

Izmjena topline kroz vanjsku ovojnicu zgrade

Petrović, Aleksandar

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:190606>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Stručni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

IZMJENA TOPLINE KROZ VANJSKU OVOJNICU ZGRADE

Rijeka, rujan 2023.

Aleksandar Petrović

0069053175

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Stručni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

IZMJENA TOPLINE KROZ VANJSKU OVOJNICU ZGRADE

Mentor: prof. dr. sc. Kristian Lenić

Rijeka, rujan 2023.

Aleksandar Petrović

0069053175

ORIGINAL ZADATAK

IZJAVA

Sukladno članku 7. iz pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku stručnih prijediplomskih studija, izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad „PROLAZ TOPLINE KROZ VANJSKU OVOJNICU ZGRADE / HEAT TRANSFER THROUGH THE BUILDING ENVELOPE“ koji mi je dodijeljen 21. ožujka 2022.

Rijeka, rujan 2023.

Aleksandar Petrović

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Kristianu Leniću na stručnom vođenju i pomoći pri odabiru i izradi završnog rada.

Također se zahvaljujem svojim roditeljima na bezuvjetnoj pomoći i podršci te curi koja je uz mene prolazila kroz ovu golgotu.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OVOJNICA ZGRADE.....	2
2.1. Pojam ovojnice	2
2.2. Funkcije ovojnice.....	3
2.2.1. Sprječavanje prodora vode i vodene pare	3
2.2.2. Sprječavanje prodora zraka.....	4
2.2.3. Toplinska ovojnica	4
2.3. Model energetske obnove zgrada	6
2.4. Učinci energetske obnove zgrade	7
3. MEHANIZMI IZMJENE TOPLINE	12
3.1. Kondukcija ili provođenje	12
3.2. Konvekcija ili prijelaz topline konvekcijom	16
3.3. Radijacija ili zračenje.....	17
4. PROBLEMATIKA TOPLINSKE OVOJNICE I NJEZINIH UČINAKA	20
4.1. Problematika prolaza topline	20
4.2. Projektiranje i izrada ovojnice zgrade.....	22
5. PRORAČUN	25
5.1. Izračun toplinskog toka vanjske ovojnice bez izolacije.....	28
5.2. Izračun toplinskog toka vanjske ovojnice s izolacijom 5 cm.....	30
5.3. Izračun toplinskog toka vanjske ovojnice s izolacijom 10 cm.....	32
5.4. Usporedba dobivenih podataka	34
6. ZAKLJUČAK	35
7. LITERATURA.....	36
8. POPIS OZNAKA I KRATICA:.....	37
9. SAŽETAK	38
10. ABSTRACT	39
11. POPIS PRILOGA	40

1. UVOD

U ovom radu razmatra se problematika prolaska topline kroz ovojnicu zgrade. Danas to predstavlja važnu temu iz razloga što se sve više ide na uštedu toplinske energije kroz sustave energetske obnove.

Dizajn ovojnice zgrade uključuje mnoga razmatranja. I unutarnji i vanjski materijali moraju biti izdržljivi, otporni na vanjske i unutarnje uvjete, laki za održavanje i pristupačni. Moraju biti dovoljno jaki da udovoljavaju strukturnim i seizmičkim uvjetima, a da izgledaju estetski ugodno.

Ovojnica zgrade utječe na zvučnu udobnost jer može umanjiti buku i promet. Vanjska ovojnica zgrade mora osigurati vodenu barijeru za zaštitu od kiše, toplinsku barijeru za smanjenje toplinskih gubitaka i dobitka, zračnu barijeru za smanjenje infiltracije i parnu barijeru kako bi se spriječila migracija vlage i moguća kondenzacija unutar strukture.

Zbog gornjih razmatranja, ovojnica zgrade je ključni aspekt energetske učinkovitih zgrada visokih performansi. Infiltracija zraka, prodiranje vlage i toplinski (provodni) gubici te dobici utječu na projektiranje i konstruiranje. Također solarni dobitci imaju utjecaj na ovojnicu zgrade.

2. OVOJNICA ZGRADE

2.1. Pojam ovojnice

Ovojnica zgrade je fizički razdjelnik između uvjetovanog i neuvjetovanog okoliša zgrade, uključujući otpor zraku, vodi, toplini, svjetlosti i prijenosu zvuka.[¹]

Ovojnica zgrade utječe na veličinu i vrste termomehaničkih sustava potrebnih za grijanje i hlađenje. Kod dobro projektiranih kao i izvedenih ovojnica zgrade nije potrebno koristiti perimetralni sustav grijanja osim u najhladnijim klimatskim uvjetima.

Ovojnica zgrade i konfiguracija prostora u zgradi također utječu na potencijal unošenja dnevnog svjetla u zgradu i smanjenja korištene svjetlosne energije. Od svih komponenata ovojnice zgrade najvažnija su prozori i krovni prozori. Njihov dizajn, uključujući veličinu i smještaj prozora i krovnih prozora, utječe na mogućnosti dnevnog osvjetljenja, solarne dobitke, rashladna opterećenja i odsjaj. Toplinski gubici i dobiti kroz prozore obično su najveći dio ukupno izmijenjene topline, obično veći od gubitaka i dobitaka kroz zidove i krovove zajedno.[²]

Osim energetske učinkovitosti, dizajn i izrada ovojnica zgrade značajno utječu na udobnost stanara. Čak i kada su sustavi grijanja i hlađenja dovoljno veliki da nadoknade slabo izoliranu ili nepropusnu ovojnicu zgrade, temperature unutarnje površine mogu biti hladne ili tople (ovisno o sezoni), a to utječe na operativnu temperaturu prostora. Čak i kada su temperatura i vlaga zraka u prostoru unutar prihvatljivih granica, ne može se postići udobnost ako je osoba okružena vrućim ili hladnim površinama.

Ovojnica zgrade svi su elementi vanjske granice zgrade koji održavaju suho, zagrijano ili ohlađeno unutarnje okruženje i olakšavaju održavanje unutarnjeg stanja. Projektiranje ovojnica zgrada specijalizirano je područje arhitektonske i inženjerske prakse koje crpi iz svih područja znanosti o zgradama i kontrole klime u zatvorenom.[³]

Kontrolna funkcija je srž dobrih performansi, a u praksi se, prema važnosti, fokusira na sprečavanje prodora kiše, zraka, topline i pare.

¹ Barow, J.; Bayer, S. (2005) Flexible homes, flexiblecare, inflexible attitudes? The role of telecare in supporting independence, str. 22

² Barow, J.; Bayer, S. (2005) Flexible homes, flexiblecare, inflexible attitudes? The role of telecare in supporting independence, str. 23

³ Lapillonne B., Pollier K., Samci N. (2014): Energy Efficiency Trends in Buildings in the EU, str. 56

2.2.Funkcije ovojnice

2.2.1. Sprječavanje prodora vode i vodene pare

Jedna od glavnih svrha krova je sprječavanje prodora kišnice. Dvije velike kategorije krovova su ravni i kosi. Ravni krovovi zapravo se nagnju do 10 ° ili 15 °, ali su izgrađeni da se odupru stajaćoj vodi. Kosi krovovi projektirani su za otjecanje vode, ali ne i odolijevanju stajaće vode koja se može pojaviti za vrijeme kiše ili zaglavlivanja ledom.[⁴]

Tipični stambeni, kosi krovovi prekriveni su podlogom ispod krovnog pokrivnog materijala kao druga linija obrane. Dobro izvedena krovna konstrukcija također se može provjetravati kako bi se uklonila vlaga od prokišnjavanja i kondenzacije.

Zidovi nisu izloženi jakoj vodi kao krovovi, ali ipak propuštaju vodu. Vrste zidnih sustava s obzirom na prodiranje vode su pregradni, odvodni i površinski zatvoreni zidovi. Pregradni zidovi dizajnirani su tako da omogućuju apsorpciju vode, ali ne i prodor kroz zid, te uključuju beton i neke zidane zidove.

Drenažni zidovi omogućuju odvod vode koja curi u zid, poput zidova šupljina. Drenažni zidovi također se mogu provjetravati kako bi se olakšalo sušenje, poput kišnih zaslona i zidnih sustava za izjednačavanje tlaka. Zidovi s nepropusnom površinom ne dopuštaju prodor vode na vanjskoj površini obloge.[⁵]

Općenito većina materijala neće dugoročno ostati nepropusna i ovaj je sustav vrlo ograničen, ali uobičajena stambena gradnja zidove često tretira kao zatvorene površinske sustave koji se oslanjaju na drugi zaštitni sloj.

Vlaga može ući u podrum kroz zidove ili pod. Hidroizolacija i odvodnja kišnice održavaju zidove suhima, a ispod poda potrebno je ugraditi hidroizolacijski sloj.

⁴ Barow, J.; Bayer, S. (2005) Flexible homes, flexiblecare, inflexible attitudes? The role of telecare in supporting independence, str. 25

⁵ Lischkoff, J., R. Quirouette, V. Stritesky (2014.) "Design, Construction and Performance Evaluation on Air Barrier Systems," Symposium on Air Infiltration, Ventilation and Moisture Transfer, Building Thermal Envelope Coordinating Council, str. 32

2.2.2. Sprječavanje prodora zraka

Sprječavanje protoka zraka važna je za osiguravanje kvalitete zraka u zatvorenom, kontrolu potrošnje energije, izbjegavanje kondenzacije (i na taj način pomaže u osiguravanju trajnosti) i pružanje udobnosti.

