

MJERNA MAKETA TOPLINSKO IZOLACIJSKIH MATERIJALA

Grčić, Dario

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:584415>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-11**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PRIJEDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

DARIO GRČIĆ

**MJERNA MAKETA TOPLINSKO
IZOLACIJSKIH MATERIJALA**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC 2024.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PRIJEDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

DARIO GRČIĆ

**MJERNA MAKETA TOPLINSKO
IZOLACIJSKIH MATERIJALA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr. sc. V. Tudić, prof. struč. stud.

KARLOVAC 2024.

KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
PROFESSIONAL STUDY OF MECHATRONICS

DARIO GRČIĆ

**MEASURING MODEL OF THERMAL
INSULATION MATERIALS**

UNDERGRADUATE THESIS

KARLOVAC 2024.

PREDGOVOR

Izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mojeg vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu.

SAŽETAK

U ovom radu provodila se analiza toplinskih svojstava građevinskih materijala za toplinsku izolaciju. Temperaturna mjerenja izolacijskih materijala su obavljena kontrolerom ventilatora te izrađenom maketom. Rad je podijeljen na uvodni, teorijski te praktični dio u kojima se govori o toplinskoj izolaciji, toplinskim svojstvima. U uvodnom dijelu govori se o važnosti toplinske izolacije. Teorijski dio u kojem je objašnjeno što je to toplinska izolacija, toplinska svojstva izolacijskih materijala, sustavi za toplinsku izolaciju objekata. U praktičnom dijelu se opisuju postupci izrade makete i njezini elementi te analiza eksperimentalnih pokusa.

Ključne riječi: maketa, toplinska izolacija, izolacijski materijali, toplinska svojstva, eksperimentalni pokusi, praktična analiza

SUMMARY

In this work, an analysis of the thermal properties of building materials for thermal insulation was carried out. Temperature measurements of insulating materials were made with a fan controller and a made model. The work is divided into an introductory, theoretical and practical part in which thermal insulation and thermal properties are discussed. The introductory part discusses the importance of thermal insulation. The theoretical part in which it is explained what thermal insulation is, the thermal properties of insulating materials and systems for thermal insulation of buildings. The practical part describes the procedures for making the model and its elements, as well as the analysis of experimental experiments.

Keywords: model, thermal insulation, insulating materials, thermal properties, experimental tests, practical analysis

Sadržaj	
1.UVOD	1
2.TEORETSKI DIO	2
2.1.Definicija toplinske izolacije.....	2
2.2.Toplinska svojstva materijala	3
2.2.1. Kondukcija	3
2.2.3. Konvekcija.....	5
2.2.4.Toplinsko zračenje	6
2.3.Prednosti toplinske izolacije	6
2.4.Sustavi za toplinsku izolaciju.....	7
2.5.Toplinska izolacija fasada	7
2.5.1.Ventilirana fasada	8
2.5.2.Toplinska izolacija podnožja	9
2.5.3.Toplinska izolacija krovova i potkrovlja.....	10
2.5.4.Toplinski most	11
2.6.Izolacijski materijali.....	12
2.6.1.Toplinska izolacija EPS pločama.....	12
2.6.2.Toplinska izolacija XPS pločama.....	13
2.6.3.Toplinska izolacija mineralnom vunom	15
3.PRAKTIČNI DIO	17
3.1.Mjerna maketa.....	17
3.1.1.Izrada makete	18
3.2. PC napajanje	21
3.3. Kontroler ventilatora	23
3.3.1.STW višenamjenski PC CPU 4-kanalni kontroler ventilatora	24
3.4. LCD digitalni termometar	25
3.4.1.LCD termohigrometar	26
3.5.Temperaturna mjerenja i izračuni toplinske propusnosti makete	27
3.5.1.Metoda proračuna.....	27

3.5.2. Toplinska propusnost.....	28
3.5.3. Toplinski otpor.....	28
3.5.4. Proračun.....	28
3.5.5. Eksperimentalno dobivene temperaturne vrijednosti makete	30
4. ZAKLJUČAK.....	35
5. Literatura.....	36

POPIS SLIKA

Slika 1. Predodžba ventilirane fasade. Izvor [1].	9
Izvor [1]., dostupno na: https://www.econ.hr/rainscreen3.php	
Slika 2. Predodžba ekspaniranog polistirena. Izvor [2].	13
Izvor [2]., dostupno na: https://magnetic.hr/product/magmax-sgp20-10mm/	
Slika 3. Predodžba ekstrudiranog polistirena. Izvor [3].	14
Izvor [3]., dostupno na: https://shop.pap-promet.hr/Katalog/Detalj/4204	
Slika 4. Predodžba mineralne vune. Izvor [4].	17
Izvor [4]., dostupno na: https://profibaucentar.hr/oznaka-proizvoda/kamena-vuna/	
Slika 5. Predodžba mjerne makete. Izvor [Autor]	18
Slika 6. Predodžba donjeg dijela makete. Izvor [Autor]	19
Slika 7. Predodžba donjeg dijela makete. Izvor [Autor]	19
Slika 8. Predodžba zidnog sloja od ekspaniranog polistirena. Izvor [Autor]	19
Slika 9. Predodžba zidnog sloja od opeke-crijep. Izvor [Autor]	20
Slika 10. Predodžba zidnog sloja od kamene vune. Izvor [Autor]	20
Slika 11. Predodžba zidnog sloja od knauf ploče. Izvor [Autor]	20
Slika 12. Predodžba gornjeg dijela makete. Izvor [Autor]	21
Slika 13. Predodžba makete sa svim zidnim slojevima. Izvor [Autor]	21
Slika 14. Predodžba PC napajanja. Izvor [Autor]	22
Slika 15. Predodžba tehničkih podataka PC. Izvor [Autor]	22
Slika 16. Predodžba regulatora ventilatora. Izvor [5].	25
Slika 17. Predodžba regulatora ventilatora. Izvor [5]	25
Slika 18. Predodžba temperaturnih senzora i konekcijskih kablova. Izvor [5].	25
Izvor [5]., dostupno na: https://www.aliexpress.com/item/4001075233106.html	
Slika 19. Predodžba LCD termohigrometra. Izvor [Autor]	27
Slika 20. Predodžba grafičkog predočenja usporedbe temperatura u vremenu za Pokus 1. Izvor [Autor]	32
Slika 21. Predodžba grafičkog predočenja usporedbe temperatura u vremenu za Pokus 2. Izvor [Autor]	34

POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrijednosti toplinske provodljivosti i gustoća građevinskih materijala.

Izvor[1].....4

Izvor [1]., dostupno na: <https://buildex.decorexpro.com/hr/utepljenje/teploprovodnost-uteplitelej.html>

Tablica 2. Simboli fizikalnih veličina i pripadajuće mjerne jedinice. Izvor [Autor].....27

Tablica 3. Vrijednosti toplinske provodljivosti, gustoće i debljine korištenih materijala.

Izvor [Autor].....28

Tablica 4. Temperaturne vrijednosti senzora-Pokus 1. Izvor [Autor].....31

Tablica 5. Izračun temperaturne vrijednosti T_u i T_p . Izvor [Autor].....32

Tablica 6. Temperaturne vrijednosti senzora-Pokus 2. Izvor [Autor].....33

POPIS OZNAKA

Toplinska provodljivost λ [W/mK]

Toplinska propusnost U [W/m²K]

Toplinski otpor R [m²K/W]

Toplina Q [J]

Vrijeme t [s]

Površina A [m²]

Temperatura T [K]

Debljina d [m]

Gustoća ρ [kg/m³]

Gustoća toplinskog toka q [W/m²]

Koeficijent konvekcije h_c [W/m²K]

Koeficijent prijelaza topline zračenjem h_r [W/m²K]

Napon U [V]

Struja I [A]

Snaga P [W]

1.UVOD

Važnost toplinske izolacije u modernom građevinarstvu sve je izraženija, s obzirom na rastuću svijest o potrošnji energije i njezinim ekološkim posljedicama. U današnjem društvu, gdje je energetska efikasnost ključna, toplinska izolacija postaje neizostavan dio planiranja i izgradnje svake nekretnine. Ovaj proces podrazumijeva korištenje različitih materijala i tehnika kako bi se minimizirali toplinski gubici zimi, spriječila kondenzacija i pregrijavanje prostora ljeti. Nedostatak adekvatne toplinske izolacije može rezultirati brojnim negativnim posljedicama, uključujući oštećenja konstrukcije i neugodne uvjete stanovanja. Stoga je ključno odabrati optimalne materijale i sustave izolacije prilagođene specifičnim potrebama i uvjetima svake građevine. S obzirom na sve navedeno, toplinska izolacija postaje ne samo graditeljski standard, već i imperativ za održivost i udobnost u suvremenom životu.

Cilj ovog rada je da se sa mehatroničkog pogleda na temelju stečenih teorijskih i praktičnih vještina te korištenjem mehatroničke opreme i instrumenata samostalno izradi mjerna maketa u svrhu vršenja mjernih pokusa i dobivanja temperaturnih vrijednosti kako bi smo potvrdili nužnost korištenja temperaturno izolacijskih materijala zbog što bolje toplinske učinkovitosti objekta.

