

Práca č. 7

Tepelná vodivosť izolácie a koeficient prechodu tepla vo výmenníku

Cieľ práce:

1. Určiť koeficienty prechodu tepla vo výmenníku tepla a porovnať jeho experimentálne stanovenú hodnotu s vypočítanou.
2. Experimentálne určiť prevádzkovú tepelnú vodivosť a účinnosť tepelnej izolácie potrubia.

Teoretická časť

Výmenníkom tepla nazývame zariadenie, ktoré zabezpečuje transport tepla z horúceho do studeného média. K transportu tepla dochádza vždy, ak sa do kontaktu dostanú dve médiá resp. dve telesá s rôznou teplotou. Z ekonomických dôvodov sa niekedy vyžaduje obmedzenie transportu tepla z povrchu horúcich telies (technologických zariadení, potrubí) do okolia a realizuje sa inštalovaním tepelnej izolácie. Tepelnou izoláciou nazývame materiál s nízkou hodnotou tepelnej vodivosti, ktorý predstavuje výrazný odpor proti transportu tepla.

Transport tepla sa realizuje zvyčajne postupne cez viacero prostredí. Teplo prestupuje z horúcej tekutiny do tuhej steny, cez tuhú stenu a nakoniec z povrchu steny do studenej tekutiny. Takýto kombinovaný prestup nazývame prechodom tepla. Princíp výpočtu pri návrhu výmenníkov tepla ako aj tepelných izolácií je rovnaký. K dispozícii máme dve rovnice entalpickej bilancie (horúceho a studeného média) a rýchlostnú rovnicu prechodu tepla.

Rýchlostná rovnica prechodu tepla vyjadruje vzťah medzi tokom tepla a veľkosťou zariadenia a berie do úvahy vlastnosti všetkých prostredí, ktorými teplo prestupuje. Tok tepla \dot{Q} je priamo úmerný veľkosti izotermickej plochy povrchu steny, cez ktorú k transportu tepla dochádza ako aj rozdielu teplôt v smere transportu tepla. Ak sa teplota médií pozdĺž zariadenia mení, môžeme za izotermickú plochu považovať iba diferenciálny plošný element dA povrchu medzi miestami s rozdielnymi teplotami t_1 a t_2 . Rýchlostnú rovnicu prechodu tepla môžeme napísať v diferenciálnom tvare

$$d\dot{Q} = k(t_1 - t_2)dA \quad (7.1)$$

Rozdiel teplôt horúceho a studeného média $t_1 - t_2$ nazývame hnacou silou prechodu tepla. Koeficient prechodu tepla k číselne predstavuje tok tepla cez jednotku izotermickej plochy pri hnacej sile 1 K. Integráciou diferenciálnej rovnice (7.1) môžeme vypočítať potrebnú veľkosť teplovýmennej plochy (veľkosť výmenníka tepla) potrebnú na transport tepla \dot{Q}

$$A = \int_A dA = \int_{\dot{Q}} \frac{d\dot{Q}}{k(t_1 - t_2)} \quad (7.2)$$

Integrál riešime tak, že najprv za $d\dot{Q}$ dosadíme z entalpickej bilancie buď horúceho alebo studeného prúdu

$$d\dot{Q} = \dot{m}_h \cdot \bar{c}_{ph} \cdot (-dt_h) = \dot{m}_s \cdot \bar{c}_{ps} \cdot dt_s \quad (7.3)$$

Hranice integrálu sú potom závislé od toho, či z rovnice (7.3) zoberieme vyjadrenie pre horúci alebo studený prúd.

Riešenie integrálu (7.2) ďalej závisí od vlastností systému. Pre účely tejto práce sa obmedzíme na prietokový systém v ustálenom stave, pričom treba vziať do úvahy aj smer toku tekutín (súprúdový alebo protiprúdový) ako aj závislosť koeficientu prechodu tepla k a tepelných kapacít médií od podmienok pozdĺž výmenníka tepla.

