

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: **2025-01-24**



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 nacрта

| | | |
|--------|--|----|
| 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 (46 680,00 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 energetska 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 energetske 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 energetske 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 building 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 community.

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 krovnom 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: Čelijasta 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 energetske 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 neizolirane zgrade | 53 |
| Tablica 12: Koeficijenti gubitaka provjetravanjem neizolirane 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 godišnji 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 stanovnika 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 energetske 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 CO₂, kao direktne 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 izgradnji 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

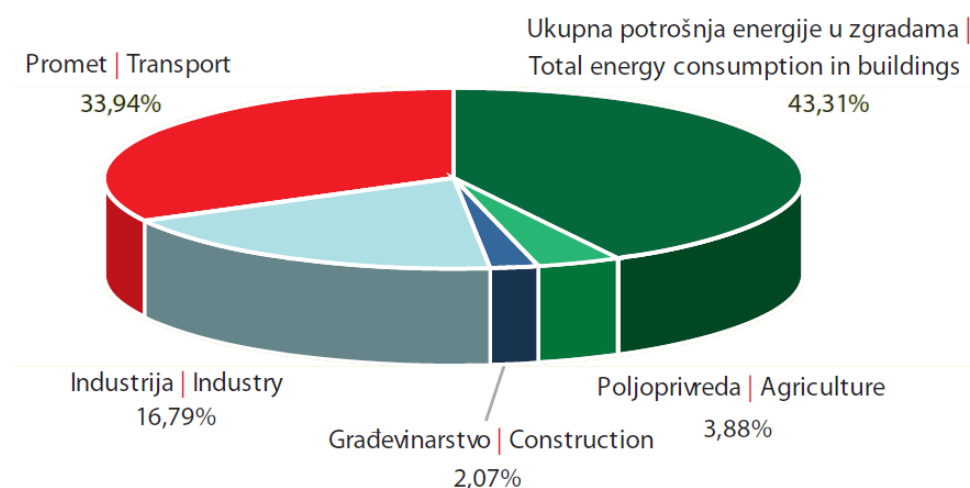
Završni rad se sastoji od nekoliko osnovnih poglavlja u kojima se obrađuje problematika potrošnje energije u sektoru zgradarstva u Republici Hrvatskoj. Prvo poglavlje se sastoji od uvoda u sam problem, određuje se cilj rada, definira svrha i postavlja hipoteza. Drugo poglavlje završnog rada prikazuje 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 energetske 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 energetske učinkovitost te mogućnost povoljnijeg kreditiranja putem „zelenih“ kredita. Osmo poglavlje je završni dio rada koje sadrži rezime cjelokopnog rada sa zaključkom i priložima.

2. GODIŠNJA POTROŠNJA ENERGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Energetsko izvješće 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 proizvodnji energije iz obnovljivih izvora zaostaje od ciljne 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).

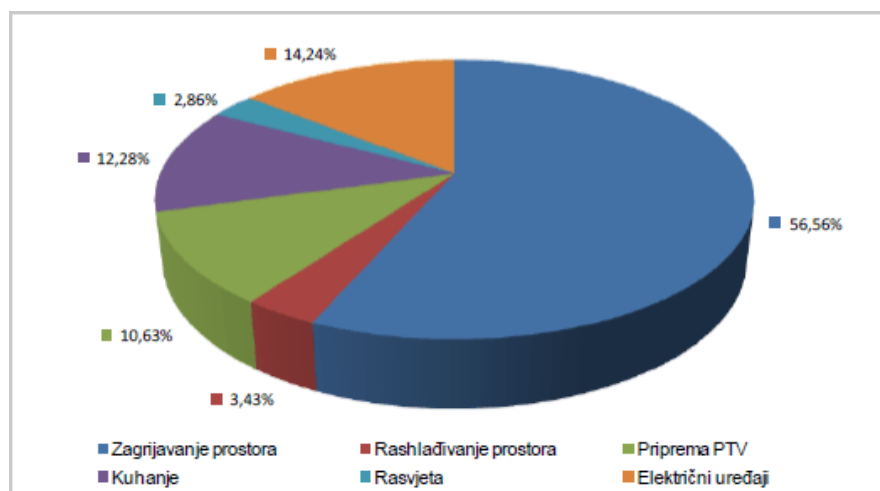


Slika 1: Godišnja potrošnja energije u RH po sektorima

(Izvor: Energija u Hrvatskoj-godišnji energetske 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 uvjeti 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, orijentaciju, 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 energetsom 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, energetske 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 potrošnje 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 energetske učinkovitosti 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 životinjskih kostiju prekrivenih prirodnim materijalima sličnima onim odjevnim; životinjskim kožama, krznima ili vunom (Slika 3).

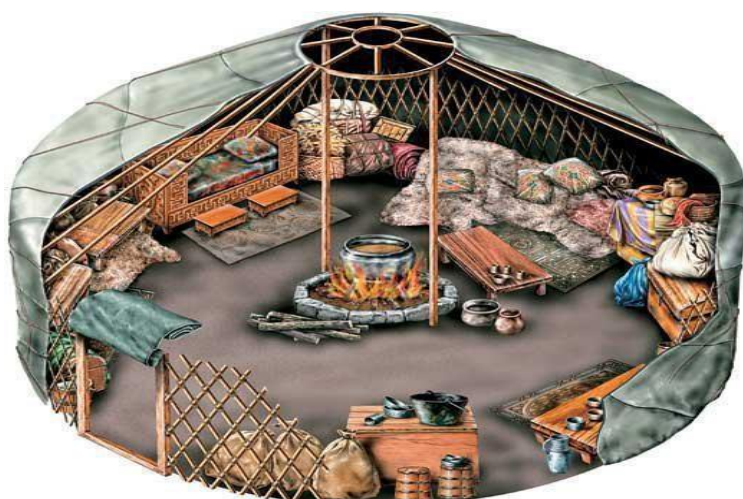


Slika 3: Replika šatora od drva i životinjskih koža iz doba paleolitika

(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 životinjskih 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, štitali 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 plaševi 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 strane, nisu otporne na vlagu, zapaljive su, postoji sklonost razmnožavanja kukaca i nametnika unutar takvih izolacija te ih je potrebno tretirati insekticidima i fungicidima.



Izolacijska ploča od drvene vune



Izolacija od ovčje vune



Izolacijska ploča od pluta



Izolacijska ploča od slame

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 (drvena, 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. godine². 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 stabilnost³. 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.jpg>13.08.2015)

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 temperature, vodu, klimatske uvjete, utjecaj kemikalija, ima veliku nosivost i vrlo malu težinu (Slika 9).



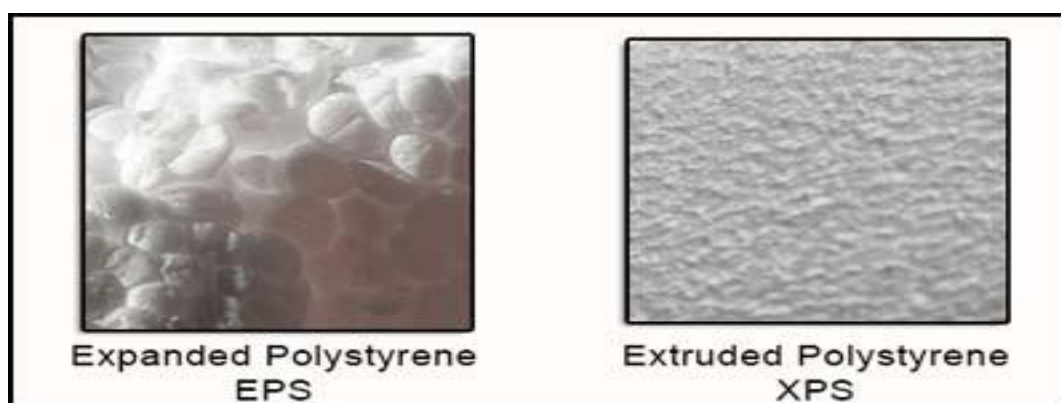
Slika 9: Pjenasto staklo i proizvodi od pjenastog stakla

(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 ekspaniranog polistirena (EPS).