2. TEORETSKI DIO

2.1. Definicija toplinske izolacije

Toplinska izolacija ili termoizolacija se odnosi na sposobnost materijala ili prostora da ograniči prolazak topline, tj. predstavlja ključni proces u očuvanju temperature unutar građevina. To znači da termoizolacija smanjuje ili sprječava gubitak topline iz unutarnjeg prostora tijekom hladnih razdoblja ili ulazak topline tijekom toplih razdoblja. Recipročno svojstvo termoizolacije je toplinska provodljivost, koja opisuje sposobnost materijala da provodi toplinu. Što je niža toplinska provodljivost, to je materijal bolji izolator. Stoga se termoizolacija postiže upotrebom materijala s niskom toplinskom provodljivošću. Ovaj proces se ostvaruje postavljanjem izolacijskih materijala na zidove, stropove, podove i druge površine unutar građevine kako bi se spriječio prijenos topline između unutarnjeg i vanjskog prostora. Glavni cilj toplinske izolacije jest minimiziranje gubitaka topline, što rezultira uštedom energije i održavanjem ugodne unutarnje klime. Različiti izolacijski materijali, poput stiropora, mineralne vune, koriste se u tu svrhu, prilagođavajući se specifičnim potrebama i zahtjevima svake građevine. Razumijevanje toplinskih svojstava građevinskih materijala i njihovih utjecaja na toplinske gubitke ključno je za projektiranje energetski učinkovitih građevina. Toplinska propusnost U mjeri količinu topline koja prolazi kroz građevni element ili sklop, poput zida, stropa ili prozora. Manja U vrijednost ukazuje na bolju toplinsku izolaciju i manje toplinskih gubitaka kroz taj element. Dakle smanjenjem U vrijednosti ključno je za poboljšanje energetske učinkovitosti građevine jer smanjuje potrošnju energije za grijanje ili hlađenje. Na toplinsku zaštitu utječe debljina sloja toplinske izolacije ali i toplinska provodljivost materijala λ . Toplinske izolacijske materijale možemo podijeliti na anorganske i organske materijale. Od anorganskih materijala najviše se koriste kamena i staklena vuna, dok je među organskim materijalima najpopularniji ekspanzirani polistiren ili stiropor. Većina toplinsko izolacijskih materijala ima toplinsku provodljivost $\lambda = 0,030 - 0,045$ [W/mK], pa potrebna debljina za toplinsku propusnost $U = 0,40$ [W/m²K] iznosi 8–11 cm. Kod toplinske izolacije ne smijemo zanemariti ulogu materijala od kojih neki već imaju vrlo visoke toplinske karakteristike kao što su

porozirana termo opeka i probeton. Ti materijali zamjenjuju od 8–25 cm toplinske izolacije ovisno o debljini zida.

Poboljšanjem toplinskih izolacijskih karakteristika građevine moguće je postići značajno smanjenje ukupnih gubitaka topline građevine i to u prosjeku od 40% do 80%. Ukratko, toplinska izolacija igra ključnu ulogu u poboljšanju energetske učinkovitosti građevina te pruža udobnost i uštede za njihove korisnike.

2.2. Toplinska svojstva materijala

Toplina Q [J] je energija koja se zbog razlike u temperaturi prenosi iz područja više temperature u područje niže temperature sve dok se ne postigne toplinska ravnoteža. Postoje tri osnovna načina prijenosa topline:

- Vođenje(kondukcija) - odvija se u čvrstim, tekućim i plinovitim materijalima.
- Strujanje(konvekcija) – javlja se u tekućim i plinovitim materijalima.
- Zračenje(radijacija) – događa se u plinovitim materijalima i u vakuumu.

2.2.1. Kondukcija

Kondukcija topline, također poznata kao termalna kondukcija ili vođenje je način prijenosa topline gdje se dio tijela zagrijava izravnim kontaktom s izvorom topline, a zatim se toplina postupno prenosi na susjedne dijelove. Na primjer, kada se jedan kraj metalnog štapa stavi u peć, toplina se širi kroz štap putem vođenja. Brzina prijenosa topline je veća što je veća temperaturna razlika i ovisi o svojstvima same tvari. Budući da su dobri vodiči električne struje poput metala također dobri vodiči topline, toplinska provodljivost uglavnom je povezana s kretanjem slobodnih elektrona.

Vođenje ili kondukcija je proces prijenosa topline između dva tijela ili dijelova tijela na različitim temperaturama putem interakcije susjednih molekula s različitim brzinama titranja oko ravnotežnog položaja. Kako temperatura tvari raste, povećava se kinetička energija molekula, što rezultira prijenosom kinetičke energije od jedne molekule na drugu. U krutim tijelima, vođenje je dominantan način prijenosa topline, dok kod plinova i tekućina postoje i konvekcija i toplinsko zračenje, koji su učinkovitiji u prijenosu topline od vođenja. Materijali se razlikuju u svojoj sposobnosti vođenja topline, pa se neki poput metala, smatraju dobrim vodičima topline, dok su drugi poput mineralne vune loši vodiči

topline te ih zovemo toplinskim izolatorima. Kondukcija kroz materijal se može proračunati po formuli (Fourierov zakon): $Q = \lambda \times A \times \frac{T_1 - T_2}{d} \times t$

Gdje je:

- Q – količina topline [J]
- t – vrijeme [s]
- λ – toplinske provodljivost [W/mK]
- A – površina kroz koju toplina protječe [m²]
- T_1, T_2 – temperatura [K]
- d – debljina [m]

2.2.2. Toplinska provodljivost

Toplinska provodljivost predstavlja količinu topline, koja u jedinici vremena prolazi kroz sloj materijala s površinom presjeka od 1 [m²] i debljinom od 1 [m], pri temperaturnoj razlici od 1 [K], okomito na njegovu površinu. $\lambda = \frac{Q}{A \times (T_1 - T_2)} \times \frac{d}{t}$ [W/mK]

Ako je toplinska provodljivost niska, tvar djeluje kao toplinska izolacija, ako je visoka djeluje kao toplinski vodič.

Tablica 1. Vrijednosti toplinske provodljivosti i gustoća građevinskih materijala. Izvor [1].

Materijal	Gustoća [kg/m ³]	Toplinska provodljivost [W/mK]
Aluminij	2600	221
Beton	-	1,75
Lagana mineralna vuna	50	0,045
Teška mineralna vuna	100-150	0,055
Staklena vuna	155-200	0,03
Željezo	7870	70-80
Zlato	19320	318
Građevinski kamen	2200	1,4
Keramika	1700-2300	1,5
Građevinska cigla	800-1500	0,23-0,3

Srebro	10500	429
Izolacijska žbuka	500	0,2
Ekspandirani polistiren	40	0,038
Ekspandirani polistiren	100-150	0,041-0,05
Glina	1600-2900	0,7-0,9

2.2.3. Konvekcija

Konvekcija ili toplinsko strujanje je prijenos između fluida(plina ili tekućine) u pokretu i nekog čvrstog tijela ili obrnuto. Ovisno o uzroku gibanja fluida, razlikujemo prirodnu konvekciju (gibanje čestica fluida uzrokovano razlikama u gustoći koje nastaju zbog neujednačene temperature u dijelovima fluida) i prisilnu konvekciju (gibanje fluida podržano mehaničkim uređajem). Kada se na primjer voda zagrijava odozdo, donji slojevi vode se zagriju, prošire se, smanji im se gustoća te se zagrijana voda podiže nad hladniju. Slično nastaju i vjetrovi u atmosferi. U fluidima, promjena topline odvija se putem difuzije i koherentnog gibanja zraka. Difuzija predstavlja nasumično Brownovo gibanje pojedinačnih čestica u fluidu, dok je koherentno gibanje zraka prijenos topline kroz veće struje. Grijanje prostorija putem peći temelji se na strujanju zraka. Toplina se prenosi po sobi putem cirkulacije zraka iz peći. U određenim objektima, više prostorija se grije s jednog centralnog mjesta, što se naziva centralno grijanje. Kada centralno grijanje pokriva samo jedan stan, naziva se etažno grijanje. Centralno grijanje može biti zračno, vodeno ili parno, ovisno o sredstvu za prijenos topline koje se koristi. Zračno grijanje koristi zrak za prijenos topline, dok se kod vodenog grijanja toplina prenosi vodom putem prirodne cirkulacije tople i hladne vode. Voda se zagrijava u kotlu obično smještenom u podrumu, pumpa se kroz cijevi i prenosi toplinu putem radijatora u stambene prostorije. Ohlađena voda se vraća u kotao kroz drugu cijev radi ponovnog zagrijavanja. Da bi se omogućilo slobodno širenje vode tijekom zagrijavanja, obično se koristi ekspanziona posuda kako bi primila višak vode. Prijenos topline konvekcijom izračunava se pomoću Newtonovog zakona, pri čemu je gustoća toplinskog toka definirana sljedećom formulom: $q = h_c \times (T_p - T_f)$

- q – gustoća toplinskog toka [W/m^2]
- h_c – koeficijent konvekcije [$W/m^2 K$]
- T_p – temperatura čvrste plohe [K]
- T_f – temperatura fluida [K]