Sprječavanje kretanja zraka uključuje protok kroz kućište (sklop materijala koji obavljaju ovu funkciju naziva se sustav zračne barijere) ili kroz dijelove same ovojnice zgrade (međuprostor). Također kao i unutar i izvan unutarnjeg prostora koji uvelike mogu utjecati na samu izvedbu izolacije zgrade. Stoga sprječavanje protoka zraka uključuje infiltraciju vjetra (hladni zrak koji prolazi kroz izolaciju) i konvektivnih petlji koje predstavljaju kretanje zraka unutar zida ili stropa.^[6]

Fizičke komponente ovojnice uključuju temelj, krov, zidove, vrata, prozore, strop i s njima povezane prepreke i izolaciju. Dimenzije, performanse i kompatibilnost materijala, postupak izrade i detalji, veze i interakcije glavni su čimbenici koji određuju učinkovitost i trajnost sustava ovojnice zgrade.

Uobičajeni kriteriji za ocjenu učinkovitosti ovojnice zgrade uključuju fizičku zaštitu od vremenskih prilika (udobnost), kakvoće zraka u zatvorenom (higijena i javno zdravlje), trajnost i energetska učinkovitost.

Kako bi se postigli ti ciljevi, svi sustavi ovojnice zgrada moraju sadržavati čvrstu konstrukciju, drenažnu ravninu, zračnu barijeru, toplinsku barijeru i mogu sadržavati parnu barijeru. Kontrola vlage (npr. zaštita od vlage) bitna je u svim klimatskim uvjetima, ali posebno su zahtjevne hladne i vruće-vlažne klime.

2.2.3. Toplinska ovojnica

Toplinska ovojnica ili sloj za kontrolu protoka topline dio je ovojnice zgrade, ali može biti na drugom mjestu, poput stropa. Razlika se može ilustrirati primjerom izoliranog tavanskog poda koji predstavlja glavni izolacijski sloj između unutrašnjosti kuće i vanjskog dijela, a nije dio vanjske ovojnice zgrade, dok je čitav krov (od površine krovnog materijala do unutarnje završne boje na stropu) dio ovojnice zgrade.

⁶ Lischkoff, J., R. Quirouette, V. Stritesky (2014.) "Design, Construction and Performance Evaluation on Air Barrier Systems," Symposium on Air Infiltration, Ventilation and Moisture Transfer, Building Thermal Envelope Coordinating Council, str. 32

Termografija ovojnica zgrada uključuje upotrebu infracrvene kamere za otkrivanje temperaturnih anomalija na unutarnjim i vanjskim površinama konstrukcije. Analiza infracrvenih snimaka može biti korisna u identificiranju problema s vlagom zbog prodora vode ili intersticijske kondenzacije.^[7]

Ostale vrste anomalija koje se mogu otkriti su toplinski mostovi, kontinuitet izolacije i propuštanje zraka, međutim to zahtijeva temperaturnu razliku između unutarnje i vanjske površine ispitivanog dijela zgrade.

Projektiranje i izgradnja zgrade vrlo je složen proces koji uključuje brojne sudionike, svaki sa svojom vizijom i iskustvom. Proces i utvrđene uloge mnogih od ovih sudionika mogu pridonijeti nastanku problema s performansama toplinske ovojnice. Iako su razlozi složeni koliko i postupak, dio problema je i taj što cjelovitost toplinske ovojnice nije naglašena i prepoznata kao kritični čimbenik tijekom projektiranja i izgradnje zgrade. Nekim je projektantima i graditeljima potrebno samo da zahtijevaju određenu razinu izolacije ili ugradnju materijala za zračnu barijeru ili kvalitetne brtve.

Važnost projektiranja sustava izolacije i zračnih barijera kao sastavnih dijelova ovojnice nisu prepoznati. Od samog početka ne daje se značaj za razvijanjem jednostavnih, izgradivih detalja kako bi ti sustavi funkcionirali. Bez naglaska na cjelovitosti toplinske ovojnice mogu biti donešene odluke koje će rezultirati toplinskim oštećenjima.

Kod nedostatka posvećenosti integritetu toplinske ovojnice dolazi do neslaganja različitih projektantskih disciplina. Samim time kontinuitet i cjelovitost zračne barijere i izolacijskih sustava biti će neusklađeni.

⁷ Lischkoff, J., R. Quirouette, V. Stritesky (2014.) "Design, Construction and Performance Evaluation on Air Barrier Systems," Symposium on Air Infiltration, Ventilation and Moisture Transfer, Building Thermal Envelope Coordinating Council, str. 32

2.3. Model energetske obnove zgrada

Energetska obnova zgrada se javlja posljednjih godina uslijed razvoja boljih i kvalitetnijih materijala koji osiguravaju bolja energetska svojstva. Energetska obnova je pojam koji je postao sastavni dio „smart“ rješenja tj. „pametnog doma“.

Sama energetska obnova je definirana kroz proces prikupljanja dokumentacije te ispunjavanja određenih uvjeta. Zakonski i pod zakonski akti o energetske učinkovitosti zgrada detaljnije propisuju potrebna energetska svojstva, definirajući metodologiju za izračunavanje toplinskih svojstava zgrada, kao i propisujući zahtjeve za nove i postojeće zgrade. Pravilnikom o uvjetima, sadržaju i načinu izdavanja certifikata o energetske svojstvima zgrada uređuje se postupak energetske certificiranja zgrada, način izdavanja i sadržaj certifikata te definiraju energetske razredi stambenih i nestambenih zgrada, kako novih tako i postojećih.

Ideja „pametnog doma“ postoji desetljećima, a potekla je iz modernog načina života, čija je glavna značajka poslovna zaokupljenost i neuredan i neorganiziran privatni život. S obzirom na to da u bliskoj budućnosti nema naznaka bilo kakvih promjena u tom pogledu, ideja „pametnog doma“ osigurala bi ugodniji privatni život i tako dala više prostora i vremena za kreativniji poslovni život.^[8]

Udobniji privatni život podrazumijeva racionalno korištenje energije te uštedu energije čija cijena na tržištu raste. Pametan dom ili stan omogućuje stanarima da se koncentriraju na druge odgovornosti, dok se sama kuća brine o svakodnevnim, rutinskim zadacima.

Koncept energetske obnove kuće dobio je svoje puno značenje stvaranjem sigurnog, udobnog, ekonomičnog i sigurnog okruženja, istodobno štedeći energiju, smanjujući troškove održavanja, produžujući životni ciklus opreme i značajno smanjujući onečišćenje koje zgrada emitira u okoliš.

Sve je to moguće postići uz pomoć različitih modela energetske obnove. Sustav energetske obnove koncept je modernog kućanstva i života u njemu. To je obnova kuće putem kvalitetnih i suvremenih materijala u građevinarstvu. Takva kuća je izvrstan primjer suvremene gradnje jer se prilagođava trenutnoj aktivnosti, raspoloženju, navikama i načinu života svakog člana kućanstva, istovremeno postizujući uštedu energije.^[9]

⁸ Vidić, Z. (2011) Metode cjelovitog upravljanja objektima, FSB Zagreb, str. 17

⁹ Tomšić Ž. (2014) Ciljevi energetske politike EU i energetska efikasnost u Europskoj uniji. Zagreb, Hrvatska, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, str. 12

Korištenje sustava „pametnog doma“ ne zahtijeva tehničko predznanje, a sve su funkcije intuitivne i vizualne.

Prva prednost energetske obnove je smanjenje potrošnje električne energije. Viša razina energetske obnove jest stvaranje novog tipa kuće, koje se nazivaju pametne kuće koje uz energetska obnavu sadrže i ostale suvremene čimbenike koji se implementiraju u taj objekt (kuću).

Pametna kuća je sustav automatizacije kuće što je jednostavniji za upotrebu, održavanje i instalaciju. Pametna kuća može:[¹⁰]

- izmjeriti temperaturu, vlagu, kvalitetu zraka i svjetlinu u svakoj sobi,
- upravljati grijanjem, hlađenjem, zračenjem, zasjenjenjem i umjetnom rasvjetom u svakoj sobi,
- nadgledati kretanje ljudi kroz kuću (u svrhu protuprovalne zaštite, ali i radi upravljanja svjetlima u prolazima),
- izmjeriti meteorološke uvjete (vanjska temperatura, vlaga, kiša, vjetar, dan / noć, intenzitet i položaj sunca, točno vrijeme),
- upravljati dvorišnim i garažnim vratima na razne udobne načine (jednostavnim pozivom s ovlaštenog mobitela na kućni broj, SMS porukom, klasičnim daljinskim upravljačem, identifikacijskom karticom ili privjeskom),
- upravljati multimedijским sustavima u kući,
- omogućiti korisniku ručno upravljanje svim tim, kada korisnik to zatraži.

2.4. Učinci energetske obnove zgrade

Već dugi niz godina problemi održivog razvoja nameću se kao globalna tema broj jedan na svim svjetskim forumima vezanim uz energetiku, ekologiju, gospodarstvo i gospodarstvo općenito. Ovo je pitanje u osnovi povezano s nesigurnošću opskrbe energijom, s jedne strane, i s onečišćenjem okoliša i globalnim klimatskim promjenama uslijed prekomjerne i neracionalne potrošnje energije, s druge strane.[¹¹]

¹⁰ Tomšić Ž. (2014) Ciljevi energetske politike EU i energetska efikasnost u Europskoj uniji. Zagreb, Hrvatska, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, str. 12

¹¹ Bukarica V. i sur. (2008) Priručnik za energetske savjetnike. Zagreb, Hrvatska, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, str. 42

Globalna ekonomska kriza, koja bez štednje pogađa sve zemlje svijeta i sve gospodarske sektore, naglašava presudnu ulogu koncepta održivog razvoja i energetske učinkovitosti u budućem stvaranju gospodarskih i političkih trendova, kako na globalnoj razini, tako i unutar svake države.

Proizvodnja, prijenos, distribucija i potrošnja energije utječu na sva područja ljudskog rada, te na socijalni i ekonomski napredak svake zemlje. Trenutna situacija u svijetu jasno pokazuje da je trenutna, nedovoljno kontrolirana potrošnja energije neodrživa.

