

Prijenos topline

Prpić, Katarina

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:726982>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

KATARINA PRPIĆ

PRIJENOS TOPLINE

Završni rad

Rijeka, 2019.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski sveučilišni studij
Fizika**

Katarina Prpić

JMBAG:

0114026401

Prijenos topline

Završni rad

Rijeka, rujan 2019.

U Rijeci, 12.09.2019.

Sadržaj

1.UVOD	5
2.OPĆENITO O TOPLINI.....	6
3.PRIJENOS TOPLINE	10
3.1.Vođenje topline ili kondukcija	11
3.2.Konvekcija ili strujanje topline.....	13
3.3.Toplinsko zračenje ili radijacija	16
4.TOPLINSKI KOEFICIJENTI.....	22
4.1.Koeficijent toplinske vodljivosti k	22
4.2.Koeficijent prolaska topline U.....	23
5.ZAKLJUČAK.....	26
6.LITERATURA.....	27

SAŽETAK

Tema ovog završnog rada je prijenos topline. U uvodu ću prikazati toplinu i njezin prijenos u povijesnom kontekstu, od samih početaka proučavanja ovog područja fizike. Na početku rada detaljnije ću objasniti pojam topline i smjestiti ga u područje fizike, a zatim ću opisati prijenos topline, sva tri načina njezina prenošenja. Objasniti ću prijenos topline također pomoću svakodnevnih primjera i mnogih matematičkih formula, koje opisuju različite načine prijenosa.

Ključne riječi

toplina / prijenos topline / vođenje topline / konvekcija / zračenje topline /Joule / koeficijent toplinske vodljivosti / koeficijent prolaska topline

1.UVOD

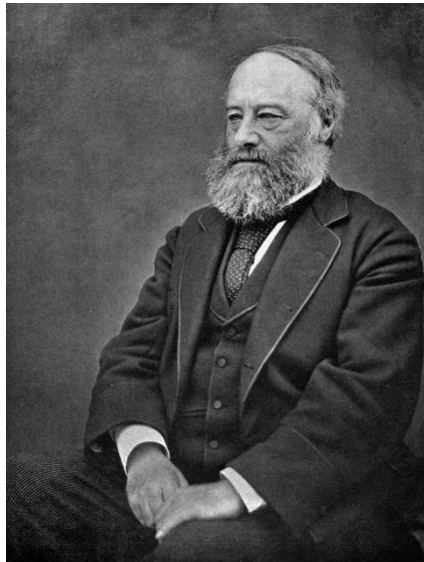
Termodinamika ili nauka o toplini je dio fizike koji se bavi izučavanjem izmjenjivanja mehaničkog rada i topline između nekog sustava i njegove okoline. Osim toga, termodinamika proučava i zakone pretvaranja i prijenosa drugih vrsta energije, osobito u plinovima. N.L.S. Carnot (Slika 1) naziva se osnivačem moderne termodinamike. On je u svojem radu iznio principe rada idealnog toplinskog stroja. Prve ideje o toplini osnivale su se na pretpostavci da je toplina kao tvar, sadržana u svakom tijelu te da se preko dodira prenosi s hladnoga na toplo tijelo. Krajem 18. stoljeća Rumford je uočio da se pri bušenju topovskih cijevi, toplina razvijala proporcionalno utrošenom radu. 1843.godine James Prescott Joule je svojim eksperimentima prikazao mogućnost rada da se pretvara u toplinu. Pojam Jouleova toplina prikazuje da su, toplina proizvedena električnom strujom koja prolazi kroz vodič u nekom vremenskom periodu te umnožak el. otpora i kvadrata el.struje i vremena, jednaki. Sredinom 19. stoljeća Daniel Bernoulli, Ludwig Boltzmann, Rudolf Clausius, Albert Einstein i drugi razvijali su kinetičku teoriju plinova, koja govori da je toplina produkt mehaničkog kretanja molekula. Robert Brown je prvi primijetio mehaničko gibanje molekula, poznato još i kao Brownovo gibanje. Kinetička teorija plinova povezuje prosječnu kinetičku energiju mehaničkog gibanja s temperaturom tijela te dovodi do zaključka da povećanje kinetičke energije molekula znači zagrijavanje tijela. Prijenos topline može se odvijati na tri načina : vođenjem, konvekcijom ili zračenjem.



Slika 1- Nicolas Leonard Sadi Carnot

2.OPĆENITO O TOPLINI

Kada se hladna žlica stavi u šalicu vruće kave, žlica se zagrijava i kava se hladi kako se približavaju toplinskoj ravnoteži. Interakcija koja uzrokuje ove temperaturne promjene je u osnovi prijenos energije s jednog tijela na drugo. Prijenos energije koji se odvija samo zbog temperaturne razlike naziva se protok topline ili prijenos topline, a energija koja se prenosi tim načinom naziva se toplina. Razumijevanje odnosa topline i drugih oblika energije nastalo je tijekom 18. i 19. stoljeća. Sir James Joule (1818–1889)(Slika 3) bio je engleski fizičar koji se zmeđu ostaloga, bavio proučavanjem odnosa između različitih vrsta energije. Proučavao je kako se voda može zagrijati snažnim miješanjem lopatica u posudi (Jouleov uređaj)(Slika 2). Posuda s lopaticama dodaje energiju vodi rotiranjem lopatica, a Joule je otkrio da je porast temperature izravno proporcionalan količini obavljenog posla. Ista promjena temperature također može biti uzrokovana stavljanjem vode u dodir s toplijim tijelom, stoga ova interakcija mora uključivati i razmjenu energije.



Slika 2- James Joules



Slika 3 – Jouleov uređaj

Apsolutno je bitno razlikovati temperaturu i toplinu. Temperatura ovisi o fizičkom stanju materijala i predstavlja kvantitativni opis njegove vrućine ili hladnoće. U fizici izraz "toplina" uvijek se odnosi na energiju u tranzitu s jednog tijela na drugi sustav zbog razlike u temperaturi, a nikada na količinu energije koja se nalazi u određenom sustavu. Temperatura tijela može se promjeniti dodavanjem topline ili oduzimanjem topline, ili dodavanjem ili oduzimanjem energije na druge načine, poput mehaničkog rada. Ako se tijelo razdjeli na pola, svaka polovica ima istu temperaturu kao i cjelina; ali da se povisi temperatura svake polovice u zadanom intervalu, dodaje se pola manje topline nego cijelom tijelu.