2.2.4. Toplinsko zračenje

Prijenos topline putem elektromagnetskih zraka naziva se radijacija ili zračenje. Toplinska energija tijela pretvara se u elektromagnetsko zračenje koje tijelo emitira u okolni prostor. Također, kada elektromagnetski valovi dopiju do površine nekog tijela, dio tih valova tijelo apsorbira i pretvara u toplinu. Količina emitirane energije ovisi isključivo o temperaturi tijela i stanju njegove površine. Primjer toplinskog zračenja je infracrveno zračenje koje se emitira iz običnih radijatora ili električnih grijača. Osoba u blizini vatre ili bilo kojeg drugog vrućeg tijela može osjetiti toplinsko zračenje, čak i ako je okolni zrak hladan. Toplinsko zračenje nastaje kada se toplina proizvedena gibanjem nabijenih čestica unutar atoma pretvara u elektromagnetsko zračenje. Tijekom dana sunčevo zračenje zagrijava Zemlju, dok noću Zemlja emitira toplinu natrag u svemir. Ukupna energija prenesena zračenjem dobiva se kao razlika između energije koju površina tijela emitira i energije koju ta ista površina apsorbira pri izloženosti zračenju. Gustoća toplinskog toka koja se prenosi zračenjem izračunava se prema sljedećoj formuli: $q = h_r \times (T_1 - T_2)$

- q – gustoća toplinskog toka [W/m^2]
- h_r – koeficijent prijelaza topline zračenjem [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$]
- T_1 – temperatura tijela 1 [K]
- T_2 – temperatura tijela 2 [K]

2.3. Prednosti toplinske izolacije

Osim postizanja ugodne unutarnje temperature tijekom cijele godine, a sve to uz manje račune za energiju, ona ima i mnoge druge koristi. Smanjenjem emisije ugljičnog dioksida postaje ekološki prihvatljivija tehnologija koja pomaže u smanjenju ugljičnog otiska i vanjske buke. Također, povećava vrijednost nekretnine i njezin životni vijek, dok istovremeno smanjuje troškove održavanja. Danas je stoga pitanje ne treba li toplinska izolacija, već koju vrstu materijala ili sustava odabrati.

2.4.Sustavi za toplinsku izolaciju

Dobro osmišljen i izveden sustav za toplinsku izolaciju može značajno smanjiti troškove grijanja i hlađenja te poboljšati energetske učinkovitost objekta. Postoje različite vrste termoizolacijskih sustava kao što su toplinska izolacija fasada, podnožja, krovnih konstrukcija te unutarnja toplinska izolacija.

2.5.Toplinska izolacija fasada

Toplinska izolacija fasada je postupak u kojem se fasada oblaže izolacijskim materijalom, a zatim se konačni rezultat prekriva vanjskom žbukom. Ova vrsta toplinske izolacije značajno poboljšava energetske učinkovitost objekta i učinkovito zadržava toplinu tijekom hladnog vremena. Ona ne samo da poboljšava energetske učinkovitost, već i uljepšava izgled zgrade. Nova izolirana fasada poboljšava izgled objekta i štiti je od štetnih utjecaja poput vlage ili UV zračenja. Također ima učinak smanjenja buke, što može biti posebno korisno kod izolacije objekata u prometnim područjima.

Toplinska izolacija vanjskog zida obično se postiže dodavanjem novog sloja toplinske izolacije na vanjskoj strani zida, dok se rijetko izvodi na unutarnjoj strani. Postavljanje izolacije unutar zida nije preporučljivo iz više razloga, uključujući građevinske i ekonomske aspekte. Takva izvedba zahtijeva dodatna rješenja za kontrolu vodene pare, poštivanje strožih sigurnosnih standarda protiv požara te može rezultirati gubitkom korisnog prostora. Iako poboljšava izolacijske karakteristike zida, unutarnja izolacija značajno mijenja toplinski tok u zidu i može dovesti do hlađenja osnovnog nosivog zida, što može uzrokovati probleme s kondenzacijom i pojavom plijesni. Važno je izolirati dijelove pregrada koji se spajaju s vanjskim zidom. Sanacija vanjskog zida izvedbom izolacije unutar zida obično se primjenjuje samo kod zaštićenih građevina kako bi se sačuvala povijesna vrijednost vanjskog pročelja.

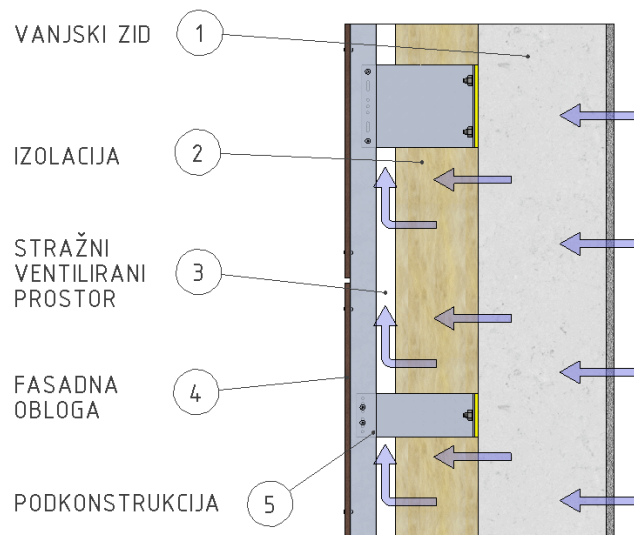
Kada je riječ o postavljanju toplinske izolacije na vanjsku stranu zida, postoje dva osnovna pristupa za zaštitu izolacije i zida od vanjskih vremenskih utjecaja. Prvi pristup uključuje direktno lijepljenje vanjskog zaštitnog sloja na izolaciju (poznato kao kompaktna fasada). Drugi pristup uključuje montažu pojedinačnih zaštitnih elemenata na posebnu podkonstrukciju, ostavljajući sloj zraka između zaštitnog sloja i izolacije (poznato kao ventilirana fasada). Oba pristupa imaju svoje prednosti i primjene koje treba uzeti u obzir pri odabiru najprikladnijeg rješenja za određeni projekt.

Industrija građevinskih materijala nudi mnogo različitih cjelovitih sustava za oba pristupa toplinskoj izolaciji zidova. Važno je napomenuti da za oba rješenja preporučena debljina

toplinskoizolacijskog sloja treba biti najmanje 10 do 12 cm kako bi se postigla adekvatna toplinska zaštita. Takva debljina rezultirala bi smanjenjem vrijednosti toplinske propusnosti U zida na vrijednosti od približno 0,25 – 0,35 [W/m²K].

2.5.1. Ventilirana fasada

Ventilirana fasada je sustav vanjskog zida objekta koji se sastoji od nosive metalne podkonstrukcije, fasadnih panela, sloja mineralne vune za toplinsku izolaciju te prostora za ventilaciju. Svi dijelovi imaju precizno određenu ulogu unutar ovog sustava. Koncept ventilirane fasade proizlazi iz fenomena poznatog kao efekt dimnjaka. Ovaj fenomen povezan je s prirodnim kretanjem toplog zraka koji je lakši od hladnog. Funkcija dimnjaka je da zagrijani zrak unutar njega brzo uzdiže prema gore zbog njegove veće temperature u usporedbi s okolnim zrakom. Kaže se da dimnjak dobro "vuče". Na ventiliranoj fasadi, ovaj efekt izražava se time što je zrak unutar prostora za ventilaciju topliji od vanjskog zraka te teži izlasku kroz otvore na vrhu fasade. Ovaj pritisak zraka potiče povećanu ventilaciju unutar same fasade. Ovaj tip fasade poznat je pod različitim imenima kao što su vjetrena fasada, samoventilirana fasada ili fasada sa zračnim slojem i oblogom te straga provjetravana fasada. Ventilirane fasade mogu biti u širem smislu dvostruke fasade s mehaničkom ventilacijom ili samoventilirane s prirodnim cirkuliranjem zraka kroz provjetravanje. Izolacijske komponente i vanjska obloga u sustavu ventiliranih fasada su strukturno razdvojene. Ventilirani prostor između ovih komponenti regulira vlažnost unutar građevinskih konstrukcija, pouzdano uklanjajući vlagu iz građevinskih elemenata i onu nastalu korištenjem prostora. Vlažni vanjski zidovi se brzo suše, što osigurava optimalnu klimu u prostorijama. Dvoslojni sustav ventilirane fasade odvojeno rješava zaštitu od vremenskih uvjeta i toplinsku izolaciju. Za ventilirane fasade svih vrsta objekata najčešće se koriste mineralni izolacijski materijali toplinske provodljivosti $\lambda = 0,032 - 0,035$ [W/mK]. Sustav omogućuje ugradnju bilo koje potrebne debljine izolacijskog materijala, što olakšava ispunjavanje zahtjeva Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u objektima. Podkonstrukcija predstavlja statičku vezu između strukture vanjskog zida i obloge pročelja. Aluminijske konstrukcije koriste se kao materijali za noseće konstrukcije, s time da se aluminijske podkonstrukcije koriste u većini slučajeva. Aluminijske konstrukcije mogu se podešavati u tri smjera i pričvršćuju se na nosivi vanjski zid bez dodatnih unutarnjih naprezanja, omogućujući savršeno vodoravno i okomito poravnanje te ispravljanje neravnina na zidovima. Osim toga, aluminijske podkonstrukcije mogu se učinkovito integrirati u sustav zaštite od udara munje, čak i ako fasadna obloga nije vodljiva.



