

**STUDIE PROBLEMATIKY
SNIŽOVÁNÍ ENERGETICKÝCH ZTRÁT
A ZVÝŠENÍ SPOLEHLIVOSTI PŘI DODÁVKÁCH TEPLA**

2007

Název publikace: **STUDIE PROBLEMATIKY
SNIŽOVÁNÍ ENERGETICKÝCH ZTRÁT A ZVÝŠENÍ
SPOLEHLIVOSTI PŘI DODÁVKÁCH TEPLA**

Evidenční číslo: **222004 7215**

Vypracoval: **Ing. Karel Zelený**

Ředitel: **Ing. Václav Šrámek**

Datum: **září 2007**

Anotace:

Účelem této studie je detailním způsobem seznámit především energetické auditory, pracovníky energetického poradenství, projektanty a pracovníky z oblasti realizace o možnostech zajišťování bezpečného a spolehlivého zásobování objektů a odběratelských soustav teplem, snižování ztrát tepla v potrubních soustavách při zásobování teplem z různých tepelných zdrojů.

Z hlediska energetických ztrát a způsobu získávání energetických úspor jsou rozvody tepla nejen technologicky a hospodářsky významné, ale taky stále ze značnou energetickou náročností, zvláště u starších provozovaných potrubních soustav.

Doprava tepla je obecně velmi rozšířená a její používání zahrnuje všechny způsoby dodávek tepla, jak pro oblast průmyslových podniků, tak především pro soustavy CZT zásobující bytový fond.

Náplň a obsah práce:

Studie obsahuje celkem tři hlavní samostatné části, volně na sebe navazující a to:

1. Úvod a stručná charakteristika způsobů sdílení tepla za různých, v praxi se vyskytujících podmínek u potrubních systémů. V úvodní části je také uvedena část, zabývající se principy provedení potrubních rozvodů, jejich uložení a provozování v různých provozních podmínkách s různými dopravovanými teplotními médii. Uvedeny jsou základní provozní charakteristiky a posuzování vhodných druhů potrubních soustav, jejich výhody a provozní ekonomika. Konceptní řešení, volba CZT a DCZT z hlediska dopravy tepla, řešení TV v letních měsících a podobně.
2. Provozně technická část, ve které jsou probrány provozní problémy dostupných izolačních materiálů vhodných pro izolace tepelných rozvodů a výpočet tepelných ztrát pro jejich uložení a vedení v různých teplotních poměrech:
 - ve vnitřních prostorách bez venkovních vlivů
 - vzdušná vedení na potrubních mostech
 - vedení v neprůlezných kanálech, jednoduché i vícenásobné potrubní soustavy
 - vedení v kolektorech, jednoduché i vícenásobné potrubní soustavy
 - bezkanálová uložení potrubí

Příklady energetického posuzování ve prospěch energetických úspor, možnosti snižování tepelných ztrát a podobně.

Pozornost je zaměřena také na ekonomické hodnocení energetických úspor podle druhu teplotní látky a způsobu provedené izolace. Hospodárná tloušťka izolace, výhody a nevýhody některých řešení. Zásady vedoucí ke zhuštění provozu e energetickým úsporám.

3. Tabulkové a grafické přílohy

Studie je doplněna především četnými potřebnými početními příklady a grafy pro určení tloušťky izolace a v praxi nejčastěji používaných potrubních uložení. Uvedeny jsou tabulky s přehledem celkových ztrát izolovaných potrubí, dosahovaných specifických nákladů na realizaci požadovaného provedení izolace podle používaných nositelů energie.

1.0 Úvod

Největší podíl na spotřebě vyráběné energie představuje vytápění a příprava teplé vody pro rodinné domky, bytové domy, objekty služeb a objekty průmyslové. Vyrobené teplo pro vytápění a přípravu TV se vyrábí v různých zdrojích tepla a z různých druhů paliv. Od zdrojů tepla je pak pomocí rozvodů tepla dopravováno ke konečným spotřebitelům.

Stále rostoucí ceny vstupních paliv pro výrobu tepla vedou k maximálnímu využívání zásad hospodárnosti jak při výrobě tepla, tak i při jeho dopravě v tepelných potrubních sítích a předávacích stanicích. Vlivem rostoucích cen tepla, zvláště pro obyvatelstvo, roste zájem o informace, jaké jsou možnosti úspor při dodávkách tepla, mezi zdroji tepla a konečnými spotřebiteli.

Je dlouhodobě prokázáno, že pouze dokonale vyvážená potrubní soustava opatřená vhodnou izolací může být provozovaná s nejvyšší hospodárností.

Prováděním tepelných potrubních sítí se zabývají většinou odborné firmy, které v této oblasti mají dostatečné znalosti i zkušenosti. I přes tyto skutečnosti se mezi nimi vyskytují i firmy neseřízní, které investorům nabídnou nižší cenu za realizaci teplovodních rozvodů a dílo sotva přežije záruční období. V řadě případů jsou často tyto případy nepostižitelné a mohou způsobit řadu škod a nehospodárností.

Účelem tohoto produktu je detailním způsobem seznámit především energetické auditory a pracovníky energetického poradenství o možnostech zajišťování bezpečného a spolehlivého zásobování objektů a odběratelských soustav teplem, snižování ztrát tepla v potrubních soustavách zásobování teplem pro vytápění a přípravu užitkové vody z různých tepelných zdrojů.

Z hlediska energetických ztrát a způsobů získávání energetických úspor jsou rozvody tepla nejen technologicky a hospodářsky významné, ale taky stále se značnou energetickou náročností, zvláště u starších provozovaných potrubních soustav.

Doprava tepla je obecně velmi rozšířená a její používání zahrnuje všechny způsoby dodávek tepla jak pro oblast průmyslových podniků, tak především pro soustavy CZT.

Potřeba a naléhavost zpracování tohoto produktu vznikla také vydáním vyhlášky 151/2001 Sb., která novým způsobem přistupuje k hodnocení izolací potrubí a tloušťek izolací, včetně jejich optimalizací v případech venkovních potrubních vedení tepla.

Smyslem této publikace je v širších souvislostech orientačně informovat o problematice rozvodů tepla a jeho dopravě ke spotřebitelům. Je pochopitelné, že nebylo možno v plné šíři vyčerpat problematiku v tak rozsáhlé oblasti.

Práce je rozdělena do dvou základních částí, kdy po stručné teoretické rekapitulaci základních vztahů následují kapitoly s řešením konkrétních případů z praxe. Kapitoly jsou doplněny řadou řešených příkladů z technické praxe, na kterých může uživatel získat nejen poznatky, jak se případy řeší, ale také názor na výši úspor energie v konkrétních případech. Jedná se zvláště o případy náhrady starých dožitých izolací za nové, které předepisuje vyhláška 151/2001 Sb. a realizace nových tepelných rozvodů.

2.0 Potrubní rozvody a tepelné sítě, teplovodní, horkovodní a parní

2.1 Tepelné rozvody obecně

Tepelné rozvody jsou nedílnou součástí u soustav pro zásobování teplem, které tvoří zdroje tepla, tepelné sítě a odběratelské předávací stanice.

Vlastní tepelná síť sestává z tepelných napáječů, které jsou zpravidla nazývány jako primární rozvody tepla, z přípojek předávacích stanic, z předávacích stanic a potrubních rozvodů sekundárních, kterými je teplo z předávacích stanic o vhodných parametrech dodáváno k jednotlivým spotřebitelům.

Vymezení příslušných pojmů z oblasti tepelných rozvodů je v ČSN 38 3350.

Podle používaných nositelů tepla lze tepelné sítě rozdělit na vodní a parní.

Podle výše používané teploty a tlaku nositelů tepla rozeznáváme soustavy :

- teplovodní s teplotou do 110 °C
- horkovodní s teplotou nad 110 °C obvykle do 150 °C, ojediněle však 180 - 200 °C
- parní nízkotlaké s tlakem max. do 0,05 MPa
- parní středotlaké se sytou nebo přehřátou párou o přetlaku do 1 MPa, ojediněle až 2 MPa s teplotou přehřátí do 300 °C

Pro účely vytápění se jako nositel tepla používá výhradně voda, pára pouze v ojedinělých zvláštních případech, pokud to vyžaduje technologické zařízení.

U tepelných rozvodů jsou pro energetického auditora zpravidla důležité otázky, kam je nutno zaměřit pozornost :

- dimenzování potrubí
- hydraulické ztráty potrubí
- tepelné ztráty izolovaných potrubí s různým způsobem uložení

2.2 Proudění tekutin v potrubí

Jevy proudění tekutin v potrubí jsou popisovány a řídí se dvěma základními zákony a to :

- zákonem o zachování hmoty, ze kterého vyplývá rovnice kontinuity nebo jinak řečeno rovnice spojitosti
- zákonem o zachování energie, ze kterého jsou odvozovány vztahy pro analýzu poměrů tlakových ztrát , především Bernoulliho rovnice

Zákon o zachování hmoty vyjadřuje ekvivalenci protékající hmoty mezi dvěma navazujícími průřezy a říká, že pokud protéká prvním sledovaným průřezem S_1 za jednotku času hmota M_1 musí protékat navazujícím průřezem S_2 za stejný čas stejná hmota.

Matematicky je tento zákon vyjadřován vztahem : $M_1 = M_2 = M \dots\dots \text{kg} / \text{s}$

$$M_1 = M_2 = M = Q \cdot \rho = S \cdot w \cdot \rho = \text{konst.}$$

Pokud průtočný průřez je kruhový, pak platí :

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = 0,785 \cdot d^2, \quad O = 0,785 \cdot d^2 \cdot w, \quad M = 0,785 \cdot d^2 \cdot w \cdot \rho$$

Z posledního vztahu vychází vzorec pro orientační výpočet průměru potrubí :

$$d = \sqrt{\frac{M}{0,785 \cdot w \cdot \rho}} \dots\dots\dots \text{m}$$

kde značí :

M	- hmota protékající látky	kg / s
O	- průtočný objem	m ³ / s
S	- průtočný průřez potrubí	m ²
d	- průměr potrubí	m
w	- rychlost proudění tekutiny v potrubí	m / s
ρ	- měrná hmotnost proudící látky	kg / m ³

Vnitřní průměr potrubí d se stanoví podle uvedeného vzorce pro zvolenou rychlost proudění w jako odhad a potom se provádí kontroly na úbytky tlaku proudícího média. Je třeba si uvědomit, že při vhodné volbě rychlosti proudění bude u krátkých jednoduchých potrubních tras budou úbytky tlaku malé proti trasám dlouhým, složitě rozvětveným. Tomu je třeba přizpůsobit i vhodnou velikost rychlosti proudění.

Zákon o zachování energie stanoví, že při průtoku potrubím je součet energie potenciální E_h, energie tlakové E_p, energie kinetické (rychlostní) E_w a vnitřní energie tepelné E_u je v každém průřezu proudění konstantní a je roven celkové vstupní energii E.

Což lze matematicky vyjádřit vztahem :

$$E = E_h + E_p + E_w + E_u \dots\dots\dots \text{J}$$

tento vztah však platí pro případ proudění beze ztrát

Při uvažování proudění mezi dvěma průřezy s uvažováním ztrát potom ve skutečnosti dochází při průtoku ke ztrátám a energie v konečném průřezu bude o hydraulické ztráty menší než v průřezu počátečním. Což lze vyjádřit :

$$E_1 = E_2 + E_z, \quad \text{kde} \quad E_z = \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot M \dots\dots\dots \text{J}$$

Bernoulliho rovnice v obecném tvaru pro dva uvažované průřezy při průtoku jednotkové hmoty pak bude :

$$h_1 \cdot g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{w_1^2}{2} + u_1 = h_2 \cdot g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{w_2^2}{2} + u_2 + \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{w_1^2}{2} \dots\dots\dots \text{J / kg}$$

kde značí :

$h_{1,2}$	- výškové odlehlosti průřezů nad zvolenou svislou rovinou	m
$p_{1,2}$	- tlak tekutiny uvnitř potrubí	Pa
$w_{1,2}$	- rychlost proudění tekutiny v průřezu 1 a 2	m / s
$u_{1,2}$	- vnitřní tepelná energie	J / kg
λ	- součinitel hydraulického tření	
l	- délka potrubí	m
d	- průměr potrubí	m
$\Sigma \xi$	- součet součinitelů místních odporů (armatury, ohyby, zúžení)	

Součinitelé hydraulického tření a součinitelé místních odporů jsou zpracovány tabelárně a jsou uvedeny v publikaci „ Potrubí a armatury „Míkula a kolektiv.

Pro výpočet hydraulických ztrát v potrubí v úseku mezi počátečním a konečným sledovaným úsekem se s výhodou používá Weissbachův vzorec, který má tvar :

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = \frac{0,811 \cdot \lambda \cdot l \cdot M}{\rho \cdot d^5} \dots\dots\dots \text{Pa}$$

Kde $L = l \left(1 + \Sigma \xi \cdot \frac{\lambda}{d} \right)$ je rovnocenná délka potrubí kde místní odpory jsou zde zahrnuty násobkem délky rovného potrubí.

Z Weissbachova vztahu pak vyplývá pro zvolenou nebo zcela konkrétní tlakovou ztrátu Δp a rovný úsek potrubí, kde proudící látka má zhruba konstantní teplotu, výraz pro průměr potrubí :

$$d = \sqrt[5]{\frac{0,811 \cdot \lambda \cdot l \cdot M}{\rho \cdot \Delta p}} \dots\dots\dots \text{m}$$

Pokud mezi sledovanými průřezy potrubí proudí stlačitelná média jako jsou plyny a páry při větších rozdílech tlaků a teplot je nutné používat pro výpočet průměru potrubí následujících vztahů :

$$d_1 = \sqrt[5]{\frac{1,622 \cdot M^2 \cdot p_1 \cdot L}{\rho_1 \cdot (p_1^2 - p_2^2)}} \dots\dots\dots \text{m} , \quad d_2 = \sqrt[5]{\frac{1,622 \cdot M^2 \cdot p_2 \cdot L}{\rho_2 \cdot (p_1^2 - p_2^2)}} \dots\dots\dots \text{m}$$

indexy 1 a 2 značí stavy na začátku a konci hodnoceného úseku potrubí

S kontrolou nebo analýzou průměru potrubí se může energetický auditor setkat ve všech případech, kdy jde o starší potrubní síť a nově vzniklé požadavky na dodávky média jsou odlišné od původní koncepce a nebo, zvláště u parních soustav dochází ke snižování tlaku a tím i k nárůstu měrného objemu páry a v potrubí dochází k vysokým rychlostem proudění a tedy i k velkým hydraulickým ztrátám. Možnosti přenosu se stávají značně omezené a je třeba rozhodovat o případné rekonstrukci rozvodů. Podobně platí i o potrubích plynových.