Prvi ovakav proizvod pušten je na komercijalno tržište 1951. godine pod komercijalnim nazivom "Styropor®", kako je općepoznat i danas. Ekspanirani polistiren (XPS) i ekstrudirani polistires (EPS) su u suštini isti materijal, kod kojih je razlika u samom procesu izrade. Kod ekspaniranog 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.



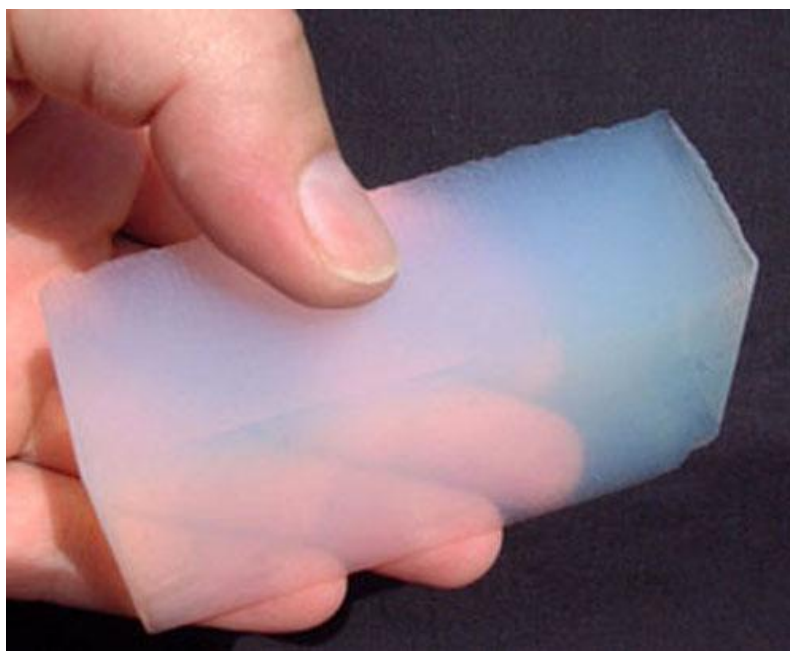
Slika 10: Čelijasta struktura ekspaniranog polistirena i ekstrudiranog polistirena

(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 poliuretani (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 ekspaniranog i ekstrudiranog polistirena.

Nakon 1950-ih godina tržište preplavljaju 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 nanočelijaste 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 krovnom pokrovom⁵ 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))

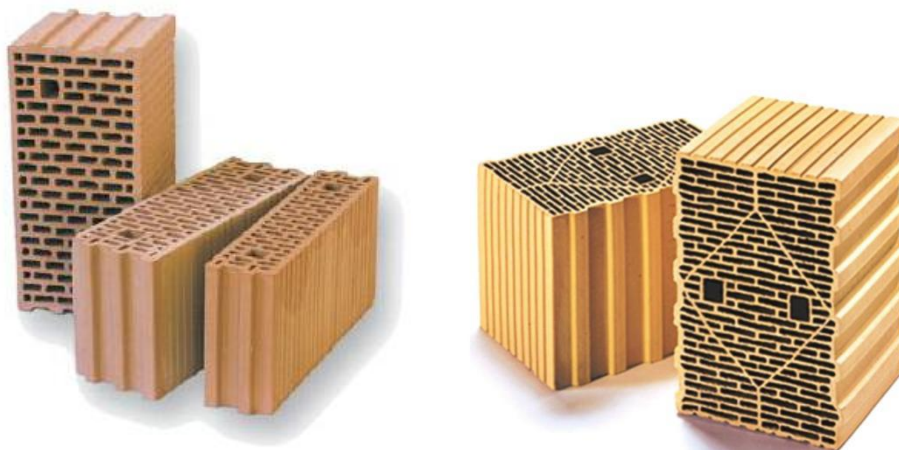
Ovakav način gradnje zadržati će se do otkrića proizvodnje opeke od sušene zemlje. Čerpić, ili sušena opeka je građevni materijal dobiven miješanjem blata, pijeska i organskog materijala kao što su slama, životinjski izmet, trina i slično, te drvenim kalupima oblikovan u blokove i sušen na suncu (Slika 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 arhitekt, 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 škrljac 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 zahtjeve 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

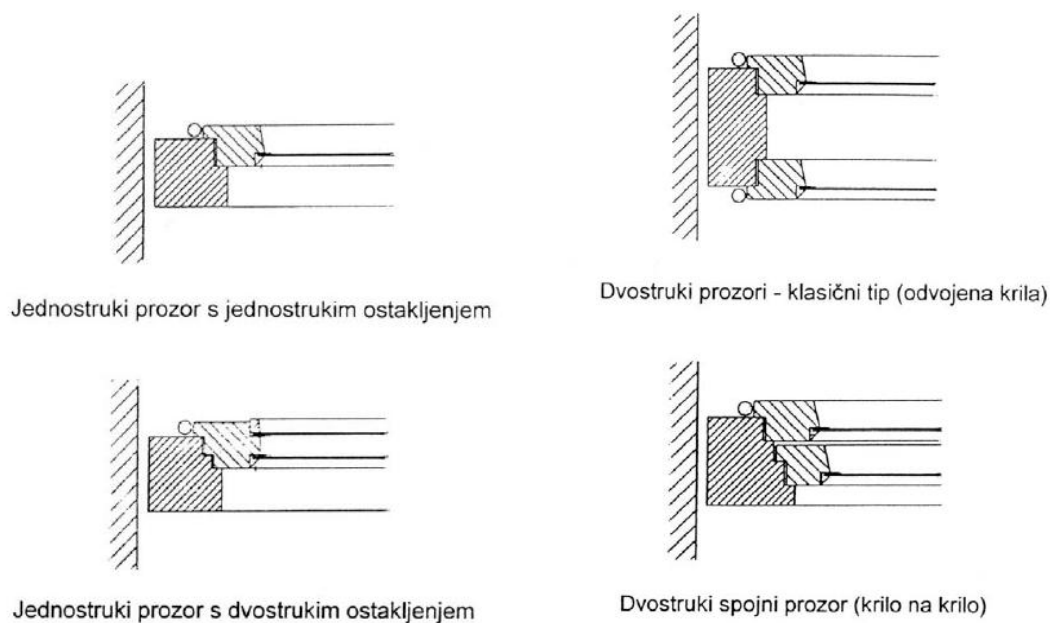
(Izvor: <http://www.novotek.co/uploadfile/2014/0828/20140828034140749.jpg> (05.10.2015))

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 tip⁷

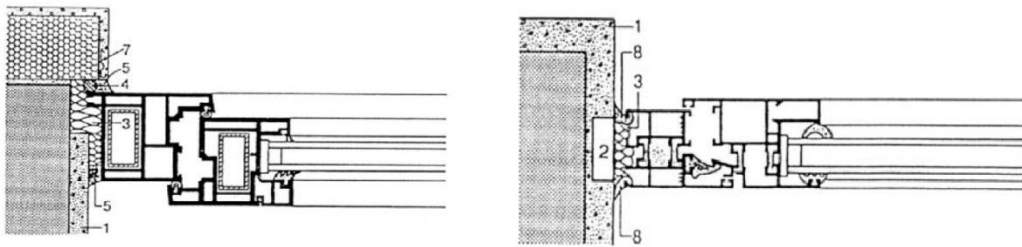
⁷ Veršić Z.; Tehnička regulativa gradnje. Prozori i stakla, Tehničko veleučilište Zagreb, Graditeljski odjel



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.