Slika 1. Predodžba ventilirane fasade. Izvor [1].

2.5.2. Toplinska izolacija podnožja

Toplinska izolacija podnožja odnosi se na izolaciju podnih konstrukcija. Poboljšava vrijednost toplinske izolacije objekta, smanjuje vlagu i sprječava ulazak hladnog zraka u objekt. Ne samo da poboljšava energetske učinkovitost objekta, već i smanjuje razne probleme vezane uz vlagu i plijesan. Također štiti objekt od problema uzrokovanih podzemnim vodama.

Podne konstrukcije na tlu se razlikuju od onih u negrijanim prostorima po tome što imaju nosivu betonsku podlogu i hidroizolaciju. Gubici topline prema tlu mogu činiti do 10% ukupnih gubitaka topline. Pri izgradnji novih objekata, pod na tlu treba biti izoliran što debljim slojem izolacije kako bi se smanjili gubici topline, dok je to često neisplativo kod postojećih građevina zbog visokih troškova građevinskih radova. Ipak, ekonomski isplative mjere uključuju izolaciju stropne konstrukcije prema negrijanom tavanu i podnih konstrukcija prema negrijanom podrumu. Također, važno je izolirati podne konstrukcije iznad otvorenih prolaza. Pri postavljanju izolacije bitno je osigurati neprekidnu izolaciju duž vanjske ovojnice kako bi se minimalizirao utjecaj toplinskih mostova.

2.5.3. Toplinska izolacija krovova i potkrovlja

Toplinska izolacija krovova i potkrovlja poboljšava vrijednost toplinske izolacije objekta i smanjuje gubitak topline kroz krov. Također produljuje životni vijek krovne konstrukcije jer ublažava štetne vremenske utjecaje (voda i vlaga). Ona ne samo da smanjuje troškove grijanja, već i povećava ugodan boravak u objektu u ljetnom periodu. Pravilno izolirani krov štiti od pregrijavanja u vrućim ljetnim mjesecima i tako osigurava ugodniju klimu u unutrašnjosti. Osim toga, izolacija krovova i potkrovlja sprječava probleme sa snijegom i ledom, što može biti posebno korisno u geografskim područjima gdje je zimsko vrijeme ekstremnije.

Iako krov čini samo 10-20% ukupnih toplinskih gubitaka u kući, ima ključnu ulogu u osiguravanju kvalitete i udobnosti života. On pruža zaštitu od oborina, hladnoće i vrućine. Na obiteljskim i manjim stambenim objektima najčešće se nalazi kosi krov, ispod kojeg se često nalazi neizoliran prostor namijenjen stanovanju. Takva situacija može rezultirati velikim gubicima topline zimi i problemima s pregrijavanjem ljeti, jer kroz neizolirani krov može pobjeći i do 30% topline.

Naknadna toplinska izolacija krova je jednostavna i ekonomski isplativa, s povratom investicije u roku od 1 do 5 godina. Za izolaciju kosih krovova preporučuju se nezapaljivi i paropropusni materijali poput kamene vune. Spojevi između toplinske izolacije i vanjskog zida te krova moraju biti riješeni bez toplinskih mostova. Ako prostor ispod kosog krova nije grijan, izolacija se treba postaviti na stropu zadnje etaže prema negrijanom tavanu. Optimalna debljina izolacije na kosom krovu je između 16 i 20 cm, a preporučuje se postavljanje u dva sloja kako bi se izbjegli toplinski mostovi.

Ravni krovovi su posebno izloženi atmosferskim utjecajima te je ključno osigurati im kvalitetnu toplinsku i hidroizolaciju, kao i ispravno rješenje odvodnje kišnice. Ravni krovovi mogu biti prohodni, neprohodni ili tako zvani zeleni krov, a način završne obrade krova prilagođen je tomu.

2.5.4. Toplinski most

Toplinski mostovi su manja područja u omotaču građevine kroz koja se toplina prenosi s povećanom brzinom zbog promjene materijala, debljine ili geometrije dijela konstrukcije. Postavljanjem izolacije na vanjske dijelove kuće (zidovi, krov, pod) možemo eliminirati većinu toplinskih mostova i spriječiti kondenzaciju na određenim dijelovima strukture. U graditeljstvu i strojarstvu, pojam "toplinski most" označava takva područja.

U graditeljstvu, manja područja u omotaču grijanog dijela građevine gdje se toplina prenosi s većom brzinom zbog promjene materijala, debljine ili geometrije građevnog dijela. Zbog smanjenog otpora toplinskoj propustljivosti u usporedbi s ostalim dijelovima konstrukcije, temperatura unutarnje površine na toplinskom mostu obično je niža, što povećava rizik od kondenzacije vodene pare. Razlikujemo dvije vrste toplinskih mostova ovisno o uzrocima povećane toplinske propustljivosti:

- Konstruktivni toplinski mostovi – nastaju kod kombinacija različitih vrsta materijala
- Geometrijski toplinski mostovi – nastaju zbog promjene oblika konstrukcije, kao što su uglovi građevine

Kvalitetna toplinska izolacija vanjskog omotača građevine ključna je za energetske učinkovitost gradnje jer pomaže u izbjegavanju snažnih toplinskih mostova. Postavljanjem toplinske izolacije izvan građevine možemo značajno smanjiti toplinske gubitke uzrokovane toplinskim mostovima. Pozicija prozora u zidu također je važna jer utječe na pojavu toplinskih mostova, zato ih je idealno postaviti na razini toplinske izolacije, a ako to nije moguće, špalete oko prozora treba toplinski izolirati.

Pojava toplinskih mostova također je važna u tehnologiji hlađenja i klimatizacije, gdje je potrebno izolirati cjevovode, armature (poput ventila), pričvrsnice i ovjesnice kako bi se spriječio prijenos topline na lokalnim dijelovima cjevovoda.

Iako je gotovo nemoguće izgraditi objekt bez toplinskih mostova, pravilno projektiranim detaljima toplinske zaštite njihov utjecaj možemo minimalizirati.

Potencijalna mjesta toplinskih mostova uključuju konzolne istake balkona, izbočine krova, spojeve konstrukcija, spojeve zida i prozora, kutije za rolete, niše za radijatore,

temelje i drugo. Stoga je važno posvetiti posebnu pažnju tim detaljima tijekom izgradnje. Nakon završetka gradnje, kvalitetu gradnje i toplinske zaštite moguće je dodatno provjeriti termografskim snimanjem.

2.6. Izolacijski materijali

Na tržištu je dostupno nekoliko vrsta materijala za toplinsku izolaciju, a među najčešćima su:

- EPS
- XPS
- Mineralna vuna

Odluka o vrsti materijala za toplinsku izolaciju ovisi o načinu upotrebe i strukturi objekta.

2.6.1. Toplinska izolacija EPS pločama

Ekspandirani polistiren (EPS), poznat i kao stiropor, nudi niz prednosti koje ga čine popularnim izborom za toplinsku izolaciju u mnogim objektima. Specijalne polistirenske ploče izrađuju se postupkom ekspandiranja, sastoje se 98% od zraka pa imaju vrlo dobra termoizolacijska svojstva. EPS ploče su lagane, izdržljive i jednostavne za ugradnju, što olakšava proces postavljanja toplinske izolacije. Visoka R-vrijednost znači da efikasno zadržavaju toplinu, što doprinosi održavanju ugodne temperature u objektu. EPS ploče mogu se koristiti za izolaciju fasada, zidova, podova i krovova, što ih čini fleksibilnim izborom za različite dijelove građevine. EPS ploče se preporučuju onima koji traže široko rasprostranjen sustav toplinske izolacije.

EPS je trenutno najpovoljniji fasadni materijal za toplinsku izolaciju na tržištu. Ponaša se iznimno dobro u odnosu na vlagu i toplinu. Zatvoreni zrak ne izlazi iz ćelija EPS-a, stoga se termoizolacijska sposobnost ne smanjuje tijekom vremena, niti se mijenjaju njegova druga svojstva. EPS ne trune i ne propada ali zbog UV i sunčevog zračenja može požutjeti i postati porozan. Zbog toga je vrlo važno da se nakon postavljanja u što kraćem roku obavi postavljanje zaštitnih slojeva kao što su mrežice, zaštitni kutnici i završna žbuka.

EPS može gorjeti kada je izložen požaru, ali vrlo pozitivan učinak ima svojstvo samoizgašenja kada prestane izgarati tj. nestane toplina izgaranja. Zahvaljujući ostalim dodacima u EPS-u, ne može doći do pojave kapanja, pa se požar ne širi dalje. Također, ne oslobađa otrovne tvari tijekom izgaranja. EPS je otporan na različite kemikalije, što ga čini izdržljivim materijalom u različitim okolišnim uvjetima. Površina EPS ploča je otporna na tradicionalne građevinske materijale (cement, vapno, gips itd.), kao i na otopine soli, sapune, slabe kiseline i alkohole.

Važno je napomenuti i da su EPS ploče kemijski neutralne, tako da ne zagađuju okoliš i nisu štetne za životno okruženje jer ne sadrže štetne tvari, što ih čini ekološki prihvatljivijim izborom za toplinsku izolaciju. EPS se često smatra povoljnim i učinkovitim materijalom za toplinsku izolaciju, pogotovo u slučajevima gdje je važna dobra termoizolacija i jednostavna instalacija.



