1.725	1.010	2.734	291	531	822	0,30	0,283	0,76	36
Ožujak	1.582	913	2.495	376	588	964	0,39	0,352	0,71	60
Travanj	1.126	630	1.755	401	569	970	0,55	0,468	0,71	106
Svibanj	521	276	797	268	588	856	1,08	0,701	0,71	211
Lipanj	56	- 14	42	263	569	832	19,62	0,998	0,71	560
Srpanj	- 247	- 205	- 452	278	588	866	1.000,00	1,000	0,71	936
Kolovoz	- 203	- 177	- 380	275	588	863	1.000,00	1,000	0,71	883
Rujan	351	171	522	263	569	832	1,59	0,816	0,71	288
Listopad	870	467	1.337	361	588	949	0,71	0,556	0,71	145
Studeni	1.323	753	2.076	166	569	735	0,35	0,327	0,72	40
Prosinac	1.796	1.047	2.843	304	588	892	0,31	0,294	0,75	42
UKUPNO										3344

(Izradio: Autor)

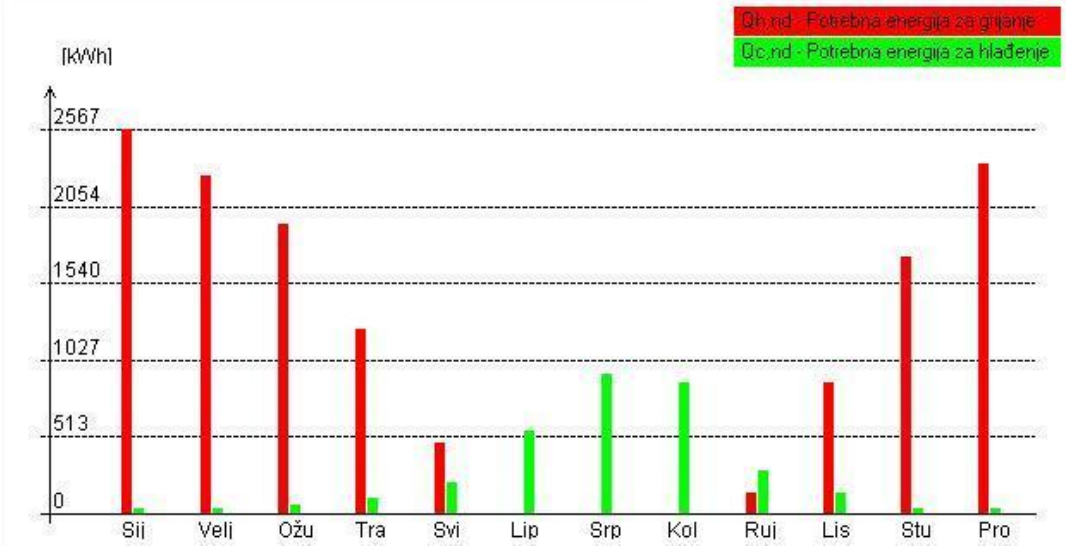
Završni rezultati proračuna sa osnovnim podacima o izoliranoj građevini, gubicima i dobicima topline , koeficijentima gubitaka i potrebnom energijom za grijanje i hlađenje su prikazani u sljedećoj tablici (Tablica 24).

Tablica 24: Rezultati proračuna potrebne energija za grijanje i hlađenje izolirane zgrade

Rezultati proračuna potrebne potrebne toplinske energije za grijanje i toplinske energije za hlađenje prema poglavlju VII. Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, za zgradu grijanu na temperaturu 18°C ili višu	
Godišnja potrebna toplina za grijanje	$Q_{H,nd}$ = 13571,68 [kWh/a]
Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici ploštine korisne površine (za stambene i nestambene zgrade)	$Q''_{H,nd}$ = 85,86 (max = 47,76) [kWh/m^2 a]
Godišnja potrebna energija za hlađenje	$Q_{C,nd}$ = 3344,48 [kWh/a]
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade	$H'_{tr,adj}$ = 0,39 (max = 0,64) [W/m^2 K]
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka	$H_{tr,adj}$ = 166,69 [W/K]
Koeficijent toplinskog gubitka provjetravanjem	$H_{ve,adj}$ = 95,09 [W/K]
Ukupni godišnji gubici topline	Q_l = 75.702,85 [MJ]
Godišnji iskoristivi unutarnji dobici topline	Q_i = 24.924,48 [MJ]
Godišnji iskoristivi solarni dobici topline	Q_s = 18.378,83 [MJ]

