

UNIVERZITET U NOVOM SADU

PRIRODNO - MATEMATIČKI FAKULTET

INSTITUT ZA FIZIKU

Природно-математички факултет
Радна заједница заједничких послова
НОВИ САД

- 7. XII. 1984

Примљено:

Орг јед.	Број	Прилог	Вредност
ОЗ	10/51		

234
Ген. 11.



DIPLOMSKI RAD

KONDUKCIJA VAZDUHA PRI ATMOSFERSKOM I
SNIŽENIM PRITISCIMA

Novembar 1984.г.

TRUDIĆ R. DJURA

Novi Sad

Zahvaljujem se dr.Beli Ribaru,
dr. Agneš Kapor i mr.Stevici
Djurović na odobravanju teme,
za uspešnu realizaciju plana
diplomskog rada, nabavku liter-
ture i stručnim savetima.

U V O D

Moj diplomski rad ima dva zadatka i dva razloga zbog kojih sam se opredelio da ga radim.

Prvi zadatak je da izmerim koeficijenat kondukcije vazduha pri atmosferskom pritisku i na sniženim pritiscima, za istu snagu grejne niti.

Drugi zadatak je da prikažem relativni odnos koeficijenata kondukcije na atmosferskom pritisku i na sniženim pritiscima za istu snagu grejne niti.

Razlozi zbog kojih sam uzeo ovu temu za diplomski su:

1. ispitivanje mogućnosti izolovanja nekih sistema sa razredjenim vazduhom.

2. Nisam našao ni u jednoj knjizi da je meren koeficijenat kondukcije pri sniženim pritiscima.

Aparatura sa kojom sam vršio merenja, omogućavala je da radim u intervalu pritisaka od atmosferskog do 133,3 (Pa). Merenja su vršena sa malim snagama grejne niti, u cilju izbegavanja velike eksperimentalne greške. Izloženi plan rada sam sa postojećom aparaturom, potpuno realizovao.

PRENOS TOPLITNE ENERGIJE GASOVIMA

Prenos toplote sa toplijeg na hladnije telo pomoću gasova može da se vrši kondukcijom, konvekcijom i toplotnim zračenjem.

KONDUKCIJA .

Kondukcija (toploprovodnost) gasa naziva se proces prenosa toplote haotičnim kretanjem čestica, koje, uzajamno dejstvuju jedna sa drugom, razmenjivajući energiju. Kada je gas mnogo razredjen, čestice mogu prenositi toplotu od jedne tačke prostora ka drugoj bez uzajamnog dejstva čestica. Takav prenos energije se naziva prenos Knudsena [2]. Prenos energije se ostvaruje kretanjem čestica koje mogu biti molekuli, atomi, elektroni i joni. Zato je kondukcija nerazdrešivo vezana sa kretanjem čestica, odnosno prenosom energije i karakterom uzajamnog dejstva čestica.

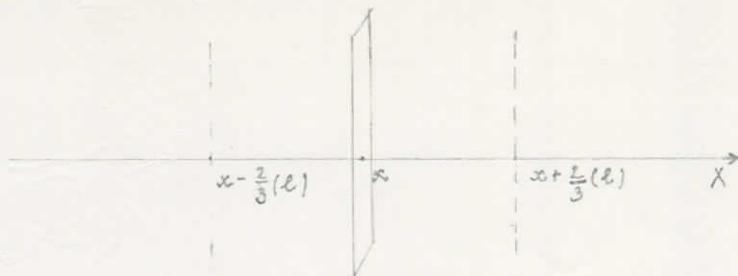
Kondukciju možemo posmatrati sa makroskopske i mikroskopske tačke gledišta.

Sa mikroskopske tačke gledanja kondukciju posmatramo kao funkciju, srednjeg slobodnog puta i srednje brzine molekula gasa. Neka (G) karakteriše neko molekularno svojstvo, energija, impuls, koncentracija, količina nanelektrisanja itd. Neka je duž ose (X) uspostavljen gradijent veličine (G) ($\frac{dG}{dx}$). Srednje rastojanje, molekula koji se kreću, posle poslednjeg sudara je $\frac{2}{3}(\ell)$. Veličina (G) je mala na rastojanju $\frac{2}{3}(\ell)$ od površine (dS) i može se predstaviti u obliku:

$$G(x \pm \frac{2}{3}(\ell)) = G(x) \pm \frac{2}{3}(\ell) \frac{\partial G}{\partial x} (x) \quad (1)$$



gde je (ℓ) - srednji slobodni put. U prvoj aproksimaciji se možemo zadržati na prvim članu Taylorovog reda u tački (x).



Broj molekula koji se kreće u pravcu ose(X) jednak je

$\frac{n_0}{4} (v)$ (1). Gde je: n_0 - broj molekula u jedinici zapremine, (v) - srednja brzina, koju ima najveći broj molekula, datog sistema, koja se određuje iz Maxwellove raspodele brzina (4).

Protok veličine (G) kroz(dS) u pravcu (X) jednak je:

$$I_G^- = -\frac{1}{4} n_0 (v) \left\{ G(x) + \frac{2}{3} (\ell) \frac{\partial G(x)}{\partial x} \right\}$$

$$I_G^+ = +\frac{1}{4} n_0 (v) \left\{ G(x) - \frac{2}{3} (\ell) \frac{\partial G(x)}{\partial x} \right\}$$

Ukupan protok:

$$I_G = I_G^+ + I_G^- = -\frac{1}{3} (n_0) (v) (\ell) \frac{\partial G}{\partial x}$$

ova poslednja jednačina je osnovna jednačina prenosa veličine(G). Ako je (G) srednja energija topotnog kretanja po jednom molekulu, tada jednačina I_G predstavlja jednačinu prenosa topline, koja se označava I_q . Iz teoreme o raspodeli energije po stepenima slobode, imamo:

$$G = \frac{i}{2} KT = \frac{i}{2} K \frac{Na}{Na} \cdot T = \frac{i}{2} \frac{R}{Na} T = \frac{Cv}{Na} T$$

I - broj stepeni slobode, Na - Avogadrovo broj, Cv - topotni kapacitet pri konstantnoj zapremini, T - temperatura.

Tada jednačina prenosa glasi:

$$I_q = -\frac{1}{3} n_0(v) (\lambda) \frac{C_V}{Na} \frac{\partial T}{\partial x} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad 6$$

gde je:

$$\lambda = \frac{1}{3} n_0(v) (\rho) \frac{C_V}{Na} = \frac{1}{3} \rho(v) (\lambda) c_v \quad 7$$

koeficijenat kondukcije.

$$\rho = n_0 m \quad c_v = \frac{C_V}{Nam}$$

c_v - specifični toplotni kapacitet, m - masa molekula, n_0 - broj molekula gasa u jedinici zapremine.

Jednačina $I_q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$ zove se Fourierova jednačina ili zakon za provodjenje topline mehanizmom kondukcije.

Sa makroskopske tačke gledanja proces prenosa topline kondukcijom ili kako se još kaže, toploprovodnošću, obično je prikazan Fourierovim zakonom. Saglasno tom zakonu gustina toplotnog izvora (q) (izdašnost) upravo je proporcionalna gradijentu temperature:

$q = -$ grad T . Gde je q - količina topline, protekla u jedinici vremena, kroz jediničnu izoternsku površinu. λ - koeficijenat kondukcije, zavisi od vrste gasa i vrednosti grad T

Interesovanje za ispitivanje kondukcije, gasova i smeša gasova, značajno je poraslo u poslednje tri decenije u vezi sa korišćenjem u nuklearnim reaktorima i kriogenoj tehnici. Ne manji značaj je za ispitivanje rasprostiranja i apsorbovanja ultrazvučnih talasa. Zbog toga su potrebni podaci za kondukciju gase u različitom dijapazonu temperature i pritiska. Zakon prenosa topline u gasovima bitno zavisi od sastava gasa, a tehnička realizacija metoda određivanja kondukcije nije uvek moguća za sav traženi dijapazon pritisaka i temperatura gase. Zato jedan metod tj. jedan uređaj ne omogućava ispitivanje kondukcije gasova u širem dijapazonu temperature i pritiska istovremeno. Zato je do sada predloženo mnogo metoda za merenje kondukcije.

U poslednje vreme pored klasičnih metoda (metod ravnih horizontalnih ploča, metod koaksialnih cilindara i metod grejne niti (2)), predloženi su i drugi metodi kao primer, termoakustički metod (2). Klasični metodi daju bolje rezultate. Metodi se klasificuju po geometriji gasovitih slojeva i načinu merenja temperature. Metodi mogu biti stacionarni i nestacionarni, kao i absolutni i relativni.

Proces kondukcije mogu pratiti sledeće pojave:

- 1) Konvektivni prenos toplote
- 2) Prenos toplote zračenjem
- 3) Pojava termofuzije
- 4) Temperaturni skok na granici GAS - ČVRSTO telo.

Pošto je kondukcija veoma mala, neophodno je odrediti tačno koliko svaka pojava, od gore četiri navedene, utiče u celokupnom prenosu toplotne energije. Razmotrimo svaku pojavu posebno.

KONVEKTIVNI PRENOS TOPLOTE

Razmena toplote izmedju zida i gasa, gde je nosilac transportne pojave masa koja se premešta pod uticajem razlike temperature izmedju površina zida i gasa, naziva se toplotnom razmenom ili slobodna odnosno prirodna konvekcija. Ova pojava se opisuje sistemom jednačina: jednačina održanja mase, jednačina održanja količine kretanja i jednačina održanja energije. Ako zanemarimo promenu pritiska, slobodnu konvekciju određuju dva parametra: Prandtl-a $Pr = \frac{\gamma}{\alpha} = \frac{\eta}{C_p \lambda}$ i broj Grasgof-a [2]

$$Gv = \frac{\beta g \delta^3}{\gamma^3} \Delta T \quad (2) \quad 10$$

β - temperaturni koeficijenat širenja, grad⁻¹

g - ubrzanje u polju gravitacije, m sec⁻²

γ - koeficijenat kinematičkog trenja gasa, m² sec¹

α - koeficijenat temperaturne provodnosti, m² sec⁻¹

ΔT - razlika temperature na površini tela (T_1) i gasa na granici gasovito-čvrsto telo (T_2), grad.