Slika 2. Predodžba ekspaniranog polistirena. Izvor [2].

2.6.2. Toplinska izolacija XPS pločama

XPS ploče ili stirodur izrađuju se postupkom ekstruzije. Proizvode se drugačijom tehnikom u usporedbi s EPS pločama. Sićušne polistirenske kuglice višestruko ekspaniraju dok ne postignu pravu veličinu i oblik. Početni materijal XPS ploča je kristal polistirena, od kojeg se postupkom ekstruzije izrađuje XPS zatvorenih ćelija. Malo su skuplje od EPS-a, ali imaju veću R-vrijednost čime pružaju bolju toplinsku izolaciju. Ovo ih čini idealnim izborom za područja gdje je potrebna visoka razina

izolacije. XPS je otporan na vlagu zbog svoje strukture zatvorenih ćelija, što ga čini izvrsnim izborom za područja izložena vlazi. To ga čini pogodnim za izolaciju temelja i podnožja, odnosno vanjsku izolaciju podova s malim ili srednjim opterećenjima, kao i zidova podruma stambenih objekata i garaža (do maksimalne dubine 4 m). Materijali koji se koriste za toplinsku izolaciju temelja kontinuirano su izloženi velikim opterećenjima tijekom godina. Zahvaljujući svojoj visokoj tlačnoj čvrstoći, stirodur može izdržati ova opterećenja. Još jedna značajna prednost stirodura je njegova visoka mehanička čvrstoća. Ovaj materijal je izuzetno čvrst i otporan na deformacije, što ga čini idealnim za primjenu u područjima izloženim velikim opterećenjima. Ta svojstva omogućuju dugotrajnost i stabilnost izolacijskog sustava. Stoga se koristi za izolaciju podova s velikim opterećenjima, kao što su prohodni ravni krovovi, parkirališta, industrijske hale. Također se koristi za toplinsku izolaciju ispod temeljne ploče, toplinsku zaštitu podrumskih zidova u zemlji te izolaciju podnožja fasada. Površina XPS ploča je manje osjetljiva na pritisak, što ih čini otpornijima na oštećenja tijekom ugradnje i kasnijeg korištenja. XPS ploče imaju nižu razinu upijanja vode u usporedbi sa EPS pločama. Ovo je posebno važno u područjima gdje je izloženost vodi česta ili visoka. Osim što pruža izvrsnu toplinsku izolaciju, stirodur se odlikuje niskim vrijednostima toplinske vodljivosti. To znači da se gubitak topline kroz materijal minimalizira, čime se osiguravaju uštede energije i visoka energetska učinkovitost.



Slika 3. Predodžba ekstrudiranog polistirena. Izvor [3].

2.6.3. Toplinska izolacija mineralnom vunom

Mineralna vuna naziv je za vlaknaste proizvode dobivene od prirodnih ili sintetičkih minerala ili metalnih oksida. U građevinarstvu se koristi za toplinsku izolaciju konstrukcija. Vrlo je popularan materijal zbog svojih odličnih toplinsko-izolacijskih svojstava, jednostavne ugradnje i povoljne cijene. Mineralna vuna proizvodi se taljenjem sirovine na oko 1600 °C, propuhivanjem rastaljene mase kroz mlaznice i slaganjem tako nastalih ohlađenih vlakana u ploče i filce. Postoje dvije osnovne sirovine za proizvodnju mineralne vune a to su kamen i staklo, tako razlikujemo kamenu i staklenu vunu. U suvremenoj proizvodnji se za obje vrste sirovina nastoji koristiti što veći udio recikliranog materijala. Kod staklene vune to se odnosi na staro staklo, dok se kod kamene vune radi o nusproduktima iz metalurgije. Mineralna vuna ima vrlo dobre toplinske karakteristike i najčešće se koristi za toplinsku izolaciju konstrukcija i elemenata. Proizvodi za zvučnu izolaciju imaju značajno povećanu gustoću te su namijenjeni izolaciji od zračnog i konstrukcijskog zvuka. Mineralna vuna ima relativno dobru otpornost na požar, a ugrađena u konstrukciju povećava ukupnu vatrootpornost. Kamena vuna izdrži temperature od 700 – 850°C, dok staklena vuna podnosi temperature od 230 – 250°C. Iako je sama po sebi nezapaljiva, dugotrajno izložena požaru, može intenzivno gorjeti i razvijati vrlo visoke temperature. Razlog tome je velika količina zraka sadržana u maloj količini materijala. Zbog toga su proizvodi za protupožarnu zaštitu izrađeni od vlakana velike gustoće to jest zbijenosti. Iz svega navedenog, jasno je da mineralna vuna ima širok spektar primjene, ali nema univerzalnog rješenja. Svaki proizvod zadovoljava samo jedan zahtjev: toplinsku, zvučnu ili protupožarnu zaštitu. Mineralna vuna se proizvodi u obliku rola, ploča i gotovih oblika na primjer za oblaganje cijevi. Mineralna vuna je nekoliko desetaka puta paropropusnija od ostalih fasadnih izolacija, što omogućuje zidovima objekta da „dišu“ i sprječava pojavu zdravlju opasnih plijesni i gljivica. Također je izuzetno postojan materijal koji zadržava svoja svojstva kroz duže vrijeme, ne mijenja dimenzije te ne uzrokuje naprezanja i mikropukotine na fasadi. Zahvaljujući svojoj elastičnoj strukturi, doprinosi otpornosti fasade na udarce. Općenito gledano, radi se o jednom od

najsloženijih materijala za toplinsku izolaciju, kako po kvaliteti, tako i po područjima primjene.

2.6.3.1. Kamena vuna

Karakteristike:

- Kratka vlakna
- Veća gustoća proizvoda od 30 – 200 [kg/m³]
- Visoka čvrstoća na tlak
- Toplinska provodljivost od 0,035 – 0,039 [W/mK]
- Odlično upija zvučnu energiju
- Negoriv materijal, klasa negorivosti A1
- Maksimalna radna temperatura 750°C
- Veća otpornost na požar
- Visoka temperatura taljenja > 1000°C
- Niža elastičnost materijala
- Niska zatezna čvrstoća

2.6.3.2. Staklena vuna

Karakteristike:

- Dugačka vlakna
- Manje gustoća proizvoda od 11 – 45 [kg/m³]
- Niža čvrstoća na tlak
- Toplinska provodljivost od 0,032 – 0,044 [W/mK]
- Negoriv materijal, klasa negorivosti A1
- Maksimalna radna temperatura 230°C
- Otpornost na požar
- Niža točka taljenja ~700°C
- Visoka elastičnost materijala
- Visoka zatezna čvrstoća



Slika 4. Predodžba mineralne vune. Izvor [4].

3.PRAKTIČNI DIO

U ovom dijelu rada govorit će se o maketi toplinsko izolacijskih materijala, odnosno o njezinim dijelovima i izradi. Bit će predočeni izračuni toplinskog otpora i toplinske propusnosti materijala te izmjerene vrijednosti temperatura između zidnih slojeva zbog dokazivanja da li toplinsko izolacijski materijali doista sprječavaju prolazak topline iz objekta.

3.1.Mjerna maketa

Predstavlja model zidova građevinskog objekta u svrhu postizanja što bolje toplinske izolacije objekta. Njenom izradom pruža se uvid u toplinsku propusnost odabranih materijala pomoću kontrolera ventilatora. Materijali koji su odabrani za izradu makete su najčešći izbor kod današnje izgradnje objekata. Sastoji se od ukupno četiri zidna sloja, a svaki je napravljen od drugačijeg materijala. Odabrani građevinski materijali su: stiropor, kamena vuna, opeka te knauf. Između svakog zidnog sloja ostavljen je slobodni prostor za cirkulaciju zraka te za postavljanje mjernih senzora kontrolera

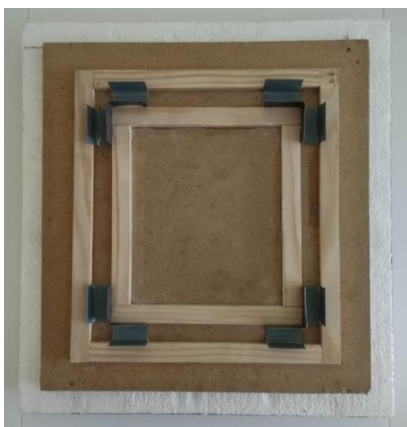
ventilatora kojima se ispituju vrijednosti temperature između izolacijskih materijala. Na maketi se još nalaze PC napajanje, kontroler ventilatora te termohigrometar kojima se vrše mjerna ispitivanja.



Slika 5. Predodžba mjerne makete. Izvor [Autor].

3.1.1. Izrada makete

Donji sloj kao i gornji sloj makete izrađeni od stiropora i iverice u obliku „servić panela“ u svrhu što manjih gubitaka topline kroz njih, kako bi se moglo što bolje fokusirati na prolaz topline kroz zidne slojeve. Na njima se još nalaze drveni okviri za zidne slojeve kako bi se ravnomjerno raspodijelili i ostavili slobodni prostor za cirkulaciju zraka te za mjerne senzore.



Slika 6. Predodžba donjeg dijela makete. Izvor [Autor].