3.0 Tepelná izolace potrubí - ztráty tepla proudícího média

Izolace potrubí proti ztrátám tepla nebo chladu se provádí především z ekonomických důvodů, ale i proto, aby při teplotách vyšších než okolí nebylo okolí nadměrně ohříváno a tím nebylo ohrožováno zdraví pracovníků a nebo aby se potrubí při teplotách nižších než okolí neorochovalo.

Izolace všech potrubí je upravována ČSN 38 3360 s tím, že vratná potrubí tepelných soustav a potrubí na vracení kondenzátu u parních soustav není doporučováno izolovat, pokud se prokáže ekonomická nevýhodnost. V praxi se vratná potrubí tepelných rozvodů zpravidla izolují. Vratná kondenzátní potrubí se obvykle neizolují nejen z důvodů pořizovacích nákladů, ale i pro nebezpečí vnějších korozí vlivem zvlhlé tepelné izolace.

Tepelná izolace se zpravidla pokládá na povrch potrubí a nebo se izolační hmotou vyplňuje prostor určený pro uložení potrubí, což je případ méně častý. Tepelná izolace přírubových spojů, armatur, ucpávkových kompenzátorů se provádí zpravidla snímatelnými izolačními kryty a pouzdry.

Tloušťka tepelné izolace je buď podřizována požadavkům technologie, kdy se přísně vyžaduje kvalita dodávaného média na vstupu do technologického spotřebiče a nebo ve většině případů je určována požadavky ekonomickými s tím, že teplota izolovaného povrchu by měla být maximálně 50 °C při teplotě okolí 25 °C.

3.1 Metody výpočtu tepelných ztrát potrubí

Postup pro výpočet tepelných ztrát izolovaného potrubí je uveden v ČSN 38 3360 který, ve stručnosti uvedeno, je následující :

$$\text{Celkové ztráty tepla : } Q_z = Q_{iz} + Q_{ul} \dots\dots\dots W$$

$$\text{Ztráty tepla izolovaného potrubí : } Q_{iz} = q_{iz} \cdot l_{iz} \dots\dots\dots W$$

$$\text{Ztráty tepla, které odchází uložením trubkového vedení : } Q_{ul} = z \cdot Q_{iz} \dots\dots W$$

kde značí :

- q_{iz} - měrná tepelná ztráta 1 metru délky izolovaného potrubí W / m
- l_{iz} - délka izolovaného potrubí m
- z - koeficient, kterým je ztráta uložením potrubí uvažována jako část ztráty běžných izolovaných úseků, jehož směrné hodnoty jsou následující :

Způsob uložení potrubí	hodnota z	hodnota $1 + z$
Podzemní tepelné sítě, vedené v kanálech	0,15 - 0,25	1,15 - 1,25
Bezkanálové uložení tepelných potrubí	0,10 - 0,15	1,10 - 1,15
Nadzemní tepelné sítě	0,20 - 0,30	1,20 - 1,30

Pro rovné plochy se jednotková tepelná ztráta stanoví : $q = k \cdot \Delta t = \frac{\Delta t}{r} \dots\dots W / m^2$

Ztráty tepla izolovanou plochou pak budou : $q_{iz} = \frac{\Delta t}{\Sigma r} \dots\dots\dots W / m^2$

kde značí :

- Δt - rozdíl teplot proudícího media a okolního prostředí $^{\circ}C$
- Σr - součet tepelných odporů materiálů, které brání průchodu tepelnému toku, které jsou pro různé izolační i stavební materiály zpracovány tabelárně $m^2.K / W$

3.2 Teplovodní potrubní trasy vedené nad zemí

Jde o teplovody vedeny nad úrovní ve volném terénu a v budovách. Z jednoho metru délky potrubí uniká do chladnějšího okolí a nebo vniká do potrubí z teplejšího okolí jednotkové množství tepla, které je dáno obecným vztahem pro ztráty tepla tepelnou izolací potrubí :

$$q_{iz} = \frac{\Delta t}{\Sigma r} \dots\dots\dots W / m^2$$

Do tohoto množství tepla se započítává zpravidla pouze prostup tepla tepelnou izolací a sdílení tepla ostatními částmi potrubí se obvykle, jak je uvedeno výše, zahrnuje do celkových ztrát tepla nebo chladu.

Odpory při přestupu tepla z proudící tekutiny do stěny trubky a při vedení tepla stěnou obvyklých kovových trubek jsou vesměs tak malé, že se s nimi v technické praxi nepočítá.

Tepelný odpor proti toku tepla u těchto potrubí lze vyjádřit vztahem :

$$\Sigma r = \Sigma r_{iz\lambda} + r_{iz\alpha} \dots\dots\dots m^2.K / W$$

Jedná se o algebraický součet tepelných odporů izolačních materiálů $\Sigma r_{iz\lambda}$ a tepelný odpor proti přestupu tepla z povrchu izolace do okolí $r_{iz\alpha}$, kde platí obecné vztahy :

$$r_{iz\lambda} = \frac{\ln R}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}}, \quad \text{kde} \quad R = \frac{D_{iz}}{D}$$

Tepelný odpor při přestupu tepla z povrchu tepelné izolace o vnějším průměru D_{iz} do okolního vzduchu je dán vztahem :

$$r_{iz\alpha} = \frac{1}{\pi \cdot D_{iz} \cdot \alpha_{iz}}$$

Tepelný odpor tepelné izolace obklopující potrubí ve dvou vrstvách z různých izolačních materiálů lze vyjádřit :

$$R_1 = \frac{D_{iz1}}{D}, \quad R_2 = \frac{D_{iz2}}{D_{iz1}} \quad \Rightarrow \quad r_{iz\lambda 1} = \frac{\ln \frac{D_{iz1}}{D}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz1}}, \quad r_{iz\lambda 2} = \frac{\ln \frac{D_{iz2}}{D_{iz1}}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz2}}$$

3.3 Teplovodní potrubní trasy uložené v zemi

V současné době je převážná část teplovodních potrubních tras ukládána do země a potrubí, kterým je teplo dopravováno je v předizolovaném stavu. Jde o tak zvané uložení bezkanálové. Tento způsob je prováděn i v případech rekonstrukcí starších rozvodů i celých soustav. Energetický auditor se však ve své praxi může setkat i s ostatními způsoby uložení potrubí v kanálech, průlezných i neprůlezných a podobně. Proto budou dále uvedeny vztahy i pro uložení potrubí v kanálech.

Tepelný odpor tepelné izolace i zeminy, která obklopuje potrubí uložené v zemi, je možno určit ze vztahu jednotného tvaru :

$$r_{iz\lambda} = \frac{\ln R}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}}$$

Bezrozměrná veličina R závisí na tvaru a rozměrech průřezu tepelné izolace a na hloubce osy uložení potrubí pod povrchem.

Zemina obklopující potrubí o průměru D, které je uloženo v hloubce H pod povrchem bez tepelné izolace :

$$R = \frac{4 \cdot H_k}{D} \quad \Rightarrow \quad r_{iz\lambda} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} \ln \frac{4 \cdot H_k}{D}$$

Potrubí s válcovou tepelnou izolací o vnějším průměru D_{iz} :

$$R = \frac{4 \cdot H_k}{D_{iz}} \quad \Rightarrow \quad r_{iz\lambda} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} \ln \frac{4 \cdot H_k}{D_{iz}}$$

kde značí:

H_k - korigovaná hodnota hloubky H osy potrubí pod povrchem, zvětšená o vliv odporu při přestupu tepla s povrchu země do okolí :

$$H_k = H + \frac{\lambda_z}{\alpha_o} \quad \text{m}$$

D	- vnější průměr potrubí	m
D _{iz1} , D _{iz2}	- průměry jednotlivých vrstev izolace	m
λ _{iz} , λ _z	- součinitel tepelné vodivosti izolace a zeminy	W / m.K
α _{iz} , α _o	- součinitel přestupu tepla z povrchu izolace do okolního vzduchu a z povrchu zeminy do okolí	W / m ² . K

Součinitel přestupu tepla α_{iz} s povrchu tepelné izolace do okolního vzduchu závisí především na rychlosti proudění vzduchu. U nadzemních potrubí se uvažuje mimo účinku větru ještě i vliv vnějšího průměru tepelné izolace D_{iz}. Doporučené hodnoty lze čerpat z normy ČSN 38 3360. Při D_{iz} = 100 - 500 mm a rychlosti větru 10 m / s je α_{iz} = 20 – 35 W / m².K. Doporučené hodnoty pro α_o se pohybují v rozmezí 12 - 22 W / m².K.

Měrná tepelná vodivost zeminy se podle vlhkosti pohybuje v rozmezí 1,2 - 2,2 W / m.K.

3.4 Tepelný odpor podzemních vedení uložených v kanálu

Schematicky lze celkový tepelný odpor pro izolované potrubí uložené v kanálu vyjádřit :

$$\Sigma r = \Sigma r_{iz\lambda} + r_{iz\alpha} + r_{k\alpha} + r_z \dots\dots\dots m^2 \cdot K / W$$

kde značí :

- Σr_{izλ} - součet tepelných odporů při průchodu tepla jednotlivými vrstvami izolace vlastního potrubí
- r_{izα} - tepelný odpor z povrchu izolace do prostoru kanálu
- r_{kα} - tepelný odpor ze vzduchu v kanálu do stěny kanálu
- r_z - tepelný odpor zeminy při průtoku tepla z kanálu k povrchu zeminy

U kanálu obdélníkového průřezu o stranách A a B je :

$$R_z = \frac{3,5 \cdot H_k}{A^{0,75} \cdot B^{0,25}} \quad \Rightarrow \quad r_z = \frac{1}{\lambda_z (5,7 + 0,5 \cdot B/A)} \cdot \ln \frac{3,5 \cdot H_k}{A^{0,75} \cdot B^{0,25}}$$

Součinitel přestupu tepla s povrchu izolace do okolí je při kanálových uloženích v průlezných i neprůlezných kanálech uvažován ve výši α_{iz} = 8,5 - 12 W / m².K podle situace, zda je či není kanál větrán.

Výpočet tepelných ztrát potrubí uloženého v kanále je poměrně komplikovaný a vyžaduje praktické zkušenosti, zvláště v případech, kdy je v kanále vedeno několik druhů potrubí o různých teplotách proudícího média. Příklady těchto výpočtů jsou uvedeny v dalších částech této práce.

Jestliže ve sledovaném úseku potrubní soustavy analyzoval energetický auditor tepelné ztráty a ověřil jejich velikost, je nutné si při jejich hodnocení uvědomit, že jejich výše je závislá na způsobu provozování teplovodu a na využívání tepelného výkonu, na který je teplovod dimenzován a tedy i na jeho přenosových možnostech.

V technické praxi bývá zvykem uvádět relativní hodnoty tepelných ztrát, tedy vypočtenou (absolutní) hodnotu tepelné ztráty, vztaženou na množství tepla (nebo tepelný výkon), přiváděný na vstupu do sledovaného úseku, vyjádřeno v procentech :

$$Q_{zr} = \frac{Q_z}{Q_p} \cdot 100 \dots\dots\dots \%$$

Prostřednictvím zjištěných tepelných ztrát lze definovat i účinnost dodávky tepla ve formě :

$$\eta_d = \frac{Q_p - Q_z}{Q_p} \cdot 100 = \frac{Q_u}{Q_p} \cdot 100 \dots\dots\dots \%$$

kde značí :

- Q_{zr} - relativní tepelná ztráta potrubí %
- Q_z - vypočtená absolutní tepelná ztráta J , W
- Q_p - přivedené množství tepla nebo tepelný výkon na vstupu do sledovaného úseku J , W
- Q_u - využitě množství tepla nebo tepelný výkon na výstupu ze sledovaného úseku J , W

V současné době je ve většině případů instalováno měření tepla (především u soustav teplovodních i horkovodních) jak na vstupu do soustavy Q_p , tak i na výstupu (u jednotlivých spotřebičů) Q_u . Průměrnou provozní hodnotu tepelných ztrát lze potom určit jednoduše podle posledního uvedeného vzorce.

3.5 Změna teploty proudící tekutiny vlivem tepelných ztrát potrubí

Teplotní změny proudícího média vlivem tepelných ztrát potrubí se stanoví ze základních zákonů o zachování energie a hmoty.

Podle těchto zákonů platí pro sledovaný úsek potrubí, omezený průřezy 1 a 2, ve kterém vznikají tepelné ztráty Q_z :

$$M_1 = M_2 = M \quad , \quad Q_1 = Q_2 + Q_z$$

$$M_1 \cdot c_1 \cdot t_1 = M_2 \cdot c_2 \cdot t_2 + Q_z \Rightarrow M \cdot (c_1 \cdot t_1 - c_2 \cdot t_2) = Q_z$$

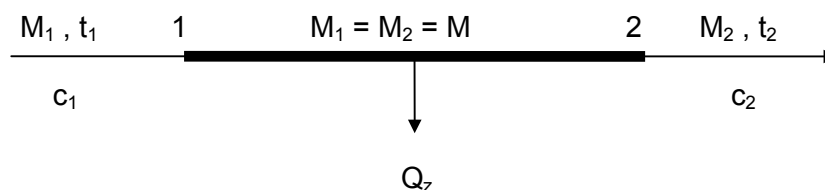
$$\text{Pro jednoduchost zavedeme : } c_m = \frac{c_1 + c_2}{2} \Rightarrow M \cdot c_m \cdot (t_1 - t_2) = Q_z$$

Potom rozdíl teplot proudícího média lze určit ze vztahu :

$$t_1 - t_2 = \frac{Q_z}{M \cdot c_m}$$

Tento vztah platí pro případy, kdy potrubím proudí kapaliny, plyny a značně přehřáté páry, tedy případy, kdy proudící látka nemění své skupenství.