(Izradio: Autor)

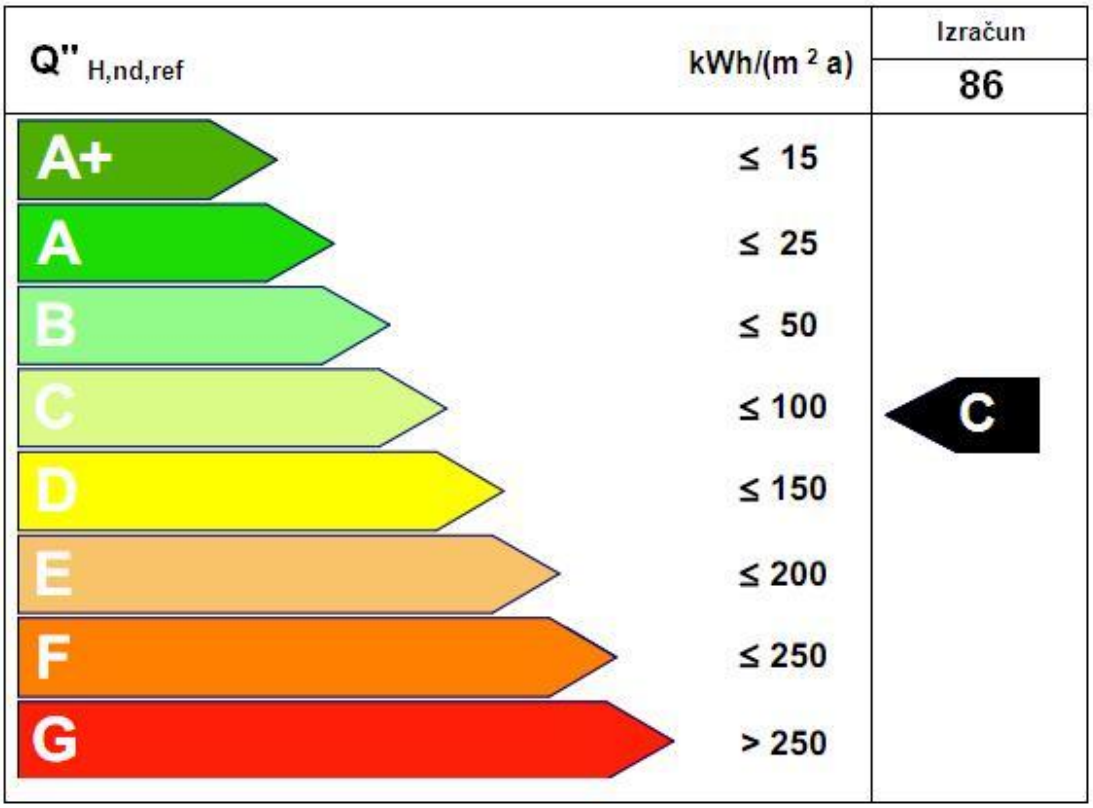
Grafički prikaz godišne potrebne energije za grijanje i hlađenje izolirane zgrade, podijeljen po mjesečnoj količini energije prikazan je na sljedećoj slici (Slika 28).



Slika 28 Grafički prikaz potrebne energija za grijanje i hlađenje izolirane zgrade

(Izradio: Autor)

Obiteljska kuća nakon izrade toplinske izolacije zidova, stropa prema tavanu i zamjene postojećih vanjskih otvora za referentne klimatske podatke ima potrebnu količinu energije za grijanje po jedinici površine $\mathbf{Q_{H,nd} = 85,86\ kWh/m^2a}$, čime se svrstava u energetski razred **C** (Slika 29).



Slika 29: Energetski razred izolirane zgrade

(Izradio: Autor)

Cjelokupni proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora izolirane zgrade dostupan je za pregled u Prilogu 2.