Slika 6. Predodžba donjeg dijela makete. Izvor [Autor].



Slika 7. Predodžba zidnog sloja od ekspaniranog polistirena. Izvor [Autor].



Slika 8. Predodžba zidnog sloja od opeke-crijep. Izvor [Autor].



Slika 9. Predodžba zidnog sloja od kamene vune. Izvor [Autor].



Slika 10. Predodžba zidnog sloja od knauf ploče. Izvor [Autor].



Slika 11. Predodžba gornjeg dijela makete. Izvor [Autor].



Slika 12. Predodžba makete sa svim zidnim slojevima. Izvor [Autor].

3.2. PC napajanje

Napajanje (PSU - Power Supply Unit) je uređaj koji pretvara naizmjeničnu struju u jednosmjernu, slično kao punjač za mobilne uređaje. Ono što ga izdvaja od ostalih adaptera su izlazi s različitim naponima. Na konektorima na kraju snopa žica iz četvrtaste kutije napajanja može se naći nekoliko naponskih nivoa: $\pm 5\text{ V}$, $\pm 12\text{ V}$ i $+3.3\text{ V}$. Dakle, napajanje računala pretvara 220 V naizmjenične struje iz utičnice u jednosmjernu struju na tri, odnosno pet naponskih nivoa.

Na zadnjoj strani kućišta napajanja nalaze se ulaz za kabl iz kućne utičnice i otvor za ventilator napajanja. Obično su prisutna i dva prekidača: jedan za izbor ulaznog napona (110 V ili 220 V) i drugi za prekidanje ulaznog napona.

Osim vidljivih komponenti, unutrašnji dijelovi napajanja nisu toliko važni za objašnjavanje jer se razlikuju od modela do modela. Međutim, postoji jedna stvar koju bi

prosječan korisnik trebao da zna. Unutar svih modela nalazi se topljivi osigurač deklariran na 250 V, koji prekida dovod naizmjenične struje ako napon skoči preko te vrijednosti. Na primjer, ako grom udari i prenese se preko napajanja, osigurač će se istopiti i time zaštititi komponente u računalu. Ipak, udar groma može doći i preko telefonske linije, tako da ovo ne predstavlja potpunu zaštitu.

Napajanje u računalu često se naziva i prekidačko napajanje (switching power supply). To je zato što se princip pretvaranja naizmjenične struje u jednosmjernu zasniva na internom kontrolnom kolu koje brzo uključuje i isključuje ulaznu struju, omogućavajući preciznu stabilizaciju izlaznog napona.

Još jedna važna funkcija napajanja je ispravljanje napona tokom rada. Naizmjenični napon iz utičnice često sadrži nagla povećanja ili smanjenja napona vrlo kratkog trajanja, mnogo kraćeg od sekunde, koje napajanje pokušava ispraviti prilikom pretvaranja naizmjenične u jednosmjernu struju. Zbog toga je stalno prisutan signal Power OK, koji se tokom rada kreće u rasponu od 2,5 V – 6 V. Ako ispravljeni jednosmjerni napon nije u redu, ovaj signal izlazi izvan navedenih granica, čime napajanje obavještava matičnu ploču da resetira procesor. Razlozi za to mogu biti nestanci struje, preniski naponi ili strujni udari.



Slika 13. Predodžba PC napajanja. Izvor [Autor].



Slika 14. Predodžba tehničkih podataka PC napajanja. Izvor [Autor].

3.3. Kontroler ventilatora

Kontroleri ventilatora koriste se za upravljanje brzinom te za kontrolu temperature različitih tipova električnih ventilatora, kao što su centrifugalni, propelerni i aksijalni. Ovi uređaji omogućavaju povećanje ili smanjenje brzine ventilatora kako bi se smanjilo habanje opreme, smanjio nivo buke i uštedjela energija. Neki modeli su varijabilni, dinamički prilagođavaju brzinu u zavisnosti od situacije, dok drugi nude unaprijed određene brzine. Model sa beskonačno varijabilnom kontrolom omogućava potpuno podešavanje brzine u rasponu od 0 do 100 %. Također su poznati pod nazivima: Fan regulators, Fan speed regulators, Fan controllers.

Ovi uređaji koriste se u različitim okruženjima, na primjer:

- Kontrola ventilatora u sistemima za grijanje, ventilaciju i klimatizaciju
- Praćenje i kontroliranje brzine ventilatora procesora unutar laptopa, računala i sličnih uređaja. Budući da procesori računala obično generiraju veliku količinu topline, neophodna je kontrola temperature i ventilacija kako bi se spriječilo pregrijavanje.

Kontroleri ventilatora mogu se podijeliti u pet ključnih tipova:

Konvencionalni modeli koriste električni otpor. Oni sadrže žičani kontrolni sklop sa podesivim prekidačem za promjenu brzine ventilatora. Ovi uređaji sadrže zavojnice, sa različitim nivoima otpora prema električnoj struji. Podešavanjem prekidača na regulatoru, zavojnica se postavlja u seriju sa određenim ventilatorom, mijenjajući električni otpor i time brzinu ventilatora. Veći otpor smanjuje brzinu ili isključuje ventilator. Međutim, električni otpor proizvodi toplinu i troši energiju koja bi mogla biti uteđena smanjenjem brzine ventilatora. Modeli sa kondenzatorima rješavaju ovaj problem povećavajući brzinu ventilatora kada napon padne, a smanjujući je kada se snaga poveća. To znači da nema gubitka topline i energije kroz električni otpor. Modeli sa kondenzatorima obično su manji i omogućavaju finu, linearnu kontrolu brzine. Termostatski modeli direktno reagiraju na temperaturu. Senzori prate temperaturu unutar kućišta i uključuju ili isključuju ventilator prema unaprijed definiranim

postavkama. To smanjuje buku ventilatora kada je nivo upotrebe nizak. Modeli sa tajmerom koriste električni tajmer za upravljanje skupom prekidača kojim korisnici mogu unaprijed postaviti ventilatore da rade u određenim vremenima i brzinama.

Modulacija širine impulsa(PWM) je zadani izbor za fan controllere na matičnim pločama računala mnogih vodećih proizvođača. PWM omogućava digitalnim, binarnim uređajima poput mikroprocesorskih jedinica(MCU) na matičnim pločama da kontroliraju nedigitalne uređaje poput ventilatora. PWM tehnologija proizvodi kratke, modulirane impulse napona kako bi simulirala analogni način upravljanja. Kada je ventilator u pokretu, inercija osigurava da se nastavi okretati čak i tokom kratkih prekida napajanja uzrokovanih modulacijom. Mikroprocesor u kombinaciji sa softverom za kontrolu brzine ventilatora, može brzo i dinamično prilagođavati brzinu ventilatora.

3.3.1.STW višenamjenski PC CPU 4-kanalni kontroler ventilatora

Tehnički podaci:

- Model: STW-6041
- Izlazni napon: DC 12 V
- Raspon napona: 5 – 12 V
- Broj ventilatorskih kanala: 4 kanala
- Konektor ventilatora: kompatibilan s 3-pinskim 4-pinskim konektorom
- Konektor za napajanje: 4-pinski muški i 4-pinski ženski konektor
- Maksimalna izlazna struja: 2.8 A
- Snaga: 36 W
- Ekran: LCD



Slika 15. Predodžba regulatora ventilatora. Izvor [5].



Slika 16. Predodžba regulatora ventilatora.

Izvor [5].



Slika 17. Predodžba temperaturnih senzora i konekcijskih kablova. Izvor [5].

3.4. LCD digitalni termometar

Digitalni termometri su standardni industrijski alati koji koriste temperaturne senzore za mjerenje temperature u različitim primjenama. Kako bi se održala točnost mjerenja, digitalni termometri često zahtijevaju periodičnu kalibraciju. Mogu provjeravati temperaturu i na otvorenom i u zatvorenom prostoru, kao što su klimatizirana soba, hladnjak, temperaturu vode te tjelesnu temperaturu. Digitalni termometri koriste sondu za mjerenje temperature, a numerički rezultat prikazuju na LCD ekranu. Pružaju precizna očitavanja, često prikazujući rezultate s jednom decimalom. Zbog svoje preciznosti, popularniji su od termometra s tekućinom.

Postoje razne vrste modernih digitalnih termometarskih senzora, a najčešći među njima je otporni temperaturni detektor-RTD. Ovaj tip senzora funkcionira na principu promjene električnog otpora metala s promjenom temperature. Ostale vrste senzora uključuju termoparove i termistore. Oba se koriste u digitalnim termometrima sa sondama, ali se svaki oslanja na različite zakone termodinamike za svoj rad.

RTD senzorski element zapravo je podvrsta termistora. Izrađeni su tako da uključuju elektrode od raznih vrsta metala na vrhu sonde, pri čemu svaki metal ima stabilan, ponovljiv i mjerljiv odnos otpora prema temperaturi. Kada električni napon iz izvora napajanja, često obične baterije u modernim prijenosnim uređajima prolazi kroz te elektrode, otpor na koji nailazi ovisi o temperaturi metala. Mjerenjem rezultirajuće struje koja teče između elektroda od određenog metala najčešće platina, ali bakar ili nikal su također održive, ugrađeni čip pretvara tu vrijednost u precizno očitavanje temperature i numerički ga prikazuje na ekranu.