Schematicky lze tento případ znázornit takto :



Pokud proudí potrubím sytá pára a vlivem tepelných ztrát dochází k jejímu ochlazení, potom se část proudící páry sráží a tím se zmenšuje proudící množství. Tuto změnu množství je možno vyjádřit vztahem :

$$\Delta M = M_1 - M_2 \cong \frac{Q_z}{r_m''}$$

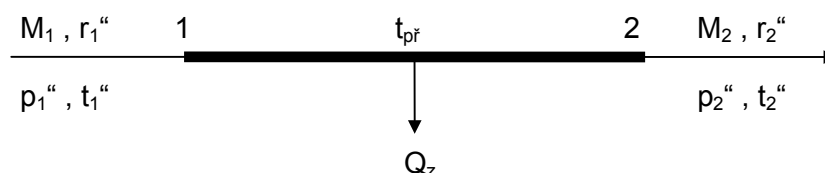
kde r_m'' je průměrná (střední) hodnota výparného tepla syté páry ve sledovaném úseku potrubí omezené body 1 a 2 : $r_m'' = 0,5 (r_1'' + r_2'')$

Pokud je potrubím dopravována pára mírně přehřátá o teplotě $t_{př}$ se střední hodnotou měrné tepelné kapacity c_{mp} , pak vlivem tepelných ztrát se pára nejprve ochladí z teploty přehřátí na teplotu meze sytosti t'' a potom teprve kondenzuje. Vlivem tepelných ztrát se tedy páře odebírá teplo, které je použito ke hrazení tepelných ztrát :

$$M \cdot c_{mp} \cdot (t_{př} - t'') + \Delta M \cdot r_m'' = Q_z$$

Z této rovnice lze vypočítat zmenšení množství proudící mírně přehřáté páry.

Schematické znázornění případů je zřejmé z následujícího obrázku :



V obou uvedených výpočtech se předpokládá, že při proudění mírně přehřátých par i par sytých se z potrubí odvádí kondenzát o teplotě syté páry.

3.6 Rozhodování o volbě druhu nositele tepla

Při volbě druhu a stavu nositele tepla pro tepelné sítě se zpravidla rozhoduje mezi vodou a vodní párou. Při hodnocení je třeba posuzovat jejich výhodnost a vhodnost z komplexního hlediska to znamená z hledisek zdroje tepla, tepelné sítě i spotřebiče tepla.

Vliv zdroje tepla je významný tehdy, když jím byla teplárna. V případě výtopny je tento vliv pouze okrajový.

Při srovnávání dodávky tepla parou přehřátou a sytou je třeba vzít v úvahu že :

- přehřátím páry se zvětší přenosová kapacita parovodu Q při stejném hmotovém průtoku $M = \text{konst.}$ v poměru využitelného rozdílu entalpií páry přehřáté $\Delta i_{př}$ a $\Delta i''$ u páry syté :

$$\frac{Q}{Q''} = \frac{\Delta i_{př}}{\Delta i''}$$

- průtok přehřáté páry $M_{př}$ proti páře syté M se při stejných tlakových poměrech (na začátku i na konci potrubí) a tedy i stejných tlakových ztrátách, zmenší v poměru druhé odmocniny měrných objemů páry syté v'' a přehřáté $v_{př}$:

$$\frac{M_{př}}{M''} = \sqrt{\frac{v''}{v_{př}}}$$

Výsledná změna přenosové kapacity parovodu je dána vztahem :

$$\frac{Q}{Q''} = \frac{\Delta i_{př}}{\Delta i''} = \sqrt{\frac{v''}{v_{př}}} \leq 1,0$$

V obvyklých případech totiž převažuje vliv přírůstku měrného objemu nad zvětšením využitelného rozdílu entalpií. Spolu s vyšší teplotou přehřáté páry se zvětší i tepelná ztráta parovodu, která je přímo úměrná rozdílu střední teploty páry t_m a okolí parovodu t_o :

$$\frac{Q_z}{Q''} = \frac{t_{mp} - t_o}{t'' - t_o}$$

Vliv zvýšení tepelné ztráty parovodu přehřátím páry je značný, protože při přehřátí páry o 60 - 70 °C nad teplotu sytosti se tepelná ztráta parovodu zvýší cca o třetinu při snížené přenosové kapacitě parovodu. Proto dodávka tepla přehřátou parou není hospodářsky výhodná a účelná.

- Dosah vodní tepelné sítě je větší než u sítě parní, neboť ve vhodných potřebných místech je možno do soustavy vždy vřadit další oběhová čerpadla, což je sice technicky výhodné avšak nemusí být proti parní dodávce ekonomicky výhodnější. Pro dopravu stejného množství tepla je nutno u vodních sítí podstatně větší množství hmoty vody, jak je zřejmé z následujícího vztahu využitelných rozdílu entalpií :

$$\frac{M_v}{M''} = \frac{\Delta i''}{\Delta i_v} = \frac{2\,512}{837 \text{ až } 420} = 3 \text{ až } 6$$

- Z hlediska vlastních spotřebičů tepla má vždy přednost takový nositel tepla, na který je spotřebič konstruován, neboť každá změna druhu nositele tepla má za následek energetické ztráty a vyžádá si další pořizovací i provozní náklady, které mohou být i velmi značné.

3.7 Výchozí podklady pro výpočty tepelných ztrát potrubí

Při technických výpočtech tepelných ztrát potrubí v tepelných sítích, zvláště pak také při stanovení nejvýhodnější tloušťky tepelných izolací se doporučuje nejlépe postupovat podle výchozích výpočtových podmínek, které jsou stanoveny v ČSN 38 33 60.

1) Výpočtová teplota okolního prostředí

- a) Při vedení potrubí v průchozích kanálech je možno pro zjednodušené výpočty použít teplotu $+ 40^{\circ}\text{C}$. Pro přesnější výpočty se v kanálech použije teplota vypočtená.
- b) Při vedení potrubí v kolektorech je možno pro zjednodušené výpočty použít teplotu $+ 30^{\circ}\text{C}$. Pro přesnější výpočty se použije teplota v kolektoru vypočtená.
- c) Při nadzemním vedení potrubí a při výpočtech ročních tepelných ztrát se uvažuje střední roční teplota venkovního vzduchu. Střední roční teploty ovzduší lze možno získat z Hydrometeorologického ústavu nebo v pracích na těchto zprávách založených.
- d) Při podzemním vedení v neprůlezných kanálech a při bezkanálovém uložení se použije střední roční teplota půdy v hloubce osy potrubí. Chybí-li přesnější údaje je možno při celoročním provozu bezkanálově uloženého potrubí použít střední teplotu půdy $+ 10^{\circ}\text{C}$ a při provozu pouze v topném období $+ 5^{\circ}\text{C}$.

2) Střední teplota potrubí

Střední teplota potrubí se v podstatě shoduje se střední teplotou teplotonosné látky. Tato teplota v teplovodních otopných soustavách závisí na kvalitativní regulaci dodávaného tepla v závislosti na teplotě ovzduší.

Příklad :

Dále je uveden konkrétní příklad z praxe, na kterém jsou porovnány tepelné ztráty dosud provozovaného tepelného napaječe v délce cca 270 metrů s izolovaným potrubím, které je uloženo v neprůlezném prefabrikovaném topném kanále s nově uvažovanou trasou tepelného napaječe stejné délky, s předizolovaným potrubím volně uloženým v zemi, která má starou trasu nahradit. V obou případech je dimenze potrubí a pracovní teplota teplotonosné látky stejná.

Stávající potrubní řád uložený v neprůlezném topném kanále

V prefabrikovaném kanále o vnitřních rozměrech $A = 0,85 \text{ m}$ a $B = 0,4 \text{ m}$, uloženém v osově hloubce $H = 1,5 \text{ m}$, jsou dvě potrubí DN 100 s průměrnou pracovní teplotou v topné větvi $t_1 = 110^{\circ}\text{C}$ a $t_2 = 60^{\circ}\text{C}$. Potrubí je izolováno s tloušťkou izolace $s = 0,07 \text{ m}$ s měrnou tepelnou vodivostí $\lambda_{iz} = 0,063 \text{ W / m.K}$. Měrná tepelná vodivost zeminy je v průměru odhadována na $\lambda_z = 1,7 \text{ W / m.K}$. Součinitel přestupu tepla z povrchu zeminy do okolního ovzduší je brán ve výši $\alpha_z = 17 \text{ W / m}^2.\text{K}$.

Dalšími potřebnými údaji jsou :

- součinitel přestupu tepla z povrchu izolace do prostoru v kanálu $\alpha_{iz} = 8,15 \text{ W / m}^2\cdot\text{K}$
- součinitel přestupu tepla vzduchu v kanálu do stěn kanálu $\alpha_k = 8,15 \text{ W / m}^2\cdot\text{K}$

Ze zadaných hodnot vychází : $D_1 = D_2 = 0,108 \text{ m} = D$
 $D_{iz1} = D_{iz2} = 0,248 \text{ m} = D_{iz}$

$$H_k = 1,5 + \frac{1,7}{17} = 1,6 \text{ m} , \quad \frac{D_{iz}}{D} = \frac{0,248}{0,108} = 2,296 , \quad \ln \frac{D_{iz}}{D} = \ln 2,296 = 0,832$$

$$r_{iz\lambda 1} = r_{iz\lambda 2} = \frac{0,832}{2 \cdot \pi \cdot 0,063} = 2,103 \text{ m.K / W} , \quad r_{iz\alpha 1} = r_{iz\alpha 2} = \frac{1}{\pi \cdot 0,248 \cdot 8,15} = 0,157 \text{ m.K / W}$$

$$\Sigma r_1 = \Sigma r_2 = 2,103 + 0,157 = 2,26 \text{ m.K / W}$$

z toho potom plyne :

$$q_1 = \frac{110 - t_k}{2,26} \text{ W / m} , \quad q_2 = \frac{60 - t_k}{2,26} \text{ W / m}$$

Z těchto vztahů je možno vypočítat specifické ztráty tepla za předpokladu, že bude známa teplota v kanále t_k . Ta bude určena dále.

Tepelný odpor kanálu :

$$r_{k\alpha} = \frac{1}{2 (0,85 + 0,4) \cdot 7} = \frac{1}{20,35} = 0,049 \text{ m.K / W}$$

$$r_{k+z} = \frac{\ln (3,5 \cdot 1,6 / \sqrt[4]{0,85 \cdot 0,4^3})}{0,85 \cdot (5,7 + \frac{1,7}{2 \cdot 0,4})} = \frac{\ln 5,6 / 0,485}{(5,7 + 1,06) \cdot 1,7} = \frac{2,446}{11,49} = 0,213 \text{ m.K / W}$$

$$\Sigma r_z = r_{k\alpha} + r_{k+z} = 0,213 + 0,049 = 0,262 \text{ m.K / W}$$

1) Uvažujeme kanál, který není provětráván a roční průměrná teplota okolního vzduchu je

$$t_0 = + 10^{\circ}\text{C} :$$

$$q_1 + q_2 = \frac{t_k - t_0}{r_{k\alpha} + r_{k+z}}$$

$$\frac{110 - t_k}{2,26} + \frac{60 - t_k}{2,26} = \frac{t_k - t_0}{r_{k\alpha} + r_{k+z}} \Rightarrow \frac{110 - t_k}{2,26} + \frac{60 - t_k}{2,26} = \frac{t_k - 10}{0,262}$$

$$\frac{110 + 60}{2,26} + \frac{10}{0,262} = t_k \left(\frac{2}{2,26} + \frac{1}{0,262} \right) \Rightarrow t_k (0,88 + 3,82) = 75,22 + 38,2$$

z toho vychází teplota v kanálu : $5,58 \cdot t_k = 113,4 \Rightarrow t_k = 20,3^{\circ}\text{C}$

Při teplotě okolí $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$: $5,58 \cdot t_k = 75,2 \Rightarrow t_k = 13,5^{\circ}\text{C}$

Při teplotě okolí $t_0 = -10^{\circ}\text{C}$: $5,58 \cdot t_k = 37,0 \Rightarrow t_k = 6,6^{\circ}\text{C}$

Při průměrné venkovní teplotě v zimním období $t_0 = 4,8^{\circ}\text{C}$ bude teplota v kanálu $t_k = 17^{\circ}\text{C}$.

Při této teplotě bude specifická tepelná ztráta potrubí :

$$q = q_1 + q_2 = \frac{110 - t_k}{2,26} + \frac{60 - t_k}{2,26} = \frac{85}{2,26} + \frac{35}{2,26} = 37,6 + 15,5 = 53,1 \text{ W / m}$$

Celková tepelná ztráta úseku dlouhého 270 metrů bude : $Q = 270 \cdot 53,1 = 14\,337 \text{ W}$.

2) Pro úplnost je uveden i případ stejného kanálu, který je však provětráván. Kanálem proudí vzduch odhadnutou rychlostí $w_v = 0,1 \text{ m/s}$ při průměrné teplotě ovzduší $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$.

Čistý průřez kanálu (po odečtení průřezů vloženého potrubí) pro proudění vzduchu :

$$F_v = 0,85 \cdot 0,4 - 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,248^2 = 0,34 - 0,097 = 0,243 \text{ m}^2$$

Při vzdálenosti kontrolních (větracích) šachet $l_v = 59 \text{ m}$ vychází :

$$Q_v = \frac{0,243 \cdot 0,1 \cdot 3600 \cdot 1,3}{59} (t_k - t_0) = 1,927 (t_k - t_0) \text{ kJ/m.h}$$

$$= 0,535 (t_k - t_0) \text{ W/m}$$

$$q_1 + q_2 = \frac{t_k - t_0}{r_{k\alpha} + r_{k+z}} + 0,535 (t_k - t_0)$$

$$\frac{170}{2,26} + \frac{0}{0,262} + 0,535 \cdot 0 = t_k \left(\frac{2}{2,26} + \frac{1}{0,262} + 0,535 \right)$$

$$75,2 + 0 + 0 = t_k (0,88 + 3,82 + 0,535)$$

$$75,2 = 5,235 \cdot t_k \quad \Rightarrow \quad t_k = 14,4^\circ\text{C}$$

Provětrávaný kanál má proti kanálu nevětranému v konečných důsledcích nižší teplotu v kanále.