Ak sa teplota jednej alebo oboch tekutín pozdĺž výmenníka mení, ale hodnoty koeficientu prechodu tepla a tepelných kapacít médií môžeme považovať za konštantné (alebo použijeme stredné hodnoty týchto veličín), integráciou rovnice (7.2) získame nasledujúci tvar rýchlostnej rovnice

$$\dot{Q} = k A (t_1 - t_2)_{LS} \quad (7.4)$$

Symbol $(t_1 - t_2)_{LS}$ označuje logaritmický stred rozdielu teplôt horúceho a studeného média na začiatku (index z) a na konci (index k) výmenníka tepla

$$(t_1 - t_2)_{LS} = \frac{(t_1 - t_2)_z - (t_1 - t_2)_k}{\ln \left[\frac{(t_1 - t_2)_z}{(t_1 - t_2)_k} \right]} \quad (7.5)$$

Pre správny výpočet logaritmického stredy hnacích síl z rovnice (7.5) je dôležité vedieť, či výmenník tepla je súprúdový alebo protiprúdový.

Rovnicu (7.4) môžeme v technických výpočtoch použiť aj vtedy, keď sa hodnota k pozdĺž výmenníka tepla mení, ale pomer najväčšej a najmenej hodnoty nepresiahne 2. V takom prípade na výpočet použijeme strednú hodnotu koeficientu k . V prípade, že sa k mení výraznejšie, integrál (7.2) je nutné riešiť numericky.

Pri transporte tepla cez valcovú stenu zariadenia alebo potrubia sa teplovýmenná plocha zvnútra smerom von zväčšuje. Pre tento prípad sa koeficient prechodu tepla k vzťahuje na vnútornú alebo na vonkajšiu teplovýmennú plochu. Tretia možnosť je vzťahovať ho na jednotku dĺžky potrubia. Rýchlostná rovnica (7.4) potom môže nadobudnúť jeden z nasledujúcich tvarov v závislosti od toho, na čo je vzťahovaný koeficient k .

$$\dot{Q} = k_1 A_1 (t_1 - t_2)_{LS} = k_2 A_2 (t_1 - t_2)_{LS} = k_L L (t_1 - t_2)_{LS} \quad (7.6)$$

Východiskom pre experimentálne stanovenie koeficientu prechodu tepla vo výmenníku je jeden z tvarov rýchlostnej rovnice (7.6). V rovnici (7.6) index 1 sa vzťahuje na vnútornú teplovýmennú plochu A_1 , podobne index 2 na vonkajšiu plochu A_2 a index L na jednotku dĺžky valcového telesa. Potom napr. vzťah pre koeficient prechodu tepla k_L vzťahovaný na jednotkovú dĺžku rúrky pri prestupe tepla cez tuhú stenu rúrky bez usadenín má tvar

$$k_L = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot D_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_r} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot D_2}} \quad (7.7)$$

Symbol α_1 predstavuje súčiniteľ prestupu tepla prúdením z tekutiny s teplotou t_1 do steny charakterizovanej priemerom D_1 . Symbol α_2 predstavuje súčiniteľ prestupu tepla prúdením z vonkajšieho povrchu rúrky s priemerom D_2 do studeného média s teplotou t_2 . Tepelná vodivosť materiálu rúrky je λ_r . Význam symbolov v rovnici (7.7) je zrejmý zo schémy na obrázku 7.1.

Tok tepla, resp. tepelný výkon výmenníka tepla je možné vypočítať z rovníc entalpickej bilancie jednotlivých médií. Pre horúce médium bez zmeny skupenstva platí

$$\dot{Q} = \dot{m}_h \cdot \bar{c}_{ph} \cdot (t_{hz} - t_{hk}) \quad (7.8)$$

Pre studené médium bez zmeny skupenstva platí

$$\dot{Q} = \dot{m}_s \cdot \bar{c}_{ps} \cdot (t_{sk} - t_{sz}) \quad (7.9)$$

V rovniciach (7.8) a (7.9) indexy h resp. s znamenajú horúci resp. studený prúd a indexy z resp. k znamenajú začiatok (vstup) resp. koniec (výstup) príslušného prúdu tekutiny.