δ - debljina sloja, m.

Ako su izotermne površine u sloju gasa strogo horizontalne, takvo stanje je stabilno. Ako gas zagrevamo odozdo ili odgorе, na taj način, što izotermne površine u gasu nisu horizontalne, to stanje gase je nestabilno. Međutim konvektivni prenos javlja se tada, kada proizvod broja Grasgof-a (Gr) i broja Prandtla (Pr) dostigne približno 1700.

Krausold je pokazao (2), da u prvoj aproksimaciji toplotni tok kroz ravnu i cilindričnu površinu možemo predstaviti izrazom:

$$q = \frac{\lambda_e}{\delta} (T_1 - T_2) \quad 11$$

δ - debljina sloja, T_1 - temperatura toplije površine, T_2 - temperatura hladnije površine, λ_e ekvivalentna toplota provodnosti gase.

U literaturi se obično navodi zavisnost odnosa ekvivalentne toploprovodnosti gase i absolutne toploprovodnosti. Za $Gr \leq 1000$ je $\lambda_e / \lambda \approx 1$ i uticaj konvekcije na prenos toplote izostaje. Da se ne bi pojavila konvekcija, mora se umanjiti (δ) i (ΔT). Izostavljanje konvekcijske dokazuje se merenjem za različito (ΔT) i (δ) i njihovim poređenjem temperaturnih gradijenata pri horizontalnom i vertikalnom položaju cevi. Ako su vrednosti temperaturnih gradijenata približno iste, znači da se konvekcija može zanemariti.

PRENOS TOPLOTE ZRAČENJEM

U providnim gasovitim sredinama, toplota se prenosi kondukcijom i zračenjem. Prenos toplote zračenjem svodi se na razmenu toplotnog zračenja izmedju graničnih površina. Ako postoji isključivo prenos toplote zračenjem onda prenesenu toplotu možemo odrediti po relaciji:

$$q_r = \epsilon_{12} \sigma_r (T_1^4 - T_2^4) \quad 12$$

gde je ϵ_{12} - emisiona sposobnost tela koje zrači toplotu, σ - Stefan-Boltzmannova konstanta, T_1 i T_2 - temperature dva tela.

Za dve paralelne ploče emisiona sposobnost se izražava

$$\text{kao : } \frac{1}{\varepsilon_{11}} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \quad 13$$

a za dva koaksialna cilindra ili dve koncentrične sfere kao:

$$\frac{1}{\varepsilon_{11}} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right). \quad 14$$

gde je: A_1 i A_2 površina odgovarajućeg unutrašnjeg i spoljašnjeg cilindra, ε_1 - emisiona moć unutrašnjeg cilindra, ε_2 - emisiona moć spoljašnjeg cilindra, ε_{11} - ukupna emisiona moć sistema.

Za metod koaksialnih cilindara i grejne niti, $\frac{A_1}{A_2}$ proporcionalno je sa $\frac{\gamma_1}{\gamma_2}$ (gde su γ_1 i γ_2 poluprečnici cilindričnih površina).

Za koaksialne cilindre taj odnos je 0,99, za metod grejne niti ovaj odnos je 0,1.

Olakšavajuća okolnost je što se radi sa providnim gasom,

pa nema apsorbovanja topotnog zračenja žice. Kod neprovidnih gasova topotno zračenje od žice se donekle i apsorbuje u gasu, a izračunavanje topotnog provodjenja gasa postaje komplikovanije.

UTICAJ TERMODIFUZIJE NA TOPLOPROVODNOST GASOVITIH SMEŠA

Temperaturni gradijent u binarnoj smesi gasova izaziva relativno kretanje komponenti smese, koje uslovjava nastanak gradijenta relativnog kretanja komponenti smese i rezultat je nehomogena smesa gasova u različitim tačkama prostora na različitim izotermnim površinama. Ta pojava se naziva termodifuzija. Istovremeno sa termodifuzijom javlja se obična, uzajamna difuzija, efekat koji je suprotan efektu termodifuziji. Ra spodela koncentracije komponenti smese je

$$\text{funkcija gradijenta temperature: } n_{10} - n'_{10} = K_T \ell \ln \frac{T'}{\bar{T}} \quad 15$$

gde je: n_{10} - koncentracija čestica u oblasti sa temperaturom (T),
 n'_{10} - koncentracija čestica u oblasti sa temperaturom (T'), K_T - termo-
difuzioni odnos, izračunatog za temperaturu $\bar{T} = (T T' / T' - T) \ln(T'/T)$
 T i T' - temperature u različitim tačkama zapremine gasa.

U smesi gasova, posle nekog vremena dovoljnog za uspostavljanje stacionarnog procesa termodifuzije, koncentracija komponenti smese duž nastalog temperaturnog gradijenta, biće različita.

Nejednaka koncentracija utiče na mehanizam prenosa topote topoprovođenja i uneće neku neodredjenost u rešenje pitanja, kojoj koncentraciji pripada izmerena veličina koeficijenta kondukcije.

Pojava termodifuzije bitno zavisi od uzajamnog odnosa obima (površi) zagrejane niti i hladne oblasti zato da bi isključili uticaj termodifuzije, obim zagrejane niti mora biti približno jednak obimu spoljašnjeg cilindra. Pri takvom odnosu obima, promena koncentracije uslovljena termodifuzijom može se zanemariti.

Obračunavanjem popravke na termodifuziju pokazano je, da za smese jednoatomnih gasova ona ne prelazi 11%, a za smesu $H_2 - CO_2$ pri $X_2 = 0,1X_1$, odnos $-\frac{\lambda_{DT}}{\lambda} = 7,9\%$ pri $T=298,2K$ i $8,1\%$ pri $T=893 (K)$, za smesu $H_2 - O_2$ pri $X_2 = 0,1X_1$, $-\frac{\lambda_{DT}}{\lambda} = 7,06\%$ pri $T=295,2 (K)$ (2).

Pošto se u ovom radu meri (λ) za vazduh a on sadrži N_2 , H_2 , CO_2 , O_2 i druge gasove, na osnovu gore navedenih primera možemo pretpostaviti da u ovom slučaju termodifuzija učestvuje u provodjenju od prilike sa 7,5%.

TEMPERATURNI SKOK NA GRANICI GAS-ČVRSTO TELO

Temperatura gasa u blizini površine, različita je od temperature same površine. Imamo mesto "skoka" temperature između temperature površine i gasa uz samu površinu. Zato nije moguće tačno izračunati veličinu koeficijenta kondukcije za rezultate dobijene merenjem temperature površine, krajnjeg sloja gase. Veličina temperaturnog skoka proporcionalna je gradijentu temperature i zavisi od koeficijenta akomodacije i dužine srednjeg slobodnog puta molekula, koji opet pokazuje zavisnost od pritiska.

Koeficijenat akomodacije dat je jednačinom:

$$a = \frac{E_n - E_0}{E_n - E_T} \quad [2] \quad 16$$

E_n - srednja energija molekula, koji udara u površinu zida,

E_0 - srednja energija molekula, odbijenog od zida,

E_T - srednja energija molekula, pri temperaturi zida.

Koeficijenat kondukcije $[2]$, bez učešća temperaturnog skoka:

$$\lambda = \lambda_{\phi} = \frac{Q}{(T_1 - T_2) / \delta} \quad (2) \quad 17$$

biće različit od veličine koeficijenta kondukcije, za učešćem temperaturnog skoka:

$$\lambda = \frac{Q}{(T_1 - T_2) / (\delta + \frac{15}{8} \cdot \frac{2-\alpha}{\alpha} \cdot \ell)} = \lambda_{\phi} (1 + \vartheta) \quad 18$$

gde je: $\vartheta = \frac{\delta}{\frac{15}{8} \cdot \frac{2-\alpha}{\alpha} \cdot \ell}$ za pločastu aparaturu.

Za koaksijalne cilindre: $\vartheta = \frac{2-a}{a} \cdot \frac{(2\pi M R T)^{1/2} \lambda}{R_1 \ln(R_2/R_1) (2C_p - R) P}$

M - molekulska masa gase, R - univerzalna gasna konstanta, C_p - molarni izobarni toplotni kapacitet gase, P - pritisak.

Pošto u ovom eksperimentu nije merena temperatura uz sam zid a ni temperatura zida, (aparatura to nije omogućavala, znači da se ne mogu izračunati (a) pa ni (ϑ) a iz toga sledi ni vrednost za (λ)).

ZAKON ZRAČENJA APSOLUTNO CRNOG TELA

Svako zračenje tela praćeno je gubitkom energije. Prema tome zračenje se može vršiti na račun gubitka energije samog tela ili na račun energije koju telo dobijalj polja. Ako telo putem apsorbovanja topote od okoline, dobija onoliku količinu energije koliko i gubi usled sopstvenog zračenja, taj proces će se onda odvijati ravnotežno, odnosno stacionarno. Pri tome stanje tela koje zrači može biti okarakterisano određenom konstantnom temperaturom (T). Pojam temperature je primenljiv samo kada postoji termodinamička ravnoteža (7).

Veličina: $e = \frac{d\phi}{dS}$ se naziva emisiona sposobnost tela, gde je ($d\phi$) ukupni fluks energije zračenja sa površine (dS). Emisiona sposobnost tela je energija zračenja koju emituje telo sa jedinice površine u jedinični prostorni ugao za vreme od jedne sekunde.