Tepelná ztráta potrubní trasy při teplotě vzduchu v kanále $t_k = 25^\circ\text{C}$, což je v praxi zpravidla nejobvyklejší případ :

$$q = q_1 + q_2 = \frac{t_1 - t_k}{\sum r_1} + \frac{t_2 - t_k}{\sum r_2} = \frac{85}{2,26} + \frac{35}{2,26} = 37,6 + 15,5 = 53,1 \text{ W/m}$$

Trasa teplovodního napaječe s předizolovaným potrubím, volně uloženého v zemi :

Předizolované potrubí, každé o DN = 100 je izolováno s tloušťkou izolace 40 mm o měrné tepelné vodivosti $\lambda_{iz} = 0,032 \text{ W / m.K}$. Potrubí je uloženo v osově hloubce cca 0,8 m pod povrchem. Průměrná pracovní teplota v potrubích je stejná jako v předchozím případě t.j. $t_1 = 110^\circ\text{C}$ a $t_2 = 60^\circ\text{C}$. Stejná je uvažována i měrná tepelná vodivost zeminy $\lambda_z = 1,7 \text{ W / m.K}$ a součinitel přestupu tepla z povrchu země do ovzduší $\alpha_z = 17 \text{ W / m}^2\text{.K}$.

Ze zadaných hodnot vychází : $D_1 = D_2 = 0,108 \text{ m} = D$
 $D_{iz1} = D_{iz2} = 0,200 \text{ m} = D_{iz}$

$$H_k = 0,8 + \frac{1,7}{17} = 0,9 \text{ m}, \quad \frac{D_{iz}}{D} = \frac{0,200}{0,108} = 1,852, \quad \ln \frac{D_{iz}}{D} = \ln 1,852 = 0,616$$

Tepelný odpor izolace potrubí :

$$r_{iz\lambda 1} = r_{iz\lambda 2} = \frac{0,616}{2 \cdot \pi \cdot 0,032} = 3,065 \text{ m.K / W}, \quad r_{iz\alpha 1} = r_{iz\alpha 2} = 0,0 \text{ m.K / W}$$

$$\sum r_1 = \sum r_2 = 3,065 + 0,0 = 3,065 \text{ m.K / W}$$

Tepelný odpor zeminy :

$$r_z = \frac{\ln(4 \cdot H_k / D_{iz})}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} = \frac{\ln(4 \cdot 0,9 / 0,2)}{2 \cdot \pi \cdot 1,7} = \frac{2,89}{10,68} = 0,271 \text{ m.K / W}$$

$$q_1 = \frac{110 - t_0}{3,065 + 0,271} = \frac{110 - t_0}{3,336} \text{ W / m}, \quad q_2 = \frac{60 - t_0}{3,065 + 0,271} = \frac{60 - t_0}{3,336} \text{ W / m}$$

Pro stejnou průměrnou teplotu okolního vzduchu v zimním období $t_0 = 4,8^\circ\text{C}$ bude celková měrná tepelná ztráta potrubí :

$$q = q_1 + q_2 = 31,5 + 16,5 = 48 \text{ W / m}$$

Celková tepelná ztráta úseku dlouhého 270 metrů bude : $Q = 270 \cdot 48 = 12\,960 \text{ W}$

z toho - tepelná ztráta potrubí přívodu topného média : $Q = 270 \cdot 31,5 = 8\,505 \text{ W}$
 - tepelná ztráta potrubí zpátečky : $Q = 270 \cdot 16,5 = 4\,455 \text{ W}$

Rozdíl tepelných ztrát (úspory vyzařovaného tepelného výkonu) ve prospěch navrhovaného předizolovaného potrubí činí cca 2 000 W. Při využití cca 4 000 hodin v otopném období činí úspory tepla proti původnímu rozvodu 8 MWh což jest 29 GJ. Při průměrné ceně tepla cca 300,- Kč/GJ představují úspory nákladů zhruba 8 700,-Kč/r.

Velikost tepelných ztrát bezprostředně ovlivňuje i teplotu proudícího média v potrubí. Při dodávkách tepla ve formě vody je možno z určených ztrát následně určit i pokles teploty mezi počátkem a koncem trasy, případně i změnu entalpie v případě, že je dodávána přehřátá pára. Pokud na vstupu trasy je bezpečně dodávána sytá pára je možno z tepelných ztrát určit pokles její entalpie na konci trasy. Pokud není jistota dokonale syté páry na vstupu a hrozí nebezpečí páry mokré je tato metoda nepoužitelná.

3.8 Změna teploty dodávané topné vody vlivem ztrát tepla :

Aby bylo možno ověřit, jak tepelná ztráta potrubí ovlivňuje konečnou teplotu oběhové vody, je třeba znát její množství, jak vyplývá z následujícího základního vztahu pro dodávku tepla :

$$Q = M_{ov} \cdot c_{ov} \cdot (t_1 - t_2) = M_{ov} \cdot c_{ov} \cdot \Delta t \dots\dots\dots \text{ W}$$

Množství oběhové vody při průměrné rychlosti proudění 1,1 m / s vychází ve výši 30000 kg / h což představuje 8,33 kg / s. Měrná tepelná kapacita vody $c_{ov} = 4\,186,8 \text{ J / kg}$.

Z toho potom vychází rozdíl teplot mezi počátkem a koncem potrubí Δt :

$$\Delta t = \frac{Q}{M_{ov} \cdot c_{ov}} = \frac{5\,355}{8,33 \cdot 4\,186,8} = 0,15^\circ\text{C}$$

Výpočet ukazuje, že pokles teploty vlivem tepelných ztrát potrubí v délce 270 m je velmi malý, nevýznamný a není třeba se jím dále zabývat. K maximálnímu přenášenému tepelnému výkonu při teplotě 110 °C, který je : $Q = 8,33 \cdot 4186,8 \cdot 110 = 3\,836,4 \text{ kW}$ představuje tato ztráta 0,14 %.

Celková tepelná ztráta 12 960 W, vztažená k dodávanému provoznímu výkonu, který je $Q = 8,33 \cdot 4186,8 \cdot (110 - 60) = 1\,743\,802 \text{ W}$, což představuje 0,74 %.

U potrubí uloženém v kanále je celková tepelná ztráta 14 520 W, která vztažená k dodávanému výkonu 1 743 802 W a činí cca 1,0 %.

Z toho je zřejmé, že relativní výši ztrát výrazně ovlivňuje vhodné využívání teplovodu z hlediska dodávaného výkonu a jeho přenosové kapacity.

Je třeba si uvědomit, že uvedený příklad dává velmi optimistické hodnoty proto, že byl, u potrubí uloženém v kanále, brán ideální stav provedené izolace, kanálu i potrubí. Navíc velmi záleží na využívání tepelného rozvodu, který bývá v průměru zimního období cca 50-60% a v období letním pouze cca 10 - 15 % přenosové kapacity potrubních systémů.

V praxi se často stává, že v topném kanálu se shromažďuje povrchová voda, nebo je značně navlhla izolace a podobně. Průměrné hodnoty tepelných ztrát jsou potom zhruba několikanásobné a pohybují se na úrovni 5 - 8 %. U předizolovaného potrubí jsou v praxi poměry výrazně lepší a tepelné ztráty jsou ve výši zhruba poloviční, tedy 3 - 5 %.

4.0 Rozvody a distribuce tepla

Rozvody tepla a odpovídající potrubní systémy tvoří významnou součást zařízení zdroje tepla a to nejen při výrobě tepla, ale hlavně při dodávkách tepla na různé vzdálenosti s různou členitostí a způsoby uložení potrubí. Pro hospodárné dodávky tepla je velmi důležitý vhodně volený potrubní systém, průměr potrubí a způsob jeho izolace i uložení.

Nevhodné systémy zásobování teplem (přílišná decentralizace či centralizace, poddimenzování nebo předdimenzování) s sebou nese objektivní ztráty plynoucí ve zbytečně dlouhých nebo s nevhodně vysokými parametry a kapacitně předdimenzovaných rozvodech, ve způsobu provozu s častým najížděním a odstávkami.

Vhodný stupeň centralizace umožňuje ve větších zdrojích s vyšší účinností spalovat méně hodnotná paliva, využívat zbytkové teplo z výroby elektrické energie (kombinovaná výroba), využívat odpadního tepla z technologických procesů, využívat obnovitelné zdroje energie, biomasu, komunální odpad, což vede ke snižování klasických primárních paliv.

Moderní konstrukce tepelných sítí s diagnostikou poruchových stavů, možnosti plynulé kvantitativní regulace dodávek tepla umožňuje jednak snížení tepelných ztrát v důsledku nižších teplot přenášeného média a lepší kvality izolace, a jednak v důsledku úspor čerpací práce a téměř nulové poruchovosti spojené s úniky teponosného média.

4.1 Určování průměrů potrubí pro dodávky tepelné energie a hydraulické ztráty proudícího média

Rekapitulace výpočtových vztahů :

Výpočet průměru potrubí:

a) Hydraulické ztráty proudícího média jsou nevýznamné :

$$d = \sqrt{\frac{M}{0,785 \cdot v \cdot \rho}} \dots\dots\dots \text{m}$$

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot v}} \dots\dots\dots \text{m}$$

b) Respektování hydraulických ztrát proudícího média :

$$d = \sqrt[5]{\frac{0,811 \cdot \lambda \cdot L \cdot M}{\rho \cdot (p_1 - p_2)}} \dots\dots\dots \text{m}$$

kde značí :

- d - hledaný průměr potrubí v m
- M - hmotový průtok média v kg / sec
- V - objemový průtok v m³ / sec
- v - rychlost proudícího média v m / sec
- ρ - měrná hmotnost protékajícího média v kg / m³
- λ - součinitel hydraulického tření
- L - ekvivalentní délka potrubí, pro kterou platí přibližně $L = l \cdot (1,15 - 1,35)$
- $\Delta p = p_1 - p_2$ představuje tlakovou ztrátu potrubí v šetřeném úseku v Pa

Tlakové ztráty při průtoku látek v potrubí:

Tlakové ztráty lze vypočítat pomocí obecně platných vzorců pro laminární i turbulentní proudění :

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = \frac{0,811 \cdot \lambda \cdot L \cdot V^2 \cdot \rho}{d^5} = \frac{0,811 \cdot \lambda \cdot L \cdot M^2}{d^5 \cdot \rho} \dots\dots\dots \text{Pa}$$

Potřebné údaje pro výpočty lze získat také z publikace :

Míkula a kolektiv : „Potrubí a armatury“ technický průvodce

Doporučené hodnoty rychlosti různých dopravovaných látek v potrubí:

Druh potrubního zařízení	Rychlosti proudění m/s
Otopné soustavy teplovodní v objektech :	
samotížné	0,15 - 0,35
s nuceným oběhem - malé průřezy potrubí	0,4 - 0,7
- větší průřezy potrubí	0,8 - 1,3
Dálkové teplovody a horkovody :	
hlavní napaječe	1,5 - 3
rozvodná síť	1 - 2
Kondenzátní potrubí	1,5 - 3
Vodovody pro pitnou a užitkovou vodu :	
dálkový přivaděč	1,5 - 3
hlavní přivaděč	1 - 2
rozvodná síť	0,5 - 0,7
Nízkotlaké parní rozvody do 0,05 MPa	10 - 15
rozvody středotlaké syté páry do 1 MPa	15 - 30
rozvody středotlaké přehřáté páry 1 - 4 MPa	20 - 40
parovody s tlakem 4 - 13 MPa	30 - 60
Potrubí pro rozvod plynu :	
do tlaku 0,05 MPa	3 - 8
do tlaku 0,1 MPa	5 - 10
s tlakem do 2,5 MPa	12 - 25
Rozvody pro dopravu spalín :	
potrubí sací	10 - 20
potrubí výtlačné	20 - 30
Rozvody stlačeného vzduchu	3 - 10

Pro účely vytápění byly zpracovány tabulky pro stanovení vhodného průměru potrubí v závislosti na dodávaném tepelném příkonu, celkovém hydraulickém odporu a volené rychlosti proudění. Tabulky jsou sestaveny pro teplovodní, horkovodní i parní systémy dodávek tepla a byly vydány v Sešitech projektanta v roce 1985 pro obor vytápění. Autorem je doc.Ing. Karel Laboutka, CSc a Tomáš Suchánek.

4.2 Tepelné ztráty izolovaného potrubí pro různé případy jeho uložení

Rekapitulace výpočtových vztahů :

Tepelné ztráty izolovaného potrubí lze stanovit z jednotného vztahu:

$$q_z = \frac{(t - t_o)}{r} \dots\dots\dots W / m$$

kde r - představuje tepelný odpor kladený průchodu tepla do okolí $m.K / W$
 t - teplota proudícího média uvnitř potrubí ve $^{\circ}C$
 t_o - teplota okolí ve $^{\circ}C$

V technické praxi se nejčastěji vyskytují dva druhy tepelných odporů a to :

r_{iz} - je tepelný odpor, který průchodu tepla klade tepelná izolace
 r_o - je tepelný odpor pro průchod tepla z povrchu tepelné izolace do okolí

$$r = r_{iz} + r_o$$

Výpočet hodnoty r pro různé případy vedení a uložení potrubí :

a) potrubí o průměru D a kruhová izolace o průměru D_{iz} v metrech , izolace je provedena materiálem, jehož součinitel tepelné vodivosti je λ_{iz} $W / m.K$, vrchní vedení potrubí :

$$r_{iz} = \frac{\ln \frac{D_{iz}}{D}}{2\pi \cdot \lambda_{iz}} \dots\dots\dots m.K / W$$

$$r_o = \frac{1}{\pi \cdot D_{iz} \cdot \alpha} \dots\dots\dots m. K / W$$

α - součinitel přestupu tepla z povrchu izolace do okolí, jeho hodnoty se v klidovém vnějším prostředí pohybují v rozmezí 5 - 10 $W/m^2.K$ a v prostředí s vnějšími klimatickými vlivy 15 - 30 $W/m^2.K$

b) potrubí o průměru D v metrech a čtvercová izolace o straně A v metrech a izolačním materiálu s hodnotou λ_{iz} v $W / m.K$, vrchní vedení potrubí :

$$r_{iz} = \frac{\ln 1,08 \frac{A}{D}}{2\pi \cdot \lambda_{iz}} \dots\dots\dots m.K / W$$

Při obdélníkové izolaci o rozměrech $A_i \times B_i$ se hodnota $A = \frac{A_i + B_i}{2}$

c) předizolované potrubí o průměru D , s kruhovou izolací o průměru D_{iz} v metrech, z izolačního materiálu s λ_{iz} $W/m.K$, uložené v zemi v bezkanálovém provedení v hloubce H v metrech, přičemž obklopující zemina má hodnotu tepelné vodivosti λ_z $W/m.K$.. Z povrchu zeminy do okolí ovlivňuje sdílení tepla součinitel přestupu tepla α :

$$H_r = H + \frac{\lambda z}{\alpha} \quad \text{je redukovaná hloubka uložení potrubí v metrech}$$

$$r_{iz} = \frac{\ln 4 \frac{H_r}{D_{iz}}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda z} \dots\dots\dots \text{m.K / W}$$

U potrubí se čtvercovou izolací o straně A_{iz} v metrech je :

$$r_{iz} = \frac{\ln 3,5 \frac{H_r}{A_{iz}}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda z} \dots\dots\dots \text{m.K / W}$$

Hodnoty λz se pohybují podle druhu zeminy a její vlhkosti v rozmezí 1,4-2,5 W/m.K .