V prípade, že straty tepla do okolia je možné zanedbať, tepelné výkony výmenníka tepla v rovniciach (7.4), (7.8) a (7.9) sú rovnaké.

Súčinitele prestupu tepla

Súčiniteľ prestupu tepla prúdením α predstavuje hustotu toku tepla medzi prúdiacim médiom a stenou, s ktorou je tekutina v kontakte, pri rozdielne teplôt 1 K. Hodnoty súčiniteľov prestupu tepla prúdením závisia od termodynamických vlastností tekutín, geometrického usporiadania ako aj hydrodynamického charakteru toku a sú spracované vo forme kritériálnych rovníc, t. j. vzťahov medzi bezrozmernými kritériami. V nasledujúcom texte uvedieme kritériálne rovnice platné pre nútenie prúdenie v rúrkach resp. v medzikruží. V rovniciach sa vyskytujú nasledujúce bezrozmerné kritériá:

$$Nu = \frac{D\alpha}{\lambda} \quad Re = \frac{Dw\rho}{\mu} \quad Pr = \frac{\mu c_p}{\lambda}$$

D - je priemer potrubia alebo ekvivalentný priemer medzikružia,

w - priemerná rýchlosť prúdenia tekutiny v potrubí,

ρ - hustota prúdiacej tekutiny pri strednej teplote tekutiny,

μ - dynamická viskozita prúdiacej tekutiny pri jej strednej teplote,

c_p - stredná špecifická tepelná kapacita tekutiny pri konštantnom tlaku,

λ - tepelná vodivosť tekutiny.

Pre laminárne prúdenie vo vodorovných rúrkach je možné použiť rovnicu autorov Seider a Tate, ktorá platí pre hodnoty $Re < 2100$

$$Nu = 1,86 \left(Re \cdot Pr \cdot \frac{D}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (7.10)$$

kde D je priemer a L je dĺžka rúrky, μ_w je viskozita tekutiny pri teplote steny. Pre prechodný režim prúdenia sa odporúča Hausenova rovnica platná pre $2100 < Re < 10^4$

$$Nu = 0,116 \cdot \left(Re^{\frac{2}{3}} - 125 \right) \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left[1 + \left(\frac{D}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (7.11)$$

Pri turbulentnom toku tekutiny v rúrkach sa hodnota α počíta z nasledujúcej rovnice

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n \quad (7.12)$$

V rovnici (7.12) $n=0,4$ ak sa tekutina v rúrke ohrieva a $n=0,3$ v prípade, že sa ochladzuje. Platnosť rovnice je vymedzená hodnotami $Re > 10^4$; $0,7 < Pr < 17000$; $L/D > 50$.

Rovnice (7.10) až (7.12) je možné použiť aj na výpočet súčiniteľa prestupu tepla prúdením α v potrubíach nekruhového prierezu (teda aj pre medzikružie) s tým, že namiesto priemeru potrubia D použijeme ekvivalentný priemer D_e .

Tepelná izolácia

Nežiadúca výmena tepla medzi povrchom zariadení resp. potrubí a okolím sa znižuje obalovaním povrchu materiálmi s nízkou tepelnou vodivosťou. V závislosti od hrúbky a tepelnej vodivosti použitej tepelnej izolácie sa straty tepla do okolia môžu znížiť až o 95% v porovnaní s neizolovaným povrchom. Účinnosť tepelnej izolácie je daná nasledujúcim vzťahom

$$\eta = \frac{\dot{Q}_n - \dot{Q}_i}{\dot{Q}_n} \quad (7.13)$$

kde \dot{Q}_n a \dot{Q}_i sú toky tepla z neizolovaného a izolovaného povrchu do okolia.