Ako na telo pada fluks zračenja ($d\phi$), jedan deo toga fluksa telo će propustiti, drugi deo će se reflektovati od površine tela, dok će telo ostatak apsorbovati. U ovom slučaju nas interesuje samo apsorpcija, pa ćemo uvesti veličinu: $a = \frac{d\phi}{d\phi_{\text{total}}}$ koja se naziva apsorpciona sposobnost tela i gde je ($d\phi_{\text{total}}$) apsorbovani deo fluksa zračenja. I apsorpciona sposobnost, kao i emisiona sposobnost uzima se po jedinici površine i u jedinici vremena i takodje zavisi od talasne dužine i temperature tela $a(\lambda, T)$.

Neki ogledi sa različitim telima, pokazali su da postoji određena zavisnost izmedju emisione sposobnosti $e(\lambda, T)$ i apsorpcione sposobnosti tela $a(\lambda, T)$. Kirchoff je utvrdio da ova zavisnost ima sledeći oblik:

$$\frac{e_1(\lambda, T)}{a_1(\lambda, T)} = \frac{e_2(\lambda, T)}{a_2(\lambda, T)} = \frac{e_3(\lambda, T)}{a_3(\lambda, T)} = \dots = f(\lambda, T) \quad 19$$

Odnos emisione i apsorpcione sposobnosti ne zavisi od prirode tela, on predstavlja za sva tela jednu istu funkciju talasne dužine i temperaturu $f(\lambda, T)$. Ako imamo telo koje potpuno apsorbuje upadno zračenje tj. $a(\lambda, T) = 1$, takvo telo zovemo apsolutno crno telo.

Prema Kirchoff-ovom zakonu emisiona sposobnost takvog tela je $E(\lambda, T) = f(\lambda, T)$. Apsolutno crno telo u prirodi ne postoji.

Bilo je niz pokušaja da se nadje analitički oblik funkcije $f(\lambda, T)$ koja bi se slagala sa eksperimentalnim rezultatima. Rayleigh i Jeans su krajem prošlog veka pokušali da odrede oblik funkcije $f(\lambda, T)$, polazeći od zahteva statističke fizike o ravnomernoj raspodeli energije po stepenima slobode. Izraz za gustinu energije zračenja (U_λ) (energija po jedinici zapreme) koja se odnosi na interval talasnih dužina ($d\lambda$):

$$U_\lambda d\lambda = 8\pi kT \lambda^3 d\lambda \quad 20$$

naziva se Rayleigh - Jeans-ova formula. Ako se umesto talasne dužine (λ) uvede frekvencija (ν) prethodni izraz će imati oblik:

$$U_\nu d\nu = \frac{8\pi}{c^3} \nu^2 d\nu \quad 21$$

Može se lako videti da ova formula dovodi do absurdnog rezultata. (ultravioletna katastrofa)

$$U = \int_0^\infty U_\nu d\nu = \frac{8\pi kT}{c^3} \int_0^\infty \nu^2 d\nu = \infty. \quad 22$$

Dobija se da je ukupna gustina izražene energije jednaka beskonačnosti. Planck je 1900 godine uočio, da se rešenje ovog problema ne može naći u okvirima klasične fizike i pronašao je oblik $f(\lambda, T)$ koji se slagao sa eksperimentima. Planck uvodi hipotezu da telo zrači i apsorbuje energiju u kvantima: $E = h\nu$ gde je: ν - frekvencija, h - plankova konstanta.

Na osnovu ove prepostavke Planck je dobio da je emisiona sposobnost apsolutnog crnog tela:

$$E(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1} \quad 23$$

c - brzina svetlosti, k - Boltzmannova konstanta.

Ukupna emisiona sposobnost apsolutno crnog tela:

$$E_u(T) = \int_0^\infty E(\lambda, T) d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3} T^4 \quad 24$$

ili $E_u = \sigma T^4$

σ -- je Stefan - Boltzmannova konstanta.

Poslednja formula je Stefan-Boltzmann-ov zakon. Prema tome emisiona moć nekog tela je:

$$\left\{ \frac{\varepsilon_x(\lambda, T)}{\alpha_x(\lambda, T)} = E_u(\lambda, T) \quad E_u = \sigma T^4 \right\} \Rightarrow \varepsilon_x(\lambda, T) = \alpha_x(\lambda, T) \sigma T^4 \quad 25$$

Pomoću ove formule možemo odrediti emisionu moć žice od kantala, koja je korišćena u našem eksperimentu.

METOD KOAKSIALNIH CILINDARA

Metod koaksialnih cilindara može se primenjivati kako u stacionarnom tako i u nestacionarnom procesu provođenja topline.

STACIONARNI METOD

Razmotrimo prenos topline kroz gas, koji se nalazi između dva cilindra. Ako je dužina cilindra dosta velika, a rastojanje između cilindara malo, tada temperaturni gradijent možemo zanemariti. Neka je površina unutrašnjeg cilindra dijametra (d_1) zagrejana do temperature (T_1) a površina spoljašnjeg cilindra dijametra (d_2) , zagrejana do temperature (T_2) , tako da je $T_1 > T_2$. Temperature (T_1, T_2) održavamo konstantnim za vreme merenja.

Koefficijenat kondukcije odredjujemo iz jednačine:

$$dQ = -\lambda \frac{dt}{dx} dS \quad 26$$

dQ – količina topline koja protekne u jedinici vremena kroz površinu (dS) pri podjednakim temperaturnom gradijentu u materiji, datom sa dt/dx . Na bilo kojoj površini svaka tačka ima istu vrednost dt/dx .
 L – dužina cilindra.

$$\text{Možemo pisati: } Q = -\lambda 2\pi L dt/dx \quad 27$$

$$\text{odatle sledi: } Q dx/dx = -\lambda 2\pi L dt$$

integraleći jednačinu dobijamo :

$$Q \int_{R_1}^{R_2} \frac{dx}{x} = -2\lambda L \pi \int_{t_1}^{t_2} dt \quad 28$$

Integraliti se može, jer se pretpostavlja da je za datu površinu (dt/dx) konstantno.

$$Q \ln(R_1/R_2) = -2\lambda x L (t_1 - t_2)\pi \quad \lambda = (Q/2\pi L \Delta t) \ln(R_2/R_1) \quad 30$$

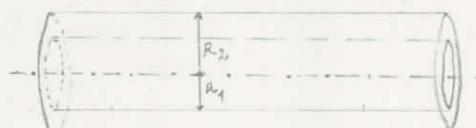
Ovo je apsolutni metod, jer su sve veličine koje se javljaju u formuli, direktno merene.

Prethodnu formulu možemo napisati u obliku:

$$\lambda = A (Q/T_1 - T_2) \quad 31$$

gde je :

$$A = \ln(R_2/R_1)/(2\pi L). \quad 32$$



KOAKSIALNI CILINDRI

Možemo direktno uzeti dimenzije cilindra i izračunati konstantu λ i to bi bio apsolutni metod. Relativni metod bi bio, ako bi za poznatu konstantu kondukcije nekog gasa (λ_{X}) izračunali (A) pomoću sledeće jednačine: $A = \lambda_{\text{X}}(T/Q)$, i tu vrednost (A) da koristimo za računanje (λ) nekog drugog gasa u istoj cevi.

METOD GREJNE NITI

Metod grejne niti, za merenje koeficijenta kondukcije gasova dao je Šlejermaher 1888 godine. U Sovjetskom Savezu taj metod u najboljoj aproksimaciji prvi su primenili

Fizičke osnovi metoda grejne niti iste su kao i u metodu koaksialnih cilindara. Osnovne razlike tih metoda sastoje se u mogućnosti merenja temperature unutrašnjeg cilindra (niti), konstruktivnim izvodjenjem a teorijski uzimanjem u obzir, efekt odvodjenja toplote sa čela, koji unosi grešku u konačan rezultat. Ovim metodom obično se radi u stacionarnom režimu.

Formula za računanje je ista kao i za koaksialne cilindre:

$$\lambda = (Q/2\pi L \Delta T) \ln (R_2/R_1) \quad (2)$$

Medjutim, Д.Л.ТИМРОТ и А.С.УМАНСКИЙ su predložili, za temperature iznad sobne i visoke temperature, empirijsku jednačinu u obliku :

$\lambda = (Q/2\pi \Delta T) \ln (R_2/R_1)$. 33

U našem računu korišćena je ova poslednja formula, za dobijanje tačnije vrednosti koeficijenta kondukcije.

A P A R A T U R A

Aparatura sa kojom je radjeno je kombinacija metode koaksialnih cilindara i metode grejne niti. Kombinacija se ogleda u sledećem:

1. Spoljni cilindar čini sloj vazduha uz staklenu cev, a unutrašnji čini sloj vazduha na istom rastojanju na kom se nalazi jedan spoj termopara. (bliži grejnoj niti). To bi bilo ono što je slično sa metodom koaksialnih cilindara.

2. U sredini cevi se nalazi grejna nit, odnos poluprečnika je $R_2 = 10 R_1$ i modifikovana jednačina $\lambda = (Q/2\pi \Delta T) \ln (R_2/R_1)$ daje dobre vrednosti koeficijenata kondukcije. To bi bile sličnosti sa metodom grejne niti.

To su bile sličnosti sa prethodna dva metoda, a razlike su u sledećem:

1. Površine unutrašnjeg i spoljašnjeg cilindra treba da budu približno jednake, medjutim to nije slučaj jer je $R_2 = 10 R_1$, pa je to odstupanje od metoda koaksialnih cilindara.

2. Pošto se meri temperatura vazduha na $0,002\text{ (m)}$ od žice, a ne temperatura same žice, sledi da ovaj metod nije u potpunosti ni metod grejne niti.

Za vreme eksperimentalnog rada koristio sam sledeće instrumente:

- zatvorena staklena cev dijametra $R=0,02\text{ (m)}$
- dva voltmetra Unimer 3
- jedan ampermetar Unimer 33
- staklena U-cev
- vakuum pumpa
- igličasti ventil
- termometar
- barometar
- izvor struje

Pošto su navedeni svi delovi sledi detaljan opis.