6.3. Analiza godišnjih potreba energije prije i nakon primjene toplinske izolacije

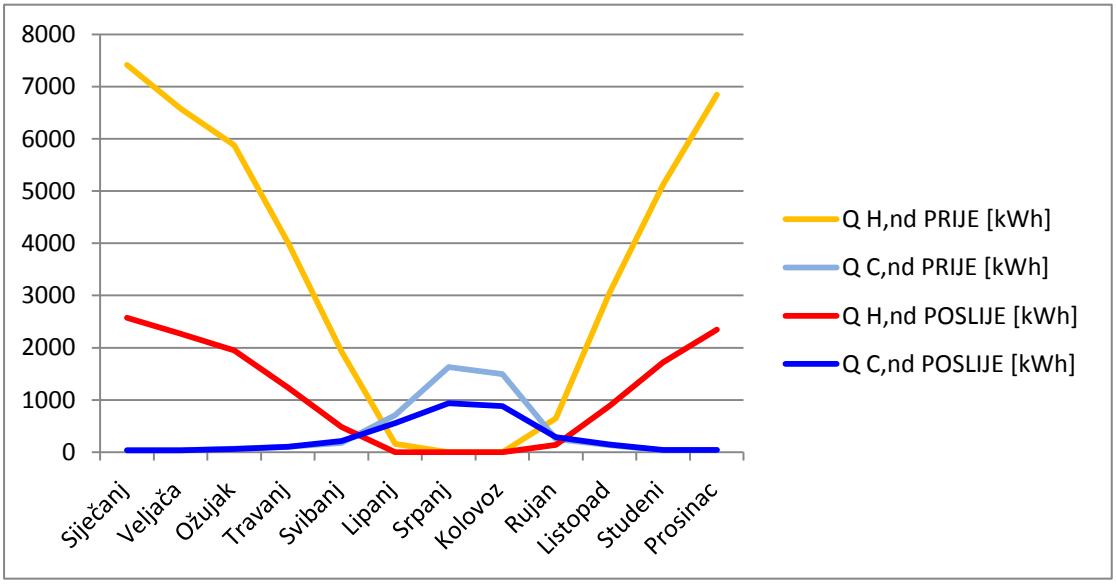
Usporedbom godišnjih potreba energije za grijanje i hlađenje prije i nakon izvedenih radova na postavljanju toplinskih izolacija vidljivo je da su mjere koje su poduzete smanjile godišnje potrebe za energijom sa 41642 kWh/a na 13572 kWh/a. Proizlazi da su se godišnje potrebe energije za grijanje prostora smanjile za **67,40 %**. Godišnje potrebe energije za hlađenje prostora su nakon primjene toplinskih izolacija umanjene s 4713 kWh/a na 3344 kWh/a, što iznosi smanjenje potreba za **29,05%** (Tablica 25).

Tablica 25: Rezultati proračuna potrebne energija za grijanje i hlađenje izolirane zgrade

	Godišnja potrebna energija za grijanje [kWh/a]	Godišnja potrebna energija za hlađenje [kWh/a]
Prije	41642	4713
Poslije	13572	3344
Ušteda	28070	1369
Postotak uštede	**67,40%**	**29,05%**

(Izradio: Autor)

Usporedba godišnje potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora prije i poslije toplinskog izoliranja zgrade prikazana je na sljedećoj slici (Slika 30).



Slika 30: Godišnje potrebe energije za grijanje i hlađenje prije i nakon izvedbe izolacije

(Izradio: Autor)

Na ukupne godišnje uštede različito su utjecale mjere postavljanje toplinske izolacije na građevne elemente. Kako bi se stekao bolji uvid u utjecaj pojedinih primjena toplinske izolacije, izrađena je tablica koja pokazuje količinu godišnje potrebe energije za grijanje i hlađenje koju je primjena određene izolacije smanjila. Uz količinski prikaz smanjenja godišnje potrebne energije za grijanje i hlađenje, rezultat je prikazan i u postotnom obliku. Rezultati izračuna nalaze se u sljedećoj tablici (Tablica 26).