Jedinica količine topline može se definirati na temelju promjene temperature nekog određenog materijala. Kalorija (skraćeno cal) je definirana kao količina topline koja je potrebna za povećanje temperature u 1 gramu vode s 14,5 ° C na 15,5 ° C u uvjetima s normalnim tlakom. Koristi se i kilokalorija (kcal), što je jednako 1000 cal (kalorijska vrijednost hrane zapravo je kilokalorija). Odgovarajuća jedinica topline koja koristi Farenhajtove stupnjeve i britanske jedinice je Britanska termalna jedinica ili Btu. Jedan Btu je količina topline potrebna za podizanje temperature vode od 1 lbs (težina) za 1° F s 63° F na 64° F.

Kako je toplina energija u tranzitu, mora postojati definiran odnos između ovih jedinica i poznatih mehaničkih energetske jedinice kao što je joule (J). Eksperimenti slični konceptu s Jouleom pokazali su:

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

$$1 \text{ Btu} = 252 \text{ cal} = 1055 \text{ J}$$

Kalorija nije osnovna SI jedinica. Joule (J) se koristi kao osnovna mjerna jedinica energije u svim oblicima, uključujući i toplinu.

Za količinu topline koristimo simbol Q. Kada je povezana s infinitezimalnom promjenom temperature dT, to nazivamo dQ. Količina topline Q, potrebna za porast temperature mase m određenog materijala, približno je proporcionalna promjeni temperature. Također je proporcionalna masi m materijala. Kada se zagrijava voda za pripremu čaja, potrebno je dvostruko više topline za dvije šalice, nego za jednu ako je promjena temperature ista. Količina potrebne topline ovisi i o prirodi materijala; podizanje temperature 1 kilogramu vode zahtijeva 4190 J topline, dok je samo 910J potrebno za povećanje temperature 1 kilograma aluminija za 1 C °. Ta količina potrebne topline naziva se specifični toplinski kapacitet.

Ponekad se specifični toplinski kapacitet definira po 1 molu. Da bi se 1 molu neke tvari temperatura povisila za 1K, potrebna je određena količina topline. Tu količinu topline nazivamo molarnim toplinskim kapacitetom.

Količina topline definira se formulom :

$$Q = mc \Delta T = mc (T_2 - T_1)$$

Pri čemu su :

Q - količina topline koju je tijelo primilo [J]

m - masa tijela [kg]

c - specifični toplinski kapacitet [J/Kkg]

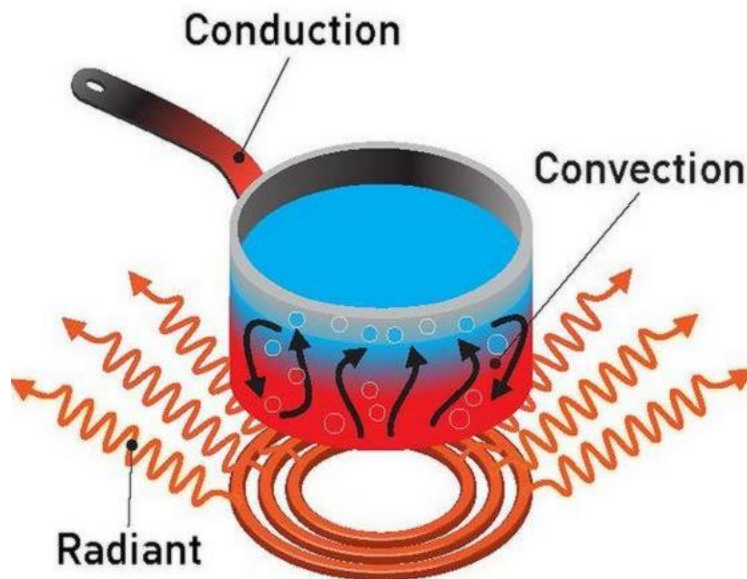
ΔT - prirast temperature [K]

T_1 - temperatura tijela prije zagrijavanja [K]

T_2 - temperatura tijela nakon zagrijavanja [K]

3. PRIJENOS TOPLINE

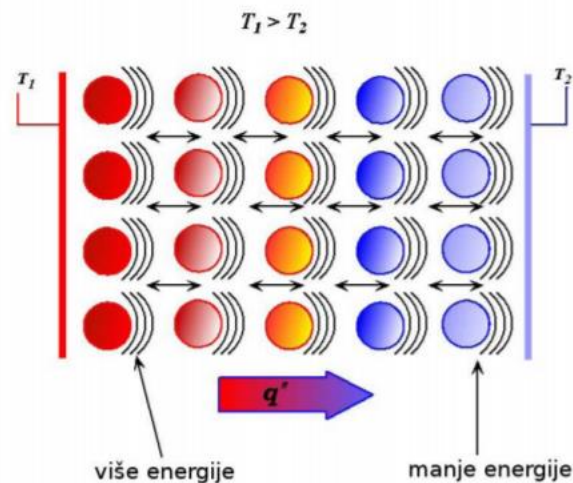
Prijelaz ili prijenos topline može se opisat kao proces pri kojemu toplina prelazi s toploga na hladno tijelo .Brzina prijenosa topline ovisi o razlici u temperaturi između dva tijela; veća razlika znači i brži prijenos. Razlikujemo tri oblika prijenosa topline (Slika 4): vođenje ili kondukcija, strujanje ili konvekcija te zračenje ili radijacija. Vođenje se odvija unutar tijela ili između dva tijela u kontaktu. Konvekcija ovisi o gibanju mase iz jedne regije u drugu. Zračenje je prijenos topline elektromagnetskim zračenjem, poput sunčevih zraka, bez potrebe da materija bude prisutna u prostoru između tijela.