Zatvorena staklena cev je najvažniji deo aparature jer se u njoj nalazi vazduh čija se provodnost ispituje. Ona sadrži sledeće delove: običnu otvorenu staklenu cev poluprečnika $R=0,02\text{ (m)}$, mesing-gumene površi koje zatvaraju staklenu cev, grajnu nit koja se provlači kroz sredinu cevi i termopar kojim se meri razlika temperatura sloja gasa uz staklenu cev i sloja vazduha blizu grejne niti (na rastojanju $R=0,002\text{ (m)}$). Staklena cev je dužine $L=0,185\text{ (m)}$, debljina stakla je $D=0,002\text{ (m)}$. Izradjena je od običnog natrijumovog stakla. Ivice su izglačane tako da dobro nalegne na gumu čime se postiže dobro zaptivanje. Mesing-gumene površine se nalaze sa obe strane staklene cevi. Te dve površi su spojene sa četiri šipke od mesinga i sa osam zavrtanja. Na staklenu cev naleže guma tako da je obezbedjena mogućnost vakumiranja sistema. Korišćena je guma mekana, što omogućava bolje vakumiranje. Na svakoj mesing gumenoj površi se nalazi priključci za priključivanje na izvor jednosmerne struje. Ti priključci su napravljeni tako da ne može doći do kratkog spoja.



Grejna žica i žica kojom se dovodi struja su direktno spojene i obe su pomoću plastične mase odvojene od metalnog držača. Na jednoj mesing-gumenoj površi se nalazi otvor sa olivom od mesinga. Taj otvor služi za izvlačenje vazduha do željenog pritiska u cevi. Kroz drugu mesing-gumenu površ su provučeni termoparovi.

Termopar je bakar-konstantan. Spoj je ostvaren električnim varenjem. Prilikom varenja bilo je bitno da se spoj ostvari sa što manjom kuglicom. Ako je veća kuglica, veći je i toplotni kapacitet te kuglice, pa će se javiti greška u merenju razlike temperature.

Grejna nit je od kantala i postavljena je u sredinu cilindra. Dužine je $L = 0,185$ (m), poluprečnika $R = 0,0005$ (m). Žica od kantala je pogodnija od cekasa i volframa jer pri istoj jačini struje manje se usija. Ona se ne usijava pri jačini struje od $I = 1,5$ (A) do $I = 2$ (A), dok to nije bio slučaj sa žicom od volframa i cekasa koja je još i veoma krta, te se nije mogla ispravljati. Pored te prednosti, kantal ima jednu manu a to je da privećoj jačini struje od $I = 1,5$ (A) dolazi do krivljenja grejne niti. To je uslovilo ograničenje prilikom merenja, jer ako bi se grejna nit iskrivila, na mestu gde se nalazi termopar, tada ne bi imao simetričnu raspodelu temperature.

Voltmetri - u sklopu aparature se nalaze dva voltmetra. Jedan je cevni a drugi univerzalni (unimer 3). Cevni voltmetar je PHILIPS GM 6020 a UNIMER-3 je Iskrin proizvod. Cevni voltmetar služi za indirektno merenje temperature. U toku merenja korišćeni su sledeći opsezi: 0,0003 (V), 0,001 (V) i 0,003 (V). Otpor cevnog voltmetra je $R = 1 \times 10^6$ (Ω).

U sklopu aparature, da bi tačno izmerio napon grejne niti, isti cevni voltmetar je korišćen i za merenje tog napona na grejnoj niti.

Posle je priključen univerzalni instrument, UNIMER-3, i pazilo se da ne dodje do promene u naponu.

Ampermetar je univerzalni instrument koji je radio na opsegu (0 A-0,5 A i 0 A-2A), koji je merio jačinu struje kroz grejnu nit. Ampermetar UNIMER - 33 je Iskrin proizvod.

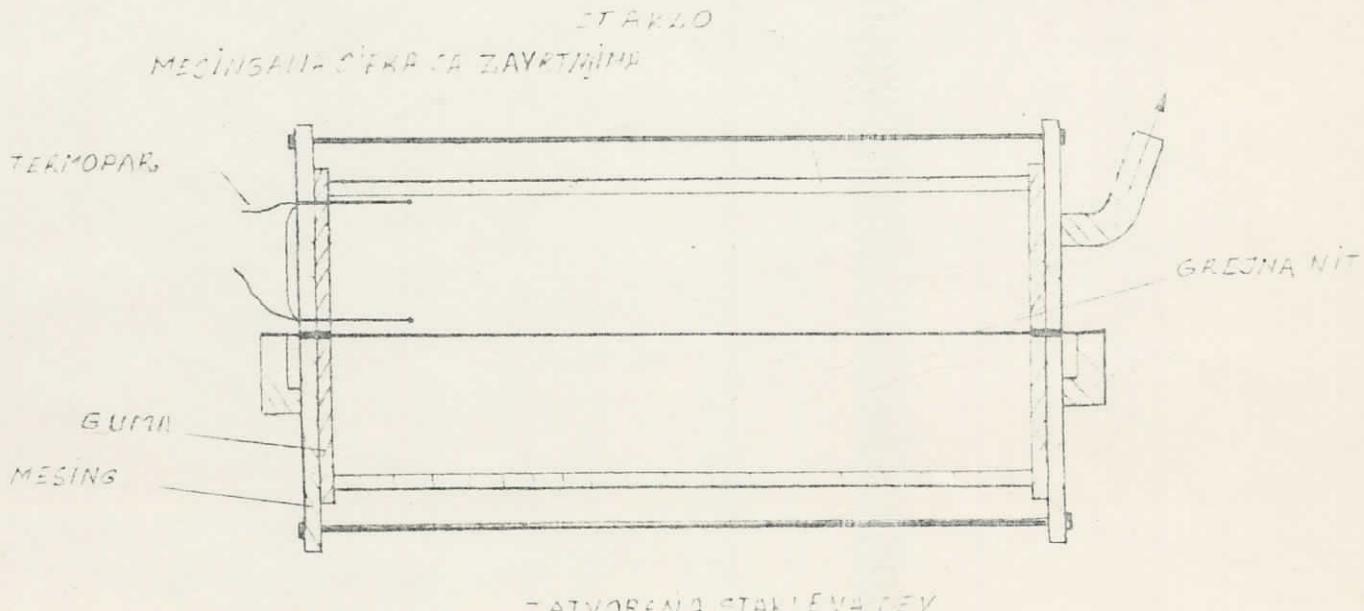
U - cev je od stakla i napunjena je živom. Dužina U- cevi je 1 (m), Greška očitavanja je oko $\pm 0,5 \cdot 10^{-2}$ (m). Služila je za merenje razlike živinog stuba, pomoću koje sam računski odredio koliki je pritisak u sistemu.

Živin termometar nalazi se iznad aparature, tako da je merena temperatura vazduha uz samu aparaturu. Vrednost podeoka je 2 (K) a greška u očitavanju 1 (K).

Igličasti ventil služi za preciznu regulaciju pritiska u sistemu. On je u obliku konusa koji kada se nalazi u nultom položaju vrši potpuno zatvaranje sistema. Sa odvijanjem tj. podizanjem u vis stvaramo otvor kroz koji ulazi vazduh u sistem.

Barometar sam koristio za merenje atmosferskog pritiska. Za svaki krug merenja i za određenu snagu, očitavao sam atmosferski pritisak.

Izvor struje je korišćen kao jednosmeran. Radio je u opsegu 0--25 (V) i 8(A). Izvor struje je PHILIPS HARRIS.