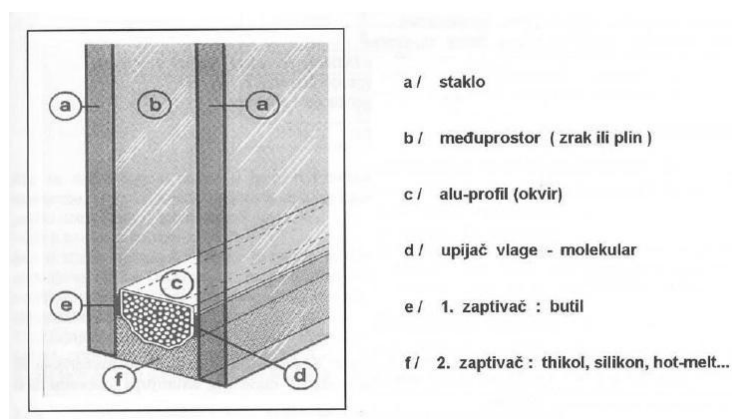


Slika 18: Prozor od PVC-a (lijevo) i aluminijski prozor (desno)

(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 učinkovitost. Najčešće se upotrebljavaju kombinacije aluminijski i drva (aluminij s vanjske, drvo s unutarnje strane), aluminij i PVC (povećana mehanička i termoizolacijska svojstva), te drvo u kombinaciji s polimernim premazima (otpornost na vremenske uvjete). 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.

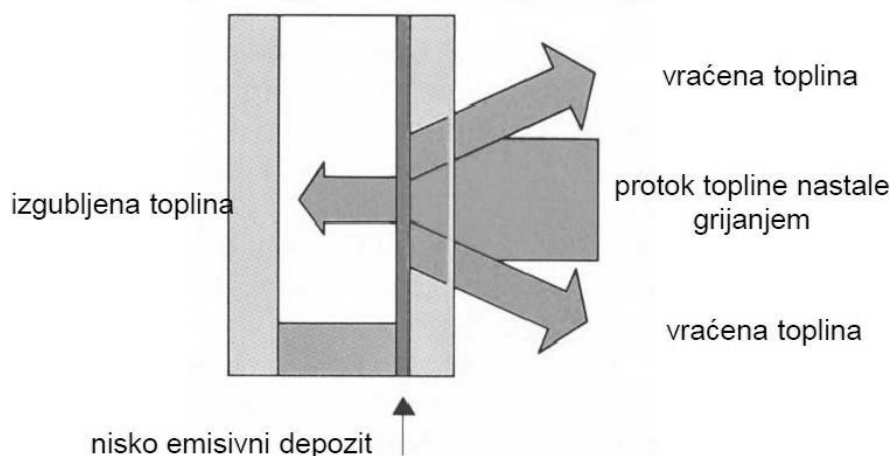


Slika 19: Konstrukcija izo stakla

(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-heksafluorid (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 makroskopskoj 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 temperaturu ($\Delta T > 0$) 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 ($\Delta T = 0$). 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 MJ⁹. Unutarnja toplinska energija tijela na određenoj temperaturi zavisna je o masi tijela, specifičnom toplinskom kapacitetu materijala i temperaturi tijela (1).

$$Q = m \cdot c \cdot T [J] \quad (1)$$

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 (ΔT). Mjerna jedinica je džul po kelvinu (J/K), (2).

$$c = \frac{Q}{\Delta T} \text{ [J/K]} \quad (2)$$

gdje su:

c – toplinski 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 stupanj¹⁰, (3).

$$c_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \text{ [J/kgK]} \quad (3)$$

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 temperaturne razlike u prekidima grijanja.

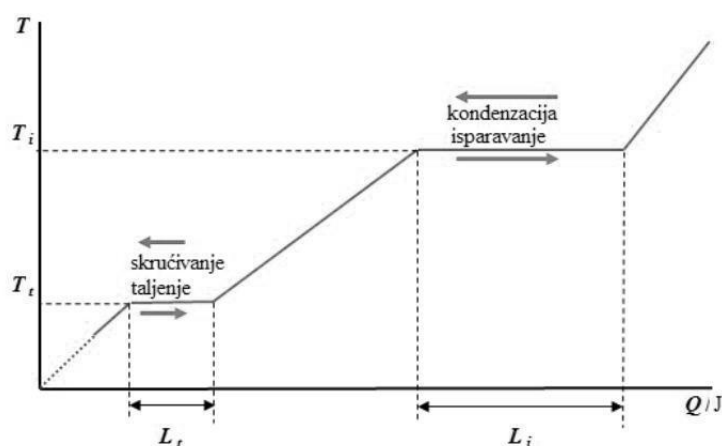
Tablica 2: Specifični toplinski kapaciteti nekig građevinskih materijala

| 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/skrucnjavanja - toplina izmijenjena pri prijelazu iz krutog u tekuće stanje i obrnuto
- Toplina kristalizacije/rekristalizacije - toplina izmijenjena pri prijelazu iz amornog stanja u kristalično i obrnuto¹¹



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).

$$Q_L = q_s \cdot m [J] \quad (4)$$

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 okolišu¹² (5).

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

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 prikladni 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. Uvjet 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 energetske 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).

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

gdje su:

Q- toplina (Ws);

l- duljina materijala koji provodi toplinu (m);

A- površina presjeka materijala okomita na prolaz topline(m²);

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.

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

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/m²K. Vrijednost suprotna koeficijentu prolaska topline je toplinski otpor (8):

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

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 zbrajaju kako bi se dobio ekvivalentni toplinski otpor (9).

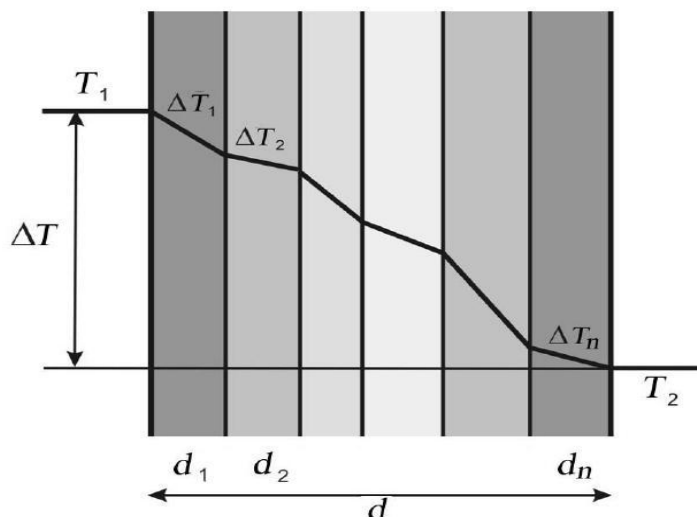
$$\begin{aligned} R_{T,ekv} &= R_{T1} + R_{T2} + \dots R_{Tn} \\ &= \frac{d_1}{\lambda_1 \cdot A_1} + \frac{d_2}{\lambda_2 \cdot A_2} + \dots \frac{d_n}{\lambda_n \cdot A_n} [m^2 K/W] \end{aligned} \quad (9)$$

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).

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

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).

$$\Delta T_1 = Q_p \frac{d_1}{\lambda_1 A_1}, \Delta T_2 = Q_p \frac{d_2}{\lambda_2 A_2}, \Delta T_n = Q_p \frac{d_n}{\lambda_n A_n} [K] \quad (11)$$

Zbrajanjem svih temperaturnih razlika dobija se ukupna temperaturna razlika između krajeva konstrukcije¹⁶, (12).

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

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.