Slika 4-Tri načina prijenosa topline

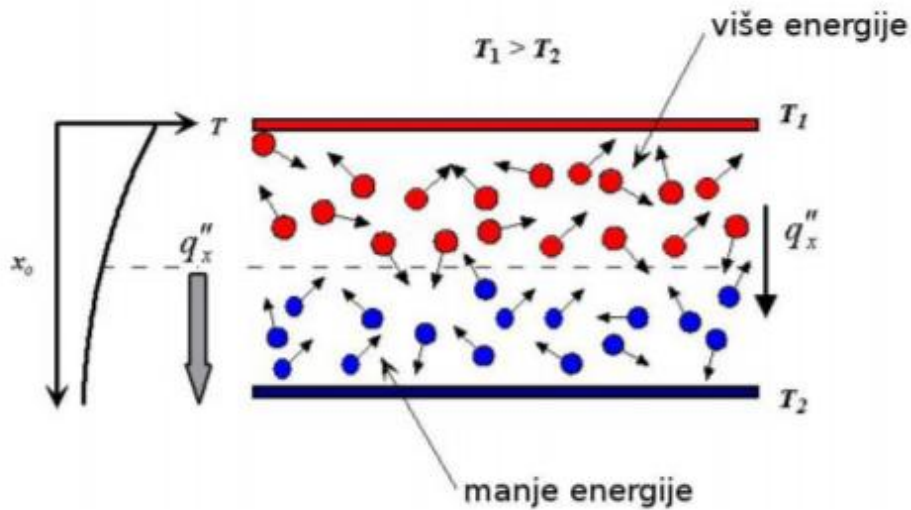
3.1. Vođenje topline ili kondukcija

Ako se jedan kraj bakrene cijevi drži, a drugi stavlja u plamen, onaj koji se drži postaje sve topliji i topliji iako nije u izravnom kontaktu s plamenom. Toplina dopire do hladnijeg kraja provođenjem kroz materijal. Atomi u toplijim dijelovima u prosjeku imaju više kinetičke energije od onih hladnijih. (Slika 5) Oni guraju hladnije atome, dajući im dio svoje energije. Jedni guraju druge i tako dalje kroz materijal. Iako se atomi ne premještaju iz jedne regije u drugu, njihova se energija premiješta. Većina metala koristi i drugi, učinkovitiji mehanizam za provođenje topline. Unutar metala, neki elektroni mogu napustiti svoje matične atome i lutati kroz kristalnu rešetku. Ti "slobodni" elektroni mogu brzo prenositi energiju iz toplijeg u hladnije područje metala, tako da su metali općenito dobri vodiči topline. Prisutnost "slobodnih" elektrona također uzrokuje da su mnogi metali dobri električni vodiči. Metalna cijev u ruci djeluje hladnije od komada drva na 20°C jer toplina može lakše prelaziti sa ruke na metal. Prijenos topline događa se samo između područja koja su na različitim temperaturama, a smjer protoka topline uvijek je od više do niže temperature.



Slika 5 - Vođenje topline u čvrstim tijelima koja nisu električno vodljiva

Kod fluida (Slika 6), sudarima i difuzijom molekula vodi se toplina, kod njihovog nasumičnog gibanja. Manjim brojem sudara među molekulama fluida manja je i toplinska vodljivost. Radi toga toplinu bolje vode tekućine nego plinovi te s povišenjem temperature raste i toplinska vodljivost plinova. Treba istaknuti da se između tvari različitih agregatnih stanja također može voditi toplina. Povećanjem energije titranja molekula zraka, zagrijati će se čvrsto tijelo pri sudaranju njihovih molekula.



Slika 6 – Vođenje topline u fluidima

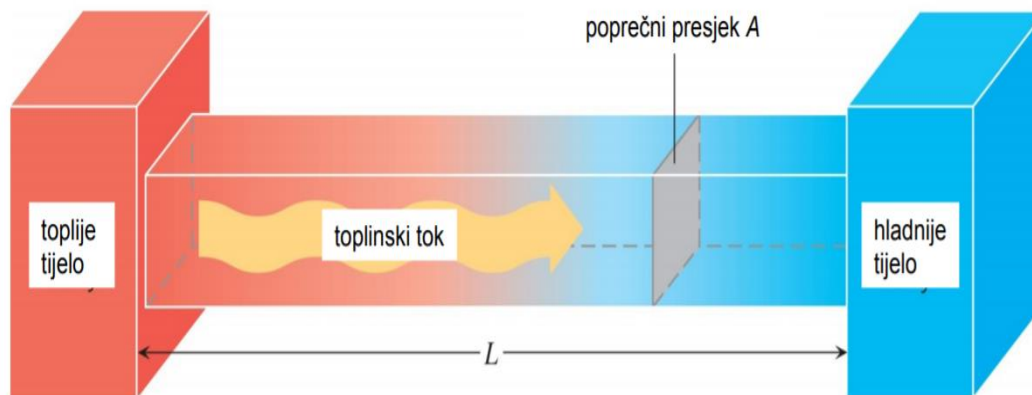
Kada se količina topline dQ prenosi kroz tijelo u vremenu dt , brzina protoka topline je dQ / dt . To nazivamo toplinskom strujom te označavamo sa q ; te je $q = dQ / dt$.

Eksperimenti pokazuju da je toplinsko strujanje proporcionalno poprečnom presjeku tijela A i temperaturnoj razlici $(T_H - T_C)$ i da je obrnuto proporcionalna duljini tijela L . (Slika 7). Uvodeći konstantu proporcionalnosti k koja se naziva koeficijent toplinske vodljivosti materijala, dobiva se:

$$\mathbf{q} = \frac{dQ}{dt} = \mathbf{k} \frac{A(T_H - T_C)}{L} \quad (1)$$

SI mjerna jedinica toplinskog strujanja je watt [W].