Tepelné ztráty izolovaného potrubí byly zpracovány v grafické formě pro nejčastější případy vedení a uložení potrubí, které jsou zřejmé z následujících grafů.

Poznámka: u grafů „Tepelných ztrát izolovaného potrubí vedených povrchově i uloženého v zemi“ je tloušťka izolace v obou případech 50 mm. U potrubí uloženého v zemi se hloubka uložení uvažuje od 0,7 m do 1,2 metru.

4.3 Provedení potrubních rozvodů a jejich rozdělení pro dodávky tepla

Podle dodávaného média dělíme potrubní systémy na :

- teplovodní
- horkovodní
- parní

Teplovodní rozvody:

Převážně se jedná o rozvody pro přímou dodávku tepla pro vytápění z teplovodních výtopen a nebo jako sekundární rozvody pro dodávky tepla z předávacích stanic, které jsou součástí soustavy SCZT. Za teplovodní rozvody jsou považovány i rozvody teplé užitkové vody.

Těmito rozvody se dodává teplo ve formě teplé vody o max. parametrech do 110°C. Vzhledem k normalizovaným teplotním spádům je dodávka tepla zpravidla o parametrech 90/70 °C maximálně, pro klasické radiátorové otopné soustavy, případně 110/70°C.

Ve zvláštních případech použití a nebo v případech velkoplošných otopných soustav se parametry teplosnosného média pohybují na úrovni 55/40 °C, kdy zdrojem tepla je například tepelné čerpadlo nebo kotel s kondenzací spalín.

Rozvody jsou provedeny vesměs jako dvoutrubkové, od průměru 25 mm se provádí zásadně jako izolované. V současné době se provádí ponejvíce jako předizolované v bekanálovém uložení, kdy se tepelné ztráty pohybují v rozmezí 3 - 4 %. Při uložení izolovaného potrubí v neprůlezných kanálech, což je nejčastější způsob řešení z předchozího období, se ztráty tepla pohybují na úrovni cca 5 %.

Rozvody horkovodní :

Jde především o primární rozvody dálkové dodávky tepla o maximální teplotě do 180/120°C. Tato teplota byla obvyklá u starších horkovodních rozvodů. V současné době je maximální snaha o snižování tepelných ztrát při dodávkách tepla a proto dodávky horké vody doznaly značných změn směrem k nižším parametrům, tepelně nízkopotenciálním. Je snahou, aby teplota horké vody nepřesahovala, pokud k tomu nejsou zvláštní důvody, 150/100 °C. Pro vytápění objektů se v současné době provádí soustavy s parametry pouze 130/80 °C, což je z hlediska tepelných ztrát velmi výhodné.

Rozvody se provádí zásadně dvoutrubkové izolované. Uložení potrubí, u dříve prováděných soustav, bylo v neprůlezných kanálech, kde se ztráty tepla pohybovaly ve výši 8 - 10 %. V současnosti jsou prováděny jako předizolované v bezkanálovém uložení, kde tepelné ztráty jsou ve výši do 5 %.

Parní rozvody :

Parní rozvody se podle tlaku dělí na :

- nízkotlaké s max. tlakem do 0,05 MPa
- středotlaké s max. tlakem od 0,05 do 9 MPa
- vysokotlaké s tlakem nad 9 MPa (tento druh potrubí je uváděn pro svou ojedinělost pouze informativně)

Potrubní rozvod je proveden minimálně jako dvoutrubkový t.j. pára a vracený kondenzát. Někdy je v třítrubkovém provedení, kdy pro letní provoz je instalováno další parní potrubí zpravidla o polovičním průměru. Pokud nejsou zvláštní důvody je snahou, aby teplota páry zbytečně nepřekračovala 200 °C. Pro účely nezbytné účely vytápění se zpravidla vystačí s tlakem páry 0,35 MPa, mírně přehřátá s teplotou do 140 °C.

Starší parní rozvody jako izolované byly vedeny v kanálech, kde tepelné ztráty činily 10 - 12 %. Současně jsou prováděny jako předizolované, v bezkanálovém uložení, kdy tepelné ztráty jsou ve výši do 8 %.

Při centrální přípravě teplé užitkové vody jsou ke spotřebiteli vedeny, z teplovodního zdroje nebo z předávací stanice zásobované horkou vodou či parou, dva páry potrubí a to dvojice potrubí pro vytápění a dvojice potrubí pro dodávku TUV, tak zvaný čtyřtrubkový rozvod. Vzhledem převážně k velkým tepelným ztrátám, ale i dalším provozním nevýhodám je v současnosti tento systém nahrazován systémem dvoutrubkovým, při kterém je dodáváno teplo pro vytápění i přípravu TUV pouze dvojicí potrubí až ke spotřebičům tepla s tím, že příprava TUV je prováděna individuálně až u spotřebitele nebo skupiny vhodných spotřebitelů. Toto řešení přináší úspory tepla ve výši cca 10 až 12 % proti rozvodům čtyřtrubkovým.

Regulace dodávek tepla

- u teplovodních soustav se dodávky tepla řídí automaticky hlavně způsobem ekvitermním, kdy teplota dodávané vody do soustavy je regulována v závislosti na venkovní teplotě. Automatické regulátory jsou k dispozici tuzemské výroby i zahraniční. Ceny těchto zařízení se pohybují v rozmezí 20 - 50 tis. Kč na jeden regulovaný okruh. Tato cena zahrnuje regulátor, oběhové čerpadlo a třicestný ventil. Úspory tepla zavedením regulace se pohybují v rozmezí 5 - 15 %.

- u horkovodních soustav je prováděna nejčastěji kvantitativně-kvalitativní regulace dodávek tepla, to znamená, že se mění jak množství oběhové vody, tak i její teplota. Zavedením regulace lze získat úspory tepla ve výši až 8 %. Instalací oběhových čerpadel s motory, které jsou vybaveny frekvenčními měniči otáček, lze navíc získat úspory elektrické energie na pohon oběhových čerpadel ve výši až 30 %. Tyto úspory elektrické energie platí i pro teplovodní soustavy.

- u parních soustav je plynulá regulace dodávky tepla poměrně obtížná a provádí se nejčastěji zavíráním a otevíráním ventilů na přívodním potrubí u spotřebičů páry. Regulace je prováděna kompenzačními regulátory v závislosti na akční veličině, kterou bývá zpravidla požadovaný tlak páry nebo provozní teplota. Vhodná regulace dodávky tepla přináší úspory ve výši až 15 %.

4.4 Přechod z parních systémů na horkovodní nebo teplovodní

Přechod parních systémů k horkovodním nebo teplovodním způsobům dodávek tepla je snahou především o minimalizaci tepelných ztrát v rozvodech. Další úspory však vznikají ještě v regulaci dodávek tepla neboť dodávky páry jsou co do regulace poměrně obtížné proti dodávce ve formě vody. V průměru lze uvažovat úspory tepla ve výši cca 6 - 8 %. Výše úspor je vyjádřena jako průměrný rozdíl ztrát provozovaných parních a teplovodních systémů.

Uvedený systém přechodu sebou nese úspory nejen ve snížení ztrát, ale má i řadu příznivých dopadů na úspory primární energie ve zdroji tepla.

Možnosti přechodu z parních sítí na horko či teplovodní systém. Potenciál přenášeného tepla parní sítí :

Tepelný výkon zdroje tepla	10 MW
Celkové množství přenášeného tepla parní sítí	96 000 GJ/r
Celkové tepelné ztráty v parní síti	12 000 GJ/r

Potenciál dosažitelných úspor primárního tepla	6 700 GJ/r (7 %)
Měrné investiční náklady vztažené na 1 kWt zatížení SCZT	2,1 tis. Kč / kW
Měrné investiční náklady na úsporu 1 GJ	3,1 tis. Kč / GJ
Orientační měrné investiční náklady potřebné na realizaci potenciálu energet. úspor	21 milionů Kč
Prostá doba návratnosti vložených investičních prostředků při ceně tepla 300 Kč/GJ	10 roků

4.5 Přechod z horkovodních systémů na teplovodní

Přechod z horkovodního systému dodávky tepla na teplovodní má za následek především snížení teploty dodávaného média a tím následně dochází ke snížení tepelných ztrát v rozvodech. Původní ztráty horkovodů se zpravidla pohybují ve výši cca 6 - 9 %. U

tepelně nízkopotenciálních dodávkách teplovodním způsobem lze úspory tepla uvažovat ve výši cca 3 - 4 %.

Možnosti přechodu z horkovodních sítí na teplovodní. Potenciál přenášeného tepla horkovodními sítěmi :

V případě výkonu horkovodního zdroje tepla	10 MW
Celkové množství přenášeného tepla horkovodní sítí	80 000 GJ/r
Celkové tepelné ztráty v horkovodní síti	5 600 GJ/r (7%)

Potenciál dosažitelných úspor primárního tepla	2 800 GJ/r (3,5 %)
Měrné investiční náklady vztahované na 1 kWt zatížení SCZT	0,9 tis. Kč / kW
Měrné investiční náklady na úsporu 1 GJ	3,2 tis. Kč / GJ
Orientační investiční náklady potřebné na realizaci potenciálu energet. úspor	9 milionů Kč
Prostá doba návratnosti vložených investičních prostředků při ceně tepla 300 Kč/GJ	8,5 roků

4.6 Decentralizace přípravy TV přímo do objektů

Příprava teplé užitkové vody centrálním způsobem spolu s dodávkou tepla pro vytápění je provedena čtyřtrubkovým rozvodem (dvojice potrubí pro vytápění a dvojice potrubí pro dodávku TV). Tento způsob rozvodů má za následek vyšší tepelné ztráty v rozvodech tepla i vyšší prostorové nároky na topný kanál pro uložení potrubí.

Decentralizovaný způsob přípravy TV odstraňuje tyto negativní aspekty a vede tedy k vyšší hospodárnosti neboť topná voda pro vytápění i ohřev TV je vedena pouze jednou dvojicí potrubí až k vytápěným objektům, kde je zároveň umístěna sustava na přípravu TV.

Výsledkem decentralizace přípravy TV jsou nižší tepelné ztráty v rozvodech, reálnější dimenzování a přizpůsobivost soustavy TV spotřebitelským odběrům teplé vody. Proti čtyřtrubkovým rozvodům činí tepelné ztráty dvoutrubkové soustavy cca 65 %. Pokud původní hodnota tepelných ztrát sekundárních rozvodů byla v průměru cca 8 - 9 % je v případě dvoutrubkového rozvodu uvažována úspora ve výši cca 5 %.

Možnosti přechodu na decentralizovaný systém přípravy TV přímo v objektech sekundární tepelnou sítí :

Celkové množství přenášeného tepla sekundárními tepelnými sítěmi	310 PJ
Celkové tepelné ztráty v sekundárních tepelných sítích, čtyřtrubkový rozvod	24,8 PJ
Množství přenášeného tepla sekundárními sítěmi, kde není dosud proveden přechod na dvoutrubkový rozvod.	255 PJ

Potenciál dosažitelných úspor primárního tepla	10,2 PJ(4%)
Měrné investiční náklady vztahované na 1 kWt zatížení	1,5 tis. Kč / kW
Měrné investiční náklady na úsporu 1 GJ	3,0 tis Kč / GJ
Orientační investiční náklady potřebné na realizaci potenciálu úspor	30,6 miliard Kč

- Volba soustav CZT a DCZT z hledisek dodávek tepla
- Řešení TV v letních měsících z hlediska dopravy tepla

4.7 Aplikace řídicích a informačních systémů v soustavách CZT

Řídicí a informační systémy se zavádí pouze u zdrojů vyšších výkonů (nad 5 MW), které umožňují komplexní řízení provozu jak zdroje tepla, tak i dodávky tepla od zdroje tepla přes soustavu předávacích stanic až k vytápěným objektům. Mimo vlastní regulaci a ovlivňování dodávek tepla je možno dálkovým způsobem účinně zasahovat také do provozu jednotlivých technologických zařízení. Systém je interakční a umožňuje trvale získávat informace a jejich archivaci o všech důležitých provozních hodnotách s výrobou a dodávkou tepla souvisejících i jejich případné ovlivňování. V systému se plně využívá počítačové techniky a volně programovatelných regulačních jednotek. Plného přizpůsobení soustavy výroby a dodávek tepla k vnějším klimatickým podmínkám a vnitřním podmínkám vytápěných prostorů je možno získat úspory tepla ve výši cca 7 %.