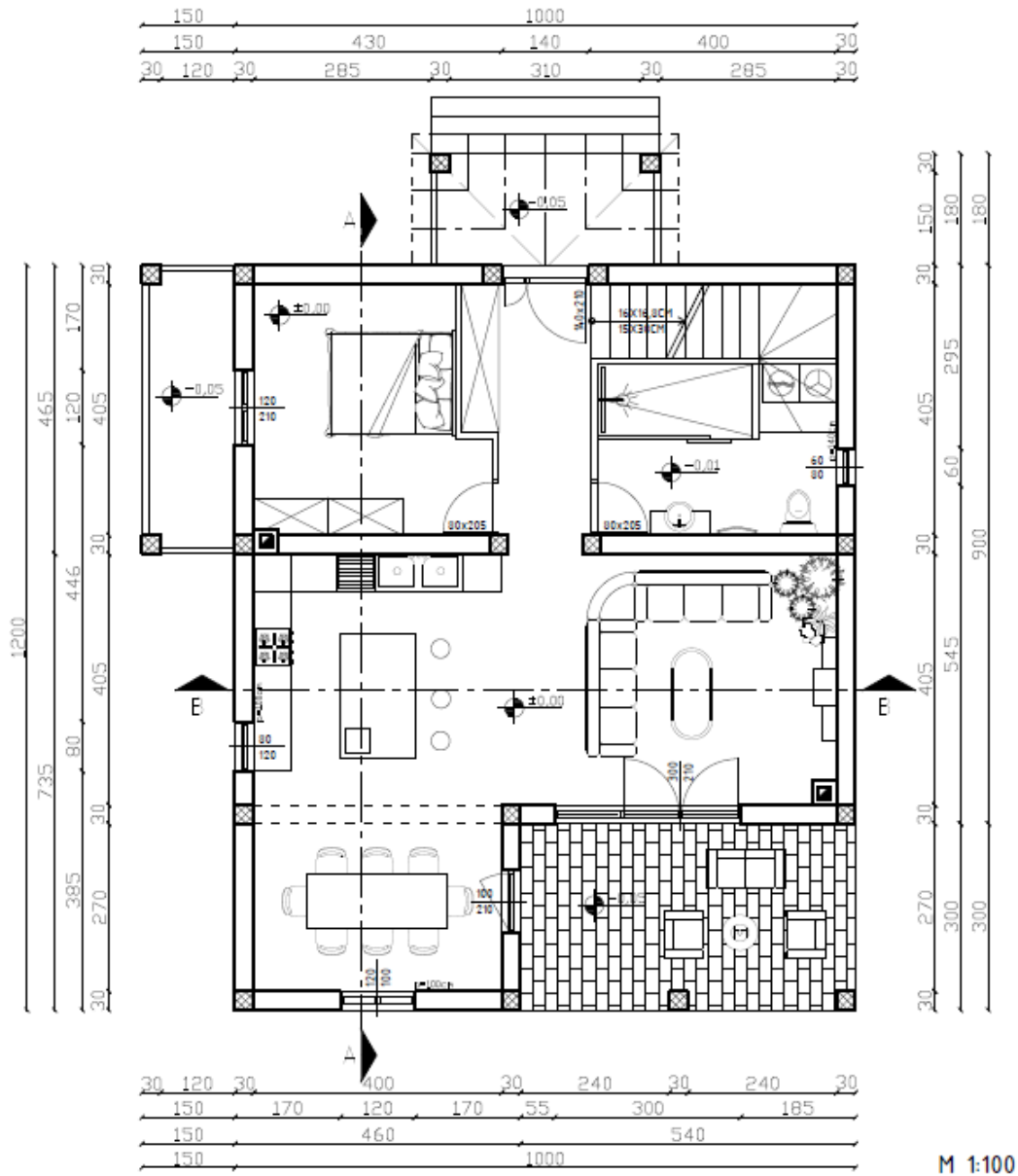
5. POTROŠNJA ENERGIJE U ZGRADI

Potrošnja energije za grijanje i hlađenje prostora individualna je za svaku pojedinu zgradu, te je zbog toga i proračun energetske potrebe zgrade različit za svaki pojedini objekt. 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 objekt 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/

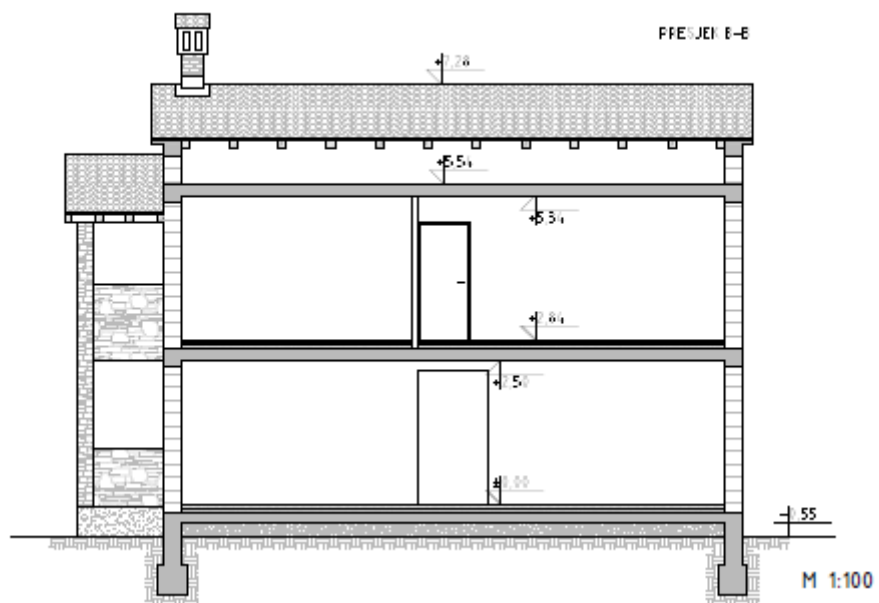
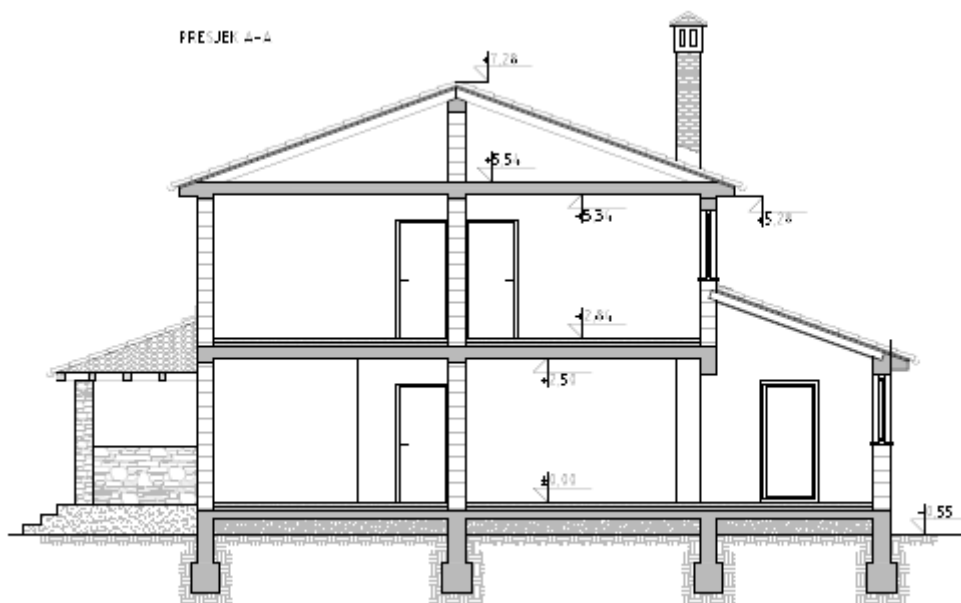
5.1. Tehnički opis zgrade

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. Orientacija objekta je u smjeru 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 m², od čega je 103,80 m² bruto površina prizemlja a 90,00 m² površina etaže. Neto korisna površina kuće iznosi 158,07 m², od čega je 87,23 m² površine prizemlja a 70,84 m² 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. Krovovišta su izrađena kao kosa drvena krovovišta, 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 infrastrukturu. 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.