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$



Slika 7 - Toplinsko vođenje kroz tijelo

Za toplinsku izolaciju zgrada inženjeri koriste koncept toplinskog otpora koji se označava s R . Toplinski otpor R ploče od materijala s površinom A , definiran je tako da toplinska struja q kroz ploču iznosi:

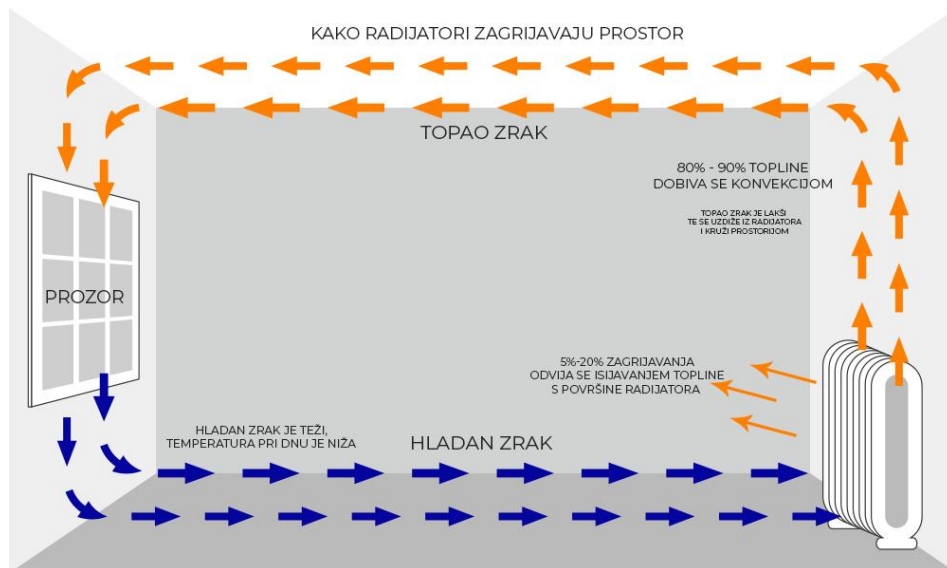
$$q = A(T_H - T_C) / R \quad (2)$$

Uspoređujući to s jednadžbom (1) dobiva se da je $R = L / k$, pri čemu L označava debljinu ploče. SI mjerna jedinica za R je m^2K/W .

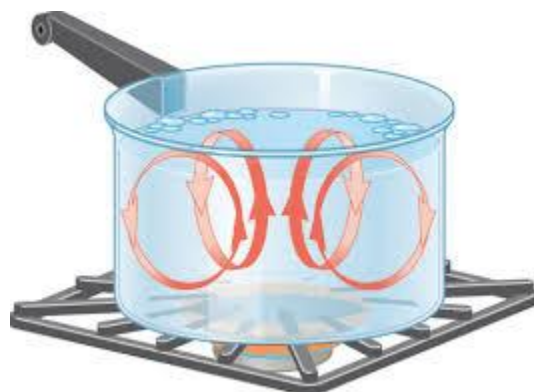
3.2. Konvekcija ili strujanje topline

Konvekcija je prijenos topline gibanjem mase fluida iz jednog područja u drugo. Dakle, konvekcija je moguća isključivo kod žitkih tvari. Poznati primjeri konvekcije uključuju sustave grijanja kuće za topli zrak i toplu vodu, rashladne sustave automobilskeg motora i protok krvi u tijelu. Ako tekućina cirkulira pomoću pumpe, postupak se naziva prisilna konvekcija, a ako je protok uzrokovan razlikama u gustoći uslijed toplinskog širenja, poput dizanja vrućeg zraka, postupak se naziva prirodna ili slobodna konvekcija.

Slobodna konvekcija u atmosferi igra dominantnu ulogu u određivanju dnevnog vremena, a u oceanima važan je globalni mehanizam prijenosa topline. Brzine strujanja topline uglavnom su jako malene, a uzgon služi kao osnovni mehanizam za nastanak strujanja. Zagrijavanjem se smanjuje gustoća fluida te postaje lakši od onog nezagrijanog koji se nalazi iznad njega. Zagrijani fluid se tada počinje izdizati iznad hladnoga. Kao primjer prirodne konvekcije može se uzeti grijanje nekog prostora radiatorima (Slika 8). Unatoč tome što je zanemariva toplinska vodljivost zraka, radi konvekcije prostori se mogu dobro grijati. Kako se zagrijava zrak koji se nalazi iznad radijatora, počinje se gibati prema gore, dok hladni zrak pada te tako dolazi do konvekcijskog vrtložnog miješanja, koje jako dobro prenosi toplinu. Kod grijanja vode u metalnoj posudi na štednjaku, voda se miješa pojavom konvekcije unutar posude(Slika 9). Kao još jedan malo složeniji primjer prirodne konvekcije mogu se uzeti atmosferska strujanja zraka.

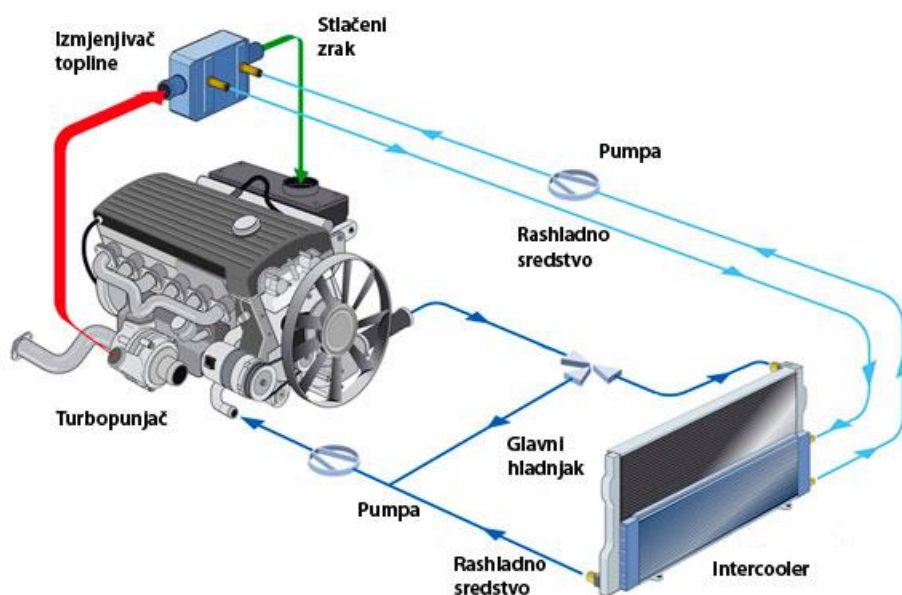


Slika 8 – Primjer prirodne konvekcije grijanjem prostora pomoću radijatora



Slika 9- Miješanje vode pojavom konvekcije

Prisilna konvekcija nastaje je ventilacijom ili gibanjem fluida pomoću pumpe te su kod nje brzine prijenosa topline uglavnom velike. Zauzima veliku ulogu pri hlađenju strojeva (Slika 10). Najvažniji mehanizam za prijenos topline u ljudskom tijelu (potreban za održavanje konstantne temperature u različitim okruženjima) je prisilna konvekcija krvi, pri čemu srce služi kao pumpa.