Vzhľadom k tomu, že pre účely stanovenia prevádzkovej tepelnej vodivosti izolácie a jej účinnosti budeme merať hustotu toku tepla z povrchu neizolovaného aj izolovaného potrubia, na výpočet môžeme použiť rýchlostnú rovnicu v tvare

$$\frac{\dot{Q}}{A_2} = \dot{q}_2 = k_2 \cdot (t_1 - t_2) = \frac{t_1 - t_2}{\frac{D_i}{\alpha_1 \cdot D_1} + \frac{D_i}{2 \cdot \lambda_r} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{D_i}{2 \cdot \lambda_i} \ln \frac{D_i}{D_2} + \frac{1}{\alpha_s}} \quad (7.14)$$

Hnacia sila v rovnici (7.14), ktorá je uvedená v čitateli, úzko súvisí s počtom odporov, ktoré sú uvedené v menovateli. Ak budeme v menovateli uvažovať iba odpor proti prestupu tepla cez vrstvu tepelnej izolácie (tretí člen, veľkosťou dominantný), potom v čitateli musí byť rozdiel teploty vnútorného povrchu izolácie t_{i1} a vonkajšieho povrchu izolácie t_{i2} . Potom rovnica (7.14) nadobudne tvar

$$\dot{q}_2 = \frac{t_{i1} - t_{i2}}{\frac{D_i}{2 \cdot \lambda_i} \ln \frac{D_i}{D_2}} \quad (7.15)$$

Rovnica (7.15) je východiskom pre experimentálne stanovenie prevádzkovej tepelnej vodivosti izolácie λ_i . Z nej po úprave dostaneme

$$\lambda_i = \frac{\dot{q}_2 \cdot D_i}{2 \cdot (t_{i1} - t_{i2})} \ln \frac{D_i}{D_2} \quad (7.16)$$

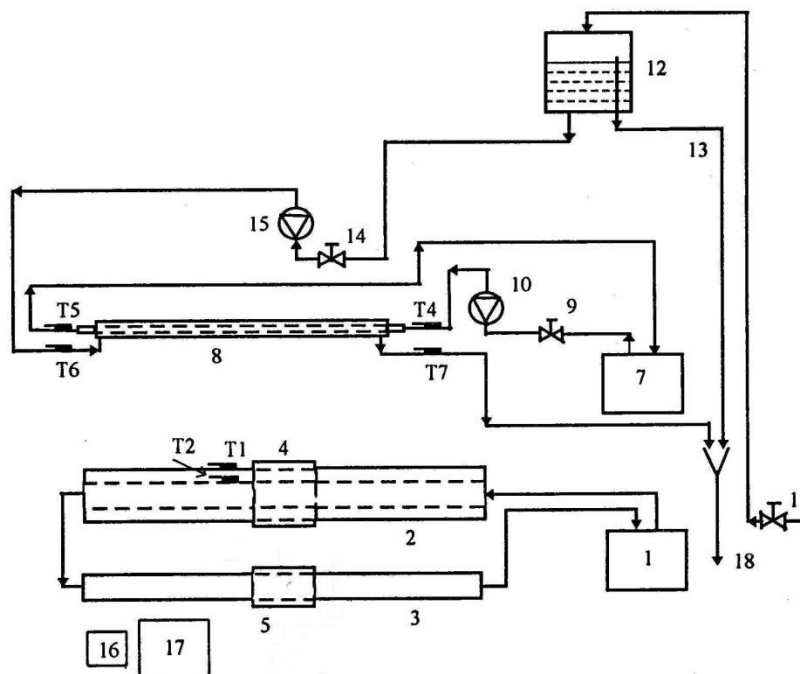
Zadanie práce

1. Určte hodnoty koeficientu prechodu tepla vo výmenníku. Merania vykonajte pri piatich objemových prietokoch chladiacej vody \dot{V} [$\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$],,,, Objemový prietok horúcej vody je $\dot{V}_0 = \dots\dots\dots \text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Teplota vody v termostate je°C.
2. Pre podmienky tretieho merania vypočítajte koeficient prechodu tepla pomocou kritériálnych rovníc a porovnajte ho s koeficientom získaným experimentálne.
3. Určte účinnosť a prevádzkovú tepelnú vodivosť tepelnej izolácie. Teplota horúceho média v termostate je °C.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Opis zariadenia