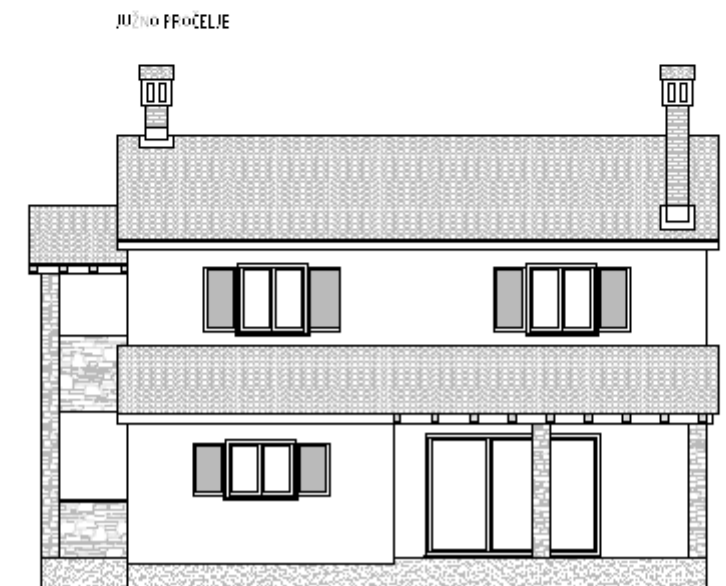
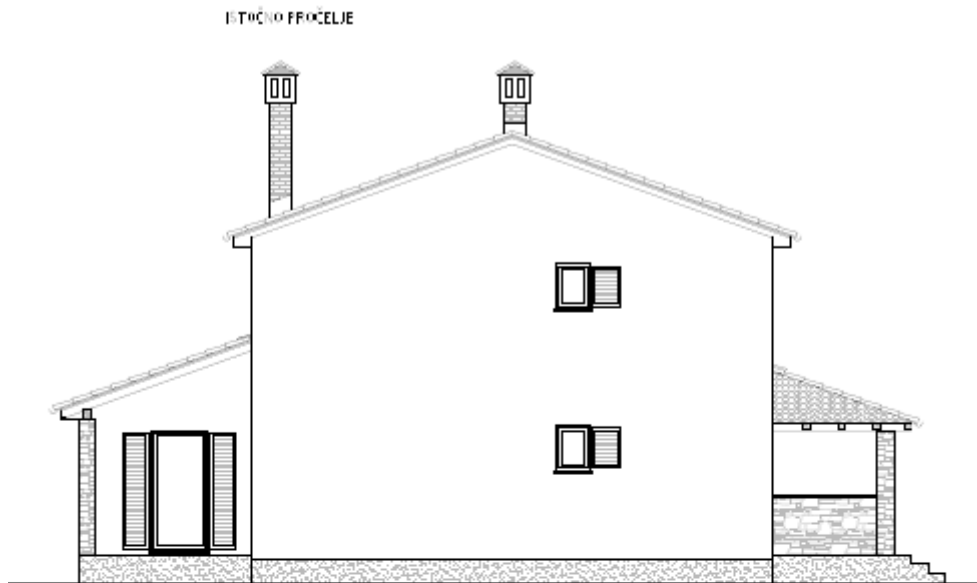
Nacrt 1: Tlocrt prizemlja

(Izradio: Autor)



Nacr 3: Presjeci

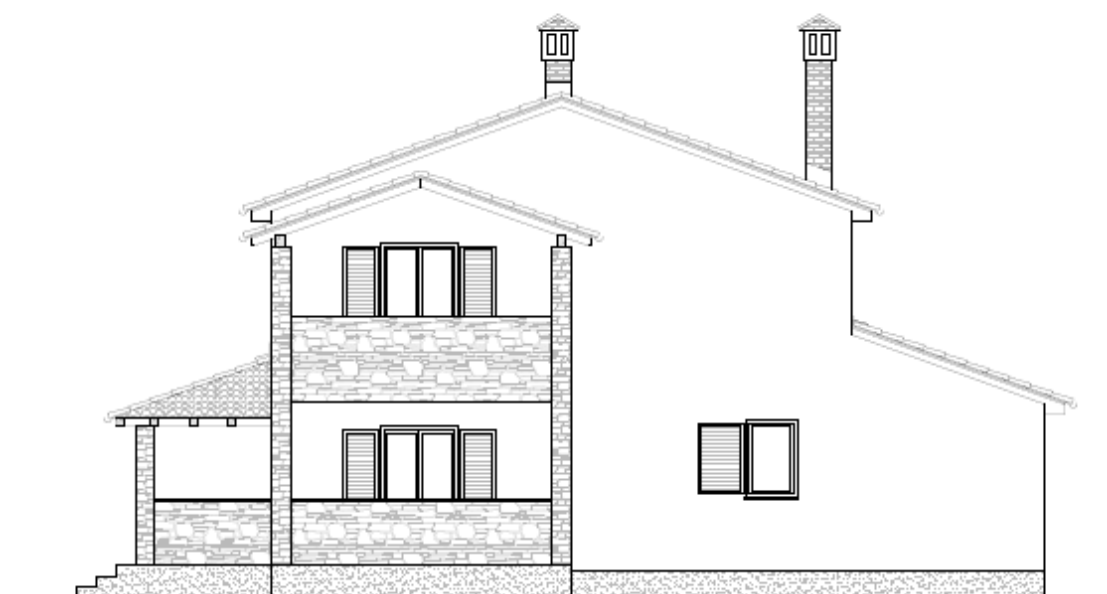
(Izradio: Autor)



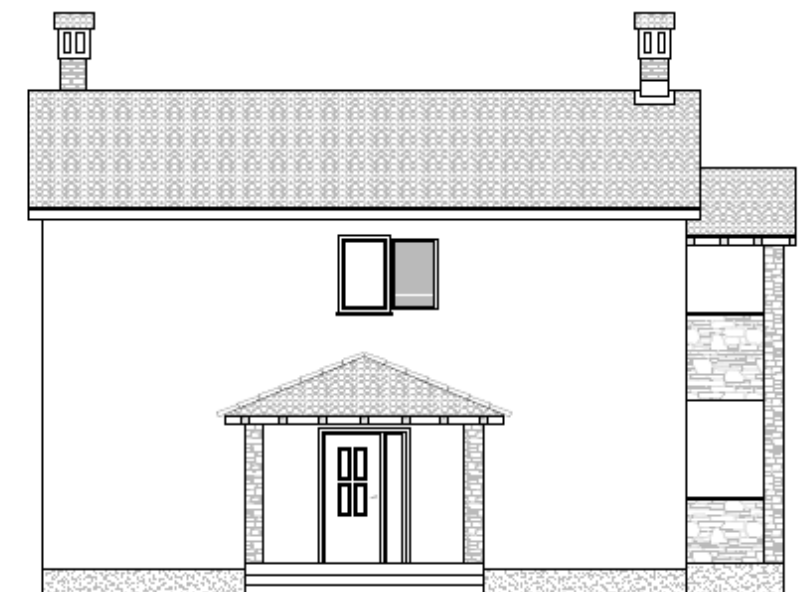
Nacr 4: Istočno i južno pročelje

(Izradio: Autor)

ZAPADNO PROČELJE



SJEVERNO PROČELJE



Nacrt 5: Zapadno i sjeverno pročelje

(Izradio: Autor)

Obiteljska kuća s dvije etaže i stambenom površinom od približno 200 m² bruto površine 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_o [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 |

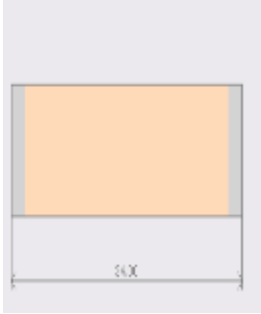
(Izradio: Autor)

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 _{Jl} | 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 φ _{si} ≤ 0,8) | | | fR _{si} = 0,48 ≤ 0,70 | | | ZADOVOLJAVA | | | |
| | Unutarnja kondenzacija: | | | ΣM _{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/m ²] | | 402,00 ≥ 100 kg/m ² U = 1,19 ≤ 0,45 | | | NE ZADOVOLJAVA | |

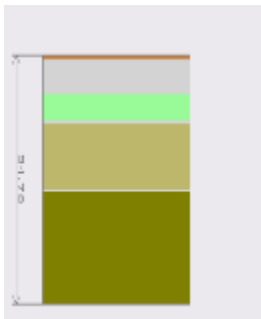
(Izradio: Autor)