Možnosti aplikace řídicích a informačních systémů v SCZT :

Celkové dodávky tepla v SCZT s výkonem nad 5 MW	337 PJ
Dodávky tepla v soustavách CZT, kde dosud není řídicí systém aplikován	290 PJ
Potenciál dosažitelných úspor primárního tepla	20,3 PJ (7 %)
Měrné investiční náklady vztažené na 1 kWt zatížení SCZT	0,15 tis. Kč / kW
Měrné investiční náklady na úsporu 1 GJ	0,3 tis.Kč / GJ
Orientační investiční náklady potřebné na realizaci potenciálu úspor	6,1miliardy Kč

4.8 Tepelná izolace potrubních rozvodů tepelné energie – vyhláška č. 151/2001 Sb., optimální tloušťka izolace

Podle této vyhlášky jsou předepsána následující (hlavní, rozhodující) pravidla pro tepelné izolace rozvodů :

- 1 – tepelnou izolací se vybaví část tepelné sítě, kde prochází teponosná látka o teplotě vyšší než 40°C.
- 2 – u vnitřních rozvodů s teponosnou látkou do 110°C se tepelná izolace provádí tak, aby rozdíl její povrchové teploty a teploty okolí byl do 20 K. S teponosnou látkou nad 110°C by teplotní rozdíl měl být do 25 K.
- 3 – pro tepelné izolace vnějších rozvodů se použije materiál jehož součinitel tepelné vodivosti $\lambda \leq 0,045 \text{ W/m.K}$ a u rozvodů vnitřních $\lambda \leq 0,040 \text{ W/m.K}$.
- 4 – tloušťka tepelné izolace vnitřních rozvodů se volí dle následující tabulky :

Rozsah průměrů potrubí	Tloušťka tepelné izolace
do DN 20	$\geq 20 \text{ mm}$
DN 20 až DN 35	$\geq 35 \text{ mm}$
DN 40 až DN 100	$\geq \text{DN}$
nad DN 100	$\geq 100 \text{ mm}$

U vnějších rozvodů se tloušťka tepelné izolace stanovuje optimalizačním výpočtem.

Dále jsou uvedeny celkem 3 konkrétní příklady z praxe :

Příklad č. 1. zde je na základě výpočtu řešena optimální tloušťka izolace, v případech potrubí, kde je předepsaná povrchová teplota izolace, respektive rozdíl teplot mezi povrchem izolace a okolního prostředí

Příklad č. 2. zde je na základě výpočtu řešena optimální tloušťka izolace, v případech potrubí, kde z technologických důvodů je předepsaná konečná teplota teplosnosného média u zásobovaného spotřebiče.

Příklad č. 3. výpočtem jsou stanoveny úspory tepla, kdy je stará izolace potrubí nahrazena izolací novou, jak předepisuje vyhláška 151/2001 Sb., s optimální tloušťkou izolace.

Příklad č. 1

Úkolem je určit tloušťku tepelné izolace o měrné tepelné vodivosti $\lambda = 0,08 \text{ W/m.K}$ u potrubí o jmenovité světlosti DN 150, s pracovní teplotou teplosnosné látky 130°C vedeného v průchozím kanále tak, aby teplota povrchu izolace nebyla vyšší než 50°C při teplotě vzduchu v kanále 25°C .

Způsob výpočtu je založen na podmínce, že množství tepla procházejícího tepelnou izolací je za tepelně setrvačného stavu toku tepla shodné s množstvím tepla, které odchází s povrchu izolace do okolí :

$$q_{iz\lambda} = q_{iz\alpha}$$

Je-li t teplota potrubí (ta je v podstatě shodná s teplotou tekutiny protékající potrubím), t_{iz} teplota povrchu izolace a t_0 teplota okolí, dále $r_{iz\lambda}$ odpor proti vedení tepla tepelnou izolací a $r_{iz\alpha}$ odpor proti přestupu tepla s povrchu tepelné izolace do okolí pak platí následující vztahy :

$$\frac{t - t_{iz}}{r_{iz\lambda}} = \frac{t_{iz} - t_0}{r_{iz\alpha}}, \quad r_{iz\lambda} = r_{iz\alpha} \frac{t - t_{iz}}{t_{iz} - t_0}$$

Pro válcové tepelné izolace je :

$$r_{iz\lambda} = \frac{\ln D_{iz} / D}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}}, \quad r_{iz\alpha} = \frac{1}{\pi \cdot D_{iz} \cdot \alpha_{iz}}, \quad \text{z toho plyne} \quad \frac{\ln D_{iz} / D}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} = \frac{1}{\pi \cdot D_{iz} \cdot \alpha_{iz}} \cdot \frac{t - t_{iz}}{t_{iz} - t_0}$$

$$\ln \frac{D_{iz}}{D} = \frac{2 \cdot \lambda_{iz}}{\alpha_{iz}} \cdot \frac{t - t_{iz}}{t_{iz} - t_0} \cdot \frac{1}{D_{iz}} = \frac{K}{D_{iz}}$$

Vzhledem k tomu, že číselná hodnota veličiny K je určena zadanými hodnotami, které jsou nezávislé na geometrických poměrech potrubí a izolace, je její hodnota konstantní :

$$K = \frac{2 \cdot \lambda_{iz}}{\alpha_{iz}} \cdot \frac{t - t_{iz}}{t_{iz} - t_0} = \text{konst}$$

V technické praxi se ukazuje jako účelné rovnici : $\ln D_{iz} / D = K / D_{iz}$ řešit graficky.

Výsledek řešení je dán průsečíkem dvou čar, čáry $P = \ln D_{iz} / D$ a čáry $R = K / D_{iz}$, které se sestojí z vypočítaných hodnot pro příslušnou veličinu K a daný vnější průměr potrubí D a pro vhodný rozsah tloušťky izolace a tím i vnějšího průměru tepelné izolace D_{iz} .

Výše uváděný konkrétní příklad bude řešen v těchto variantách :

Varianta A – použije se stávající materiál izolace s hodnotou $\lambda_{iz} = 0,08 \text{ W/m.K}$

Varianta B – kdy bude použit materiál izolace s hodnotou $\lambda_{iz} = 0,04 \text{ W/m.K}$, jak předepisuje vyhláška 151/2001 Sb.

Varianta C - bude použit materiál izolace s hodnotou $\lambda_{iz} = 0,04 \text{ W/m.K}$, jak předepisuje vyhláška 151/2001 Sb., ale potrubí bude provedeno jako venkovní vedení na potrubním mostě s průměrnou roční teplotou izolace $t_{iz} = 5^\circ\text{C}$ a nejnižší oblastní teplotou $t_0 = -15^\circ\text{C}$.

Z konkrétního zadání v úvodu tohoto příkladu vyplývá :

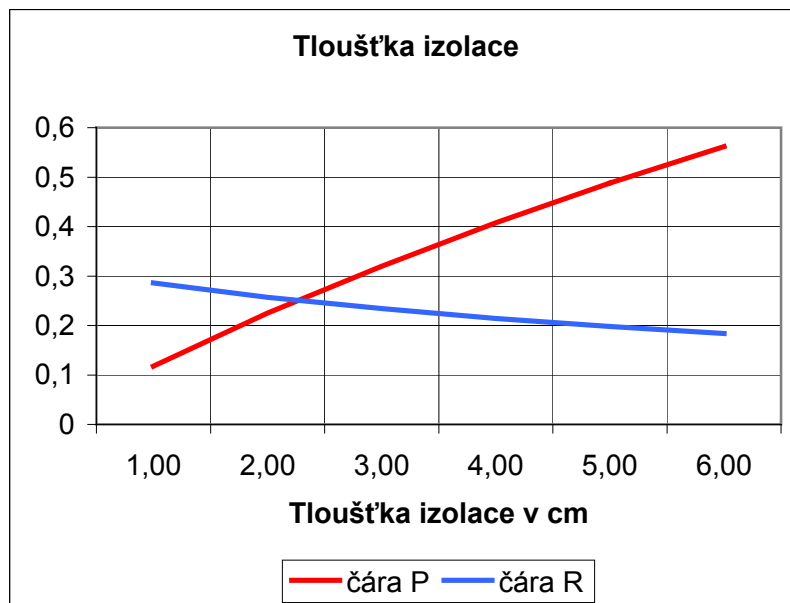
Varianta A –

$$t = 130^\circ\text{C}, t_{iz} = 50^\circ\text{C}, t_0 = 25^\circ\text{C}, D = 0,159 \text{ m}, \lambda_{iz} = 0,08 \text{ W/m.K}, \alpha_{iz} = 10 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

$$\text{hodnota } K = \frac{2 \cdot \lambda_{iz}}{\alpha_{iz}} \cdot \frac{t - t_{iz}}{t_{iz} - t_0} = \frac{2 \cdot 0,08}{10} \cdot \frac{130 - 50}{50 - 25} = 0,016 \cdot 3,2 = 0,0512 \text{ m}$$

Tabulka pro určení křivek P a R :

Tloušťka izolace (osa x) v cm	1	2	3	4	5	6
D_{iz} v m	0,179	0,199	0,219	0,239	0,259	0,279
D_{iz} / D	1,125	1,252	1,377	1,504	1,629	1,755
$\ln D_{iz} / D = P$ (čára P)	0,118	0,225	0,320	0,408	0,488	0,562
$K / D_{iz} = R$ (čára R)	0,286	0,257	0,234	0,214	0,198	0,184



Z diagramu vyplývá, že vyhovující tloušťka izolace je $s = 2,8$ cm. Teplota povrchu tepelné izolace o nejbližší větší dodávané tloušťce, která je 3 cm bude :

$$D_{iz} = 0,159 + 0,06 = 0,219 \text{ m}, \quad r_{iz\lambda} = \frac{\ln 0,219/0,159}{2 \cdot \pi \cdot 0,08} = \frac{0,320}{0,502} = 0,637 \text{ m.K/W}$$

$$r_{iz\alpha} = \frac{1}{\pi \cdot 0,219 \cdot 10} = 0,145 \text{ m.K/W}$$

Potom platí :

$$\frac{130 - t_{iz}}{0,637} = \frac{t_{iz} - 25}{0,145}$$

$$0,145 \cdot (130 - t_{iz}) = 0,637 \cdot (t_{iz} - 25)$$

$$(0,637 + 0,145) \cdot t_{iz} = 18,85 + 15,93$$

$$0,782 t_{iz} = 34,78$$

$$\underline{t_{iz} = 44,5^\circ\text{C}}$$

Z konkrétního zadání v úvodu tohoto příkladu vyplývá :

Proto, aby teplota izolace nepřekračovala hodnotu 50°C při teplotě teplotonosné látky 130°C a při průměrné teplotě okolí 25°C se vystačí s tloušťkou izolace cca 3 cm, která zabezpečí teplotu izolace cca 45°C . Jedná se o stávající stav, který neodpovídá současným požadavkům, kladeným na izolované potrubí.

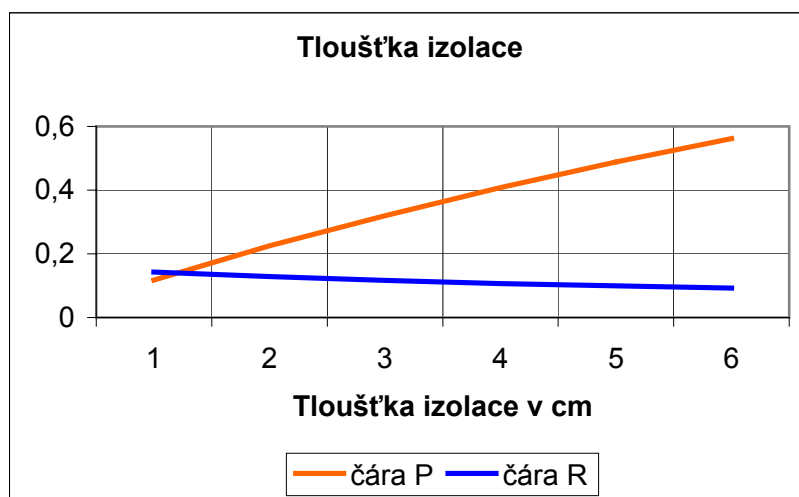
Varianta B -

$t = 130^{\circ}\text{C}$, $t_{iz} = 50^{\circ}\text{C}$, $t_0 = 25^{\circ}\text{C}$, $D = 0,159 \text{ m}$, $\lambda_{iz} = 0,04 \text{ W/m.K}$, $\alpha_{iz} = 10 \text{ W/m}^2\text{.K}$

$$\text{hodnota } K = \frac{2 \cdot \lambda_{iz}}{\alpha_{iz}} \cdot \frac{t - t_{iz}}{t_{iz} - t_0} = \frac{2 \cdot 0,04}{10} \cdot \frac{130 - 50}{50 - 25} = 0,008 \cdot 3,2 = 0,0256 \text{ m}$$

Tabulka pro určení křivek P a R :

Tloušťka izolace (osa x) v cm	1	2	3	4	5	6
D_{iz} v m	0,179	0,199	0,219	0,239	0,259	0,279
D_{iz} / D	1,125	1,252	1,377	1,504	1,629	1,755
$\ln D_{iz} / D = P$ (čára P)	0,118	0,225	0,320	0,408	0,488	0,562
$K / D_{iz} = R$ (čára R)	0,143	0,129	0,117	0,107	0,099	0,092



Z diagramu vyplývá, že vyhovující tloušťka izolace je $s = 1,3$ až 2 cm . Teplota povrchu tepelné izolace o nejbližší větší dodávané tloušťce, která je 2 cm bude :

$$D_{iz} = 0,159 + 0,04 = 0,199 \text{ m}, \quad r_{iz\lambda} = \frac{\ln 0,199/0,159}{2 \cdot \pi \cdot 0,04} = \frac{0,224}{0,251} = 0,892 \text{ m.K/W}$$

$$r_{iz\alpha} = \frac{1}{\pi \cdot 0,199 \cdot 10} = 0,160 \text{ m.K/W}$$

Potom platí :

$$\frac{130 - t_{iz}}{0,892} = \frac{t_{iz} - 25}{0,160}$$

$$0,160 \cdot (130 - t_{iz}) = 0,892 \cdot (t_{iz} - 25)$$

$$(0,892 + 0,160) \cdot t_{iz} = 20,8 + 22,3$$

$$1,052 t_{iz} = 43,1$$

$$t_{iz} = 41^{\circ}\text{C}$$

Výsledek výpočtu nám ukazuje, že izolace tl. 2 cm je, pro dané požadavky předepsané maximální teploty povrchu izolace 50°C , vyhovující. Jde o pouze demonstrativní příklad, který má ukázat vliv nové, kvalitnější izolace za stejných podmínek, jako v případě předchozím.