Tablica 26: Utjecaj toplinske izolacije na godišnju potrošnju energije

	Naziv mjere		
	Izolacija vanjskih zidova	Izolacija stropa prema tavanu	Zamjena vanjskih otvora
Qh,nd [kWh/a] - PRIJE	41642	41642	41642
Qh,nd [kWh/a] - POSLIJE	26894	31189	38773
UŠTEDA Qh,nd	**14 748**	**10 453**	**2 869**
Postotak smanjenja Qh,nd	**35,42%**	**25,19%**	**6,88%**
Qc,nd [kWh/a] - PRIJE	4713	4713	4713
Qc,nd [kWh/a] - POSLIJE	4341	4541	3884
UŠTEDA Qc,nd	**372**	**172**	**829**
Postotak smanjenja Qch,nd	**7,90%**	**3,65%**	**17,50%**

(Izradio: Autor)

Iz tablice je vidljivo da izrada izolacije vanjskih zidova najviše smanjuje godišnju potrošnju energije u usporedbi s izradom izolacije na stropu prema tavanu i zamjeni vanjskih prozora i vrata. S druge strane, u perionu hlađenja, najveću uštedu energije postiže upravo zamjena vanjskih otvora.

7. ANALIZA ISPLATIVOSTI INVESTICIJE

Analiza isplativosti ulaganja u toplinsku izolaciju zgrade obuhvaća izradu financijske analize investicije kako bi se dobila ukupna novčana vrijednost investicije, izračun novčanih ušteda na energentima za grijanje i hlađenje objekta te izračun vremena povrata investicije s obzirom na ostvarene godišnje novčane uštede.

7.1. Analiza cijene investicije

Analiza cijene investicije obuhvaća ukupnu cijenu izrade radova navedenih u šestom poglavlju ovog rada. Fasaderske i stolarske radove je potrebno izvoditi paralelno budući da je zamjena vanjskih prozora i vrata usko vezana radovima na izolaciji zidova. Troškovnik svih potrebnih radova prikazan je u nastavku rada (Tablica 27).

Tablica 27: Troškovnik radova

TROŠKOVNIK RADOVA

A/	**FASADERSKI RADOVI**	**j.m.**	**količina**	**cijena/j.m.**	**ukupno**
1.	Izvedba toplinske fasade sustava ETICS. Radovi uključuju nabavu dovoz i ugradnju toplinsko-izolacijskih ploča ekspandiranog polistirena(EPS), debljine 12 cm,gutoće 20 kg/m3, koeficijenta toplinske provodljivosti λ = 0,037 W/mK. U cijenu uključeni EPS, ljepilo, fasadna mrežica, pričvrsnice, završni sloj silikatne tankoslojne žbuke i postavljanje skele.	m2	211,50	280,00	59.220,00
B/	**IZOLATERSKI RADOVI**	**j.m.**	**količina**	**cijena/j.m.**	**ukupno**
1.	Nabava dovoz i postava toplinsko-izolacijskih ploča od mineralne vune, debljine 10+5 cm, koeficijenta toplinske provodljivosti λ = 0,035 W/mK na pod negrijanog tavana objekta. U cijenu uključena mineralna vuna, parna brana debljine 2 mm i PVC folija	m2	90,00	115,00	10.350,00

C/	STOLARSKI RADOVI	j.m.	količina	cijena/j.m.	ukupno
1.	Zamjena postojećih prozora i vratiju, PVC vratima i PVC prozorima ostakljenih trostrukim staklom s LOW-E premazom, punjeno argonom, vrijednosti koeficijenta prolaska topline Uw = 0,8 W/m2K. S. Stavka uključuje demontažu postojećih otvora, dobavu i ugradnju novih..	m2	23,34	2.000,00	46.680,00

REKAPITULACIJA			
A/	FASADERSKI RADOVI		59.220,00
B/	IZOLATERSKI RADOVI		10.350,00
C/	STOLARSKI RADOVI		46.680,00
	SVEUKUPNO	kn	116.250,00

(Izradio: Autor)

Iz troškovnika radova vidljivo je da je cjelokupna investicija vrijedna 116 250,00 kn, od čega su najskuplje stavke izrada izolacije vanjskih zidova (59 220,00 kn) te zamjena postojećih prozora i vrata (46 680,oo kn). Cijene izvođenja radova navedene u troškovniku su informativne prirode i predstavljaju srednju cijenu takvih radova na području Istrarske županije.