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 6 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 | 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 | | $U = 0,40 \leq U_{max} = 0,50$ | | | 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 | 0,00 |
| | Toplinska zaštita: | | | $U_{pros} [W/m^2 K] = 1,47 \leq 0,30$ | | | NE ZADOVOLJAVA | | | |
| | Površinska vlažnost: (Rizik okruženja s plijesni $\phi_{si} \leq 0,8$) | | | $fR_{si} = 0,48 \leq 0,63$ | | | ZADOVOLJAVA | | | |
| | Unutarnja kondenzacija: | | | $\Sigma M_{a, god} = 0,00$ | | | ZADOVOLJAVA | | | |
| U pogledu toplinske zaštite, građevni dio s $U [W/m^2]$ | | | | | | | | | | |
| | | | | $U = 1,47 \geq U_{max} = 0,30$ | | | NE ZADOVOLJAVA | | | |

| | Slojevi građevnog dijela u smjeru | d[cm] | $\rho[kg/m^3]$ | $\lambda[W/mK]$ | $R[m^2]$ |
|---|-----------------------------------|--------|----------------|-----------------|------------------|
| 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 |
| | | | | | $R_{si} = 0,097$ |
| | | | | | $R_{se} = 0,050$ |
| | | | | | $R_u = 0,200$ |
| | | | | | $R_T = 0,681$ |

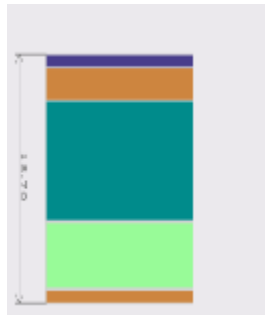
(Izradio: Autor)

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 podašćana 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 | 0,00 |
| | Toplinska zaštita: | | | $U_{pros} [W/m^2 K] = 0,18 \leq 0,30$ | | | ZADOVOLJAVA | | | |
| | Površinska vlažnost: (Rizik okruženja s plijesni $\phi_{si} \leq 0,8$) | | | $fR_{si} = 0,53 \leq 0,96$ | | | ZADOVOLJAVA | | | |
| | Unutarnja kondenzacija: | | | $\Sigma M_{a,god} = 0,00$ | | | ZADOVOLJAVA | | | |
| Dinamičke karakteristike: | | | $40,51 < 100 \text{ kg/m}^2$ $U = 0,18 \leq 0,30$ | | | ZADOVOLJAVA | | | | |

| | Slojevi građevnog dijela u smjeru | d[cm] | $\rho[\text{kg/m}^3]$ | $\lambda[W/mK]$ | $R[m^2 K/W]$ |
|--|-----------------------------------|--|-----------------------|-----------------|------------------|
| 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 $U [W/m^2 K] = 0,18$ | | $U = 0,18 \leq U_{max} = 0,30$ | | | ZADOVOLJAVA |
| Plošna masa građevnog dijela $40,51 [\text{kg/m}^2]$ | | $40,51 < 100 \text{ kg/m}^2$ $U = 0,18 \leq 0,30$ | | | 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 hlađenje prostora. Godišnji gubici topline dijele se na transmisivske 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 transmisivskih godišnjih gubitaka topline kroz oplošje zgrade te ventilacijskih gubitaka kroz otvore. Transmisivski gubici se računaju po formuli (13).

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

gdje su:

H_{Tr} – koeficijent transmisivske 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 transmisivske izmjene topline proračunske zone je suma svih koeficijenata transmisivske izmjene topline kroz oplošje zgrade . Računa se po formuli (14).

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

¹⁸ Soldo V.; Novak S.; Horvat I., Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje prostora zgrade prema HRN

gdje su:

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

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

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

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

Gubici topline provjetranjem 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)

$$QVe = HVe / 1000 \cdot (\vartheta_{int,H} - \vartheta_e) t [kWh] \quad (15)$$

gdje su:

H_{Ve} – koeficijent transmisije 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 provjetranjem izrađen je u računalnom programu „KI Expert Plus“ i prikazan je u nastavku. Osnovni fizikalni podaci 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 - $f_o [m^{-1}]$ | 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 $^{\circ}C$ | 24,00 |
| Prosječna unutarnja projektna temperatura hlađenja $^{\circ}C$ | 22,00 |
| Meteorološka postaja s nadmorskom visinom | Pula (63,00 m n.v.) |
| Srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade $\Theta_{e,mj,min}$ ($^{\circ}C$) | 6,00 |
| Srednje mjesečna temperatura vanjskog zraka najtoplijeg mjeseca na lokaciji zgrade $\Theta_{e,mj,max}$ ($^{\circ}C$) | 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 $\Theta_{e,mj,min} > 3$ o C i unutarnjom temperaturom $\Theta_i \geq 18^{\circ}C$. | |

| Osnovni klimatološki podaci | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | God. |
| Temperature zraka ($^{\circ}C$) | | | | | | | | | | | | | |
| 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 | | | | | | | | | | | $\leq 10^{\circ}C$ | 124 | |
| | | | | | | | | | | | $\leq 12^{\circ}C$ | 157,3 | |
| | | | | | | | | | | | $\leq 15^{\circ}C$ | 191,8 | |

| Orij | [$^{\circ}$] | 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 neizolirane zgrade

| Koeficijent transmisijskih gubitaka H_{Tr} 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 $H_{g,avg}$ - Uprosječni 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 |
| Uprosječni 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)

Izračunati koeficijent gubitaka provjetranjem H_V izračunati su i prikazani u sljedećoj tablici (Tablica 12).

Tablica 12: Koeficijenti gubitaka provjetravanjem neizolizane zgrade

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

(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 |
| Studen | 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/m² za stambene prostore i 6 W/m² za nestambene, proizvodne i poslovne prostore. Unutarnji dobici topline računaju se po formuli (16).

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

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. Računaju se po formuli (17).

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

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

Tablica 16: Ukupni godišnji 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 |
| Studen | 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 zgradi 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 dobitci zgrade. Izračunavaju se po formuli (18)

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

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 dobitci zgrade (ljudi, uređaji, rasvjeta) (kWh);

Q_{sol} – toplinski dobitci 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).

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

gdje su:

$Q_{c,gn}$ – ukupni toplinski dobitci 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)

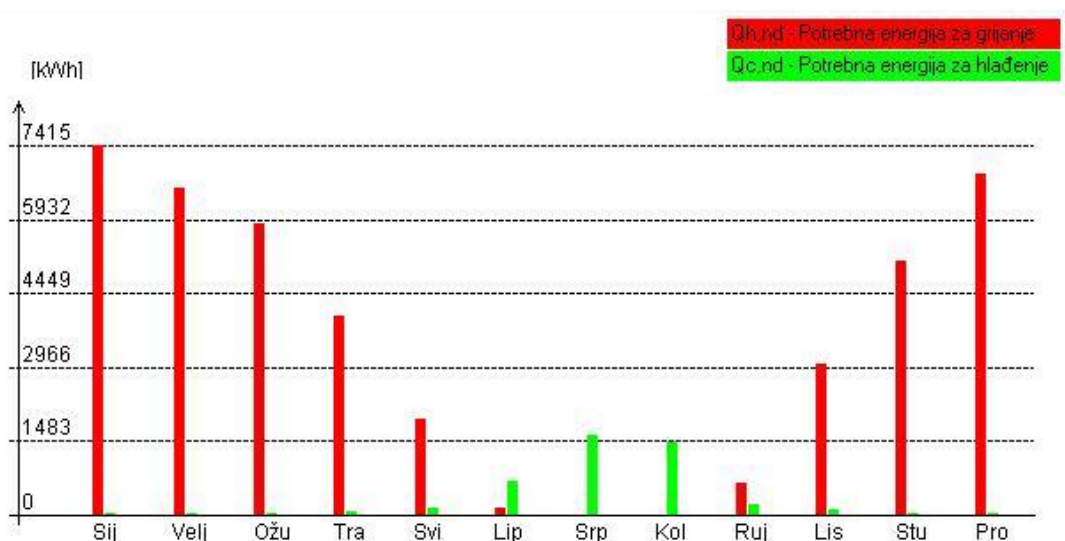
Završni rezultati proračuna sa osnovnim podacima o građevini, gubicima i dobicima topline, koeficijentima gubitaka i potrebnom energijom za grijanje i hlađenje su prikazani u sljedećoj tablici (Tablica 19).