Varianta C -

Výpočet tloušťky izolace stejného potrubí jako v předchozím případě, ale s tím, že potrubí bude vedeno jako venkovní na potrubním mostě s venkovní teplotou t_0 , která je rovna nejnižší oblastní teplotě $t_z = t_0 = -15^{\circ}\text{C}$.

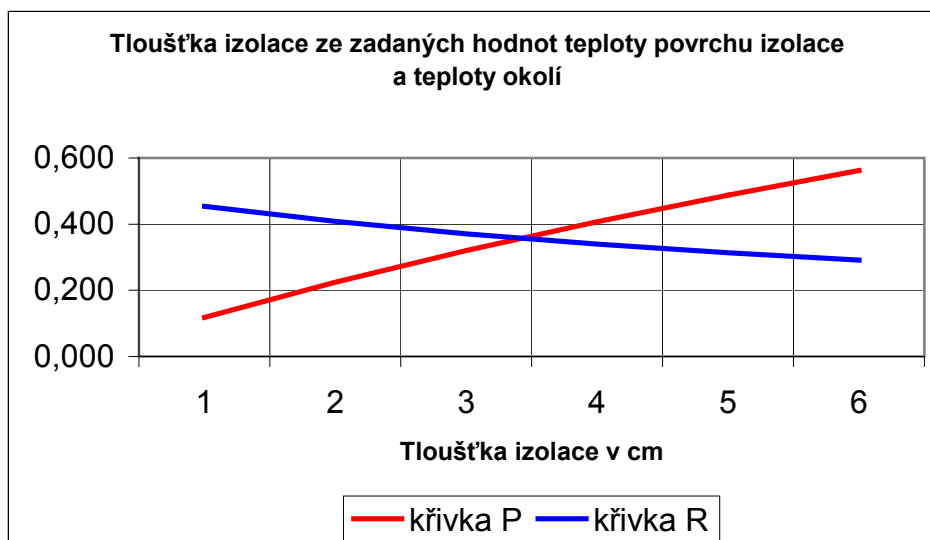
Z konkrétního zadání v úvodu tohoto příkladu vyplývá :

$$t = 130^{\circ}\text{C}, t_{iz} = -2^{\circ}\text{C}, t_0 = -15^{\circ}\text{C}, D = 0,159 \text{ m}, \lambda_{iz} = 0,04 \text{ W/m.K}, \alpha_{iz} = 10 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

$$\text{hodnota } K = \frac{2 \cdot \lambda_{iz}}{\alpha_{iz}} \cdot \frac{t - t_{iz}}{t_{iz} - t_0} = \frac{2 \cdot 0,04}{10} \cdot \frac{130 + 2}{-2 + 15} = 0,008 \cdot 10,15 = 0,0812 \text{ m}$$

Tabulka pro určení křivek P a R :

Tloušťka izolace (osa x) v cm	1	2	3	4	5	6
D_{iz} v m	0,179	0,199	0,219	0,239	0,259	0,279
D_{iz} / D	1,126	1,252	1,377	1,503	1,629	1,755
$\ln D_{iz} / D = P$ (čára P)	0,118	0,224	0,320	0,408	0,488	0,562
$K / D_{iz} = R$ (čára R)	0,454	0,408	0,371	0,340	0,314	0,291

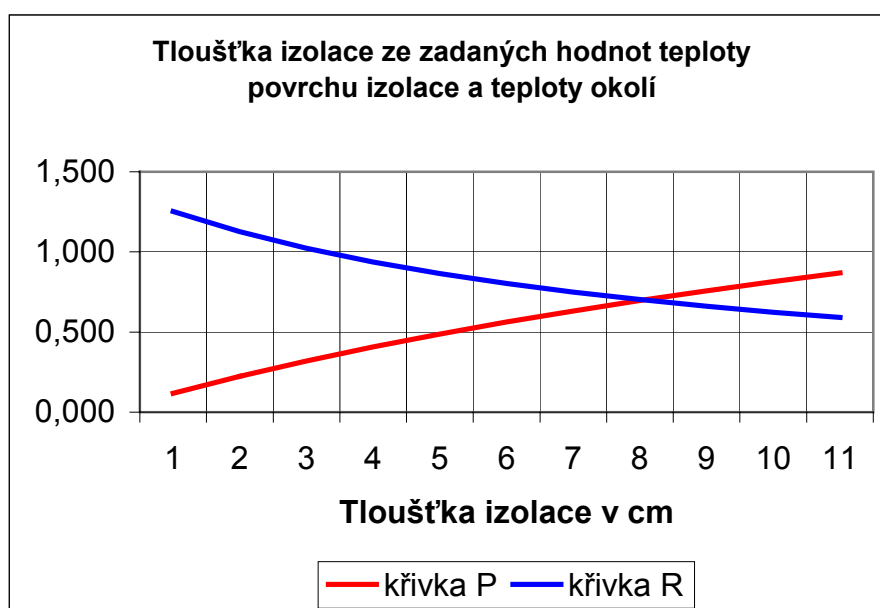


Za předpokladu stejných vstupních hodnot jako v předchozím příkladě, ale s tím rozdílem, že bude předepsaná při venkovní teplotě $t_0 = -15^\circ\text{C}$ teplota povrchu izolace -10°C . Pro tento případ je situace následující :

$$t = 130^\circ\text{C}, \quad t_{iz} = -10^\circ\text{C}, \quad t_0 = -15^\circ\text{C}, \quad D = 0,159 \text{ m}, \quad \lambda_{iz} = 0,04 \text{ W/m.K}, \quad \alpha_{iz} = 10 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

Hodnota $K = 0,224$

Tloušťka izolace (osa x) v cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D_{iz} v m	0,179	0,199	0,219	0,239	0,259	0,279	0,299	0,319	0,339
D_{iz} / D	1,126	1,252	1,377	1,503	1,629	1,755	1,881	2,006	2,132
$\ln D_{iz} / D = P$ (křivka P)	0,118	0,224	0,320	0,408	0,488	0,562	0,632	0,696	0,757
$K / D_{iz} = R$ (křivka R)	1,251	1,126	1,023	0,937	0,865	0,803	0,749	0,702	0,661



Pokud by v tomto případě bylo potrubí izolováno v souladu s vyhláškou č.150/2001 Sb., tedy o síle izolace 100 mm pro průměr potrubí DN 150, pak by výpočtem teplota izolace byla na úrovni -11°C .

Příklad č. 2 : Výpočet tloušťky izolace potrubí, když je dán úbytek teploty dopravovaného média mezi zdrojem tepla a konečným spotřebičem.

Výpočty založené na úbytku teploty dopravovaného média se převážně týkají dopravy páry neboť u vody jako teponosného média jsou úbytky teploty velmi malé, ve většině případů zanedbatelné.

Optimální tloušťka izolace potrubí v případech, kdy je daný úbytek teploty mezi zdrojem tepla a spotřebičem (předepsaná teplota) dodávaného média u spotřebiče. Příklad platí především pro dodávky páry.

Předpokládáme dodávky teponosné látky, která při průtoku potrubím nemění své skupenství, například přehřáté páry, která nekondenzuje a zůstává přehřátá. Pokles teploty teponosné látky lze určit z poměrně jednoduchého vztahu, u kterého se vychází z následujících předpokladů :

- Množství proudící látky se mezi zdrojem tepla a spotřebičem (úsek 1 – 2) se podle zákona o zachování hmoty nemění :

$$G_1 = G_2$$

- Množství tepla dopravované teponosnou látkou se podle zákona o zachování energie zmenšuje o tepelné ztráty ΔQ v úseku potrubí 1 – 2 :

$$Q_2 = Q_1 - \Delta Q$$

- Měrná tepelná kapacita proudící látky c se zpravidla mění jen ve velmi malém rozsahu a její číselnou hodnotu lze nahradit hodnotou střední :

•

$$c_1 = c_2 = c_{stř}$$

Potom pokles teploty $t_1 - t_2$ mezi úsekem potrubí 1 – 2 lze z předchozích vztahů vypočítat :

$$t_1 - t_2 = \frac{\Delta Q}{G \cdot c_{stř}}$$

Tepelnou ztrátu úseku potrubí 1 – 2 lze určit pomocí následujícího vzorce :

$$\Delta Q = q \cdot l_{iz} (1 + 0,01 z\%) = \frac{t - t_0}{\Sigma r_{iz}} l_{iz} (1 + 0,01 z\%)$$

Kde značí :

t teplota potrubí, respektive jeho obsahu, dodávané látky, která důsledkem úbytku teploty klesá z t_1 na t_2 a proto lze počítat s její střední hodnotou $t = (t_1 + t_2) / 2$

t_0 teplota okolí tepelné izolace

l_{iz} délka tepelně izolovaného potrubí

$z\%$ zvýšení tepelných ztrát tepelnou izolací potrubí vlivem neizolovaných nebo méně účinně izolovaných částí a armaturami v %

Σr_{iz} tepelný odpor tepelné izolace, který pro válcovou izolaci lze vypočítat ze vztahů :

$$\Sigma r_{iz} = r_{iz\lambda} + r_{iz\alpha} = \frac{\ln D_{iz} / D}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} + \frac{1}{\pi \cdot D_{iz} \cdot \alpha_{iz}}$$

q jednotková (měrná) ztráta tepla tepelnou izolací izolované trubky o délce 1 metr, kterou je možno určit některým z předchozích uváděných vztahů.

Z výše uvedených vztahů vyplývá :

$$\Delta Q = \frac{[0,5 (t_1 + t_2) - t_0] \cdot l_{iz} (1 + 0,01 z\%)}{\Sigma r_{iz}} = G \cdot c_{stř} \cdot (t_1 - t_2)$$

Výsledný vztah má potom tvar :

$$\Sigma r_{iz} = \frac{[0,5 (t_1 + t_2) - t_0] \cdot l_{iz} (1 + 0,01 z\%)}{G \cdot c_{stř} \cdot (t_1 - t_2)} = \frac{\ln D_{iz} / D}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} + \frac{1}{\pi \cdot D_{iz} \cdot \alpha_{iz}}$$

$$\ln \frac{D_{iz}}{D} + \frac{2 \cdot \lambda_{iz}}{\alpha_{iz}} \cdot \frac{1}{D_{iz}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz} \cdot l_{iz} (1 + 0,01 z\%) \cdot [0,5 (t_1 + t_2) - t_0]}{G \cdot c_{stř} \cdot (t_1 - t_2)}$$

Tato rovnice má obecně tvar $A + B = C$ a v technické praxi je účelné ji řešit, jako v případě předcházejícím, graficky. Výsledek je dán průsečíkem součtu čar $A + B$, to znamená čáry $A = \ln D_{iz} / D$ a čáry $B = 2 \cdot \lambda_{iz} / \alpha_{iz} \cdot D_{iz}$ a přímkou C .

Čáry A a B se sestojí z vypočítaných hodnot pro dané λ_{iz} a α_{iz} a vnější průměr trubek D a pro vhodně volený rozsah tloušťek tepelné izolace s a tím i vnějšího průměru válcové izolace D_{iz} .

Hodnota C se vypočítá z daných veličin, které na průměru izolace D_{iz} nezávisí a proto z hlediska D_{iz} je $C = \text{konst.}$ A tedy je rovnoběžná s osou x (volené tloušťky izolace).

Postup výpočtu i grafického řešení je zřejmý na následujícím konkrétním příkladě z praxe :

Příklad :

Parovodem DN 150 se dopravuje 10 t/h přehřáté páry o přetlaku 0,9 MPa s teplotou přehřátí 250°C. Parovod je dlouhý 200 metrů a součástí parovodu je jeden uzavírací ventil, který je bez izolace a 2 kompenzátory U s celkovou délkou 13 m, izolované. V délce 15 m je parovod veden vnitřkem haly s vnitřní teplotou 20°C a ve zbývajícím délce je veden na potrubním mostě s venkovní teplotou -15°C.

Je třeba ověřit optimální tloušťku izolace o tepelné vodivosti v pracovním stavu $\lambda_{iz} = 0,08 \text{ W/m.K}$ tak, aby pokles teploty dodávané páry byl maximálně 20°C, tedy z 250 na 230°C na konci parovodu.

Výše uvedený příklad bude řešen ve dvou variantách –

Varianta A - hodnotí se pokles teploty s užitím stávající izolace, kde $\lambda_{iz} = 0,08 \text{ W/m.K}$

Varianta B - pokles předepsané teploty se hodnotí s užitím izolačního materiálu, kde je vyhláškou 151 / 2001 Sb. předepsaná hodnota $\lambda_{iz} = 0,04 \text{ W/m.K}$

Varianta A

Zadané hodnoty : $t_1 = 250^\circ\text{C}$, $t_2 = 230^\circ\text{C}$, $t_0 = -15^\circ\text{C}$, $D = 0,159 \text{ m}$, $G = 10\,000 \text{ kg/h}$,
 $\lambda_{iz} = 0,08 \text{ W/m.K}$.

Zjistí se hodnoty : $c_{stř} = 0,618 \text{ kWh/kg.K}$, z parních tabulek pro absolutní tlak 1 MPa a pro střední teplotu $t_{stř} = 240^\circ\text{C}$.

Celková délka izolovaného potrubí 200m se zvětší o délku kompenzátorů 13m a o rovnomocnou délku neizolovaného ventilu 14m, tedy : $l_{iz} = 200 + 13 + 14 = 227 \text{ m}$.

Hodnota $z = 20$ až 30% pro nadzemní vedení, $\alpha_{iz} = 30 - 35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (odhad).