Schéma zariadenia je uvedená na obr. 7.1. Zariadenie tvoria dva samostatné okruhy, ktorými oddelene preteká ohriata voda z termostatov. Jeden okruh je zostavený pre meranie na výmenníku tepla typu rúrka v rúrke. Na obr. 7.1 je výmenník tepla znázornený ako jedno nerozdelené teleso. V skutočnosti je výmenník tepla tvorený dvomi rovnakými úsekmi zapojenými za sebou (do série). Vnútoraná rúrka, v ktorej tečie teplá voda, prechádza z jedného do druhého úseku oblúkom, ktorý je tepelne izolovaný polystyrénom. Medzirúrkový priestor, v ktorom preteká chladiaca voda, je prepojený krátkou hadicou. Vstup aj výstup z výmenníka tepla je osadený ventilmi (v schéme nie sú zakreslené) tak, aby bolo možné nastaviť súprúdový alebo protiprúdový tok horúceho a studeného média. Schéma na obr. 7.1 znázorňuje protiprúdové usporiadanie toku médií.



Obr. 7.1: Schéma zariadenia na meranie prestupu tepla.

1, 7 – termostaty, 2 – izolované potrubie, 3 - neizolované potrubie, 4,5 – snímače hustoty toku tepla do okolia, 8 – výmenník tepla, 9, 14 – regulačné ventily, 10, 15 – rotametre, 11 – ventil vodovodnej siete, 12 – zásobná nádrž na vodu, 13 – prepadová rúrka, 16 – analógovo-digitálny prevodník, 17 – osobný počítač, T1 – termočlánok na vonkajšom povrchu izolácie, T2 - termočlánok na vnútornom povrchu izolácie, T4, T5, T6, T7 – termočlánky na meranie vstupnej a výstupnej teploty horúceho a studeného média.

Druhý okruh je tvorený dvomi rovnakými, súbežnými potrubiami, ktoré sú prepojené oblúkom. Jedno potrubie je pokryté tepelnou izoláciou a druhé je neizolované.

Okruh s tepelnou izoláciou.

Čerpadlo termostatu 1 plní funkciu obehového čerpadla a zabezpečuje prietok teplej vody najprv cez izolované potrubie 2, potom cez neizolované potrubie 3 späť do termostatu 1. Teplotu na povrchu tepelnej izolácie sníma termočlánok T1 a teplotu na vnútornom povrchu izolácie termočlánok T2. Teplota na povrchu neizolovaného potrubia sa nemeria. Na vonkajšom povrchu tak izolácie ako aj neizolovaného potrubia sú umiestnené snímače hustoty toku tepla z povrchu do okolia. Tieto snímače sú tvorené množstvom termočlánkov zapojených do série. Tieto indikujú napätie v mV, ktoré je úmerné hustote toku tepla cez tento snímač.

Okruh s výmenníkom tepla.

Čirkuláciu teplej vody vo vnútornej rúrke výmenníka tepla 8 zabezpečuje čerpadlo termostatu 7. Voda preteká cez rotameter 10 a regulačným ventilom 9 sa nastavuje jej požadovaný prietok. Termočlánkami je meraná jej vstupná teplota T4 aj výstupná teplota

T5. Ako chladiace médium slúži studená voda z vodovodu, ktorá sa ventilom 11 púšťa z vodovodnej siete do zásobnej nádrže 12. V tejto nádrži je snímač výšky hladiny vody, ktorý je spojený so solenoidovým ventilom umiestneným na privodnej vetve z vodovodu. Potrebná výška hladiny vody sa zabezpečuje automaticky. Zo zásobnej nádrže 12 studená voda prúdi cez regulačný ventil 14 a rotameter 15 do medzirúrkového priestoru výmenníka tepla. Teplota chladiacej vody na vstupe aj výstupe z výmenníka tepla sa meria termočlánkami T6 a T7.