Stoga je održiva potrošnja energije kroz racionalno planiranje i povećanje energetske učinkovitosti svih elemenata u energetsom sustavu zemlje prioritet.

Zgrade su najveći pojedinačni potrošači energije, s tendencijom povećanja u skladu s povećanjem standarda stanovništva. U Europi se oko 40% energije troši u zgradama. Slijedi promet (32%), a tek na trećem mjestu je industrija (28%). Uz to, zgrade su i glavni zagađivači okoliša, jer takav trend dovodi do povećane potrošnje energije i emisije ugljičnog dioksida.¹²

Zbog toga je energetska učinkovitost u zgradama područje koje ima najveći potencijal za smanjenje potrošnje energije. Uspostava mehanizama koji će osigurati trajno smanjenje potrošnje energije u novim zgradama (novi načini projektiranja i korištenja novih materijala) i pravilna rekonstrukcija postojećih zgrada, glavni je cilj energetske učinkovitosti u zgradama.

Značajnija energetska obnova zgrada započela je provedbom Europske direktive o obnovi (EU/2002/91).

Njegova provedba osigurava racionalnu potrošnju energije u zgradama. Pruža opći okvir za zajedničku metodologiju za izračunavanje energetske učinkovitosti zgrada, propisujući zahtjeve vezane za energetske učinkovitost novih zgrada i velikih zgrada kojima je potrebna obnova, energetske certificiranje zgrada, pregled kotlova i klimatizacijskih sustava u zgradama itd.

Direktiva EU navodi mjere koje treba poduzeti za povećanje učinkovitosti, međutim državama članicama ostaje mogućnost primjene drugih mjera za postizanje istog cilja, u skladu sa zakonodavstvom i situacijom u pojedinim zemljama.

¹² Prema izvješću Eurostata

Uz uštedu energije, mjere predviđene za povećanje energetske učinkovitosti zgrada prate i poboljšana kvaliteta unutarnjeg prostora, bolja zaštita okoliša i smanjenje emisija štetnih plinova koji dovode do efekta staklenika.

Direktiva zahtijeva od država članica da:^[13]

- primjene zajedničke metodologije za izračunavanje energetske svojstava zgrada i sustava, uključujući sustave grijanja, hlađenja, ventilacije i osvjetljenja,
- postavljaju minimalne standarde za potrošnju energije novih zgrada, ali također rekonstruiraju postojeće velike zgrade,
- razvoj sustava energetske certificiranja za postojeće i za objekte u izgradnji koji će omogućiti vlasnicima, stanarima i korisnicima da se puno bolje upoznaju s potrošnjom energije u zgradama koje kupuju ili iznajmljuju,
- redovito pregledavaju sustave grijanja, klimatizacije i ventilacije.

To znači da ulaganja u povećanje energetske učinkovitosti na strani potrošnje imaju prednost u odnosu na trajno povećanje cijena energije. Međutim, u stvarnosti nitko ne osporava važnost promicanja energetske učinkovitosti, postoji mnogo razloga zašto potencijal za poboljšanje energetske učinkovitosti nije u potpunosti ostvaren u mnogim zemljama u tranziciji.

Temelj za provedbu politike energetske učinkovitosti na strani potrošnje je djelovanje putem uređenog tržišta, odnosno primjenom ekonomskih poticaja. Ekonomski poticaji su instrumenti kojima država djelujući putem tržišta potiče željeni smjer i intenzitet razvoja. Mogu biti javni i skriveni.

Unutar provedbe prakse održivog razvoja, država potiče održivi način života, razvoj i primjenu tehnologija koje smanjuju potrošnju sirovina i energije, smanjuju zagađenje okoliša, unose promjene u upotrebu resursa itd..

Međutim, u zapadnoeuropskim zemljama situacija je puno drugačija, jer je cijena energije puno skuplja. Napokon, EU je bila vrlo proaktivna u postizanju cilja smanjenja potrošnje energije za 20% do 2020. godine, pa je razumljivo da se takvi sustavi subvencioniraju u zemljama članicama EU. Trenutno je u Hrvatskoj je malo obnovljenih zgrada u odnosu na stanovništvo.

¹³ Europske direktive o obnovi (EU/2002/91)

Za 5-10 godina Hrvatska će se pridružiti rastućem trendu, ali naknadna instalacija pametnih instalacija na gotovoj zgradi složena je i skupa.

Neke od osnovnih činjenica zbog kojih se vrši energetska obnova je ušteda energije. Gotovo svako kućanstvo u prosjeku potroši od dvije do tri tisuće kn na energiju, tj. na grijanje, struju, hlađenje itd. Energetska obnova kuće (objekta) jamči značajno smanjenje troškova, što se očituje u tome što olakšava život i ostvaruje značajne uštede.^[14]

Kada kuća ima ugrađeno grijanje kojim se upravlja pomoću pametne konzole, može se koristiti na takav način da na vrijeme bez puno muke ograniči grijanje u kući. Na primjer, dok je kuća prazna, programirano je da termostat održava neku nižu temperaturu. Tek ako se bliži kraj radnog vremena, grijanje se uključuje, a klijent samog uređaja dolazi udobno kući bez brige oko grijanja. Ako se kuća zagrije na određenu temperaturu, uređaj se isključuje. S takvim sustavom upravljanja nema razdoblja kada grijanje radi bezpotrebno, a time je zajamčena ušteda.^[15]

Korištenje suvremenih materijala u izgradnji objekata te energetske obnovi dolazi do stvaranja bolje izolacije. Sama energetska obnova za dosta ljudi predstavlja veliko ulaganje u svoju nekretninu, ali za nekoliko godina vrlo je isplativa. Često se na obnovljene nekretnine (objekte) postavljaju solarni paneli.

Na neki se način može reći da se zapravo, jednom uloženi, novac od nekoliko tisuća kuna vraća u tri godine, nakon čega se koristi „besplatna“ energija. U svakom slučaju, upotreba bilo kojeg uređaja kojim upravlja pametna kuća isplativa je.

Isplativost energetske obnove nekretnine sustav je ušteda energije, sigurnost i bolja tržišna cijena. Cijena nije jedini parametar kada kupac odluči kupiti. Za većinu kupaca važnija je ušteda koju ostvare u situaciji uključivanja klima uređaja sat vremena prije dolaska u stan, umjesto da klima bude uključena cijelo vrijeme dok je na poslu. Potrošnja električne energije može se ograničiti, a zadatak pametne kuće je isključiti zadnji uključeni uređaj ako dođe do prekoračenja potrošnje.

Istraživanja su pokazala da je sve manje energije iz postojećih izvora, pa se sve više govori o energetske učinkovitosti. Sukladno tome, sve će zgrade u budućnosti morati imati energetske certifikata, a u skladu sa stupnjem energetske učinkovitosti porezi i naknade za dobivanje

¹⁴ Bukarica V. i sur. (2008) Priručnik za energetske savjetnike. Zagreb, Hrvatska, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, str. 48

¹⁵ Bukarica V. i sur. (2008) Priručnik za energetske savjetnike. Zagreb, Hrvatska, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, str. 49

dozvola za objekte bit će niže. Tako da razne institucije, uključujući banke, sve više prepoznaju važnost uštede energije, pa su u svoju ponudu uvrstili i mnogo povoljnije kredite za energetske učinkovite projekte.^[16]

Nuspojava nedostatka energije je stalni rast cijena energije, što je dodatni motiv za pronalaženje dodatnih načina za uštedu energije i sprječavanje nepotrebne potrošnje.

Energetska obnova nekretnine je način na koji možemo postići uštedu energije od 50 do 75%. Uz sve gore navedene činjenice, postaje jasno da energetska obnova nekretnina ne predstavlja mit, već stvarnu potrebu jer je to sustav koji će uštedjeti do 50% na mjesečnim računima, pa će se sam isplatiti.

¹⁶ Bukarica V. i sur. (2008) Priručnik za energetske savjetnike. Zagreb, Hrvatska, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj, str. 50

3. MEHANIZMI IZMJENE TOPLINE

Postojanje temperaturnih razlika unutar tijela ili između više tijela osnovni je uvjet za izmjenu (prijenos) topline. Prijenos topline općenito je praćen promjenom temperature u prostoru i vremenu, pa se temperaturno polje predstavlja jednadžbom:

$$\vartheta = \vartheta(x, y, z, t)$$

Ako se unutar promatranog tijela povežu sva mjesta iste temperature dobivaju se izotermne plohe ili linije (izoterme) koje se mogu, ali ne moraju, zatvarati unutar promatranog tijela. S obzirom na vremensku ovisnost, temperaturna raspodjela i s njom povezana izmjena topline može biti stacionarna (vremenski ustaljena, nepromjenljiva) ili nestacionarna (vremenski promjenljiva). Ako se tijekom prijenosa topline sve veličine (temperatura, toplinski tok ili gustoća toplinskog toka) vremenski ne mijenjaju, izmjena topline je stacionarna. To znači da svaki, pa i najmanji dio tijela mora tijekom odvijanja procesa primiti i predati istu količinu topline. Ako taj uvjet nije ispunjen, pa tijelo više topline prima nego je odaje, u tijelu će doći do akumulacije energije, odnosno do povećanja temperature. I obrnuto, ako tijelo odaje više topline nego što je prima, temperatura će tijela padati. I temperatura tijela i izmijenjena toplina mijenjat će se s vremenom. Takva se izmjena topline naziva ne stacionarna izmjena topline.

U osnovi se razlikuju tri načina izmjene topline:

- kondukcija ili provođenje
- konvekcija ili prijelaz topline konvekcijom (s promjenom agregatnog stanja ili bez nje)
- radijacija ili zračenje.