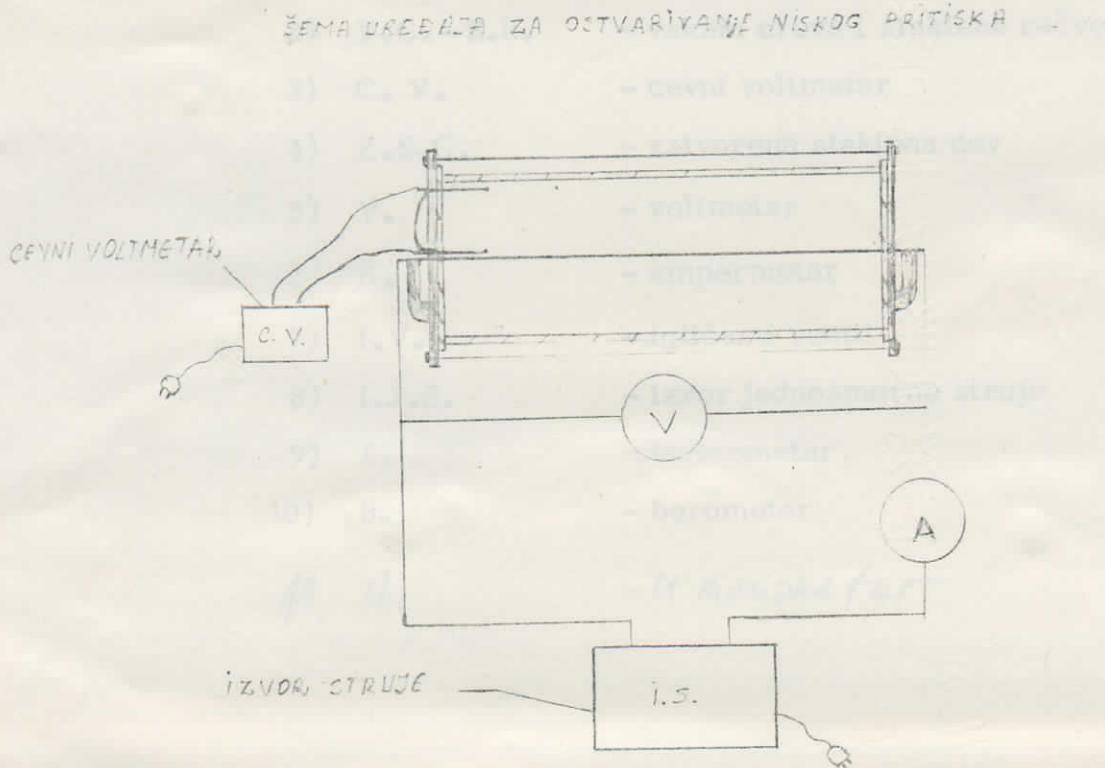
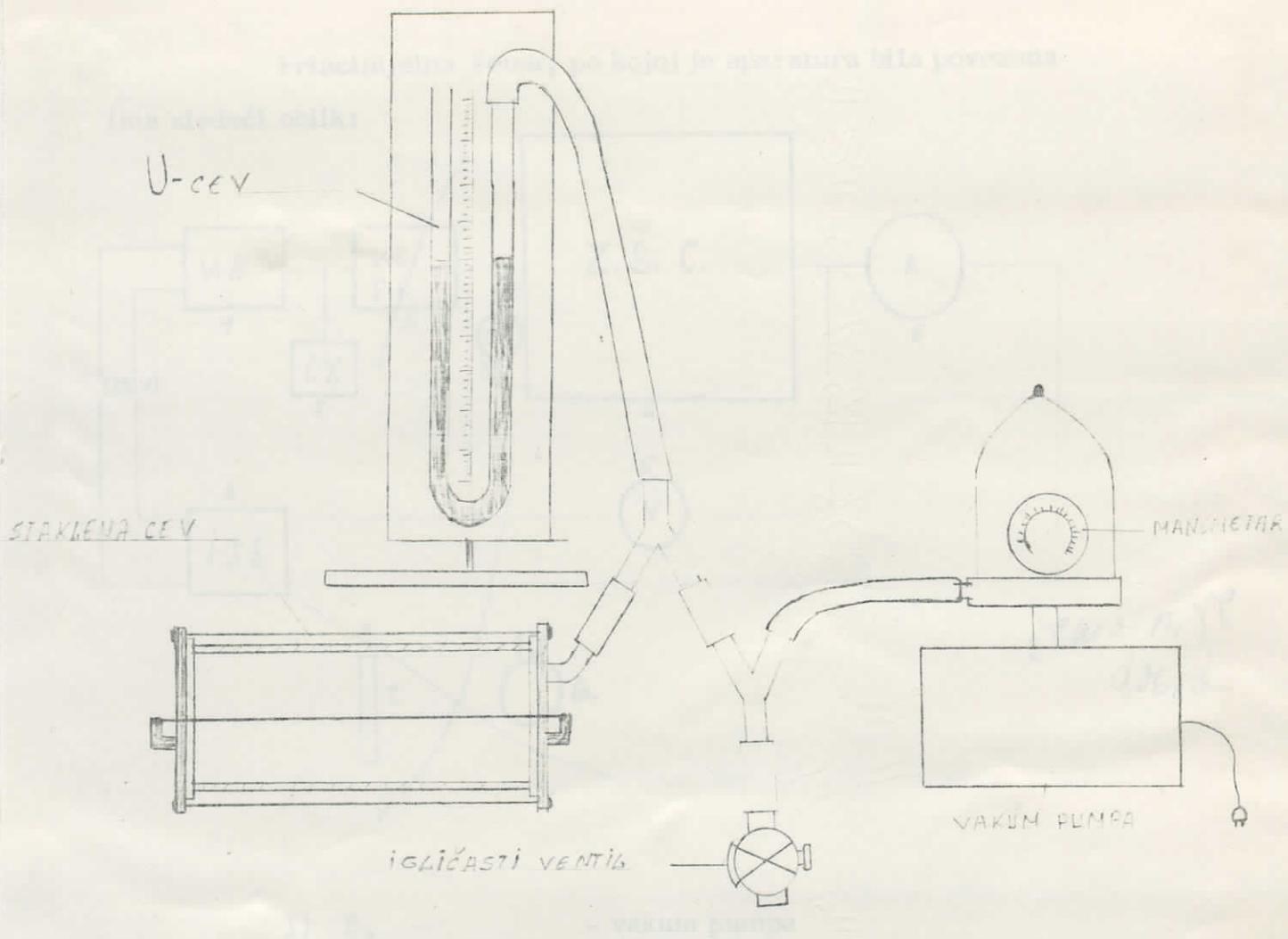


IZVODJENJE MERENJA

Prvi korak koji je trebalo uraditi je bio da se definiše za koji napon i jačinu struje treba vršiti merenja. Te vrednosti su diktirane po osobinama grejne niti. Ranije je navedeno da zbog krivljenja žice nesme da se predje jačina struje od $I = 1,5$ (A) pri atmosferskom pritisku. Definisan je sledeći redosled merenja: 0,5 (A); 0,7 (A); 0,9 (A); 1 (A); 1,2 (A) i 1,5 (A). Ispod $I = 0,5$ (A) nisu vršena merenja jer su se vrednosti napona na cevnom voltmetru malo menjala sa promenom pritiska. Pri jačini struje od $I=0,5$ (A) imamo najmanji broj merenja, pri različitim pritisцима jer se vrednost napona na cevnom voltmetru za promenu od 6666,1 (Pa) malo menja pa se vršilo merenje u koracima od 13332,2 (Pa). Za druge jačine struje su vršena merenja sa korakom od 6666,1 (Pa). Jačina struje i napon su držani konstantnim u toku jedne serije merenja. Za svaki korak bi očitali vrednost pritiska i temperaturu sobe, zatim bi uključili pumpu, otvorio ventil maksimalno i posle nekog vremena očitali vrednost napona na cevnom voltmetru. Merenja su vršena u stacionarnom režimu konstantovano time što u stacionarnom režimu nema promene temperature tj. ne menja se napon. To bi bio temperturni gradijent za atmosferski pritisak. Dalja merenja su vršena za različite pritiske uz strogo nadgledanje da ne dodje do promene struje i napona. Na kraju merenja su opet kontrolisane vrednosti za spoljašnju temperaturu i atmosferski pritisak. Merenja su vršena u intervalu od atmosferskog pritiska do $P=133,3$ (Pa).

Posle završetka merenja, za jednu snagu grejne niti, dalji rad se sastojao u tome da se promeni snaga grejne niti i ponove iste operacije koje su vršene u prethodnom merenju.

Š e m a



TABELARNI PRIKAZ EKSPERIMENTALNIH REZULTATA
I IZRAČUNATIH VELIČINA

Rezultati merenja su prikazani u TABELAMA I, II, III.

U kolonama su slovima obeležene sledeće fizičke veličine:

H - razlika nivoa živinog stuba u U-cevi. Kolona nije popunjena skroz jer je pritisak od 133,3 (Pa) do 2666,4 (Pa) meren direktno pomoću manometra.

P - pritisak, od 133,3 (Pa) do 2666,4 (Pa) meren je direktno pomoću manometra a ostale vrednosti su računate pomoću sledeće jednačine:

$$P = P_{at} - 133322 \Delta H$$

$\Delta U_1 \dots \Delta U_4$ napon meren pomoću cevnog voltmetra na krajevima termopara.
 ΔU_s - srednja vrednost razlike napona $\Delta U_s = \frac{U_1 + \dots + U_4}{4}$

λ - koeficijent kondukcije računat pomoću jednačine 33.

Vrednost Q sam izrazio kao $Q = UxT$ pošto je radjeno u stacionarnom stanju uzima se za $T = 1$ (sec)

$\Delta \lambda$ - srednja kvadratna greška računata pomoću jednačine:

$$\Delta \lambda = \frac{1}{2\pi K \Delta U_s} \sqrt{(I \ln \frac{R_2}{R_1})^2 [\Delta(\Delta U)]^2 + (U \ln \frac{R_2}{R_1})^2 (\Delta I)^2 + \left(\frac{I U_s \ln \frac{R_2}{R_1}}{\Delta U_s} \right)^2 [\Delta(\Delta U_s)]^2 + (U I)^2 \left[\frac{\Delta R^2 (R_1^2 + R_2^2)}{R_1^2 R_2^2} \right]}$$

Pomoću tablica za termopar bakar - konstantan λ može se odrediti

vrednost nagima prave sa grafičkog prikaza napona u funkciji od temperature i dobija se vrednost $K = 22100$

I - jačina struje na grejnoj niti

U - napon na grejnoj niti

$\delta \lambda$ - realtivni odnos provodljivosti vazduha pri atmosferskom i nekom sniženom pritisku za istu snagu na grejnoj niti. $\delta \lambda = \frac{\lambda_a - \lambda_v}{\lambda_a} 100$

U TABELI IV. date su veličine kada se uzme u obzir količina toplote koju kantal preda toplotnim zračenjem okolini.

$$Q = Q_z + Q_k + Q_G$$

Q_z - količina toplote koju oda žica toplotnim zračenjem.

$Q_k = a \cdot T$ a - apsorpciona moć kantala, σ - Stefan - Boltzmannova konstanta i T - temperatura žice. $a = 0,5$ [6]

Q - količina topline koja se prenosi kondukcijom.

Q - provedena količina topline sa strane staklene cevi. Ovu količinu topline nismo računali jer aparatura nije omogućavala merenje temperature gumene površine sa unutrašnje strane i sa spoljašnje strane. Pored toga nije poznat ni sastav gume pa prema tome nije moguće iz tablica odrediti koeficijent kondukcije za tu gumu.

Q - ukupna količina topline

Treba imati u vidu da veličine H, P, U_1, \dots, U_s i T nisu pisane u TABELI IV radi jednostavnijeg i kraćeg zapisivanja. U ovoj tablici je korišćena empirijska formula u izmenjenom obliku: $\lambda = \frac{UI - \alpha ST^4}{2\pi K \Delta U_s} \ln \frac{R_2}{R_1}$

Izraz za srednju kvadratnu grešku korišćen u TABELI IV je:

$$\Delta \lambda = \frac{1}{2\pi K \Delta U_s} \sqrt{\left(I \ln \frac{R_2}{R_1} \right)^2 [A(\Delta U)]^2 + \left(U \ln \frac{R_2}{R_1} \right)^2 [D(I)]^2 + \left(\frac{I U_1 - \alpha S T^4}{\Delta U_s} \ln \frac{R_2}{R_1} \right)^2 [\Delta(\Delta U_s)]^2 + (UI - \alpha ST^4) \frac{2 \ln \frac{R_2}{R_1}}{R_1^2 R_2^2}}$$

U TABELI V su prikazane neke rednosti za koeficijent kondukcije

(λ) iz [5] i izračunate vrednosti u ovom radu.