7.2. Isplativost investicije za različite tipove grijanja i hlađenja

Izračun isplativosti investicije u vremenskom periodu računa se na način da se na temelju godišnjeg smanjenja toplinske energije za zagrijavanje prostora izračuna količina goriva koja se tom mjerom smanjila. Godišnja količina goriva potrebna za zagrijavanje prostora se izračunava po formuli, (20)

$$F_{n,a} = \frac{Q_{S,h,nd}}{P_{ogr} \cdot \eta_f} \; [m.j./a] \qquad (20)$$

gdje su:

$F_{n,a}$ – Godišnja potrebna količina goriva (m.j./a);

$Q_{S,h,nd}$ – Godišnja potrebna energija za grijanje (u ovom slučaju je godišnje smanjenje potrebne energije za grijanje) (kWh/a)

P_{ogr} – ogrijevna vrijednost goriva (kWh/m.j.)

η_F – stupanj iskoristivosti goriva u sustavu za grijanje

U slučaju izračuna isplativosti investicije, potrebno je izračunati koliko se goriva godišnje uštedi primjenama toplinske izolacije na zgradi, te kolika je vrijednost uštede. Treba napomenuti da se godišnjoj novčanoj uštedi na gorivu za zagrijavanje treba pribrojiti i godišnja ušteda količina energije za hlađenje. Kako rashladni uređaji kao energent koriste električnu energiju, izračun se vrši po formuli, (21)

$$E_{c,nd} = \frac{Q_{S,c,nd}}{q_c} \ [m.j./a] \qquad (21)$$

Gdje su:

$E_{c,nd}$ – Godišnja ušteđena električna energije za hlađenje (kWh/a);

$Q_{S,c,nd}$ – Godišnja ušteda energije za hlađenje prostora (u ovom slučaju je godišnje smanjenje potrebne energije za grijanje) (kWh/a)

q_c – rashladni učinak uređaja za hlađenje prostora

Za predmetnu građevinu godišnja novčana ušteda za rashlađivanje objekta, pri godišnjoj uštedi energije za hlađenje objekta $Q_{S,c,nd}$ = 1369 kWh/a i rashladnom učinu uređaja za hlađenje (klima uređaj) od q_c = 4 iznosi $E_{c,nd}$ = **343 kWh/a**. Ostvarena novčana ušteda kod cijene električne energije od 1,50 kn/kWh iznosi **514,50 kn** godišnje. Godišnja ušteda energenata za grijanje s dodanom uštedom električne energije za hlađenje prikazana je u sljedećoj tablici (Tablica 28).

Tablica 28: Godišnje uštede energenata po jedinici količine i novčanoj vrijednosti

	Prirodni plin	Lako loživo ulje	Ogrijevno drvo	Drveni peleti
jedinica mjere (j.m.)	m3	l	m3	kg
Godišnja ušteda energije za grijanje (kWh/a)	28070	28070	28070	28070
Ogrijevna vrijednost (kWh/j.m.)	9,67	9,96	1900	5
Stupanj iskoristivosti goriva (%)	97	92	70	92
Godišnja ušteđena količina goriva (j.m./a)	2992,57	3063,34	21,11	6102,17
Cijena po j.m. (kn)	3,65	4,15	350	1,5
Ukupna godišnja ušteda na gorivu za grijanje (kn/a)	**10 922,88**	**12 712,86**	**7 386,84**	**9 153,26**
Ušteda na el. Energiji za hlađenje prostora (kn/a)	**514,50**	**514,50**	**514,50**	**514,50**
Ukupna godišnja ušteda (kn/a)	**11 437,38**	**13 227,36**	**7 901,34**	**9 667,76**

(Izradio: Autor)

Vrijeme povrata investicije izračunava se tako što se ukupna cijena investicije dijeli sa ukupnim godišnjim novčanim uštedama, te se dobija broj godina kroz koje će se investicija isplatiti kroz smanjenje potrošnje nergenata za grijanje i hlađenje. Izračun vremena povrata investicije za različite tipove grijanje prikazan je u sljedećoj tablici (Tablica 29).

Tablica 29: Vrijeme povrata investicije

	Vrijednost investicije (kn)	Godišnja novčana ušteda (kn/a)	**Vrijeme povratka investicije (god.)**
Prirodni plin	116 250,00	11 437,38	**10,2**
Lako loživo ulje	116 250,00	13 227,36	**8,8**
Ogrijevno drvo	116 250,00	7901,34	**14,7**
Drveni peleti	116 250,00	9667,76	**12,0**

(Izradio: Autor)

Iz tablice je vidljivo da je vrijeme povrata investicije najkraće kod zagrijavanja prostora lakim loživim uljem, dok je najduže vrijeme povrata investicije kod zagrijavanja prostora ogrijevnim drvom, što je i za očekivati ako se uzme u obzir ogrijevna vrijednost goriva i njihova cijena.