Slika 10- Hlađenje motora prisilnom konvekcijom

Konvekcijski prijenos topline vrlo je složen proces i ne postoji jednostavna jednadžba koja bi ga opisala. Međutim postoji, kao veoma pojednostavljeni izraz, Newtonov zakon hlađenja konvekcijom, koji govori da je toplinski tok (q) proporcionalan razlici temperature (ΔT) između tijela koje se promatra i okoline tog tijela, a opisuje se jednadžbom :

$$q = - h \Delta T \quad [W/m^2]$$

h - označava konstantu proporcionalnosti, odnosno koeficijent konvekcije koji ovisi o toplinskim i mehaničkim značajkama fluida

Mjerna jedinica toplinskog toka je W/m^2 .

Nekoliko eksperimentalnih činjenica:

1. Toplinska struja uslijed konvekcije izravno je proporcionalna površini. To je razlog velikim površinama radiatora i ventilatora za hlađenje.
2. Viskoznost fluida usporava prirodnu konvekciju u blizini stacionarne površine, što daje površinski sloj koji na okomitoj površini obično ima približno istu izolacijsku vrijednost kao i šperploča 1,3 cm. Prisilna konvekcija smanjuje debljinu ovog sloja, povećavajući brzinu prijenosa topline. Zato postoji "faktor hladnoće vjetra"; tijelo se brže rashlađuje na hladnom vjetru nego u mirnom zraku, s istom temperaturom.
3. Toplinska struja uslijed konvekcije približno je proporcionalna snazi $5/4$ temperaturne razlike između površine i glavnog tijela tekućine.

3.3. Toplinsko zračenje ili radijacija

Zračenje je prijenos topline elektromagnetskim valovima poput vidljive svjetlosti, infracrvenog i ultraljubičastog zračenja. Svi su osjetili toplinu sunčevog zračenja i jaku toplinu iz roštilja s ugljenom ili užarenih ugljena u kaminu. Većina topline iz ovih vrlo

vrućih tijela ne dopire do čovjeka provođenjem ili konvekcijom u zraku koji intervenira, već zračenjem. Ovaj prijenos topline dogodio bi se čak i ako između čovjeka i izvora topline nema ničega osim vakuuma. Svako tijelo, čak i na uobičajenim temperaturama, emitira energiju u obliku elektromagnetskog zračenja. Otprilike svu energiju nose infracrveni valovi čija je valna duljina mnogo duža od one vidljive svjetlosti. Kako temperatura raste, valne duljine prelaze na kraće vrijednosti. Kad je 800°C, tijelo emitira dovoljno vidljivog zračenja da bi se pojavila užarena crvena boja, iako čak i pri ovoj temperaturi većinu energije nose infracrveni valovi. Na temperaturi 3000°C kod žarulje sa žarnom niti, zračenje sadrži dovoljno vidljive svjetlosti da tijelo izgleda užareno bijelo (Tablica 1) (Slika 11).

°C	Pripadajuća boja
480	zagasiti crveni sjaj
580	tamno crvena
730	izrazito crvena, skoro narančasta
930	tamno narančasta
1100	blijedo žuto narančasta
1300	žuto bijela
> 1400	bijela (iz daljine žućkasta)

Tablica 1-Pripadajuće boje zračenja na određenim temperaturama



Slika 11-vidljivi dio toplinskog zračenja pri visokoj temperaturi

Brzina zračenja energije s površine proporcionalna je površini A i četvrtoj potenciji apsolutne (Kelvinove) temperature. Stopa također ovisi o prirodi površine; ta se ovisnost opisuje količinom e koja se zove emitivnost. Bezdimenzijski broj između 0 i 1, e predstavlja omjer brzine zračenja s određene površine na brzinu zračenja iz jednakog područja idealne površine zračenja na istoj temperaturi. Emitivnost ovisi o strukturi površine tijela te također donekle ovisi o temperaturi. Tako se toplinska struja $q = dQ / dt$, uslijed zračenja iz površine A s emisijskom jakošću e pri apsolutnoj temperaturi T može izraziti kao :

$$q = Ae\sigma T^4$$

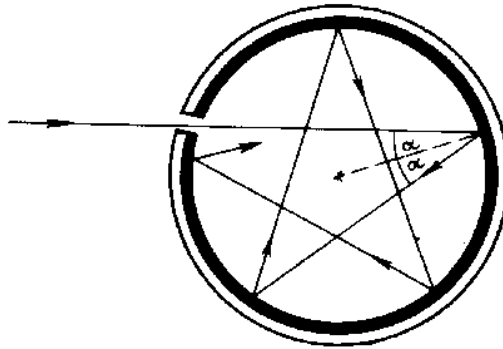
gdje je σ osnovna fizička konstanta koja se naziva Stefan-Boltzmannova (slika 12) konstanta. Taj se odnos naziva Stefan-Boltzmannov zakon u čast svojih otkrivača iz kasnog 19. stoljeća. Trenutno najbolja numerička vrijednost σ je :

$$\sigma = 5.670400(40) * 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$



Slika 12- Jožef Stefan i Ludwig Boltzmann

Većina tijela uglavnom ima emitivnost manju od 1, bolje ispolirana tijela imaju manju emitivnost od slabije poliranih. Emitivnost ispoliranog bakrenog tijela je otprilike 0,3, a emitivnost čađavog crnog tijela je blizu 1. Idealno crno tijelo (Slika 13) ima emitivnost 1, a može se aproksimirati otvorom crne prazne kugle.