		$I = 0,5[A]$ $U = 0,74[V]$ $T_{so} = 300,4[K]$ $P_{as} = 101058,076[W]$							$I = 0,7[A]$ $U = 1,06[V]$ $T_{so} = 302,16[K]$ $P_{as} = 101058,076[W]$										
$10^3[m]$	[Pa]	$10^3[V]$	$10^3[V]$	$10^3[V]$	$10^3[V]$	[K]	$10^{-2}[\frac{m}{min}]$	$10^{-2}[\frac{m}{min}]$	[%]	$10^3[V]$	$10^3[V]$	$10^3[V]$	$10^3[V]$	[K]	$10^2[\frac{m}{min}]$	$10^2[\frac{m}{min}]$	[%]		
ΔH	P	ΔU_1	ΔU_2	ΔU_3	ΔU_4	ΔU_5	T	λ	$\Delta \lambda$	$\delta \lambda$	ΔU_1	ΔU_2	ΔU_3	ΔU_4	ΔU_5	T	λ	$\Delta \lambda$	$\delta \lambda$
133,322	0,41	0,39	0,392	0,42	0,403	309,5	1,49	0,23	2,9,7		0,72	0,74	0,78	0,75	0,748	318,7	1,61	0,12	36,6
666,61	0,42	0,385	0,390	0,41	0,401	309,3	1,50	0,23	2,9,2		0,715	0,74	0,78	0,74	0,744	318,6	1,62	0,12	36,2
1333,22	0,417	0,383	0,38	0,415	0,400	309,2	1,50	0,23	2,9,2		0,7	0,725	0,77	0,745	0,735	318,4	1,64	0,12	35,4
1939,83	0,410	0,38	0,37	0,41	0,393	309,1	1,53	0,23	2,7,8		0,71	0,715	0,78	0,75	0,739	318,5	1,63	0,12	35,8
2666,44	0,41	0,38	0,368	0,41	0,392	309,1	1,53	0,23	2,7,8		0,715	0,708	0,78	0,75	0,738	318,5	1,63	0,12	35,8
700	7732,68	0,415	0,37	0,358	0,383	0,383 308,9	1,57	0,24	2,5,9		0,71	0,71	0,77	0,715	0,726	318,2	1,66	0,12	34,6
650	14398,78										0,705	0,705	0,77	0,725	0,725	318,2	1,66	0,12	34,6
600	21064,58	0,395	0,37	0,348	0,38	0,373 308,6	1,61	0,25	24,1		0,68	0,7	0,76	0,72	0,715	318	1,68	0,13	33,9
550	27730,98										0,67	0,69	0,73	0,72	0,703	317,7	1,71	0,13	32,7
500	34397,08	0,345	0,36	0,345	0,38	0,358 308,5	1,68	0,26	20,8		0,65	0,67	0,7	0,685	0,676	317,1	1,78	0,14	29,9
450	41063,18										0,635	0,66	0,68	0,65	0,656	316,7	1,83	0,15	28,0
400	47729,78	0,33	0,345	0,34	0,37	0,346 308	1,73	0,27	18,4		0,675	0,64	0,66	0,635	0,64	316,3	1,88	0,15	26,0
350	54595,38										0,605	0,61	0,645	0,61	0,618	315,8	1,95	0,16	25,2
300	61061,48	0,31	0,325	0,33	0,35	0,329 307,7	1,82	0,28	14,2		0,585	0,605	0,63	0,58	0,6	315,4	2,00	0,17	21,3
250	67723,58										0,565	0,59	0,605	0,56	0,58	315	2,08	0,18	18,1
200	74393,68	0,295	0,31	0,315	0,32	0,31 307,3	1,94	0,30	8,5		0,55	0,55	0,585	0,54	0,556	314,4	2,16	0,19	15,0
150	81059,78										0,525	0,525	0,565	0,52	0,534	314	2,25	0,20	11,4
100	87725,88	0,285	0,3	0,305	0,19	0,295 306,9	2,03	0,31	4,2		0,5	0,49	0,54	0,505	0,509	313,4	2,36	0,22	7,1
50	9433,98										0,47	0,47	0,525	0,495	0,49	313	2,46	0,23	3,1
0	101058,08	0,28	0,29	0,29	0,27	0,283 306,7	2,12	0,38			0,455	0,44	0,51	0,49	0,474	312,7	2,54	0,24	

TABELA I

	$I=0,9[A]$ $U=1,37[V]$ $T_c=305,16[K]$ $P_a=100924,754[P_a]$								$I=1[A]$ $U=1,5[V]$ $T_c=299,4$ $P_a=101058,076[P_a]$											
ΔH	$10^3 [cm]$	[Pa]	$10^3 [V]$	$10^3 [V]$	$10^3 [V]$	$10^3 [V]$	[K]	$10^2 \frac{V}{mK}$	$10^2 \frac{W}{mK}$	[%]	[Pa]	$10^3 [V]$	$10^3 [V]$	$10^3 [V]$	$10^3 [V]$	[K]	$10^2 \frac{V}{mK}$	$10^2 \frac{W}{mK}$	[%]	
	P	ΔU_1	ΔU_2	ΔU_3	ΔU_4	ΔU_5	T	π	$\Delta \pi$	$\delta \pi$	P	ΔU_1	ΔU_2	ΔU_3	ΔU_4	ΔU_5	T	π	$\Delta \pi$	$\delta \pi$
	133,322	1,18	1,21	1,25	1,22	1,215	332	1,65	0,21	4,15	133,322	1,64	1,5	1,485	1,48	1,526	333,1	1,59	0,2	4,11
	666,61	1,165	1,21	1,25	1,22	1,211	331,9	1,65	0,21	4,15	666,61	1,58	1,48	1,485	1,48	1,506	332,7	1,62	0,2	4,0,0
	1333,22	1,145	1,18	1,25	1,22	1,198	331,6	1,67	0,21	4,0,8	1333,22	1,58	1,48	1,485	1,47	1,504	332,6	1,62	0,2	4,0,0
	1999,83	1,15	1,18	1,24	1,21	1,195	331,6	1,67	0,21	4,0,8	1999,83	1,58	1,49	1,48	1,45	1,5	332,6	1,62	0,2	4,0,0
	2666,44	1,16	1,15	1,24	1,21	1,19	331,5	1,68	0,21	4,0,8	2666,44	1,57	1,485	1,48	1,43	1,491	332,4	1,63	0,2	39,6
700	7599,4	1,16	1,145	1,24	1,15	1,174	331,1	1,70	0,21	39,7	7732,68	1,56	1,46	1,47	1,32	1,453	331,5	1,67	0,21	38,1
650	14265,5	1,16	1,14	1,24	1,2	1,173	331,1	1,70	0,21	39,7	14398,78	1,48	1,43	1,43	1,31	1,413	330,6	1,72	0,21	36,3
600	20331,6	1,14	1,13	1,21	1,19	1,168	330,9	1,71	0,22	39,4	21064,88	1,36	1,39	1,38	1,3	1,358	329,4	1,79	0,22	33,7
550	27597,6	1,09	1,12	1,15	1,12	1,12	329,9	1,79	0,22	36,5	27730,98	1,3	1,32	1,32	1,29	1,308	328,3	1,86	0,23	31,1
500	34265,8	1,02	1,08	1,1	1,06	1,07	328,8	1,87	0,24	33,7	34397,1	1,26	1,24	1,26	1,24	1,251	327,0	1,94	0,24	28,1
450	40929,9	0,97	1,05	1,06	1,00	1,02	327,7	1,96	0,25	30,5	41063,2	1,24	1,2	1,22	1,2	1,225	326,5	1,99	0,25	26,3
400	47595,9	0,98	0,99	1,04	0,95	0,991	327,1	2,02	0,25	28,4	47729,5	1,22	1,17	1,2	1,17	1,19	325,7	2,04	0,25	24,4
350	54262,1	0,945	0,955	1,02	0,915	0,964	326,5	2,07	0,26	26,6	54395,4	1,2	1,15	1,18	1,15	1,164	325,1	2,09	0,26	22,6
300	60928,2	0,92	0,935	0,93	0,9	0,934	325,8	2,14	0,27	24,1	61062,1	1,16	1,13	1,15	1,08	1,13	324,4	2,15	0,27	20,4
250	67594,2	0,885	0,91	0,95	0,845	0,896	324,9	2,23	0,28	20,9	67727,6	1,14	1,11	1,12	1,02	1,038	323,7	2,23	0,27	17,8
200	74260,4	0,86	0,85	0,9	0,81	0,855	324,1	2,34	0,29	17,0	74593,7	1,12	1,08	1,09	0,955	1,061	322,8	2,29	0,28	15,2
150	80926,5	0,81	0,8	0,87	0,775	0,814	323,1	2,46	0,31	12,8	81059,8	1,09	1,06	1,04	0,925	1,029	322,1	2,36	0,29	12,6
100	87592,6	0,765	0,74	0,84	0,745	0,773	322,2	2,59	0,33	8,2	87725,9	1,06	1,04	0,97	0,885	0,989	321,3	2,46	0,30	8,8
50	94258,7	0,73	0,72	0,805	0,72	0,744	321,6	2,69	0,35	4,6	94391,9	1,03	1,03	0,93	0,86	0,96	320,6	2,53	0,31	6,3
0	100924,8	0,69	0,66	0,78	0,7	0,708	320,8	2,82	0,36	/	101058,1	0,9	0,98	0,91	0,83	0,902	319,3	2,70	0,33	/