7.3. Mogući izvori financiranja

Investicija u toplinsku izolaciju i povećanje energetske učinkovitosi zgrade je korisnicima zgrade često financijski skup zahvat, te se u velikom broju slučajeva korisnici ne odlučuju na takve zahvate iz razloga što financijski ne mogu snositi troškove. Uz manjak informiranosti o mogućnostima i veličini uštede koju bi ulaganje u toplinsku izolaciju objekta dugororočno donijelo, velik broj korisnika zgrada odlučuje da je takvo ulaganje neisplativo, ili investiciju usmjeravaju u zamjenu sustava grijanja ili energenta za grijanje. Korisnicima koji se ipak odluče u investiranje u toplinsku izolaciju i povećanje enerfetske učinkovitosti, na raspolaganju je nekoliko mogućnosti kojima se investicija može olakšati. Jedan način je sufinanciranje investicije nepovratnim sredstvima od strane Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost Republike Hrvatske ili samostalno financiranje investicije uz pomoć kredita za obnovu i povećanje energetske učinkovitosti, takozvanim „zelenim“ kreditima.

7.3.1. Sufinanciranje od strane Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost.

Vlada Republike Hrvatske, Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja i Ministarstvo zaštite okoliša i prirode donijeli su 27. ožujka 2014. godine *Program energetske obnove obiteljskih kuća*, kojeg provodi Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost. Cilj je Programa povećanje energetske učinkovitosti postojećih kuća, smanjenje potrošnje energije i emisija CO_2 u atmosferu te smanjenje mjesečnih troškova za energente, uz ukupno poboljšanje kvalitete života. Istovremeno, planiranje ovakvih zahvata podrazumijeva i angažman lokalnih tvrtki i stručnjaka odnosno potiče gospodarsku aktivnost.[28] Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost

[2828] http://www.fzoeu.hr/hr/energetska_ucinkovitost/enu_u_zgradarstvu/energetska_obnova_obiteljskih_kuca

nepovratnom sredstvima, u određenim postocima (Slika 31) sufinancira :

1) Zamjenu vanske stolarije
2) Toplinsku zaštitu ovojnice grijanog prostora
3) Ugradnju kondenzacijskog plinskog kotla
4) Ugradnju sustava za korištenje obnovljivih izvora energije

Sufinanciranje se odobrava za postojeće obiteljske kuće izgrađene temeljem građevinske dozvole, do 600 m^2 bruto građevne površine kod kojih je najmanje 50% podne površine namijenjeno stanovanju. Prilikom sufinanciranja nužno je da koeficijenti prolaska topline za vansku stolariju budu U ≤ 1,60 W/m^2K (za primorsku Hrvatsku), koeficijent prolaska topline za krovišta, stropove i podove prema negrijanim prostorima budu U ≤ 0,25 W/m^2K (za primorsku Hrvatsku) i koeficijent topline za vanjske zidove U ≤ 0,40 W/m^2K (za primorsku Hrvatsku). Ostali uvjeti za ostvarivanje prava na sufinanciranje energetske obnove obiteljskih kuća moguće je vidjeti u Javnom pozivu za sufinanciranje energetske obnove obiteljskih kuća koji se nalazi u Prilogu 3.

1. **do 80%** na području posebne državne skrbi i na prvoj skupini otoka, **ali ne više od 168.000 kn** i to:
    1. do 60.000 kn za toplinsku zaštitu ovojnice,
    2. do 60.000 kn za zamjenu vanjske stolarije,
    3. do 24.000 kn za ugradnju jednog ili više sustava za korištenje OIE te
    4. do 24.000 kn za ugradnju plinskih kondenzacijskih kotlova;
2. **do 60%** na brdsko-planinskom području i na drugoj skupini otoka, **ali ne više od 126.000 kn** i to:
    1. do 45.000 kn za toplinsku zaštitu ovojnice,
    2. do 45.000 kn za zamjenu vanjske stolarije,
    3. do 18.000 kn za ugradnju jednog ili više sustava za korištenje OIE te
    4. do 18.000 kn za ugradnju plinskih kondenzacijskih kotlova;
3. **do 40%** na ostalim područjima, **ali ne više od 84.000 kn** i to:
    1. do 30.000 kn za toplinsku zaštitu ovojnice,
    2. do 30.000 kn za zamjenu vanjske stolarije,
    3. do 12.000 kn za ugradnju jednog ili više sustava za korištenje OIE te,
    4. do 12.000 kn za ugradnju plinskog kondenzacijskog kotlova.