Slika 13- Crno tijelo

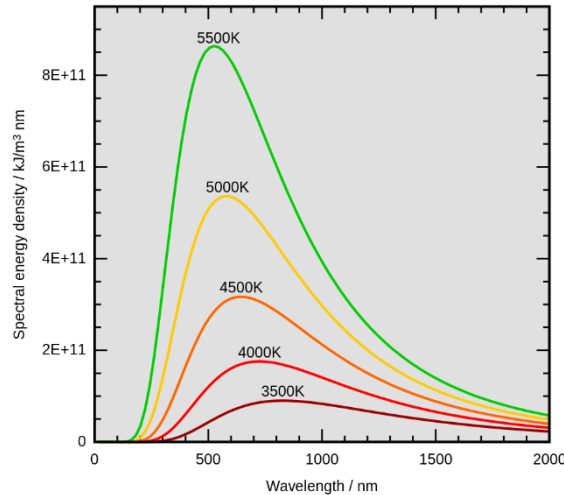
Apsorpcija je jedan od oblika nadomještanja toplinske energije. Obzirom da prema Stefan-Boltzmannovom zakonu toplinskog zračenja, tijela konstantno emitiraju energiju, onda ju u stacionarnom stanju trebaju nadomještat. Budući da tijela koja emitiraju veću količinu energije imaju i veću apsorpciju, idealno crno tijelo onda ima i apsorpciju jednaku 1. Dok tijelo na apsolutnoj temperaturi T zrači, njegovo okruženje pri temperaturi T_s također zrači i tijelo apsorbira dio tog zračenja. Ako je u toplinskoj ravnoteži s okolinom, $T=T_s$ brzine zračenja i apsorpcije moraju biti jednake. Da bi to bilo istina, brzina apsorpcije mora biti dobivena općenito s $q = A\epsilon\sigma T^4$. Tada je neto stopa zračenja iz tijela na temperaturi T s okolinom T_s jednaka :

$$q_{\text{net}} = A\epsilon\sigma T^4 - A\epsilon\sigma T_s^4 = A\epsilon\sigma(T^4 - T_s^4)$$

Pozitivna vrijednost q označava neto toplinski tok iz tijela. Jednadžba pokazuje da za zračenje, kao i za provođenje i konvekciju, toplinska struja ovisi o razlici temperature između dvaju tijela. S temperaturom brzo raste i količina emitirane topline. Bakar na temperaturi od 500°C (773 K) emitira $0,5\text{ W}$ energije po svakom cm^2 , a na 1000°C

(1273 K) emitira 4 W. Sva ta zračena energija, mješavina je puno valnih duljina; no za svaku određenu temperaturu, određena je i valna duljina λ_m u čijoj okolini se emitira većinski postotak energije. Wienov zakon daje jednadžbu koja pokazuje da je valna duljina proporcionalna temperaturi (Dijagram 1) :

$$\lambda_m T = \text{konst.}$$

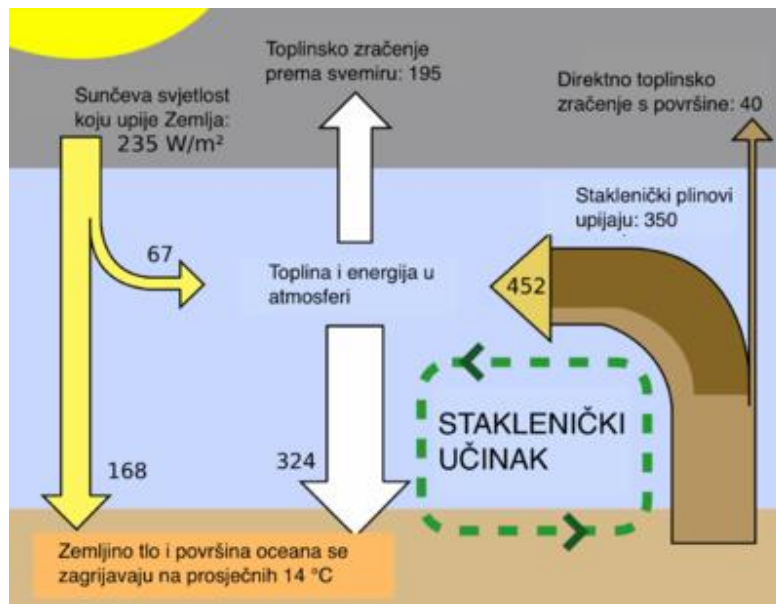


Dijagram 1-vršna vrijednost valne duljine i ukupan iznos zračenja u ovisnosti o temperaturi

O izboru mjernih jedinica ovisi vrijednost konstante. Ako je λ zadana u metrima [m], a temperatura u Kelvinima [K], njezina je vrijednost jednaka 0.005099 mK . Prema tome se dobiva, da se na temperaturi od 300°C najveći dio energije emitira na valnoj duljini $9 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$; a to je puno manje od vidljive svjetlosti, tako da se on nalazi u predjelu infracrvenog svjetla. Wienov i Stefan-Boltzmannov zakon proizlaze iz općeg Plackovog zakona.

Naš planet neprestano apsorbira zračenje koje dolazi od sunca. U toplinskoj ravnoteži, brzina kojom naš planet apsorbira sunčevo zračenje mora biti jednaka brzini kojom emitira zračenje u svemir. Prisutnost atmosfere na našem planetu značajno utječe na ovu ravnotežu. Većina zračenja koje sunce emitira (čija površinska temperatura iznosi 5800 K) nalazi se u vidljivom dijelu spektra, na koji je naša

atmosfera transparentna. Ali prosječna površinska temperatura zemlje je samo 287 K (14 ° C). Stoga je većina zračenja koje naš planet emitira u svemir infracrveno zračenje. Međutim, naša atmosfera nije potpuno propusna za infracrveno zračenje. To je zato što naša atmosfera sadrži ugljični dioksid, koji je četvrti najbrojniji sastojak (nakon dušika, kisika i argona). Molekule atmosfere imaju svojstvo da apsorbiraju dio infracrvenog zračenja koje dolazi s površine. Oni potom ponovo zrače apsorbiranu energiju, ali dio obnovljene energije usmjerava se natrag prema površini, umjesto da pobjegne u svemir. Da bi održala toplinsku ravnotežu, zemaljska površina mora to nadoknaditi povećanjem svoje temperature T, a samim tim i ukupnom brzinom zračenja (što je proporcionalno T^4). Ovaj fenomen, tzv. efekt staklenika (Slika 14), temperaturu površine planeta oko 33 ° C čini višom nego što bi bilo da nije bilo atmosferskog CO₂. Da nema CO₂, prosječna temperatura zemlje bila bi ispod točke smrzavanja vode, a život kakav postoji, bio bi nemoguć.