Meranie teploty

Teplota na všetkých miestach v zariadení sa meria pomocou termočlánkov typu K (NiCr-Ni). Analógový signál z termočlánkov v mV sa digitalizuje v prevodníku 16 a vo forme teploty sa zobrazuje na obrazovke osobného počítača 17 v časovom intervale 5 sekúnd.

Pracovný postup

1. Všetky činnosti vykonávame so súhlasom vedúceho cvičenia. Vedúci cvičenia určí, či výmenník tepla bude zapojený ako súprúdový alebo protiprúdový.
2. Nastavíme zadané teploty na termostatoch 1 a 7 a uvedieme ich do činnosti.
3. Otvoríme ventil 11 čím pripojíme zásobnú nádrž 12 na vodovodnú sieť. Súčasne zapneme vypínač na nosnej konštrukcii týkajúci sa solenoidu a tým uvedieme do činnosti obvod na udržiavanie konštantnej výšky hladiny v zásobnej nádrži 12.
4. Regulačné ventily 9 a 14 otvoríme úplne a tým zabezpečíme maximálny prietok horúceho a studeného média cez výmenník tepla. Sledujeme transport bublín vzduchu prúdmi vystupujúcich médií. Týmto spôsobom odvzdušníme výmenník tepla a následne ventily 9 a 14 nastavíme do polohy odpovedajúcej prietokom médií v zadaní práce.
5. Keď teplota v termostate 7 dosiahne zadanú hodnotu, uvedieme do činnosti osobný počítač. Merania vykonávame najprv na výmenníku tepla.
6. Cez okruh s izolovaným potrubím pritom cirkuluje voda z termostatu 1 a počas meraní na výmenníku tepla sa ustávajú teplotné pomery.

Meranie na okruhu s výmenníkom tepla

1. Regulačným ventilom 14 nastavíme predpísaný prietok studenej vody a ventilom 9 predpísaný prietok teplej vody. Využijeme na to kalibračné grafy príslušných rotametrov, ktorú sú v dokumentácii práce. Kontrolujeme konštantnosť nastavených hodnôt prietokov a súčasne sledujeme na monitore počítača vývoj teplôt obidvoch médií. Po ustálení vstupných aj výstupných teplôt horúcej a studenej vody – termočlánky T4, T5, T6, T7, zaznamenáme ich hodnoty do tabuľky 7.1.
2. Postupne nastavujeme ďalšie zadané hodnoty objemového prietoku chladiacej vody a pri každom z nich po ustálení tak prietokov ako aj teplôt obidvoch médií zapíšeme príslušné hodnoty do tabuľky 7.1.

Meranie na okruhu s izolovaným potrubím

1. Na obrazovke osobného počítača sledujeme vývoj a ustálenosť teplôt indikovaných termočlánkami T1 a T2 ako aj hodnôt napätia v mV indikovaných snímačmi hustoty

toku tepla 4 a 5. Predpokladá sa, že počas vykonávania meraní na výmenníku tepla bol dostatok času na ich ustálenie.

2. Všetky 4 uvedené ustálené hodnoty zaznamenáme do tabuľky 7.2.

Ukončenie merania

1. Uzavrieme ventily 9, 11 a 14 a vypneme termostaty 1 a 7.
2. Vypneme obvod na automatické udržiavanie výšky hladiny v zásobnej nádrži 12.
3. Vypneme osobný počítač.