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

| Rezultati proračuna potrebne 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 više | |
|--|---|
| 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) | $Q''_{H,nd} = 263,44 \text{ (max = 47,76)} [kWh/m^2 a]$ |
| Godišnja potrebna energija za hlađenje | $Q_{C,nd} = 4713,09 [kWh/a]$ |
| Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade | $H'_{tr,adj} = 1,25 \text{ (max = 0,64)} [W/m^2 K]$ |
| Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka | $H_{tr,adj} = 541,31 [W/K]$ |
| Koeficijent toplinskog gubitka provjetranjem | $H_{ve,adj} = 95,09 [W/K]$ |
| Ukupni godišnji gubici topline | $Q_i = 185.850,29 [MJ]$ |
| 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 ruj 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 energetsom pregledu zgrade i energetsom 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

| $Q''_{H,nd,ref}$ | kWh/(m ² a) | Izračun |
|------------------|------------------------|----------|
| | | 264 |
| A+ | ≤ 15 | |
| A | ≤ 25 | |
| B | ≤ 50 | |
| C | ≤ 100 | |
| D | ≤ 150 | |
| E | ≤ 200 | |
| F | ≤ 250 | |
| G | > 250 | G |

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 $Q_{H,nd} = 263,44 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, 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 energetsom pregledu zgrada i energetsom certificiranju zgrada (NN 48/14,150/14), Zagreb, 2014

6. UPOTREBA TOPLINSKE IZOLACIJE U CILJU SMANJENJA POTROŠNJE ENERGIJE

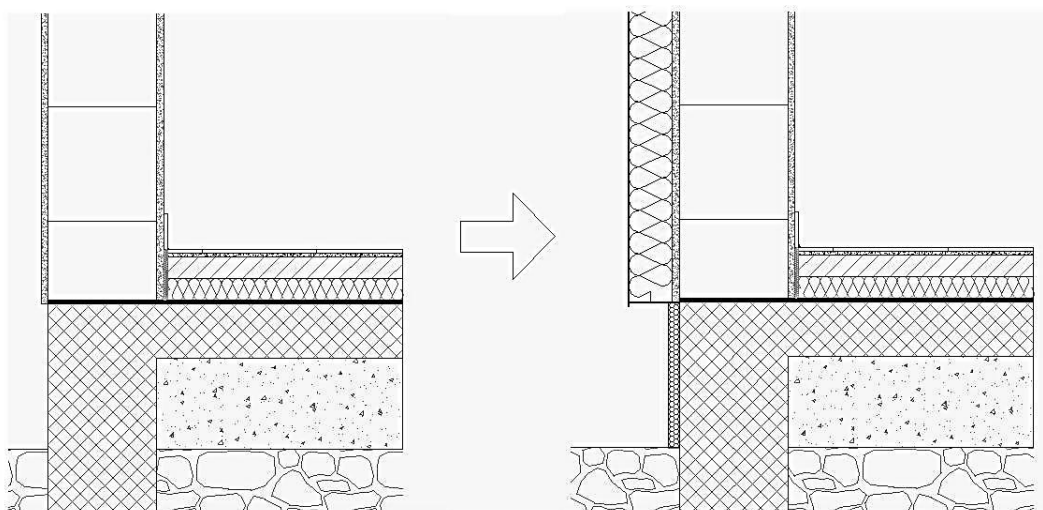
Izračunom godišnjih potreba energije za grijanje i hlađenje zgrade stekao se jasan uvid u godišnju potrošnju energije zgrade. Također, stekao se i uvid u kritične dijelove zgrade kroz koje se toplina najviše gubi i koje je potrebno sanirati kako bi se godišnja potrošnja energije smanjila. Iz dobivenog 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 na 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 ekspaniranog 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.



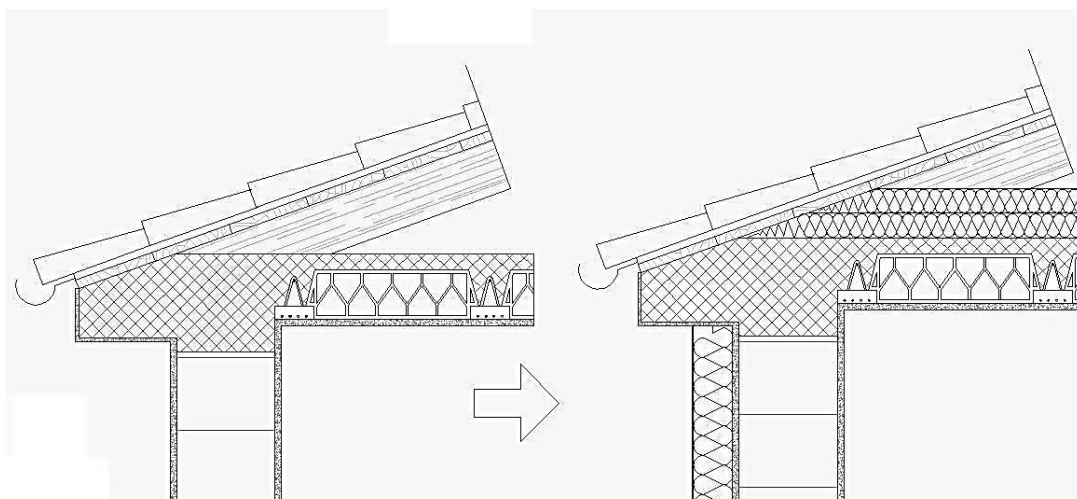
Slika 25: Primjena izolacije na vanjskim zidovima

(Izradio: Autor)

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

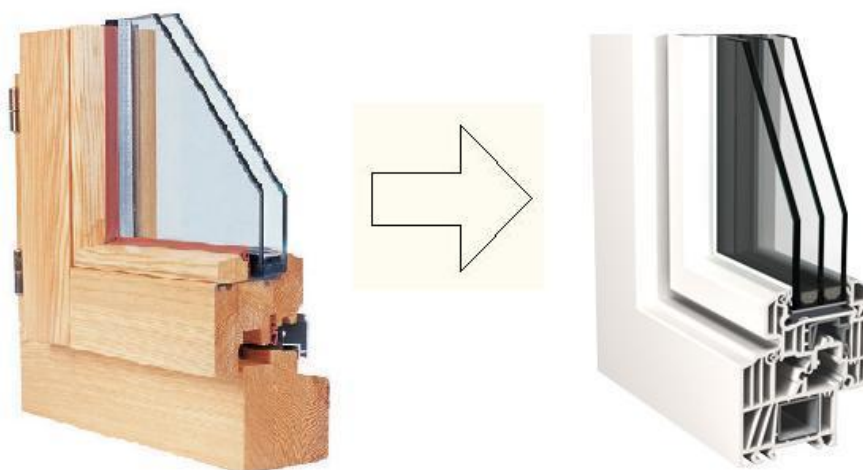
²⁵ Tehnički propis o racionalnoj upotrebi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 97/14,130/14), Zagreb, 2014

Upotrebom mineralne vune, čija koeficijent toplinske vodljivosti iznosi $\lambda=0,035 \text{ W/mK}$, koeficijent toplinske vodljivosti stropa se smanjuje sa $1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$ na $U= 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, čime se **ZADOVOLJAVA** najveća dopuštena vrijednost koeficijenta prolaska topline $U_{\max} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ 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 unutrašnjosti 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/m²K (ovisno o otvoru), dok nova stolarija ima koeficijent prolaska topline **U= 0,8 W/m²K**, čime se **ZADOVOLJAVA** najveća dopuštena vrijednost koeficijenta prolaska topline **U_{max} = 1,40 W/m²K²⁷** (za prozore; za vrata U_{max}=2,1 W/m²K).

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 |
| Studen | 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 dobiti topline i solarni dobiti topline) zgrade nakon izrade toplinske izolacije prikazani su u sljedećoj tablici (Tablica 21).