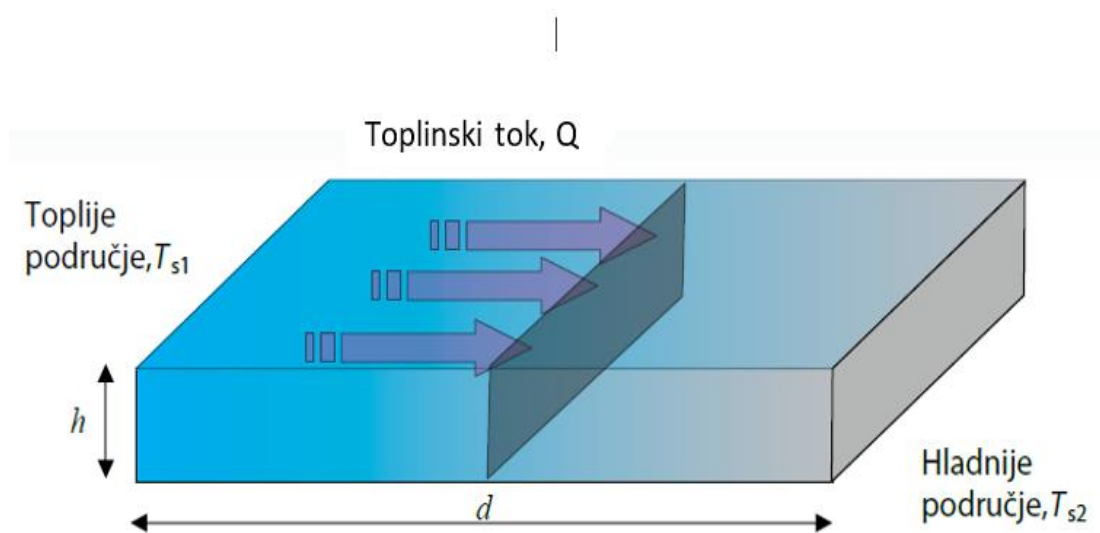
3.1. Kondukcija ili provođenje

Kondukcija ili provođenje topline je način izmjene topline koji se odvija u krutim tijelima. Postoji mogućnost da se kondukcija ili provođenje odvija kod tekućina (plinova ili kapljevina), ali samo ako se one nalaze u vrlo malom prostoru tako da ne može doći do znatnijeg pomaka njihovih čestica (molekula, atoma). Toplina kod kondukcije se prenosi na razini atoma ili molekula njihovim direktnim dodirom. Molekule više temperaturne vrijednosti imaju veću

kinetičku energiju titranja, te one prilikom sudara sa molekulama niže temperaturne vrijednosti predaju dio svoje energije, te se time usporavaju.

Prijenos topline je uvijek usmjeren od više prema nižoj temperaturnoj vrijednosti čestica (molekula, atoma).

S obzirom da nulti zakon termodinamike kaže da izolirani sustav, prepušten samom sebi, teži postizanju ravnoteže (toplinske), neravnomjerna raspodjela temperature unutar tijela može se održati samo pod uvjetom da je tijelo trajno izloženo poremećaju iz svojega okoliša. To znači da tijelo na jednom mjestu od nekoga prima, a na drugome mjestu nekome drugome predaje toplinu. Izmjena topline koja se odvija na rubnim plohama tijela, između tijela i njegovog okoliša, definira se odgovarajućim rubnim uvjetima.



Slika 3.1. Provođenje topline

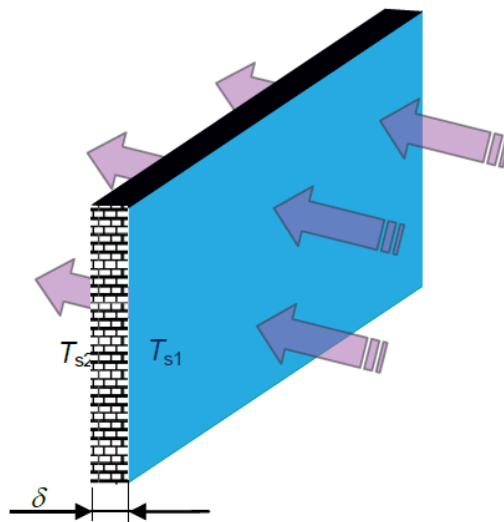
Fourierov zakon provođenja topline

Za stacionarno provođenje topline kroz ravni homogeni sloj, bez postojanja toplinskih izvora ili ponora, te uz pretpostavku da je toplinska vodljivost materijala konstantna, toplinski tok izmijenjen provođenjem računa se prema izrazu:

$$Q = \frac{(T_{s1} - T_{s2})}{\frac{d}{\lambda}} \cdot A \quad [W] \quad (3.1.)$$

Oznake se u jednadžbi odnose na:

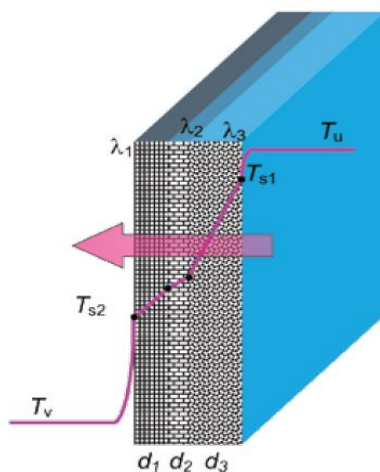
- Q - toplinski tok, [W]
- $T_{s1} - T_{s2}$ - razlika temperatura rubnih ploha, [K]
- A - površina okomita na smjer izmjene topline, [m²]
- d - debljina sloja, [m]
- λ - koeficijent toplinske provodljivosti, [W/mK]



Slika 3.2. Jednodimenzijnsko provođenje topline kroz homogeni ravni sloj: toplinski tok okomit na površinu sloja

Za element sastavljen od više homogenih ravnih slojeva vrijedi izraz za izračunavanje toplinskog toka:

$$Q = \frac{(T_{s1} - T_{s2})}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}} \cdot A \quad [W] \quad (3.2.)$$



Slika 3.3. Jednodimenzijnsko provođenje topline kroz element s više homogenih slojeva

3.2. Konvekcija ili prijelaz topline konvekcijom

Konvekcija je naziv za prijenos topline koji se odvija između krutog tijela (npr. površina građevinskog elementa) i tekućine u gibanju. Pod tekućinom se podrazumijeva stanje tvari koje nije kruto, stanje plina i kapljevine. Gibanje tekućine može biti pobuđeno na dva načina: prirodnom (slobodnom) konvekcijom i prisilnom (nametnutom) konvekcijom.

Kod prirodne konvekcije strujanje je tekućine uvjetovano heterogenošću masenih sila nad promatranim volumenom tekućine. Ta je heterogenost uzrokovana nejednolikom temperaturnom raspodjelom u tekućini, a samim tim i nejednolikom raspodjelom gustoće (čestica uz površinu zida i čestica podalje). Ta razlika u gustoći za posljedicu ima slobodno strujanje tekućine.

Primjerice: ako je površina zida toplija, onda će čestice tekućine koje su bliže površini biti toplije, te time i lakše. One će se uslijed toga podizati uvis i izazvati strujanje uzrokovano izmjenom topline.



Slika 3.4. Tipičan model slobodne konvekcije

Kod prisilne konvekcije strujanje je tekućine izazvano izvana nametnutom razlikom tlakova (pumpa, ventilator), te se strujanje tekućine događa bez obzira na prijelaz topline. I kod jedne i kod druge vrste konvekcije intenzitet izmjene topline je određen brojem međusobnih dodira različito temperiranih čestica. Naime, u oba slučaja radi se o tome da se toplije čestice kreću od površine zida (ako je zid topliji od tekućine) prema jezgri struje, hlade se miješajući se s hladnijim česticama, a hladnije se čestice tekućine kreću prema toplijem zidu, zagrijavaju se i vraćaju u jezgri struje. Ako je više dodira (bolje miješanje čestica tekućine) i izmjena će topline biti intenzivnija. Prema tome, na prijelaz topline konvekcijom prevladavajući utjecaj ima način strujanja tekućine uz površinu zida.

Toplinski tok izmijenjen konvekcijom opisuje se Newtonovim zakonom:

$$Q = \alpha \cdot (t_s - t_g) \cdot A \quad [W] \quad (3.3.)$$

pri čemu se oznake u jednadžbi odnose na:

Q - toplinski tok, [W]

α - koeficijent prijelaza topline konvekcijom, [W/m²K]

t_s - temperatura površine zida, [°C]

t_g - temperatura fluida podalje od zida, [°C]

A - površina okomita na smjer izmjene topline, [m²]

U općem slučaju vrijednost koeficijenta prijelaza topline konvekcijom ovisi o veličini i obliku tijela (npr. građevinskog elementa), načinu strujanja (smjer toplinskog toka), o brzini strujanja, o temperaturi stjenke i temperaturi tekućine, te o svojstvima tekućine koja struji uz površinu.