TABELA II

	$I = 1,2 \text{ [A]}$ $U = 1,77 \text{ [V]}$ $T_{\text{so}} = 301,16 \text{ [K]}$ $P_{\text{at}} = 101124,737 \text{ [Pa]}$								$I = 1,5 \text{ [A]}$ $U = 2,23 \text{ [V]}$ $T_{\text{so}} = 299,66 \text{ [K]}$ $P_{\text{at}} = 100991,415 \text{ [Pa]}$															
ΔH	10^3 [m]	[Pa]	10^3 [V]	10^3 [V]	10^3 [V]	10^3 [V]	[K]	$10^2 \left[\frac{\text{V}}{\text{mK}} \right]$	$10^2 \left[\frac{\text{V}}{\text{mK}} \right]$	[%]	[Pa]	10^3 [V]	10^3 [V]	10^3 [V]	10^3 [V]	[K]	$10^2 \left[\frac{\text{V}}{\text{mK}} \right]$	$10^2 \left[\frac{\text{V}}{\text{mK}} \right]$	[%]					
	P	ΔU_1	ΔU_2	ΔU_3	ΔU_4	ΔU_5	T	λ	$\Delta \lambda$	$\delta \lambda$	P	ΔU_1	ΔU_2	ΔU_3	ΔU_4	ΔU_5	T	λ	$\Delta \lambda$	$\delta \lambda$				
	133,322	2,0	2,05	2,05	2,02	2,03	347,0	1,70	0,2	41,8	133,322	3,4	3,1	3,1	3,15	3,188	370,1	1,70	0,21	42,4				
	666,61	1,99	2,05	2,05	2,03	2,03	347,0	1,70	0,2	41,8	666,61	3,35	3,05	3,03	3,15	3,145	369,2	1,73	0,22	41,4				
	1333,22	1,98	2,05	2,09	2,04	2,05	347,5	1,68	0,2	42,5	1333,22	3,2	3	3,02	3,15	3,093	368,0	1,75	0,23	40,7				
	1999,83	1,97	2,02	2,09	2,05	2,03	347,0	1,70	0,2	41,8	1999,83	3,1	2,98	3,0	3,1	3,045	367	1,78	0,22	39,7				
	2666,44	1,97	1,95	2,08	2,03	2,01	346,6	1,71	0,2	41,4	2666,44	2,9	2,98	3,0	3,1	2,995	365,8	1,81	0,23	38,6				
700	7799,34	1,96	1,91	2,09	2,01	1,993	346,2	1,73	0,21	40,8	7666,02	2,9	2,97	2,98	3,1	2,988	365,7	1,82	0,23	38,3				
650	14465,44	1,95	1,88	2,08	2,01	1,98	345,9	1,74	0,21	40,4	14331,16	2,82	2,93	2,92	3,05	2,93	364,4	1,85	0,23	37,3				
600	21131,54	1,86	1,85	1,98	1,91	1,908	344,3	1,81	0,21	38,0	20998,21	2,78	2,85	2,84	2,92	2,843	362,5	1,91	0,24	35,3				
550	27727,64	1,79	1,82	1,84	1,8	1,813	342,6	1,90	0,23	34,9	27664,82	2,74	2,69	2,7	2,74	2,718	359,7	2,00	0,25	32,3				
500	34463,74	1,69	1,74	1,76	1,68	1,718	340,1	2,00	0,24	31,5	34530,42	2,7	2,54	2,55	2,59	2,595	357	2,09	0,26	29,2				
450	41129,34	1,62	1,65	1,71	1,61	1,648	358,6	2,09	0,25	28,4	40396,52	2,63	2,45	2,42	2,47	2,508	355,1	2,16	0,27	26,8				
400	47795,34	1,60	1,62	1,66	1,55	1,608	337,7	2,14	0,26	26,7	47662,62	2,68	2,57	2,56	2,58	2,448	357,8	2,22	0,28	24,7				
350	54461,04	1,56	1,58	1,63	1,5	1,568	336,8	2,20	0,26	24,7	54328,72	2,66	2,5	2,32	2,52	2,4	352,7	2,26	0,28	23,4				
300	61128,14	1,53	1,55	1,58	1,47	1,533	336	2,25	0,27	22,9	60394,82	2,58	2,25	2,27	2,24	2,335	351,3	2,32	0,29	21,4				
250	67794,24	1,46	1,48	1,54	1,42	1,475	334,8	2,34	0,28	19,9	67660,92	2,5	2,2	2,23	2,17	2,275	349,9	2,39	0,30	19,0				
200	74460,34	1,44	1,42	1,48	1,36	1,425	333,7	2,42	0,29	17,1	74327,02	2,46	2,16	2,19	2,09	2,225	348,8	2,44	0,31	17,3				
150	81126,44	1,34	1,32	1,44	1,3	1,35	332	2,55	0,31	12,7	80993,12	2,4	2,12	2,13	2,03	2,17	347,6	2,50	0,31	15,2				
100	87792,54	1,28	1,24	1,38	1,25	1,288	330,6	2,67	0,33	8,6	87659,22	2,34	1,98	1,98	1,94	2,06	345,2	2,63	0,33	10,8				
50	94458,64	1,19	1,17	1,34	1,2	1,225	329,2	2,81	0,34	3,8	94325,32	2,27	1,85	1,85	1,88	1,963	343,3	2,76	0,35	6,4				
0	101124,74	1,16	1,1	1,29	1,16	1,178	328,2	2,92	0,35	/	1022914,2	2,0	1,75	1,81	1,8	1,84	340,3	2,95	0,34	/				

$I = 0,5[A]$	$U = 0,74[V]$	$I = 0,7[A]$	$U = 1,06[V]$	$I = 0,9[A]$	$U = 1,37[V]$	$I = 1[A]$	$U = 1,5[V]$	$I = 1,2[A]$	$U = 1,77[V]$	$I = 1,5[A]$	$U = 2,23[V]$
$10^2 \frac{[V]}{[mA]}$	ΔI	$10^2 \frac{[V]}{[mA]}$	ΔI	$10^2 \frac{[V]}{[mA]}$	ΔI	$10^2 \frac{[V]}{[mA]}$	ΔI	$10^2 \frac{[V]}{[mA]}$	ΔI	$10^2 \frac{[V]}{[mA]}$	ΔI
0,89	0,21	29,4	1,44	0,19	36,7	1,38	0,19	43,4	1,38	0,19	42,8
0,89	0,21	29,4	1,25	0,19	36,2	1,39	0,19	43,0	1,4	0,19	41,9
0,89	0,21	29,4	1,26	0,19	35,7	1,40	0,20	42,6	1,4	0,19	41,9
0,91	0,21	27,8	1,26	0,19	35,7	1,42	0,20	41,8	1,41	0,19	41,5
0,91	0,21	27,8	1,26	0,19	35,7	1,42	0,20	41,8	1,41	0,19	41,5
0,93	0,22	26,2	1,28	0,20	34,7	1,44	0,21	41,0	1,45	0,2	39,9
		1,28	0,20	34,7	1,44	0,21	41,0	1,49	0,2	38,2	1,54
0,96	0,22	23,8	1,3	0,21	33,7	1,45	0,21	40,6	1,56	0,2	35,3
		1,32	0,21	32,7	1,51	0,21	38,1	1,61	0,21	33,2	1,70
1,00	0,23	20,6	1,37	0,25	30,1	1,58	0,22	35,2	1,69	0,22	29,9
		1,41	0,26	28,1	1,66	0,23	32,0	1,72	0,23	28,7	1,87
1,03	0,25	18,3	1,45	0,26	28	1,71	0,24	29,9	1,78	0,24	26,2
		1,5	0,27	23,5	1,76	0,24	27,9	1,81	0,25	24,9	1,97
1,08	0,27	14,3	1,55	0,27	20,9	1,85	0,25	25,0	1,89	0,26	21,6
		1,60	0,28	18,4	1,91	0,26	21,7	1,96	0,26	18,7	2,10
1,15	0,28	8,7	1,67	0,29	14,8	2,00	0,27	18,0	2,03	0,27	15,8
		1,74	0,29	11,2	2,11	0,29	13,5	2,10	0,28	12,9	2,31
1,21	0,29	4	1,82	0,30	7,1	2,23	0,31	8,6	2,18	0,28	9,6
		1,89	0,31	3,6	2,31	0,38	5,3	2,25	0,30	5,8	2,56
1,26	0,30	/	1,96	0,32	2,44	0,34	/	2,39	0,31	/	2,66

$P = 101323,2 \text{ [Pa]}$			
$T \text{ [K]}$	$\lambda_x \cdot 10^2 \text{ [m/s]}$	$\lambda_y \cdot 10^2 \text{ [m/s]}$	$\lambda_{PK} \cdot 10^2 \text{ [m/s]}$
306,7	2,12	1,26	2,30
312,7	2,54	1,96	2,37
319,3	2,70	2,44	2,43
320,8	2,82	2,39	2,42
328,2	2,92	2,66	2,46
340,3	2,95	2,75	2,55