Slika 14- Efekt staklenika

4. TOPLINSKI KOEFICIJENTI

4.1. Koeficijent toplinske vodljivosti k

Furierov zakon odnosno zakon vođenja topline opisuje da je brzina prijenosa topline kroz određeni materijal, proporcionalna negativnom temperaturnom gradijentu i površini pod pravim kutom, kojom protječe toplina. Količina $(T_h - T_c)/L$ je temperaturna razlika po jedinici duljine. To se naziva veličinom temperaturnog gradijenta. Brojčana vrijednost koeficijenta toplinske vodljivosti k ovisi o materijalu šipke. Materijali s velikim k su dobri vodiči topline; materijali s malim k su loši vodiči ili izolatori. Za većinu materijala koeficijent toplinske vodljivosti određen je u tablici (Tablica 2). SI mjerna jedinica koeficijenta toplinske vodljivosti je W/mK. Toplinska vodljivost "mrtvog" (to jest nepomičnog) zraka je vrlo mala. Vuneni džemper čuva toplinu jer zadržava zrak između vlakana. Mnogi izolacijski materijali poput stiropora i stakloplastike uglavnom su mrtvi zrak. Ako temperatura varira neuobičajeno duž duljine vodiča, uvodimo koordinatu x duž duljine i generaliziramo gradijent temperature na dT / dx . Odgovarajuća generalizacija je :

$$q = dQ/dt = -kA * dT/dx$$

Negativni znak pokazuje da toplina uvijek teče u smjeru smanjenja temperature.

Materijal	Koeficijent toplinske vodljivosti k [W/(m·K)]
Silicijev aerogel	0,004 - 0,04
Drveni ugljen	0,02
Zrak	0,025
Poliuretanska pjena	0,025-0,035
Stiropor	0,035-0,040
Drvo	0,04 - 0,4
Mineralna vuna	0,042
Alkoholi i ulja	0,1 - 0,21
Polipropilen	0,25
Mineralna ulja	0,138
Guma	0,16
Ukapljeni naftni plin	0,23 - 0,26
Cement, Portland	0,29
Epoksi smola (sa silicijem)	0,3
Epoksi smola (bez silicija)	0,12 - 0,177
Voda (tekuća)	0,6

Materijal	Koeficijent toplinske vodljivosti k [W/(m·K)]
Toplinska mast	0,7 - 3
Toplinska epoksi smola	1.srp
Staklo	1,1
Tlo	1,5
Beton, kamen	1,7
Led (voda)	2
Pješčenjak	2,4
Živa	8,3
Nehrđajući čelik	12,11 ~ 45,0
Olovo	35,3
Aluminij	237(čisti) 120—180 (legura)
Zlato	318
Bakar	401
Srebro	429
Dijamant	900 - 2320
Grafen	(4840±440) - (5300±480)

Tablica 2 -Koeficijenti toplinske vodljivosti za neke materijale

4.2. Koeficijent prolaska topline U

Koeficijent prolaska topline označava se sa U . Predstavlja količinu topline koju neki građevni element izgubi u 1 sekundi pri temperaturnoj razlici od 1 K, za svaki m^2 površine. Prema SI mjernim jedinicama izražava se u W/m^2K . Koeficijent U je važna značajka vanjskih konstrukcijskih elemenata te je izrazito bitan pri analizi ukupnih toplinskih gubitaka (kWh/m^2), a samim time je važan faktor pri potrošnji toplinske energije za grijanje. Manji koeficijent prolaza topline znači veću toplinsku zaštitu građevine :

$$\Phi = A * U * (T_1 - T_2)$$

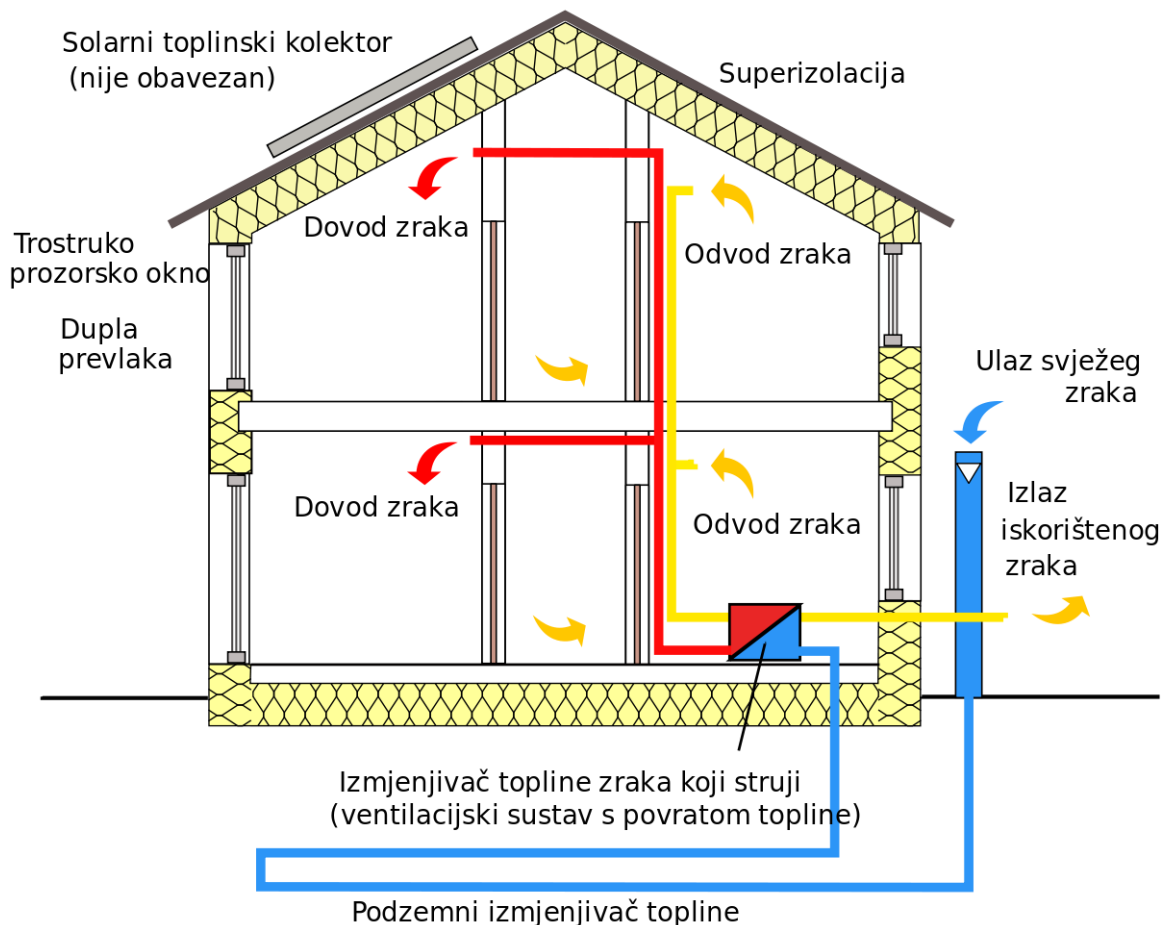
Φ – količina prijenosa topline u 1 s [W]