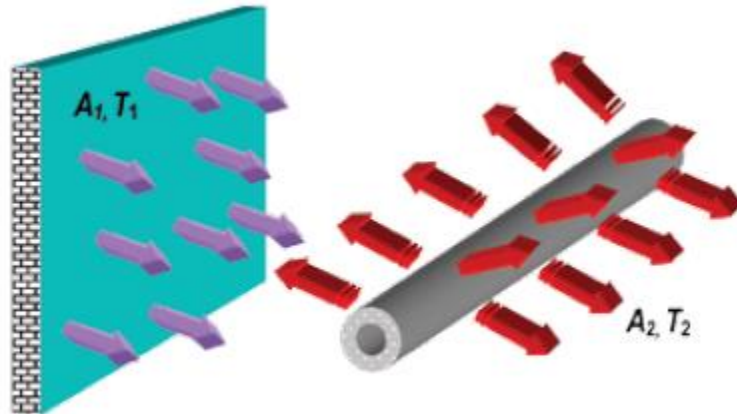
3.3. Radijacija ili zračenje

Zračenje je mehanizam izmjene topline koji se odvija u formi elektromagnetskih valova između tijela različitih temperatura, između kojih je proziran (propustan) medij. Širenje se elektromagnetskih valova odvija bez materijalnog posrednika i to je osnovna razlika između zračenja i prethodna dva načina prijenosa topline (i provođenje i konvekcija zahtijevaju materijalnog posrednika). Zračenje se može odvijati i u vakuumu. Neki su materijali bolji, a neki lošiji predavači zračenja. Iznos emitirane energije s površine tijela ovisi o temperaturi tijela, vrsti materijala i stanju površine. S obzirom da je kod krutina i kapljevina jako izražena apsorpcija zračenja pojedine molekule od strane njoj susjednih molekula, zračenje koje emitiraju, odnosno apsorbiraju kapljevine, odnosno krutine uvijek je vezano samo na zbivanje na površini. Za ovakve se materijale emisija i apsorpcija zračenja promatraju kao površinski fenomeni. Debljina površinskog sloja odgovornog za emisiju i apsorpciju zračenja iznosi: za metalne materijale tek nekoliko molekula, za nemetalne materijale nekoliko mikrometara. Većina je materijala nepropusna za toplinsko zračenje. Međutim, postoje materijali koji su propusni za upadna zračenja u pojedinim dijelovima elektromagnetskog spektra.

Primjer takvog materijala je staklo: vrlo je propusno za svjetlosne zrake (valne duljine od 0,4 do 0,7 μm), potpuno nepropusno za infracrvene zrake (valne duljine od 0,7 do 400 μm).

Za mješavine plinova koji sadrže čestice vodene pare ili ugljičnog dioksida, ili pak za krutine koje su djelomično propusne za zračenje, apsorpcija je dubinska, te zračenje koje tijelo emitira može imati izvor bilo gdje u promatranom tijelu. Emisija i apsorpcija zračenja su tada volumenski fenomeni.

Svako tijelo odašilje vlastito emitirano zračenje i apsorbira zračenje koje dolazi od drugih tijela. Neto iznos zračenjem izmijenjenog toplinskog toka je razlika između onoga što tijelo emitira i onoga što apsorbira.



Slika 3.5. Opći slučaj izmjene topline zračenjem

Odzračena energija zračenjem opisuje se Stefan-Boltzmannovim zakonom:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (3.4.)$$

pri čemu se oznake u jednadžbi odnose na:

E - odzračena energija, [W/m²]

ε - emisijski omjer površine svih ne crnih tijela,

σ - Stefan-Boltzmannova konstanta, [W/m²K⁴]

T - temperatura tijela, [K]

Izmjenjen toplinski tok zračenjem:

$$\dot{Q} = F \cdot C_{12} \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (3.5.) \quad T_1, T_2 - \text{temperature stijenki}$$

C_{12} - konstanta zračenja

- Za usporedne stijenke $C_{12} = \frac{C_c}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$ (3.6.)

- Za obuhvaćeno tijelo $C_{12} = \frac{C_c}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \omega \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}$ (3.7.)

Faktor oblika

$$\omega = \frac{F_1}{F_2} \quad (3.8.)$$

F_1 - površina obuhvaćenog tijela

F_2 - površina tijela koje obuhvaća

Za $F_1 \ll F_2 \rightarrow \omega = 0 \rightarrow C_{12} = \varepsilon_1 \cdot C_c$

4. PROBLEMATIKA TOPLINSKE OVOJNICE I NJEZINIH UČINAKA

4.1. Problematika prolaza topline

Prijenos topline kroz komponente ovojnice složen je i dinamičan fizikalni proces. Na smjer i veličinu protoka topline utječu sunčevi dobici od sunca, vanjska temperatura, unutarnja temperatura i izložena površina.

Izmjena topline između dva fluida odijeljena krutom stjenkom. Obuhvaća izmjene topline i konvekcijom i provođenjem.

Toplinski tok može se izračunati po sljedećoj jednadžbi:

$$\dot{Q} = k \cdot F \cdot (t_a - t_b) [W] \quad (4.1.)$$

gdje je:

t_a, t_b - temperature fluida [$^{\circ}C, K$]

F - površina [m^2]

k - koeficijent prolaza topline [W/m^2K]

Za ravnu stijenku \rightarrow recipročnu vrijednost koeficijenta prolaza topline dobivamo zbrajanjem specifičnih toplinskih otpora

$$W_{uk} = W_{\alpha_a} + W_{\lambda} + W_{\alpha_b} \quad (4.2.)$$

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_a} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_b} \quad (4.3)$$

Komponente ovojnice zgrade imaju tri važne karakteristike koje utječu na njihove toplinske performanse: njihov k – koeficijent prolaza topline ili toplinski otpor; njihova toplinska masa ili sposobnost skladištenja topline, mjerena kao toplinski kapacitet (HC) i njihovo stanje - završna obrada vanjske površine.^[17]

Koeficijent prolaza topline je količina topline koju vanjska ovojnica zgrade odnosno građevni element gubi u jednoj sekundi po m^2 površine, kod razlike temperature od 1K izraženo u W/m^2K . Koeficijent „ k “ je bitna karakteristika vanjske ovojnice zgrade i igra veliku ulogu u

¹⁷ Lapillonne B., Pollier K., Samci N. (2014): Energy Efficiency Trends in Buildings in the EU, str. 58

analizi ukupnih toplinskih gubitaka (kWh/m^2). Što je koeficijent prolaska topline manji to je toplinska izoliranost zgrade bolja.

Tijela ili dijelovi tijela različitih temperatura nastoje međusobnim djelovanjem izjednačiti svoje temperature i tako uspostaviti toplinsku ravnotežu.^[18]

Protok topline može biti u oba smjera, jer će toplina teći s toplije na hladniju stranu. Izolacija i većina ostalih građevinskih materijala utječu na protok topline u oba smjera, ali neki građevinski elementi poput zračnih barijera mogu smanjiti protok topline koji ulazi u zgradu i imaju mali utjecaj na toplinu koja izlazi iz zgrade.

Stacionarni protok topline pretpostavlja da se temperature s obje strane elementa ovojnice zgrade (dok su različite) održavaju konstantnim tijekom dovoljno dugog razdoblja, tako da toplina koja odlazi s jedne strane sklopa bude jednaka toplini koja ulazi na suprotnu stranu. Koncept stabilnog protoka topline pojednostavljen je jer se u stvarnom svijetu temperature neprestano mijenjaju.^[19]

Većina zidova nije homogena: često postoje drveni, metalni ili betonski okviri koji mogu probiti izolaciju i stvoriti toplinske mostove.^[20]

Toplinski mostovi, posebno ako su metalni, imaju značajan utjecaj na performanse cjelokupnog sklopa, ponekad smanjujući učinkovitost izolacije za više od polovice. Koeficijent prolaza topline uzima u obzir toplinske mostove i vodljivost svakog elementa građevinskog sklopa, uključujući vodljivost zračnog filma na unutarnjim i vanjskim površinama.

Na toplinske performanse i koeficijent prolaza topline također utječe kvaliteta gradnje. Posebno je važno da izolacija bude u izravnom kontaktu sa zračnom barijerom. Ako postoji jaz između zračne barijere i izolacije, zračne struje mogu izolaciju učiniti gotovo beskorisnom. Sljedeće uobičajeno pitanje kvalitete izolacije su praznine u izolaciji koje su česte oko električne opreme i ostalih prodora zidova ili krova.

Još jedan problem je kompresija izolacije; ako se kompresijom smanji debljina izolacije, ne postiže se zadovoljavajući otpor provođenja topline.^[21]

¹⁸ Bošnjaković F. (1978) Nauka o toplini. Zagreb, Hrvatska, Tehnička knjiga Zagreb, str. 23

¹⁹ Talamo, C.; Bonanomi, M. (2016) Knowledge Management and Information Tool for Building Maintenance and Facility Management; Springer International Publishing Switzerland, str. 41

²⁰ Talamo, C.; Bonanomi, M. (2016) Knowledge Management and Information Tool for Building Maintenance and Facility Management; Springer International Publishing Switzerland, str. 41

²¹ Lapillonne B., Pollier K., Samci N. (2014): Energy Efficiency Trends in Buildings in the EU, str. 62

Nazivna vrijednost toplinskog otpora izolacije povećava se na nižim temperaturama, a smanjuje na višim temperaturama. Stvar je u tome što se većina izolacijskih proizvoda sastoji od zarobljenog zraka, a iako je zrak dobar izolator, njegova se toplinska svojstva mijenjaju s temperaturom.

Pri odabiru izolacije treba koristiti nekoliko kriterija: ukupni trošak instalacije, jednostavnost ugradnje, zdravstveni i sigurnosni problemi, kontrola zvuka, otpornost na vatru, propusnost vode i taloženje.

4.2. Projektiranje i izrada ovojnice zgrade

Odnosi između elemenata koji su namijenjeni njihovom izvođenju moraju se uzeti u obzir prilikom dizajniranja i izrade vanjske ovojnice zgrade. Razmatranje specifičnih zahtjeva za ovojnicu, međusobno izolirano, može biti izvor problema kod projektiranja i izvedbe.

Hutcheon je opisao cjelokupnu funkciju vanjskog zida kao pružanje "barijere između unutarnjeg i vanjskog okruženja, tako da se unutarnje okruženje može prilagoditi i održavati u prihvatljivim granicama."^[22]

Za postizanje ovog općeg cilja potrebno je uzeti u obzir sljedeće zahtjeve:^[23]

- Kontrola protoka topline,
- Kontrola protoka zraka,
- Kontrola ulaza vanjskih zagađivača,
- Kontrola protoka vodene pare,
- Kontrola prodora kiše,
- Kontrolno svjetlo, sunčevo i drugo zračenje,
- Kontrola buke,
- Kontrola požara.

Ovih osam zahtjeva odnosi se na zid kao prepreku između unutarnje i vanjske strane, a zadovoljavaju se odabirom elemenata koji pružaju odgovarajući otpor svakom od protoka. Pored toga, važan je i raspored elemenata koji ispunjavaju svaki zahtjev.