Slika 31: Postotak sufinanciranja od strane Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost

(Izvor: Javni poziv za sufinanciranje energetske obnove obiteljskih kuća)

Uzme li se za primjer predmetna obiteljska kuća iz ovog rada, mjere izvedbe toplinske izlolacije stropa prema tavanu i zamjene postojeće stolarije ulaze u kriterije Fonda, dok je toplinsku izolaciju zidova potrebno predvidjeti u debljem sloju kako bi zadovoljila zahtjeve iz javnog poziva. Cijena investicije u mjere predložene u ovom radu snizile bi se sa **116 250,00 kn** na **91 028,00 kn**, ukoliko bi se odobrilo maksimalno sufinanciranje od strane fonda, čime bi se cijena investicije smanjila za **21,68**%.

7.3.2. Kreditiranje putem „zelenih“ kredita

Investiranje u energetsku učinkovitost zgrade, gradnja niskoenergetskih i pasivnih kuća, te interes ljudi za kupovinu istih u zadnjih nekoliko godina znatno se povećao na području Republike Hrvatske, te je povećanjem interesa za energetsku obnovu bankarski sektor odlučio ponuditi građanima Hrvatske financijske pakete za kreditiranje upravo tih oblika kupnje, gradnje ili nadogradnje svojih objekata. Većina banaka je u svoju ponudu uvela takozvanje „zelene“ kredite, koji su uglavnom namjenski, i kojima je karakteristična niža kamatna stopa u odnosu na standardne stambene kredite, namjenske ili nenamjenske kredite. Godišnje kamatne stope takvih kredita uglavnom se kreću oko 4,6% do 5,5%, za razliku od stambenih kredita gdje je kamatna stopa od 5,5% do 6,5% ili nenamjenskih kredita s godišnjom kamatnom stopom do 7,8% godišnje. Uzevši za primjer dva kredita, jedan namjenski kredit i jedan kredit za poboljšanje energetske učinkovitosti, s godišnjim kamatnim stopama od 4,7% za „zeleni“ kredit i 6,5% za namjenski kredit,za iznos od 120 000 kn s rokom otplate od 10 godina, uz pomoć kreditnog kalkulatora izračunati su sljedeći rezultati (Tablica 30).

Tablica 30 Usporedba „zelenog“ i namjenskog kredita

Iznos kredita	Godišnja kamatna stopa	Rok otplate	Iznos anuiteta	Ukupan povrat
120 000,00 kn	**4,7 %**	10 godina	**1255 kn**	**150 631 kn**
120 000,00 kn	**6,5%**	10 godina	**1363 kn**	**163 509 kn**

(Izvor: http://www.moj-bankar.hr/Kredit/Kalkulator)

Iz tablice je vidljivo da se podizanjem „zelenog“ namjenskog kredita u odnosu na običan namjenski ili nenamjenski kredit u banci, s obzirom na kamatnu stopu, iznos mjesečnog anuiteta smanjio za oko 8% što na desetogodišnju otplatu kredita donosi za oko 13 000 kn manji ukupni povrat. Iako je kamatna stopa na financiranje energetski učinkovite u stalnom blagom padu, još uvijek postoji znatna razlika u odnosu na ostale zemlje članice EU. Ponuda povoljnih kredita za izgradnju i kupnju energetski učinkovitog objekta te kredita za energetsku obnovu, jedan je od glavnih motivatora za poboljšanje energetske učinkovitosti u zgradarstu, te uz dodatnu edukaciju i kontinuiran napredak i poboljšanja ključan element u smanjenju energetskih potreba kućanstava, ali i potrošnje energije na državnoj razini.