A – površina kroz koju prolazi topline [m²]

U - koeficijent prolaza topline [W / m²K]

(T₁ - T₂) – temperaturna razlika [K]

Prijenos topline iz fluida s jedne strane zida na fluid na drugoj strani definira se kao prolaz topline (Slika 15). Prolaz topline uključuje minimalno dvije vrste prijenosa : konvekciju na rubovima, vođenje kroz zid, a negdje postoji i zračenje na rubovima.



Slika 15 – primjer korištenja toplinske izolacije radi manjih gubitaka

Koeficijent prolaska topline je recipročna vrijednost ukupnog otpora topline :

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

R_T – ukupni toplinski otpor [m^2K / W]

Proračunata vrijednost koeficijenta U mora biti manja od najveće dopuštene vrijednosti. Koeficijent prolaska topline za veći dio zidova i krovova izračunava se prema standardu ISO 6946, a kod prisutnosti metalnog toplinskog mosta izračunava se prema ISO 10211. Za podove se izračunava prema ISO 13370. U tablici (Tablica 3) se nalaze tipične vrijednosti koeficijenta U za učestale strukture građevina.

	U [W / m²K]
jednostruko staklo (4 mm):	5,81
dvostruko staklo (4 + 8 + 4)	3
dvostruko izo staklo (4 + 16 g + f4)	1,1
trostruko izo staklo (4 f + 12 g + 4 + 12 g + f4)	0,5
neizolirani zid od šuplje opeke debljine 19 cm	1,67
izolirani zid od opeke 19 cm sa 10 cm mineralne vune	0,32
izolirani zid od opeke 19 cm sa 10 cm stiropora	0,31
slabo izolirani krov	1
dobro izolirani krov	0,15
dobro izolirani pod	0,2
slabo izolirani pod	1

Tablica 3 – Neke vrijednosti koeficijenta prolaza topline U

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu obrađena je tema prijenosa topline. Nauka o toplini kao grana fizike proučava se još od 18.stoljeća. Mnogi poznati fizičari kao što su Albert Einstein, N.Carnot, Rumford, J.Joule, Bernoulli, Boltzmann, Clausius, Stefan i dr. bavili su se istraživanjem ovog područja. Poznato je da postoje tri različita načina prijenosa topline. Iz ovog rada može se zaključiti da se sva tri načina prijenosa konstantno događaju svugdje oko nas te da utječu na mnoge svakidašnje radnje i pojave, kako u ljudskim životima tako i u cijelom svemiru. Vođenje topline može se opisati kao premještanje energije sa atoma na drugi atom neke tvari. Konvekcija se događa samo u fluidima premještanjem mase fluida te se dijeli na prirodnu i prisilnu konvekciju. Zračenje se odvija preko elektromagnetskih valova u obliku vidljive svjetlosti različitih boja. Najbitnija stvar kod prijenosa topline koju možemo zaključiti iz ovog rada je da se prijenos uvijek odvija sa toplijeg tijela na ono hladnije, odnosno iz područja više prema području niže temperature. Prijenos topline niti danas nije u potpunosti matematički definiran. Primjerice, za konvekcijski prijenos još uvijek ne postoji točan matematički izraz koji opisuje taj način prijenosa topline. Iz toga možemo pretpostaviti da su to zaista komplicirani procesi koji jako mali broj ljudi može u potpunosti pojmiti i objasniti.

6. LITERATURA

- [1] Cindro, N. Fizika 1: mehanika, valovi, toplina.-3.prerađeno izdanje Zagreb: Školska knjiga,1985.
- [2] Hugh D. Young, Roger A. Freedman, Lewis Ford A. Sears and Zemansky' s University Physics with Modern Physics, 13th Edition Addison-Weasey ,2011.
- [3] Milin, M. Opća fizika 4: toplina, termodinamika i osnove kvantne fizike Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, PMF Fizički odsjek, 2016.
- [4] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=61787>
- [5] <http://www.hkis.hr/Upload/Documents/Vijesti/DAN%20IN%C5%BD.%202015/4.%20J.%20JUKIC%20-%20Zahtjevi%20za%20energetska%20svojstva.pdf>
- [6] https://hr.wikipedia.org/wiki/Koeficijent_prolaska_topline
- [7] https://www.moje-instrukcije.com/index.php?option=com_content&view=article&id=3922:kondukcija-topline&catid=114&Itemid=138
- [8] https://hr.wikipedia.org/wiki/Toplinska_vodljivost
- [9] https://hr.wikipedia.org/wiki/Prijenos_topline
- [10] [www.gfos.unios.hr > download > p13-prijenos-topline-2017-2018f](http://www.gfos.unios.hr/download/p13-prijenos-topline-2017-2018f)
- [11] https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/592185da-b4f4-4348-b0a2-7ee4d26a743f/html/7169_Prijelaz_topline.html
- [12] <http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-58-2006-05-09.pdf>
- [13] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Toplina>