²² Lee, K.H., H. Tanaka, Y. Lee, (2016.) "Thermally Induced Pressure Distribution in Simulated Tall Buildings with Floor Partitions," ASHRAE Transactions, 94(1), str. 72

²³ Lapillonne B., Pollier K., Samci N. (2014): Energy Efficiency Trends in Buildings in the EU, str. 63

Ovaj raspored određuje raspodjelu uvjeta unutar zida, poput temperature i tlaka vodene pare, te okoliša u kojem različiti elementi moraju funkcionirati.

Trajnost nije svojstveno materijalno svojstvo, već ovisi o okolišu kojem je element izložen. Raspored elemenata unutar ovojnice može poboljšati trajnost elemenata i sustava u cjelini. Estetski izgled vanjske ovojnice ne mora biti u suprotnosti s ostalim zahtjevima izvedbe, ali kao što je slučaj s ostalim zahtjevima izvedbe, estetski razlozi ne bi smjeli prevladavati nad postizanjem ostalih zahtjeva.^[24]

Raspored elemenata ovojnice važan je za ispunjavanje zahtjeva za učinkom ovojnice. Ovaj raspored utječe na uvjete unutar zida, a time i na okruženje u kojem materijali moraju funkcionirati.

Na primjer, mjesto toplinske izolacije određuje raspodjelu temperature unutar ovojnice, što posljedično određuje temperature pojedinih elemenata ovojnice. Temperatura utječe na trajnost materijala, utječe na stupanj pomicanja dimenzija kojem će elementi biti podvrgnuti i sposobnost materijala da prilagode to kretanje.^[25]

Kretanje elemenata ovojnice važno je pitanje vezano uz projektiranje onih elemenata namijenjenih kontroli prijenosa topline, zraka i vlage. Elementi ovojnice kreću se i podvrgavaju se dimenzijskim promjenama iz različitih razloga, uključujući termički inducirano širenje i stezanje, promjene u sadržaju vlage, starenje, strukturno opterećenje i pomicanje okvira zgrade.

Ta se kretanja moraju predvidjeti i uzeti u obzir pri projektiranju ovojnice. Ako se ta kretanja ne uzmu u obzir u projektu, pogonske će sile izazvati diskontinuitete ili čak rezultirati ozbiljnijim oštećenjima poput pucanja ili pomicanja fasada.

Toplina se prenosi pomoću tri mehanizma: provođenjem, zračenjem i konvekcijom. Toplinski tok provođenja kroz element ovojnice određen je njegovom toplinskom vodljivošću, temperaturnom razlikom na njemu te debljinom i površinom elementa.

Smanjenje izmjene topline s okolišem može se postići uporabom materijala s niskom toplinskom vodljivošću i povećanjem debljine materijala ovojnice, posebno izolacije. Razine izolacije obično se biraju na temelju analize ozbiljnosti klime i materijalnih troškova uravnoteženih s budućim troškovima energije.

²⁴ Lee, K.H., H. Tanaka, Y. Lee, (2016.) "Thermally Induced Pressure Distribution in Simulated Tall Buildings with Floor Partitions," ASHRAE Transactions, 94(1), str. 74

²⁵ Handegord, G.O.P. (2018) "Prediction of the Moisture Performance of Walls," ASHRAE Transactions, str. 67

Međutim, određivanje optimalne debljine izolacije za zgradu odnosi se samo na izolirane dijelove zgrade između strukturnih elemenata i samo ako je izolacija pravilno postavljena. Takvi strukturni elementi i drugi prodori izolacijskog sustava elementima sa znatno višim vrijednostima toplinske vodljivosti od izolacije, često se opisuju kao toplinski mostovi.

Problemi s instalacijom uključuju pojavu praznina na izolaciji koje povećavaju brzinu prijenosa topline kroz ovojnici. Jedna od glavnih točaka ovih smjernica je da se stvarna izolacijska vrijednost zida može prilično razlikovati od projektne vrijednosti zbog toplinskog premošćivanja izolacije, drugih diskontinuiteta u dizajnu izolacijskog sustava ili loše ugradnje.

Kako bi se učinkovito smanjilo provođenje topline, ovojnica mora biti neprekidno izolirana, uz minimalne prekide strukturnih elemenata i drugih prodora.

Prijenos topline zračenjem primarno je problem sustava ostakljenja, iako se događa unutar ovojnice.

Radijativni prijenos topline kroz ostakljene dijelove ovojnice zgrade složeno je pitanje koje uključuje unutarnja opterećenja za grijanje i hlađenje te strategije dnevnog osvjetljenja. Zračenjem se mogu prenijeti značajne količine energije, što čini dizajn sustava ostakljenja vrlo važnim za energetske bilancu zgrade.^[26]

Protok zraka kroz ovojnici zgrade, koji se naziva i propuštanje zraka, infiltracija i ekfiltracija, može ozbiljno pogoršati toplinske karakteristike ovojnice.^[27]

Propuštanje zraka prenosi toplinu i vlagu, povećavajući opterećenja za kondicioniranje prostora, pogoršavajući toplinske karakteristike izolacijskog sustava i povećavajući potencijal za probleme s kondenzacijom. Količina prijenosa energije uslijed propuštanja zraka kroz zgradu ovisi o brzini protoka zraka i temperaturnoj razlici između i izvana.

Brzina protoka zraka ovisi o fizičkoj nepropusnosti ovojnice zgrade i veličini razlika u tlaku koji pokreću protok zraka. Propuštanje zraka može se spriječiti dobro projektiranim i pažljivo instaliranim sustavom zračnih barijera.

²⁶ Lee, K.H., H. Tanaka, Y. Lee, (2016.) "Thermally Induced Pressure Distribution in Simulated Tall Buildings with Floor Partitions," ASHRAE Transactions, 94(1), str. 77

²⁷ Handegord, G.O.P. (2018) "Prediction of the Moisture Performance of Walls," ASHRAE Transactions, str. 69

5. PRORAČUN

Proračun obuhvaća primjer proračuna izmijenjenog toplinskog toka kroz vanjsku ovojnicu zgrade u vlasništvu mojih roditelja koja se sastoji od poslovnih prostora. U nacrtima iz priloga A moguće je vidjeti tlocrt i pročelja zgrade sa svim oznakama ovojnice korištenih u proračunu.

Površine su određene po pročeljima a sastoje se od otvora (prozora i vrata) i vanjskog zida.

Sve površine na promatranom objektu nalaze se u Tablici 5.1.

Tablica 5.1. Površine vanjske ovojnice

ORIENTACIJA	PROZORI					VRATA					ZID				Ukupna površina zida bez otvora
	Ozn.	Š [m]	V [m]	Kom.	A [m ²]	Ozn.	Š [m]	V [m]	Kom.	A [m ²]	Ozn.	D [m]	V [m]	A [m ²]	
SIEVER	P4	0,71	0,70	2	0,99	V4	0,60	2,35	1	1,41	Z1	8,75	3,75	32,81	86,33
	P5	1,83	1,60	1	2,93	/	/	/	/	/	Z1	2,11	3,75	7,91	
	P6	0,60	0,70	3	1,26	/	/	/	/	/	Z1	4,37	3,75	16,39	
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Z1	9,55	3,75	35,81	
ISTOK	P3	0,50	1,55	1	0,78	V3	1,80	2,35	1	4,23	Z	4,88	4,31	21,03	56,83
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Z1	1,97	5,90	11,62	
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Z1	2,95	5,34	15,75	
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Z1	1,50	3,75	5,63	
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Z1	2,08	3,75	7,80	
JUG	P2	2,20	2,55	1	5,61	V1	1,40	2,35	4	13,16	Z1	21,30	3,75	79,88	64,89
	/	/	/	/	/	V2	1,90	2,35	1	4,47	Z1	2,20	3,75	8,25	
ZAPAD	P1	4,00	2,55	1	10,20	/	/	/	/	/	Z1	6,75	3,75	25,31	15,11
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Z2	3,90	3,75	14,63	14,63

Izmjenjen toplinski prolaz topline kroz vanjsku ovojnicu može se izračunati ovim izrazom:

$$Q = k \cdot (t_1 - t_2) \cdot A \quad (5.1.)$$

pri čemu se oznake u jednadžbi odnose na:

Q – ukupni toplinski tok kroz zid, [W]

k – koeficijent prolaza topline, [W/m²K]

t_1 – temperatura zraka unutra, [°C]

t_2 – temperatura zraka vani, [°C]

A – površina promatranog sloja, [m²]

Koeficijent k za zid izračunat je na slijedeći način:

$$\frac{1}{k} = \alpha_u + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \alpha_v \quad (5.2.)$$

pri čemu se oznake u jednadžbi odnose na:

k - ukupni koeficijent prolaza topline, [W/m²K]

λ - koeficijent toplinske vodljivosti pojedinog sloja, [W/mK]

d - debljina sloja, [m]

α_v - koeficijent prijelaza topline s vanjske strane, [W/m²K]

α_u - koeficijent prijelaza topline s unutarnje strane, [W/m²K]

Prikazati će se tri slučaja toplinskog toka kroz zid, slučaj bez dodatne toplinske izolacije, s toplinskom izolacijom (stiropor) debljine 5 cm i s toplinskom izolacijom (stiropor) debljine 10cm. Postojeće stanje na objektu je dodatna toplinska izolacija od stiropora debljine 5 cm.