TABELA. V

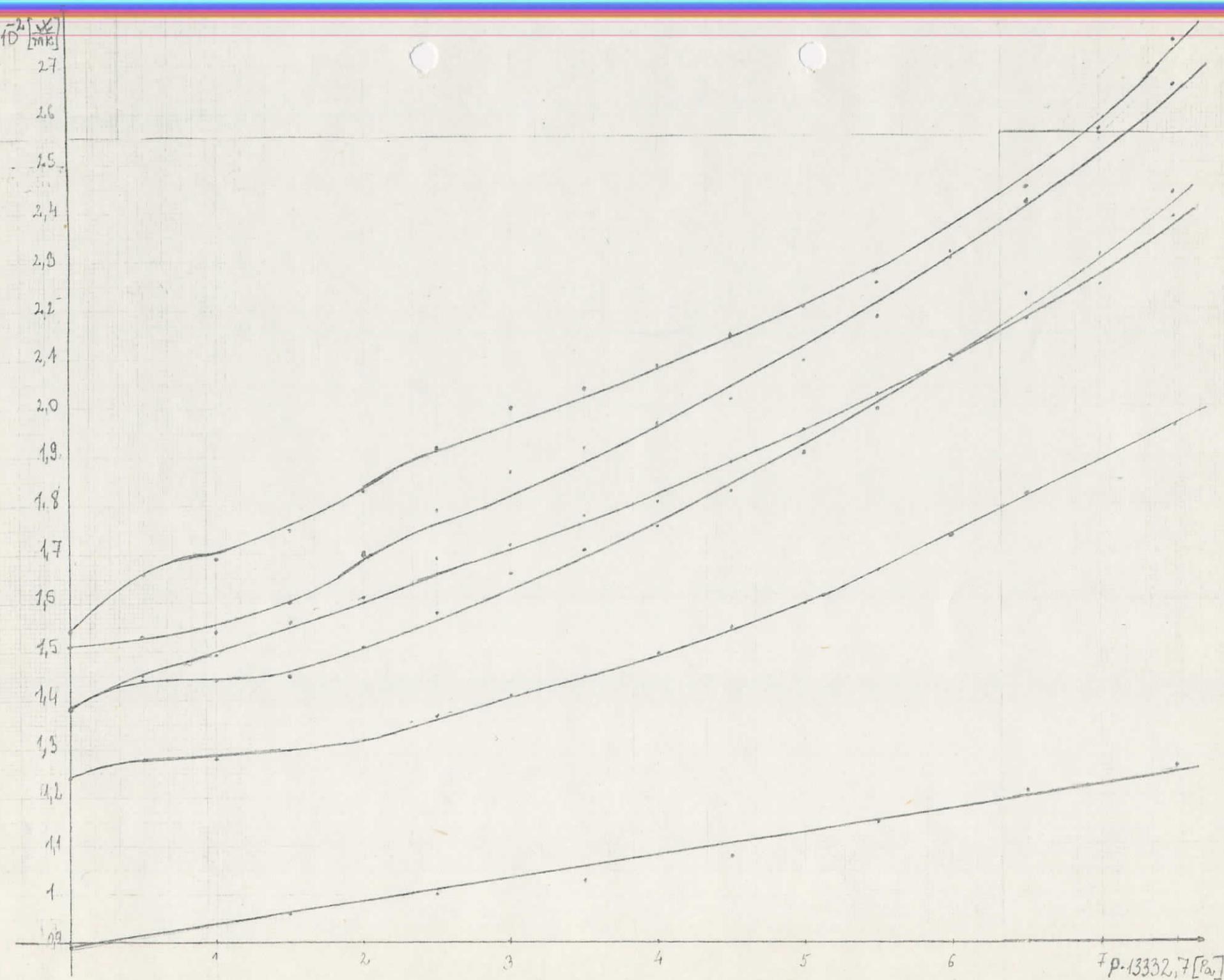
λ_x - koeficijenti kondukcije vazduha pri atmosferskom pritisku iz TABELA I, II, III.

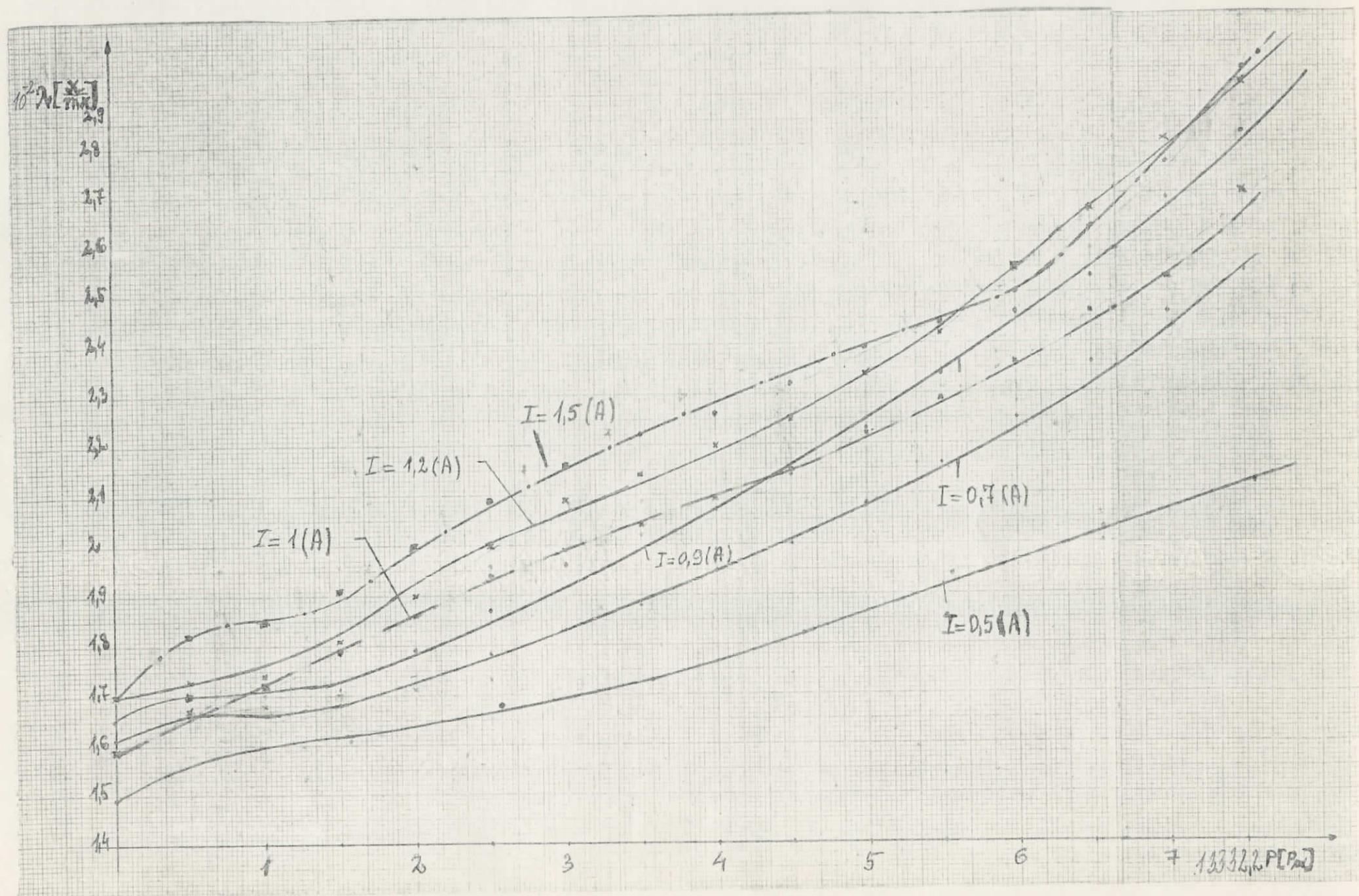
λ_y - koeficijenti kondukcije vazduha pri atmosferskom pritisku iz TABELE IV.

λ_{PK} - koeficijenti kondukcije vazduha pri atmosferskom pritisku iz ruske knjige 5.

GRAFIČKI PRIKAZ TABELE IV

- 27 -





OPŠTI ZAKLJUČAK O KONDUKCIJI VAZDUHA

Na osnovu računskih vrednosti, za koeficijenat kondukcije vazduha, iz tabela može se zaključiti da kondukcija zavisi od pritiska u zatvorenom sistemu. Sa snižavanjem pritiska opada i vrednost koeficijenta kondukcije.

Sa grafika se vidi da kondukciju treba meriti za manje snage grejne niti. Za male snage grejne niti koeficijenat kondukcije skoro linearno opada sa snižavanjem pritiska u cevi.

Smanjivanje provodnosti (toplote) sa smanjivanjem pritiska moglo bi se iskoristiti za termičku izolovanje nekih sistema. Kao primer možemo uzeti prozorske stakle izmedju kojih bi bio razredjen vazduh.

L I T E R A T U R A

1. A.N. Matvejev: Molekularnaja fizika visšaja škola, Moskva, 1981.
2. A.G. Šaškov, G.M., Volohov: Metodi opredelenija teploprovodnosti i temperaturoprovodnosti, energija, Moskva, 1973.
3. Ring Gusztáv - Tóth András: Fizika, Tanköny - vkiadó, Budapest, 1978.
4. F.V. Širs: Uvod u termodinamiku, kinetičku teoriju gasova i statističku mehaniku, Vuk Karadžić, Beograd, 1969.
5. V.S. Čirkin: Teplofizičeskiye svojstva materialov, Gosudarstvenoe Izdateljstvo, Moskva, 1959.
6. Toulokion, Y.S. and C.Y.Hd, E.D: Thermophysical Properties OF matter, Plenum Press, N.Y. 1972.
7. B.Ribar, S.Djurović: Praktikum eksperimentalnih vežbi iz optike, Novi Sad 1978.
8. Editor: Robert, C. Weast, Ph.D.: Handbook of Chemistry and Physics 55 th Edition 1974-1975.
9. L.L. Goldina: Rukovodstvo k laboratornim zanajtijam po fizike, Izdateljstvo, Nauka, Moskva 1973.

S A D R Ž A J

1. Uvod	1
2. Prenos toplotne energije gasovima	2
3. Kondukcija	2
4. Konvektivni prenos toplote	5
5. Prenos topline zračenjem	6
6. Uticaj termodifuzije na toplopravodnost gasovitih smesa	7
7. Temperaturni skok na granici gas-čvrsto telo	9
8. Zakon zračenja apsolutno crnog tela	10
9. Metod koaksialnih cilindara	12
10. Stacionarni metod	12
11. Metod grejne niti	13
12. Aparatura	14
13. Izvodjenje merenja	18
14. Šema	19
15. Tabelarni prikaz eksperimentalnih rezultata i izračunatih veličina	20
16. Tabele i grafici	22
17. Opšti zaključak o kondukciji vazduha	29
18. Literatura	30