Tablica 21: Ukupni mjesečni i godišnji toplinski dobiti izolirane zgrade

Mjesečni dobiti topline

| Mjesec | Toplinski dobiti [MJ] | Toplinski dobiti [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 |
| Studen | 735,32 | 204,25 |
| Prosinac | 892,22 | 247,84 |

Godišnji dobiti topline

| | Toplinski dobiti [MJ] | Toplinski dobiti [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)

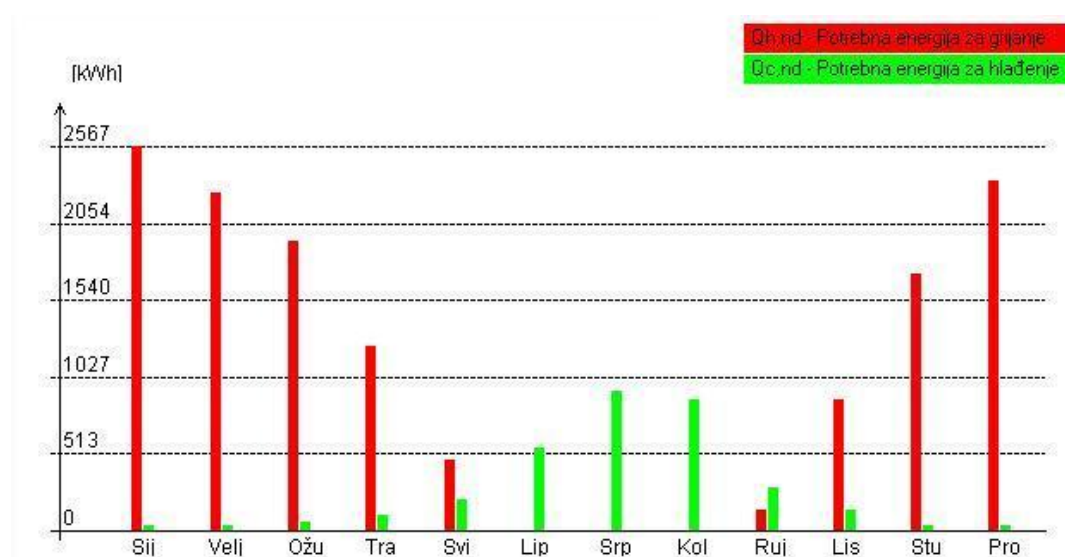
Završni rezultati proračuna sa osnovnim podacima o izoliranoj građevini, gubicima i dobicima topline, koeficijentima gubitaka i potrebnom energijom za grijanje i hlađenje su prikazani u sljedećoj tablici (Tablica 24).

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

| Rezultati proračuna potrebne 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 više | |
|--|---|
| 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 | $Q_i = 75.702,85$ [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 godišnje 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 $Q_{H,nd} = 85,86$ kWh/m²a, čime se svrstava u energetske razred **C** (Slika 29).

| $Q''_{H,nd,ref}$ | kWh/(m ² a) | Izračun |
|------------------|------------------------|---|
| | | 86 |
| A+ | ≤ 15 |  |
| A | ≤ 25 | |
| B | ≤ 50 | |
| C | ≤ 100 | |
| D | ≤ 150 | |
| E | ≤ 200 | |
| F | ≤ 250 | |
| G | > 250 | |

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

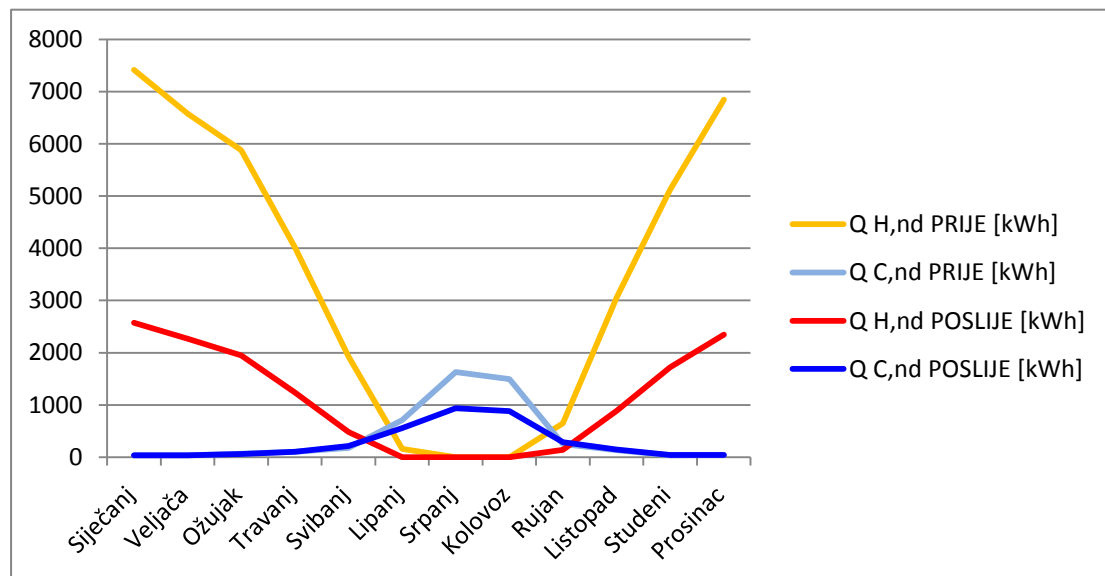
Usporedbom godišnjih potreba energije za grijanje i hlađenje prije i nakon izvedenih radova na postavljanju toplinskih izolacija vidljivo je da su mjere koje su poduzete smanjile godišnje potrebe za energijom sa 41642 kWh/a na 13572 kWh/a. Proizlazi da su se godišnje potrebe energije za grijanje prostora 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 Qc,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 ekspaniranog polistirena (EPS), debljine 12 cm, gutoće 20 kg/m ³ , koeficijenta toplinske provodljivosti $\lambda = 0,037$ W/mK. U cijenu uključeni EPS, ljepilo, fasadna mrežica, pričvrsnice, završni sloj silikatne tankoslojne žbuke i postavljanje skele. | m ² | 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 $\lambda = 0,035$ W/mK na pod negrijanog tavana objekta. U cijenu uključena mineralna vuna, parna brana debljine 2 mm i PVC folija | m ² | 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 $U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. 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 (46 680,00 kn). Cijene izvođenja radova navedene u troškovniku su informativne prirode i predstavljaju srednju cijenu takvih radova na području Istarske 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)

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

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)

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

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 učinku uređaja za hlađenje (klima uređaj) od $q_c = 4$ iznosi $E_{c,nd} = \mathbf{343 kWh/a}$. 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.) | m ³ | l | m ³ | 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 učinkovitosti 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 dugoročno 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 energetske 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 energetske 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 energetske 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 energetske učinkovitost. Cilj je Programa povećanje energetske učinkovitosti postojećih kuća, smanjenje potrošnje energije i emisija CO₂ 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 energetske 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 m² bruto građevne površine kod kojih je najmanje 50% podne površine namijenjeno stanovanju. Prilikom sufinanciranja nužno je da koeficijenti prolaska topline za vansku stolariju budu $U \leq 1,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ (za primorsku Hrvatsku), koeficijent prolaska topline za krovišta, stropove i podove prema negrijanim prostorima budu $U \leq 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (za primorsku Hrvatsku) i koeficijent topline za vanjske zidove $U \leq 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ (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 energetska učinkovitost

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

Uzme li se za primjer predmetna obiteljska kuća iz ovog rada, mjere izvedbe toplinske izolacije 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 energetska 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 energetska 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 energetske obnovu, jedan je od glavnih motivatora za poboljšanje energetske učinkovitosti u zgradarstvu, te uz dodatnu edukaciju i kontinuiran napredak i poboljšanja ključan element u smanjenju energetske potrebe kućanstava, ali i potrošnje energije na državnoj razini.

8. ZAKLJUČAK

Analizom podataka energetske 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 koeficijenti prolaska topline gotovo svih građevnih dijelova, te su energetske gubici veliki, zbog čega je zgrada svrstana u energetske razred G. Izračunom koeficijenta 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 energetske 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 energetske potreba zgrade i načinom prepoznavanja potencijala za poboljšanje.

9. POPIS LITERATURE

1. Pravilnik o energetsom pregledu zgrada i energetsom 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 multimedijском 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 multimedijском disku (CD-ROM) koji je priložen uz ovaj rad.

Prilog 3. Javni poziv za sufinanciranje energetske obnove obiteljskih kuća