Koeficijenti prolaza topline za otvore koji se nalaze na objektu su pretpostavljeni u iznosu 1,1 W/m²K iz razloga što ne posjedujem dokumentaciju o stvarnim toplinskim karakteristikama. S obzirom da su njihove vrijednosti ne promjenjive, u svrhu jednostavnijeg prikaza izračuna, gubitke topline kroz otvore prikazujem u tablicama 5.2. i 5.3.:

Tablica 5.2. Toplinski tok kroz zid

Element vanjske ovojnice	Pozicija na pročelju	Površina [m ²]	koeficijent prolaza topline, k , [W/m ² K]	TOPLINSKI TOK, [W]
Prozori (G1)	Z	10,20	1,100	280,50
Prozori (G2)	J	5,61	1,100	154,28
Prozori (G3)	I	0,78	1,100	21,31
Prozori (G4)	S	0,99	1,100	27,34
Prozori (G5)	S	2,93	1,100	80,52
Prozori (G6)	S	1,26	1,100	34,65
UKUPNI TOPLINSKI TOK KROZ PROZORE:				$Q_p = 598,59$

Tablica 5.3. Toplinski tok kroz vrata

Element vanjske ovojnice	Pozicija na pročelju	Površina [m ²]	koeficijent prolaza topline, k, [W/m ² K]	TOPLINSKI TOK, [W]
Vrata (V1)	J	13,16	1,000	329,00
Vrata (V2)	J	4,47	1,000	111,63
Vrata (V3)	I	4,23	1,000	105,75
Vrata (V4)	S	1,41	1,000	35,25
UKUPNI TOPLINSKI TOK KROZ VRATA:				Q _v = 581,63

5.1. Izračun toplinskog toka vanjske ovojnice bez izolacije

Temperature i toplinski tokovi korišteni u proračunu su navedeni u tablici 5.4.:

Tablica 5.4. Toplinski tok kroz zidove

Unutarnja temp. zraka		20	°C	
Vanjska temp. zraka		-5	°C	
Element vanjske ovojnice	Strana svijeta	Površina [m ²]	koeficijent prolaza topline, k, [W/m ² K]	TOPLINSKI TOK, [W]
Vanjski zid 1 - 30 cm (Z1)	S	86,33	0,420	905,59
	J	56,83	0,420	596,11
	I	64,89	0,420	680,66
	Z	15,11	0,420	158,52
Vanjski zid 2 - 20 cm (Z2)	S	0	0,443	0,00
	J	0	0,443	0,00
	I	0	0,443	0,00
	Z	14,63	0,443	161,90
UKUPNI TOK:				2502,78

Tablica 5.5. Sastav zidova, slučaj bez izolacije

	Slojevi	Debljina, δ , [m]	λ , [W/mK]	δ/λ
Vanjski zid Z1	Žbuka	0,02	0,3	0,067
	Cigla	0,2	0,8	0,250
	Stiropor	0	0,03	0
Vanjski zid Z2	Žbuka	0,03	0,3	0,100
	Žbuka	0,02	0,3	0,067
	Cigla	0,1	0,8	0,125
	Stiropor	0	0,03	0
	Žbuka	0,03	0,3	0,100

$$\alpha_u = 5 \frac{W}{m^2K}$$

$$\alpha_v = 10 \frac{W}{m^2K}$$

Koeficijent k za zid od 30 cm (Z1) računa se na slijedeći način:

$$\frac{1}{k_{Z1}} = \alpha_u + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \alpha_v$$

$$\frac{1}{k_{Z1}} = 5 + \frac{0,02}{0,3} + \frac{0,2}{0,8} + \frac{0,03}{0,3} + 10$$

$$k_{Z1} = 1,395 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{Z1} = k_{Z1} \cdot (t_1 - t_2) \cdot A_{uk}$$

$$Q_{Z1} = 1,395 \cdot (20 - (-5)) \cdot 223,16$$

$$Q_{Z1} = 7782,70 \text{ W}$$

Koeficijent k za zid od 20 cm (Z2) računa se na slijedeći način:

$$\frac{1}{k_{Z2}} = \alpha_u + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \alpha_v$$

$$\frac{1}{k_{Z2}} = 5 + \frac{0,02}{0,3} + \frac{0,1}{0,8} + \frac{0,03}{0,3} + 10$$

$$k_{Z2} = 1,69 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{Z2} = k_{Z2} \cdot (t_1 - t_2) \cdot A_{uk}$$

$$Q_{Z2} = 1,69 \cdot (20 - (-5)) \cdot 14,63$$

$$Q_{Z2} = 618,18 \text{ W}$$

Ukupni toplinski tok kroz zid bez izolacije:

$$Q_{Z1} + Q_{Z2} = 8400,82$$

Iz navedenih vrijednosti proizlazi ukupan toplinski tok naveden u tablici 5.6.:

Tablica 5.6. Ukupni toplinski tok bez izolacije

UKUPNI TOPLINSKI TOK KROZ ZID:	8400,82 W
UKUPNI TOPLINSKI TOK KROZ PROZORE:	598,59 W
UKUPNI TOPLINSKI TOK KROZ VRATA:	581,63 W
UKUPNI TOPLINSKI TOK:	9581,04 W

5.2. Izračun toplinskog toka vanjske ovojnice s izolacijom 5 cm

Tablica 5.7. sastav zidova, slučaj sa 5 cm stiropora

	Slojevi	Debljina, δ , [m]	λ , [W/mK]	δ/λ
Vanjski zid Z1	Žbuka	0,02	0,3	0,067
	Cigla	0,2	0,8	0,250
	Stiropor	0,05	0,03	1,667
	Žbuka	0,03	0,3	0,100
Vanjski zid Z2	Žbuka	0,02	0,3	0,067
	Cigla	0,1	0,8	0,125
	Stiropor	0,05	0,03	1,667
	Žbuka	0,03	0,3	0,100

Koeficijent k za zid od 30 cm (Z1) računa se na slijedeći način:

$$\frac{1}{k_{Z1}} = \alpha_u + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \alpha_v$$

$$\frac{1}{k_{Z1}} = 5 + \frac{0,02}{0,3} + \frac{0,2}{0,8} + \frac{0,05}{0,03} + \frac{0,03}{0,3} + 10$$

$$k_{Z1} = 0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{Z1} = k_{Z1} \cdot (t_1 - t_2) \cdot A_{uk}$$

$$Q_{Z1} = 0,42 \cdot (20 - (-5)) \cdot 223,16$$

$$Q_{Z1} = 2343,20 \text{ W}$$

Koeficijent k za zid od 20 cm (Z2) računa se na slijedeći način:

$$\frac{1}{k_{Z2}} = \alpha_u + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \alpha_v$$

$$\frac{1}{k_{Z2}} = 5 + \frac{0,02}{0,3} + \frac{0,1}{0,8} + \frac{0,05}{0,03} + \frac{0,03}{0,3} + 10$$

$$k_{Z2} = 0,443 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{Z2} = k_{Z2} \cdot (t_1 - t_2) \cdot A_{uk}$$

$$Q_{Z2} = 0,443 \cdot (20 - (-5)) \cdot 14,63$$

$$Q_{Z2} = 162,03 \text{ W}$$

Ukupni toplinski tok kroz zid sa izolacijom 5 cm stiropora:

$$Q_{Z1} + Q_{Z2} = 2505,22 \text{ W}$$

Iz navedenih vrijednosti proizlazi ukupan toplinski tok naveden u tablici 5.8.:

Tablica 5.8 Toplinski tok za izolaciju od 5 cm.

UKUPNI TOPLINSKI TOK KROZ ZID:	2505,22 W
UKUPNI TOPLINSKI TOK KROZ PROZORE:	598,59 W
UKUPNI TOPLINSKI TOK KROZ VRATA:	581,63 W
UKUPNI TOPLINSKI TOK:	3685,45 W

5.3. Izračun toplinskog toka vanjske ovojnice s izolacijom 10 cm

Tablica 5.9. sastav zidova, slučaj sa 10 cm stiropora

	Slojevi	Debljina, δ , [m]	λ , [W/mK]	δ/λ
Vanjski zid Z1	Žbuka	0,02	0,3	0,067
	Cigla	0,2	0,8	0,250
	Stiropor	0,1	0,03	3,333
	Žbuka	0,03	0,3	0,100
Vanjski zid Z2	Žbuka	0,02	0,3	0,067
	Cigla	0,1	0,8	0,125
	Stiropor	0,1	0,03	3,333
	Žbuka	0,03	0,3	0,100

Koeficijent k za zid od 30 cm (Z1) računa se na slijedeći način:

$$\frac{1}{k_{Z1}} = \alpha_u + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \alpha_v$$

$$\frac{1}{k_{Z1}} = 5 + \frac{0,02}{0,3} + \frac{0,2}{0,8} + \frac{0,1}{0,03} + \frac{0,03}{0,3} + 10$$

$$k_{Z1} = 0,247 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{Z1} = k_{Z1} \cdot (t_1 - t_2) \cdot A_{uk}$$

$$Q_{Z1} = 0,247 \cdot (20 - (-5)) \cdot 223,16$$

$$Q_{Z1} = 1378,01 \text{ W}$$

Koeficijent k za zid od 20 cm (Z2) računa se na slijedeći način:

$$\frac{1}{k_{Z2}} = \alpha_u + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \alpha_v$$

$$\frac{1}{k_{Z2}} = 5 + \frac{0,02}{0,3} + \frac{0,1}{0,8} + \frac{0,1}{0,03} + \frac{0,03}{0,3} + 10$$

$$k_{Z2} = 0,255 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{Z2} = k_{Z2} \cdot (t_1 - t_2) \cdot A_{uk}$$

$$Q_{Z2} = 0,255 \cdot (20 - (-5)) \cdot 14,63$$

$$Q_{Z2} = 93,27 \text{ W}$$

Ukupni toplinski tok kroz zid sa izolacijom 10cm stiropora:

$$Q_{Z1} + Q_{Z2} = 1471,28 \text{ W}$$

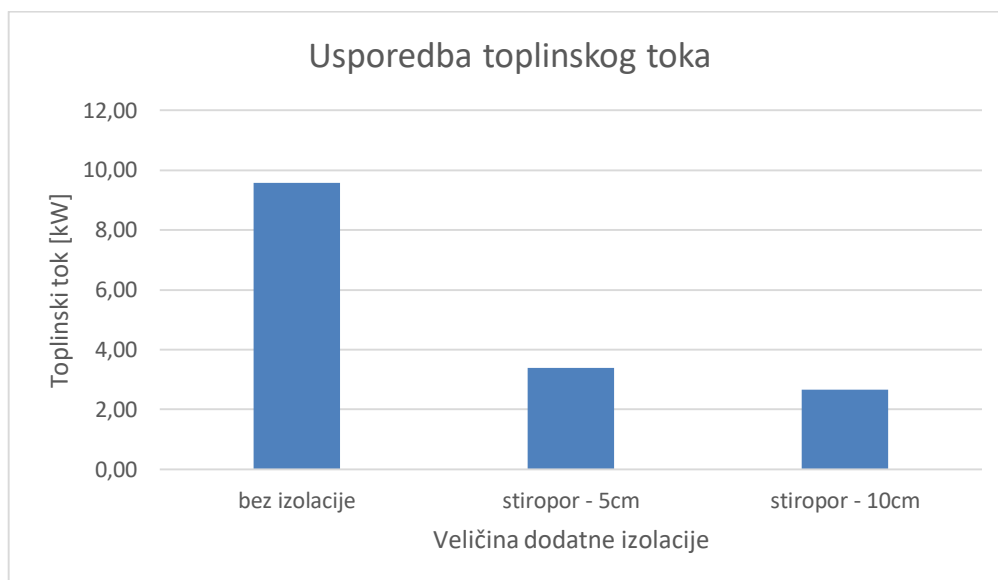
Iz navedenih vrijednosti proizlazi ukupan toplinski tok naveden u tablici 5.10.:

Tablica 5.10. toplinski tok za izolaciju od 10 cm

UKUPNI TOPLINSKI TOK KROZ ZID:	1471,28 W
UKUPNI TOPLINSKI TOK KROZ PROZORE:	598,59 W
UKUPNI TOPLINSKI TOK KROZ VRATA:	581,63 W
UKUPNI TOPLINSKI TOK:	2651,50 W

5.4. Usporedba dobivenih podataka

S obzirom na dobivene podatke moguće je napraviti usporedbu. Na slici 5.1. Prikazani su izmjenjeni toplinski tokovi za 3 različita slučaja.



Slika 5.1. Graf usporedbe toplinskog toka

Iz dobivenog se vidi kako se postiže značajnije smanjenje izmjene toplinskog toka postavljanjem dodatne izolacije (stiropor) debljine 5cm jer ušteda s obzirom na isti objekt bez izolacije iznosi 61,6%. Dok ušteda između dodatne izolacije (stiropor) debljine 10cm naspram debljine 5cm iznosi 28%.

6. ZAKLJUČAK

Pojam koji se često koristi pri gradnji kuće je izgradnja ovojnice koji predstavlja neizostavan element suvremene gradnje zgrada. Koncept ovojnice zgrade odnosi se na dizajn i izgradnju vanjskog dijela kuće. Dobra ovojnica zgrade uključuje upotrebu vanjskih zidnih materijala i dizajna koji su klimatski prikladni, strukturno zvučni i estetski prihvatljivi. Ova su tri elementa ključni čimbenici u izradi ovojnice zgrade. Omotač zgrade kuće sastoji se od krova, poda, vanjskih vrata, prozora i naravno vanjskih zidova.

Kvalitetnom toplinskom izolacijom ovojnice smanjuju se toplinski gubitci. Provedena analiza i rezultati ukazuju kako je isplativo postavljanje dodatne izolacije od stiropora zbog smanjenja izmjene toplinskog toka. Prema prikazanom proračunu velika ušteda energije se ostvaruje postavljanjem 5cm stiropora dok je razlika između 5cm i dodatnih 10 cm stiropora drastično manja, iz čega zaključujemo da je 5 cm stiropora sasvim dovoljno izolacije za vanjsku ovojnicu zgrade.

7. LITERATURA

1. Barow, J.; Bayer, S. (2005) Flexible homes, flexiblecare, inflexible attitudes? The role of telecare in supporting independence,
2. Bassi, A., Bauer, M., Fiedler, M., Kramp, T. (2013) Enabling Things to Talk, Designing IoT solutions with the IoT Architectural Reference Mode, Springer Heidelberg, New York,
3. Bukarica V. i sur. (2008) Priručnik za energetske savjetnike. Zagreb, Hrvatska, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj,
4. Cook, D.; Youngblood, M. (2012) MavHome: An Agent – Based Smart Home, Pervasive Computing and Communication,
5. Handegord, G.O.P. (2018) “Prediction of the Moisture Performance of Walls,” ASHRAE Transactions,
6. Lee, K.H., H. Tanaka, Y. Lee, (2016.) “Thermally Induced Pressure Distribution in Simulated Tall Buildings with Floor Partitions,” ASHRAE Transactions, 94(1),
7. Lischkoff, J., R. Quirouette, V. Stritesky (2014.) “Design, Construction and Performance Evaluation on Air Barrier Systems,” Symposium on Air Infiltration, Ventilation and Moisture Transfer, Building Thermal Envelope Coordinating Council,
8. Lapillonne B., Pollier K., Samci N. (2014) Energy Efficiency Trends in Buildings in the EU,
9. Talamo, C.; Bonanomi, M. (2016) Knowledge Management and Information Tool for Building Maintenance and Facility Management; Springer International Publishing Switzerland,
10. Bošnjaković F. (1978) Nauka o toplini. Zagreb, Hrvatska, Tehnička knjiga Zagreb
11. Tomšić Ž. (2014) Ciljevi energetske politike EU i energetska efikasnost u Europskoj uniji. Zagreb, Hrvatska, Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj,
12. Vidić, Z. (2011) Metode cjelovitog upravljanja objektima, FSB Zagreb,
13. GREJANJE I KLIMATIZACIJA 05/06 [2004] – Recknagel, Sprenger, Schramek, Čeperković; INTERKLIMA
14. http://hr.wikipedia.org/wiki/Toplinska_vodljivost
15. http://hr.wikipedia.org/wiki/Koeficijent_prolaska_topline

8. POPIS OZNAKA I KRATICA:

Q - toplinski tok, [W]

α - koeficijent prijelaza topline konvekcijom, [W/m²K]

t_s - temperatura površine zida, [°C]

t_g - temperatura fluida podalje od zida, [°C]

A - površina okomita na smjer izmjene topline, [m²]

$T_{s1} - T_{s2}$ - razlika temperatura rubnih ploha, [K]

d - debljina sloja, [m]

λ - koeficijent toplinske provodljivosti, [W/mK]

E - odzračena energija, [W/m²]

ε - emisijski omjer površine svih ne crnih tijela,

σ - Stefan-Boltzmannova konstanta, [W/m²K⁴]

T - temperatura tijela, [K]

C_{12} - konstanta zračenja

F_1 - površina obuhvaćenog tijela, [m²]

F_2 - površina tijela koje obuhvaća, [m²]

k - koeficijent prolaza topline, [W/m²K]

t_1 - temperatura zraka unutra, [°C]

t_2 - temperatura zraka vani, [°C]

α_v - koeficijent prijelaza topline s vanjske strane, [W/m²K]

α_u - koeficijent prijelaza topline s unutarnje strane, [W/m²K]

9. SAŽETAK

Cilj rada je razmatranje problematike prolaska topline kroz ovojnicu zgrade.

Funkcija ovojnice zgrade je sprečavanje prodora vode i vodene pare. Također sprječava prodor zraka što je izrazito važno zbog kontrole potrošnje energije, izbjegavanje kondenzacije itd. Da bi svi sustavi ovojnice zgrade ispunili svoju funkciju oni moraju sadržavati čvrstu konstrukciju, drenažnu ravninu, toplinsku barijeru, zračnu barijeru te parnu barijeru. Toplinska ovojnica dio je ovojnice zgrade.

U radu su prikazana tri slučaja toplinskog toka kroz zid, slučaj bez dodatne toplinske izolacije, s toplinskom izolacijom (stiropor) debljine 5 cm i s toplinskom izolacijom (stiropor) debljine 10cm. Postojeće stanje na objektu je dodatna toplinska izolacija od stiropora debljine 5 cm.

Iz dobivenog se vidi kako se postiže značajnije smanjenje izmjene toplinskog toka postavljanjem dodatne izolacije (stiropor) debljine 5 cm jer ušteda s obzirom na isti objekt bez izolacije iznosi 61,6%. Dok ušteda između dodatne izolacije (stiropor) debljine 10 cm naspram debljine 5 cm iznosi 28%.

Ključne riječi : vanjska ovojnica zgrade, izolacija, toplinski tok.

10. ABSTRACT

The aim of this work is to consider the issue of heat transfer through the building envelope. The function of the building envelope is to prevent the penetration of water and water vapor. It also prevents the infiltration of air, which is crucial for energy consumption control, condensation avoidance, etc. In order for all components of the building envelope systems to fulfill their function, they must include a solid structure, a drainage plane, thermal barrier, air barrier, and vapor barrier. The thermal envelope is a part of the building envelope.

This paper presents three cases of thermal flow through the wall: a case without additional thermal insulation, with 5 cm thick thermal insulation (polystyrene), and with 10 cm thick thermal insulation (polystyrene). The existing condition of the building involves an additional 5 cm thick polystyrene thermal insulation.

From the results, it can be seen that a significant reduction in heat exchange is achieved by adding 5 cm thick insulation (polystyrene), as the savings compared to the same building without insulation amount to 61.6%. Meanwhile, the savings between additional insulation with 10 cm thickness compared to 5 cm thickness is 28%.

Keywords: building envelope, insulation, thermal flow.

11. POPIS PRILOGA

Prilog A – nacrti i pročelja promatranog objekta (3 stranice)