3.4.1.LCD termohigrometar

Tehnički podaci:

- LCD prikaz
- Raspon mjerenja vlažnosti: 10%~99%
- Preciznost mjerenja vlažnosti: $\pm 5\%$
- Nazivni napon DC 1.5 V- 2 baterije AG13
- Raspon mjerenja temperature: $-50\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Preciznost mjerenja temperature: $\pm 1^{\circ}\text{C}$



Slika 18. Predodžba LCD termohigrometra. Izvor [Autor].

3.5. Temperaturna mjerenja i izračuni toplinske propusnosti makete

Ovo poglavlje daje metodu izračuna toplinskog otpora i prijenosa topline građevinskih materijala. Metoda proračuna temelji se na odgovarajućim proračunskim toplinskim provodljivostima ili proračunskoj toplinskoj otpornosti materijala. Za potrebe ovog poglavlja vrijede simboli u tablici.

Tablica 2. Simboli fizikalnih veličina i pripadajuće mjerne jedinice. Izvor [Autor].

Simbol	Pojam	Mjerna jedinica
d	Debljina	m
R	Toplinski otpor	m^2K/W
U	Toplinska propusnost	$W/m^2 K$
λ	Projektirana toplinska provodljivost	W/mK
ρ	Gustoća	kg/m^3

3.5.1. Metoda proračuna

Vrijedi za komponente koje se sastoje od toplinski homogenih ili nehomogenih slojeva i koji mogu sadržavati slojeve zraka do 0,3 m debljine.

Princip metode izračuna je sljedeći:

- Dobiti toplinski otpor svakog toplinski homogenog ili nehomogenog dijela građevinskog elementa.
- Izračunati toplinsku propusnost

3.5.2. Toplinska propusnost

U ovoj metodi toplinska propusnost je izražena kao: $U = \frac{1}{R_U}$

- U – toplinska propusnost
- R_U – ukupni toplinski otpor

3.5.3. Toplinski otpor

Projektirane toplinske vrijednosti mogu se dati ili kao proračunska toplinska provodljivost ili kao proračunski toplinski otpor. U slučaju kada je dana toplinska provodljivost koja je izračunata prema ISO/DIS 10456.2 ili je uzeta iz tabličnih vrijednosti, toplinski otpor izrazimo kao: $R = \frac{d}{\lambda}$

Toplinska provodljivost λ se dobiva iz tabličnih vrijednosti, te je svaki proizvođač definira u tehničkim podacima za proizvod.

3.5.4. Proračun

Tablica 3. Vrijednosti toplinske provodljivosti, gustoće i debljine korištenih materijala. Izvor [Autor].

Građevinski materijal	Gustoća ρ	Toplinska provodljivost λ	Debljina d
Ekspandirani polistiren	12-30	0,032-0,042	0,027
Opeka(crijep)	1800	0,81	0,013
Kamena vuna	30-200	0,035-0,039	0,02
Knauf ploča	900	0,25	0,018

- Ekspandirani polistiren

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

$$R = \frac{0,027}{0,032}$$

$$R = 0,8438 \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

$$U = \frac{1}{R}$$

$$U = \frac{1}{0,8438}$$

$$U = 1,1851 \quad [\text{W/m}^2 \text{ K}]$$

- Opeka(crijep)

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

$$R = \frac{0,013}{0,81}$$

$$R = 0,016 \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

$$U = \frac{1}{R}$$

$$U = \frac{1}{0,016}$$

$$U = 62,5 \quad [\text{W/m}^2 \text{ K}]$$

- Kamena vuna

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

$$R = \frac{0,02}{0,035}$$

$$R = 0,5714 \quad [\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$$

$$U = \frac{1}{R}$$

$$U = \frac{1}{0,5714}$$

$$U = 1,75 \quad [\text{W}/\text{m}^2 \text{K}]$$

- Knauf ploča

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

$$R = \frac{0,018}{0,25}$$

$$R = 0,072 \quad [\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$$

$$U = \frac{1}{R}$$

$$U = \frac{1}{0,072}$$

$$U = 13,8889 \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$$

3.5.5. Eksperimentalno dobivene temperaturne vrijednosti makete

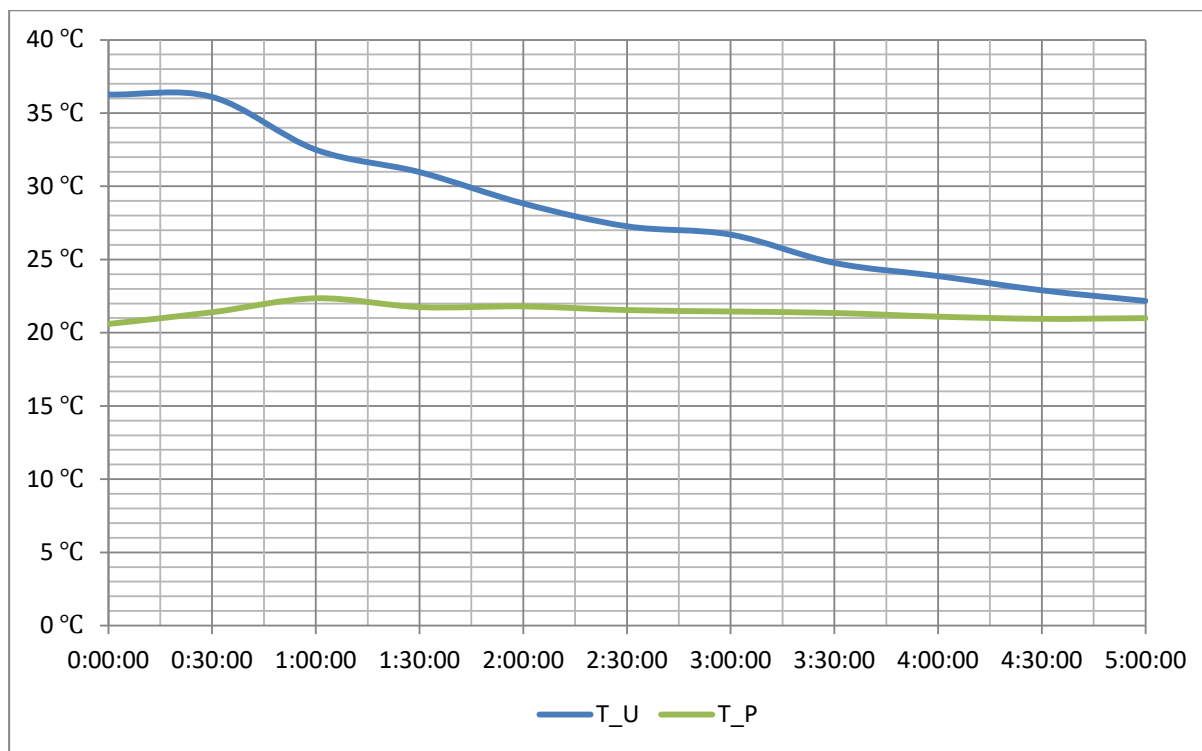
U ovom dijelu vršio se eksperimentalni pokus usporedbe makete u slučaju sa samo zidnim slojem opeke te makete u slučaju sa sva četiri zidna sloja, u svrhu dokazivanja da za zadržavanje topline unutar objekta su nužni toplinsko izolacijski materijali. Za pokus se koristila staklenka sa zagrijanom vodom na 100 °C, koja predstavlja izvor toplinske energije unutar makete. Pokusi su izvođeni u vremenskom periodu u kojem su nadzirani temperaturni senzori kontrolera ventilatora između zidnih slojeva i vanjskog senzora te njihove vrijednosti su zapisane u tablicama. Iz tabličnih vrijednosti možemo zaključiti da za izjednačavanje temperatura unutar makete i vanjske temperature za pokus 1. bilo je potrebno otprilike 6 sati, a za pokus 2. otprilike čak 12 sati.

- T_1 – temperatura senzora unutar zidnog sloja knauf ploče [°C]
- T_2 – temperatura senzora između zidnog sloja knauf ploče i kamene vune [°C]
- T_3 – temperatura senzora između zidnog sloja kamene vune i opeke [°C]
- T_4 – temperatura senzora između zidnog sloja opeke i ekspaniranog polistirena [°C]
- T_5 – temperatura senzora termohigrometra [°C]

➤ Pokus 1.

Tablica 4. Temperaturne vrijednosti senzora-Pokus 1. Izvor [Autor].