8. ZAKLJUČAK

Analizom podataka energetskih svojstva predmetne obiteljske kuće, dolazi se do zaključka da objekti takvog tipa imaju vrlo visoke energetske potrebe te je nužna primjena toplinske izolacije u cilju smanjenja godišnjih potreba za energijom. Uvidom u postojeće stanje uočeno je da su keoficijenti prolaska topline gotovo svih građevnih dijelova, te su energetski gubici veliki, zbog čeka je zgrada svrstana u energetski razred G. Izračunom koeficijenata prolaska topline građevnih elemenata pokazala su se kritična mjesta konstrukcije zgrade koje je nužno sanirati. Proračunom u računalnom programu KI Expert Plus izračunato je da su postojeće potrebe energije za zagrijavanje prostora zgrade iznose 41642 kWh/a, dok potrebe za hlađenje objekta iznose 4713 kWh/a.

Odabirom odgovarajućih mjera izrade toplinske zaštite i njihovom primjenom na zgradi, godišnje potrebe energije za zagrijavanje prostora smanjene su na 13572 kWh/a što iznosi smanjenje za 67%, čime je dokazana početna hipoteza. Potrebna energija za rashlađivanje prostora snižena je na 3344 kWh/a što iznosi smanjenje za 29%. Ukupno ulaganje u takvu investiciju koštalo bi 116250,00 kn, dok bi povrat investicije bio od 8,8 do 14,7 godina, ovisno o energentu koji služi za zagrijavanje prostora. Zgrada bi nakon primjene navedenih mjera zaštite spadala u energetski razred C.

Daljnji koraci kojima bi se poboljšala energetska učinkovitost zgrade bili bi zamjena sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode budući da su sustavi velike potrošnje energije, te zamjena kućanskih uređaja i unutarnje rasvjete. Jedan od važnih koraka za kontinuirano poboljšanje energetske učinkovitosti zgrade je i edukacija korisnika, upoznavanje s metodama praćenja i analize energetskih potreba zgrade i načinom prepoznavanja potencijala za poboljšanje.

9. POPIS LITERATURE

1. Pravilnik o energetskom pregledu zgrada i energetskom certificiranju zgrada (NN 48/14,150/14), Zagreb, 2014
2. Tehnički propis o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 97/14,130/14), Zagreb, 2014
3. Soldo V.; Novak S.; Horvat I., Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790,FSB, Zagreb,2014
4. Energija u Hrvatskoj-godišnji energetski pregled, Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb, 2012
5. Džepni priručnik – Sve o izolaciji, Ursa Insulation, Madrid, 2009
6. Bozsaky D.; The historical development of thermal insulation materials", Periodica Polytechnica-Architecture , 2011
7. Veršić Z.; Tehnička regulativa gradnje. Prozori i stakla, Tehničko veleučilište Zagreb, Graditeljski odjel 2014
8. Plesić S.; Prijelaz topline - Predavanja iz Fizike ,Fakultet elektronike i računarstva, Zagreb, 2013
9. Keindl R.; Nove generacije toplinsko izolacijskih materijala, Tehničko veleučilište Zagreb, Zagreb 2011
10. Biluš M.; Suvremeni i noviji/alternativni sustavi toplinske izolacije zgrada, Arhitektonski fakultet u Zagrebu, Zagreb, 2013
11. Labinac V.; Osnove fizike IV, Filozofski fakultet Rijeka,Odsjek za fiziku, Rijeka, 2006
12. Internetske stranice:
    - https://www.energy.eu/publications
    - http://www.shelterpub.com
    - http://www.zelena-gradnja.hr/proizvodi/eko-toplinska-izolacija
    - http://www.bygma.dk/images/Produktbilleder

- http://www.scg-trading.com
- http://en.foam-glass.net
- http://www.novotek.com
- https://hr.wikipedia.org
- http://www.fer.unizg.hr
- http://www.fzoeu.hr

10. PRILOZI

Prilog 1. Rezultati proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora za zgradu bez izolacije

Zbog svoje opsežnosti i veličine, rezultati proračuna su ispisani na multimedijskom disku (CD-ROM) koji je priložen uz ovaj rad.

Prilog 2. Rezultati proračuna potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora za zgradu s izvedenom toplinskom izolacijom

Zbog svoje opsežnosti i veličine, rezultati proračuna su ispisani na multimedijskom disku (CD-ROM) koji je priložen uz ovaj rad.

Prilog 3. Javni poziv za sufinanciranje energetske obnove obiteljskih kuća