Bezpečnostné opatrenia

Počas merania sledujeme nastavenú teplotu na termostatoch. Pri stúpaní teploty nad nastavené hodnoty alebo pri inej poruche, ktorá sa vyskytne na okruhoch teplej vody, termostaty vypneme a poruchu nahlásime vedúcemu cvičenia.

SPRACOVANIE NAMERANÝCH ÚDAJOV

Meranie na výmenníku tepla

1. Pre každý prietok vody určíme hnacie sily prechodu tepla na začiatku aj konci výmenníka tepla a zapíšeme ich to tabuľky 7.1.
2. Vypočítame logaritmický stred hnacích síl z rovnice (7.5) a zaznamenáme do tab. 7.3.
3. Z nameraných údajov a z entalpických bilancií horúceho a studeného prúdu – rovnice (7.8) resp. (7.9) vypočítame toky tepla \dot{Q}_H a \dot{Q}_S a zaznamenáme ich do tabuľky 7.3.
4. Z rovnice (7.4) vypočítame pre jednotlivé merania hodnoty koeficientov prechodu tepla k_{Lexp} vzťahnutých na 1 m dĺžky rúrky a zaznamenáme ich do tabuľky 7.3.
5. Pre získanie vypočítanej hodnoty koeficienta prechodu tepla k_{Lexp} pre tretie meranie v poradí vypočítame najprv hodnoty Re kritérií, pričom vlastnosti horúceho aj studeného prúdu vyhladáme v tabuľkách pri strednej teplote každého z prúdov. Ďalšie potrebné údaje sú uvedené v dokumentácii k práci.
6. Strednú teplotu steny t_w pri podmienkach experimentu určujeme iteračne. Najprv hodnotu t_w zvolíme a podľa hodnoty Re kritéria vyberieme vhodnú rovnicu na výpočet Nu kritéria. Následne vypočítame súčinitele prestupu tepla prúdením α_1 a α_2 .
7. Iteračný proces opakujeme dovtedy, kým nie je splnená podmienka, že tok tepla z horúceho média do steny rúrky sa nerovná toku tepla cez stenu rúrky a súčasne toku tepla z povrchu rúrky do studeného média. Teda musí platiť nasledujúca rovnosť

$$\alpha_1 \cdot A_1 \cdot (t_1 - t_{w1}) = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{\delta_r}{\lambda_r \cdot A_{LS}}} = \alpha_2 \cdot A_2 \cdot (t_{w2} - t_2)$$

Po zjednodušení táto rovnica nadobudne tvar

$$\alpha_1 \cdot D_1 \cdot (t_1 - t_{w1}) = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_r \ln \frac{D_2}{D_1}}} = \alpha_2 \cdot D_2 \cdot (t_{w2} - t_2)$$

D_1 a D_2 sú vnútorný resp. vonkajší priemer vnútornej rúrky výmenníka tepla a λ_r je tepelná vodivosť materiálu rúrky. Za teploty t_1 a t_2 dosadzujeme stredné teploty horúceho

resp. studeného prúdu. Až keď dospejeme k stavu, že bude platiť vyššie uvedená rovnosť, potom budeme mať správne hodnoty súčiniteľov prestupu tepla prúdením α_1 a α_2 a môžeme pristúpiť k výpočtu koeficientu prechodu tepla $k_{L_{vyp}}$ použijúc rovnicu (7.7).

8. Stanovíme relatívnu odchýlku δ_k hodnoty $k_{L_{vyp}}$ od experimentálne zistenej hodnoty $k_{L_{exp}}$. Konečné výsledky meraní a výpočtov zostavíme do tabuľky 7.3.