Vrijeme-t	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
00:00	45,4°C	33,8°C	29,6°C	20,2°C	21°C
00:30	42,4°C	35,5°C	30,4°C	21,8°C	21°C
01:00	36,8°C	32,1°C	28,6°C	23,2°C	21,5°C
01:30	34,2°C	30,9°C	27,8°C	22°C	21,5°C
02:00	31,1°C	28,9°C	26,5°C	22°C	21,6°C
02:30	29°C	27,7°C	25,1°C	21,6°C	21,5°C
03:00	27,5°C	27,3°C	25,3°C	21,4°C	21,5°C
03:30	25,7°C	25,2°C	23,4°C	21,4°C	21,3°C
04:00	24,6°C	24,2°C	22,8°C	21,1°C	21,1°C
04:30	23,4°C	23,2°C	22,1°C	20,8°C	21,1°C
05:00	22,3°C	22,3°C	21,9°C	20,9°C	21,1°C



Slika 20. Predodžba grafičkog predočenja usporedbe temperatura u vremenu za Pokus 1. Izvor [Autor].

$$T_U = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} \quad T_P = \frac{T_4 + T_5}{2}$$

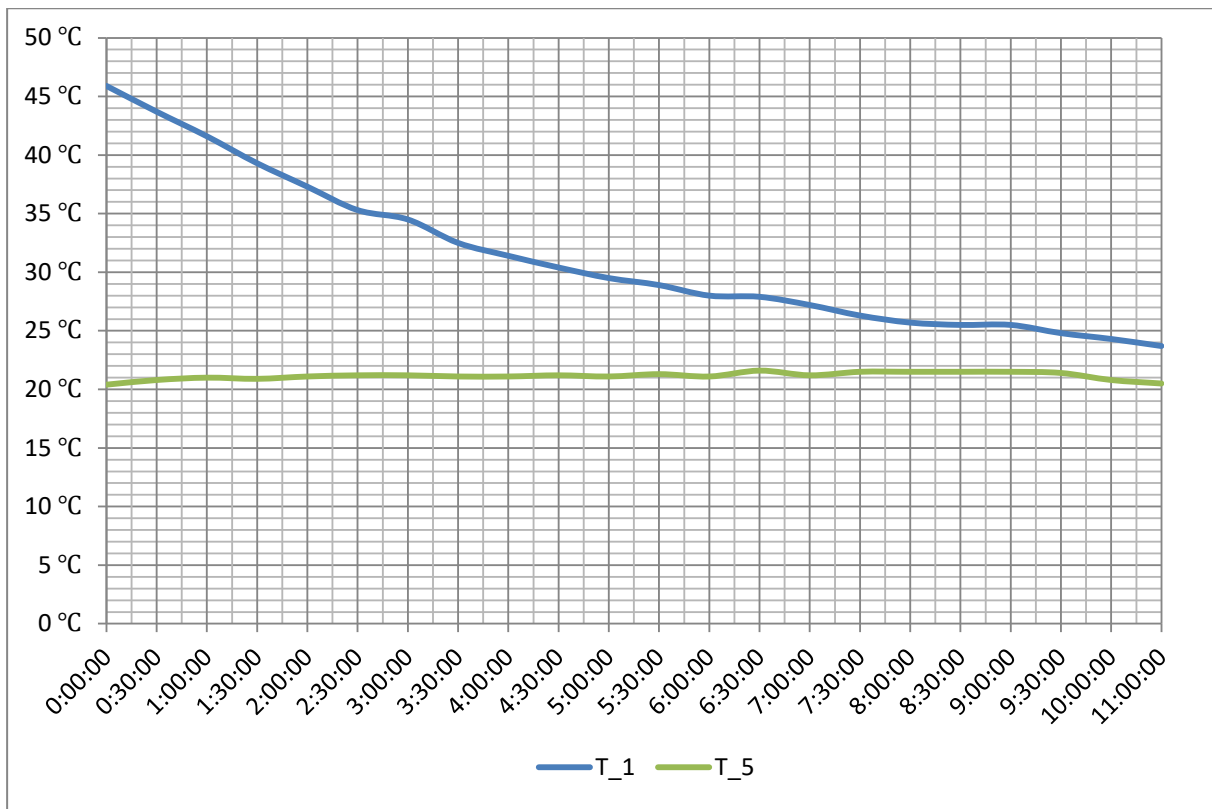
Tablica 5. Izračun temperaturne vrijednosti Tu i Tp. Izvor [Autor].

Vrijeme	T_U	T_P
00:00	36,27°C	20,6°C
00:30	36,1°C	21,4°C
01:00	32,5°C	22,35°C
01:30	30,97°C	21,75°C
02:00	28,83°C	21,8°C
02:30	27,27°C	21,55°C
03:00	26,7°C	21,45°C
03:30	24,77°C	21,35°C
04:00	23,87°C	21,1°C
04:30	22,9°C	20,95°C
05:00	22,17°C	21°C

➤ Pokus 2.

Tablica 6. Temperaturne vrijednosti senzora-Pokus 2. Izvor [Autor].

Vrijeme-t	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
00:00	45,9°C	30,3°C	20,8°C	20,1°C	20,4°C
00:30	43,7°C	33,3°C	22,3°C	20,8°C	20,8°C
01:00	41,6°C	34°C	23,5°C	21,4°C	21°C
01:30	39,3°C	33,4°C	24,3°C	22°C	20,9°C
02:00	37,3°C	32,8°C	24,2°C	22,7°C	21,1°C
02:30	35,3°C	31,9°C	24,7°C	23,2°C	21,2°C
03:00	34,5°C	30,8°C	24,5°C	23,2°C	21,2°C
03:30	32,5°C	30,2°C	24,3°C	23,3°C	21,1°C
04:00	31,4°C	29,6°C	24,2°C	23,3°C	21,1°C
04:30	30,4°C	28,9°C	24,2°C	23,3°C	21,2°C
05:00	29,5°C	28,6°C	24°C	23,2°C	21,1°C
05:30	28,9°C	27,8°C	23,9°C	23,1°C	21,3°C
06:00	28°C	27,7°C	23,8°C	21,9°C	21,1°C
06:30	27,9°C	26,7°C	23,5°C	22,9°C	21,6°C
07:00	27,2°C	26,3°C	23,4°C	22,8°C	21,2°C
07:30	26,3°C	25,8°C	23,2°C	22,7°C	21,5°C
08:00	25,7°C	25,4°C	23°C	22,6°C	21,5°C
08:30	25,5°C	25,2°C	22,9°C	22,5°C	21,5°C
09:00	25,5°C	25,1°C	22,8°C	22,4°C	21,5°C
09:30	24,8°C	24,5°C	22,3°C	22,1°C	21,4°C
10:00	24,3°C	24°C	22,9°C	21,9°C	20,8°C
11:00	23,7°C	23,5°C	22°C	21,5°C	20,5°C



Slika 21. Predodžba grafičkog predočjenja usporedbe temperatura u vremenu za Pokus 2. Izvor [Autor].

4. ZAKLJUČAK

Zadatak završnog rada bio je izraditi mjernu maketu i istražiti metodu i postupak utvrđivanja toplinske propusnosti građevinskih materijala za toplinsku izolaciju. Također zadatak završnog rada je provjeriti i potvrditi da li izolacijski materijali doista obavljaju svoju funkciju u zadržavanju topline unutar objekta. Korištenjem usvojenog znanja i mehatroničke opreme kod obavljenih eksperimentalnih pokusa na maketi, može se zaključiti i potvrditi iz dobivenih tablica i grafičkih predočenja da su izolacijski materijali nužni za provedbu toplinske izolacije te za postizanje energetske učinkovitosti objekata. Za provedbu eksperimenata u ovom završnom radu autor je koristio znanja i vještine stečene tijekom studija na Veleučilištu u Karlovcu. Na temelju provedenog postupka izračuna svaki izolacijski materijal ima različitu toplinsku provodljivost i toplinsku propusnost što naravno ovisi o njihovim dimenzijama i materijalima i postupcima od kojih su izrađeni. Nakon izrade mjerne makete i provedenih eksperimentalnih pokusa, zaključeno je da je potrebna izrada složenije makete i korištenje kvalitetnije mjerne opreme u svrhu dobivanja što točnijih toplinskih vrijednosti.

5. Literatura

[1] Masterplast, dostupno na:

<https://www.masterplast.hr/blog/toplinska-izolacija/>, pristupljeno

[2] Građevinski fakultet, dostupno na:

https://www.grad.unizg.hr/download/repository/3._VJEZBE.pdf

[3] Webgradnja, dostupno na:

<https://webgradnja.hr/clanci/skola-izoliranja-izolacija-fasade/1071>

[4] Econ, dostupno na: <https://www.econ.hr/rainscreen3.php>

[5] Toplinski mostovi, dostupno na:

https://www.arhitekti-hka.hr/files/file/pdf/baza-proizvoda/ytong/Toplinski_mostovi.pdf

[6] Hidroprofil, dostupno na: <https://hidroprofil.hr/toplinska-izolacija/>

[7] Masterplast, dostupno na:

<https://www.masterplast.hr/blog/staklena-ili-kamena-vuna-koja-je-razlika/>

[8] Svet kompjutera, dostupno na: <https://www.sk.rs/2006/07/skse01.html>

[9] Aiku, dostupno na: <https://www.aiku.info/naponska-jedinica-psu-energija-za-nas-pc/>

[10] Aliexpress, dostupno na: <https://www.aliexpress.com/item/4001075233106.html>

[11] Rs, dostupno na:

<https://uk.rs-online.com/web/content/discovery/ideas-and-advice/digital-thermometers-guide>

[12] Sušić Ž.: Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, dostupno na:

https://gradst.unist.hr/portals/9/docs/strucno_usavrsavanje/toplina_14_10_06.pdf

[13] ISO-6946, dostupno na :

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/65708/12916cda1911488fa6f05e404c995433/ISO-6946-2017.pdf>

[14] ISO-10456, dostupno na :

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/18519/14524d69d9b8409a808d1221d286c625/ISO-10456-1997.pdf>