Meranie na potrubí

1. Zo vzťahu $\dot{q} = C \cdot E$ vypočítame hustotu toku tepla z povrchu izolovaného \dot{q}_i aj neizolovaného potrubia \dot{q}_n . Konštanty C sú pre každý snímač hustoty toku tepla uvedené v dokumentácii práce.
 2. Pristúpime k výpočtu prevádzkovej tepelnej vodivosti izolácie λ_{ip} využijúc rovnicu (7.16).
 3. Zo vzťahu $\dot{Q} = \dot{q} \cdot A = \dot{q} \cdot \pi \cdot D$ vypočítame tok tepla z povrchu izolovaného \dot{Q}_i aj neizolovaného úseku potrubia \dot{Q}_n o dĺžke 1 meter. Potom zo vzťahu (7.13) vypočítame účinnosť použitej tepelnej izolácie.
- Výsledky týchto výpočtov zapíšeme do tabuľky 7.4.

Tabuľka 7.1: Záznam o meraniach na výmenníku tepla

<i>Prietok horúceho média $\dot{V}_H =$ $dm^3 \cdot min^{-1}$</i>				
<i>Výmenník tepla bol zapojený ako</i>				
<i>Prietok studeného média \dot{V}_S</i>	<i>Médium</i>	<i>Termočlánok číslo</i>	<i>Teplota</i>	<i>Rozdiel teplôt</i>
<i>[$dm^3 \cdot min^{-1}$]</i>			<i>[°C]</i>	<i>[°C]</i>
	H	T4		
	S	T7		
	H	T5		
	S	T6		
	H	T4		
	S	T7		
	H	T5		
	S	T6		
	H	T4		
	S	T7		
	H	T5		
	S	T6		
	H	T4		
	S	T7		
	H	T5		
	S	T6		
	H	T4		
	S	T7		
	H	T5		
	S	T6		

Tabuľka 7.2: Záznam nameraných údajov na potrubí

Potrubie	Miesto	Snímač	E [mV]	Teplota [°C]
Izolované	Vonkajší povrch izolácie	T1	-	
	Vnútorný povrch izolácie	T2	-	
	Hustota toku tepla	C= W.m ⁻² .mV ⁻¹		-
Neizolované	Hustota toku tepla	C= W.m ⁻² .mV ⁻¹		-

Tabuľka 7.3: Výsledky výpočtov pre výmenník tepla

<i>Re</i> ₂ (studená voda)	Miesto	ΔT [K]	$(\Delta T)_{LS}$ [K]	\dot{Q}_H [W]	\dot{Q}_S [W]	<i>k</i> _{Le^{exp}} [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
	začiatok					
	koniec					
	začiatok					
	koniec					
	začiatok					
	koniec					
	začiatok					
	koniec					
	začiatok					
	koniec					

Koeficient prechodu tepla *k*_{L^{ryp}} pre podmienky tretieho merania
Horúce médium:

$$\dot{Q}_1 = \quad W \quad w_1 = \quad m.s^{-1} \quad Re_1 = \quad \alpha_1 = \quad W.m^{-2}.K^{-1}$$

Studené médium:

$$\dot{Q}_2 = \quad W \quad w_2 = \quad m.s^{-1} \quad Re_2 = \quad \alpha_2 = \quad W.m^{-2}.K^{-1}$$

$$k_{Lryp} = \quad W.m^{-2}.K^{-1}$$

$$k_{Lexp} = \quad W.m^{-2}.K^{-1} \quad \delta_k = \quad \%$$

Tabuľka 7.4: Výsledky výpočtov z meraní na potrubí

T1 [°C]	T2 [°C]	\dot{q}_i [W.m ⁻²]	\dot{q}_n [W.m ⁻²]
\dot{Q}_i [W]	\dot{Q}_n [W]	λ_{ip} [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	η [%]

Otázky na diskusiu

1. Aký vplyv má odpor steny rúrky na výsledný koeficient prechodu tepla ?
2. Obhájte správnosť vypočítanej hodnoty prevádzkovej tepelnej vodivosti izolácie pomocou údajov v chemicko-inžinierskych tabuľkách.
3. Akým postupom by ste určili optimálnu hrúbku tepelnej izolácie horúceho zariadenia resp. potrubia?