Vypočítá se –

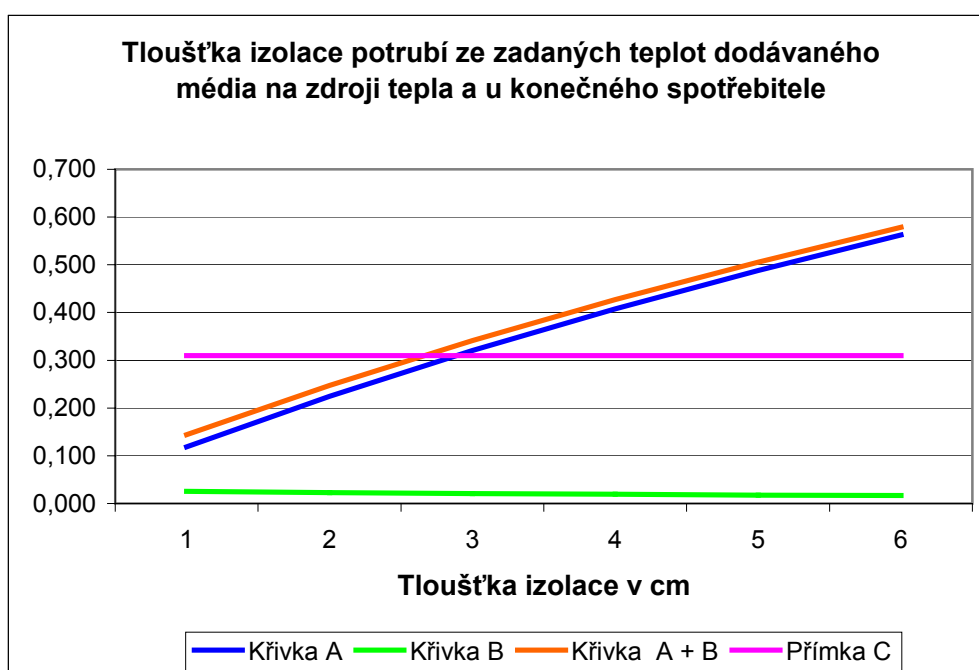
- hodnota $2 \cdot \lambda_{iz} / \alpha_{iz}$: $2 \cdot \lambda_{iz} / \alpha_{iz} = 2 \cdot 0,08 / 35 = 0,0046$

- konstantní hodnota přímky $C = \frac{6,28 \cdot 0,08 \cdot 227 (1,2 \text{ až } 1,3) [0,5 (250 + 230) + 15]}{10\,000 \cdot 0,618 \cdot (250 - 230)} =$

$C = 0,310$

- tabulka pro sestrojení křivek A, B a A+B :

Tloušťka izolace (osa x) v cm	1	2	3	4	5	6
D_{iz} v m	0,179	0,199	0,219	0,239	0,259	0,279
D_{iz} / D	1,126	1,252	1,377	1,503	1,629	1,755
$\ln D_{iz} / D = A$ (křivka A)	0,118	0,224	0,320	0,408	0,488	0,562
$0,0046 / D_{iz} = B$ (křivka B)	0,026	0,023	0,021	0,019	0,018	0,016
Křivka A + B	0,144	0,248	0,341	0,427	0,506	0,579



Z výše uvedeného diagramu vychází tloušťka izolace cca 3 cm pro zjednodušené, méně příznivé řešení, jako by celý parovod byl veden nad zemí. Volíme tedy izolaci s tl. 4cm.

Nyní dalším výpočtem ověříme, zda pokles teploty 20°C s izolací tl. 4 cm bude dodržen.

Pokles teploty páry v parovodu DN 150 s tepelnou izolací 4 cm –

a) vnitřní vedení potrubí v hale : $l_{iz} = 15 + 14 = 29\text{m}$, $\alpha_{iz} = 10,5 \text{ W/m}^2\text{.K}$, $z = 15$ až 25% ,
 $D = 0,159\text{m}$, $D_{iz} = 0,239 \text{ m}$, $\lambda_{iz} = 0,08 \text{ W/M.K}$,

$$\Sigma r_{iz} = r_{iz\lambda} + r_{iz\alpha} = \frac{\ln D_{iz} / D}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} + \frac{1}{\pi \cdot D_{iz} \cdot \alpha_{iz}} = \frac{\ln 1,504}{6,28 \cdot 0,08} + \frac{1}{\pi \cdot 0,239 \cdot 10,5} = 0,938 \text{ m.K/W}$$

Odhadem : $t_1 - t_{1-2} = 2^\circ\text{C}$, $t_{stř} = 0,5 (250 - 248) = 249^\circ\text{C}$,

$$\Delta Q_1 = \frac{249 - 20}{0,938} \cdot 29 (1,15 \text{ až } 1,25) = 8\,850 \text{ W}$$

$$t_1 - t_{1-2} = \frac{8\,850}{10000 \cdot 0,619} = 1,5^\circ\text{C}, \text{ tento výsledek se dobře shoduje s odhadem}$$

b) venkovní nadzemní vedení potrubí : $l_{iz} = 227 - 29 = 198\text{m}$, $\alpha_{iz} = 41 \text{ W/m}^2\text{.K}$,
 $z = 20$ až 30% ,
 $D = 0,159\text{m}$, $D_{iz} = 0,239 \text{ m}$, $\lambda_{iz} = 0,08 \text{ W/m.K}$,

$$\Sigma r_{iz} = 0,812 + \frac{1}{0,239 \cdot 41} = 0,812 + 0,102 = 0,914 \text{ m.K/W}$$

$t_{stř} = 0,5 (248 - 230) = 239^\circ\text{C}$, $t_0 = t_z = -15^\circ\text{C}$,

$$\Delta Q_2 = \frac{239 + 15}{0,914} \cdot 198 (1,2 \text{ až } 1,3) = 71\,500 \text{ W}$$

$\Delta Q_1 + \Delta Q_2 = 80\,350 \text{ W}$ a potom :

$$t_1 - t_{1-2} = \frac{80\,350}{10000 \cdot 0,619} = 13^\circ\text{C},$$

Výsledek nám ukazuje, že pro přípustný pokles teploty stačí potrubí opatřit tepelnou izolací o tloušťce 4 cm. S ohledem na provozní nejistoty se doporučuje provést izolaci s tloušťkou nejbližší vyšší 5 cm. Pokud by však ekonomicky nejvýhodnější tloušťka izolace vycházela větší, použila by se tato větší hospodárná tloušťka izolace.

Varianta B

Zadané hodnoty : $t_1 = 250^\circ\text{C}$, $t_2 = 230^\circ\text{C}$, $t_0 = -15^\circ\text{C}$, $D = 0,159 \text{ m}$, $G = 10\,000 \text{ kg/h}$,

$$\lambda_{iz} = 0,04 \text{ W/m.K.}$$

Zjistí se hodnoty: $c_{stf} = 0,618 \text{ kWh/kg.K}$, z parních tabulek pro absolutní tlak 1 MPa a pro střední teplotu $t_{stf} = 240^\circ\text{C}$.

Celková délka izolovaného potrubí 200m se zvětší o délku kompenzátorů 13m a o rovnomocnou délku neizolovaného ventilu 14m, tedy: $l_{iz} = 200 + 13 + 14 = 227\text{m}$.

Hodnota $z = 20$ až 30% pro nadzemní vedení, $\alpha_{iz} = 35 \text{ W/m}^2\text{.K}$ (odhad).

Vypočítá se –

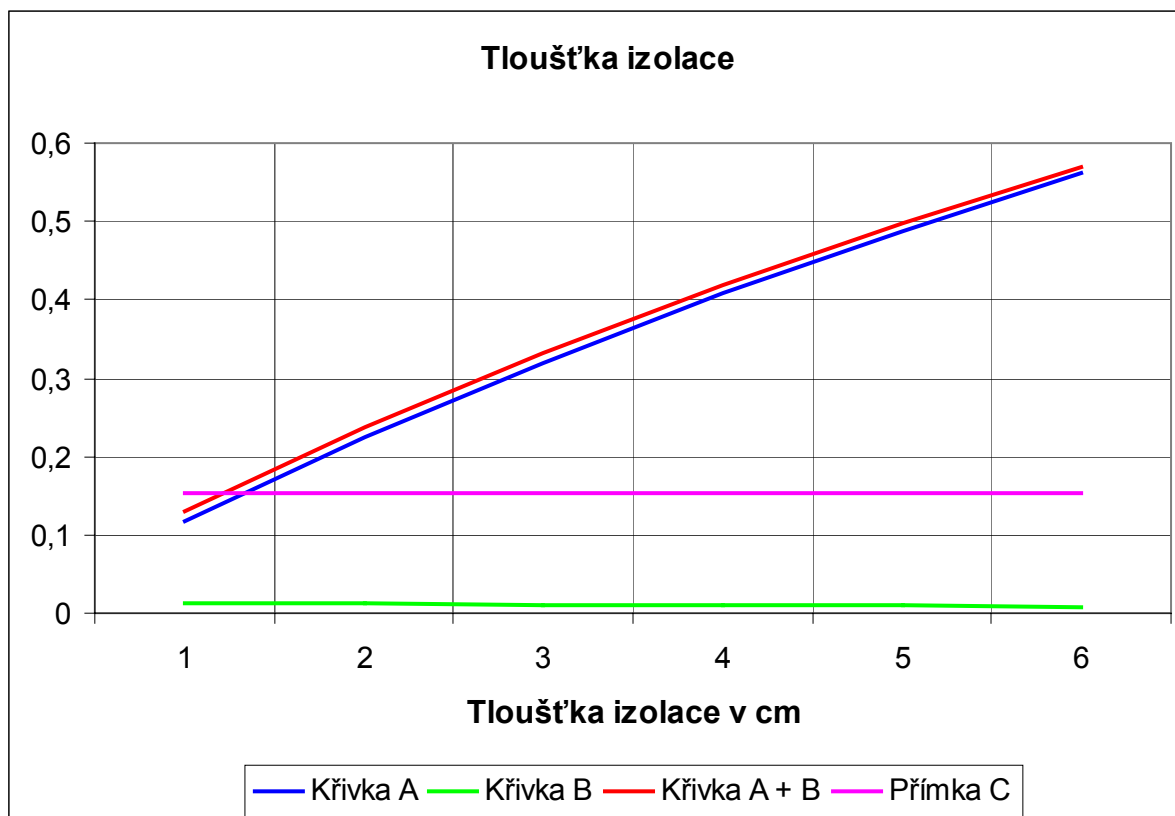
- hodnota $2 \cdot \lambda_{iz} / \alpha_{iz}$: $2 \cdot \lambda_{iz} / \alpha_{iz} = 2 \cdot 0,04 / 35 = 0,0023$

- konstantní hodnota přímky $C = \frac{6,28 \cdot 0,04 \cdot 227 (1,2 \text{ až } 1,3) [0,5 (250 + 230) + 15]}{10\,000 \cdot 0,618 \cdot (250 - 230)} =$

$$C = 0,153$$

- tabulka pro sestrojení křivek A, B a A+B :

Tloušťka izolace (osa x) v cm	1	2	3	4	5	6
D_{iz} v m	0,179	0,199	0,219	0,239	0,259	0,279
D_{iz} / D	1,125	1,252	1,377	1,504	1,629	1,755
$\ln D_{iz} / D = A$ (křivka A)	0,118	0,225	0,320	0,408	0,488	0,562
$0,0023 / D_{iz} = B$ (křivka B)	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008
Křivka A + B	0,131	0,237	0,331	0,418	0,497	0,570
Přímka C	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153	0,153



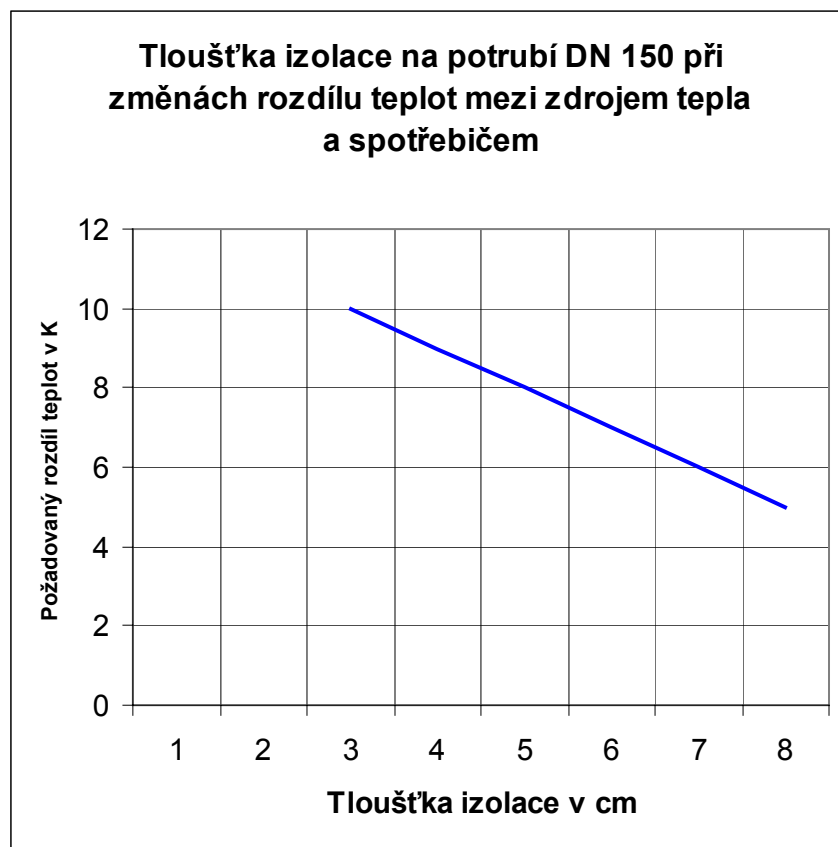
Řešený příklad ukazuje, že k dodržení podmínek poklesu teploty o 20°C by stačilo potrubí opatřit izolací pouze 1 cm silnou. Vzhledem k tomu, že nejbližší vyšší vyráběná tloušťka izolace je 2 cm, která by formálně vyhovovala pro splnění podmínek zadaných v uvedeném příkladu. V praxi je však tato tloušťka nevyhovující a i přes splnění podmínek řešeného příkladu bude navržena k realizaci tloušťka izolace v rozmezí, která se rovná 0,3 – 0,5D, podle nejnižší oblastní teploty.

Další konkrétní příklady výpočtu tloušťky izolace jsou pro konkrétní případy, kdy je třeba dodržet rozdíl teplot mezi zdrojem tepla a spotřebičem .

Příklad :

Potrubím DN 150 je dopravována přehřátá pára o výstupní teplotě ze zdroje 250°C. Určete závislost tloušťky izolace pro měnící se požadovaný rozdíl teplot mezi zdrojem a spotřebičem. Kvalita izolace se předpokládá ve všech případech konstantní $\lambda = 0,04 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Požadovaný rozdíl teplot	10	9	8	7	6	5	K
Potřebná tloušťka izolace	3	4	5	6	7	8	cm

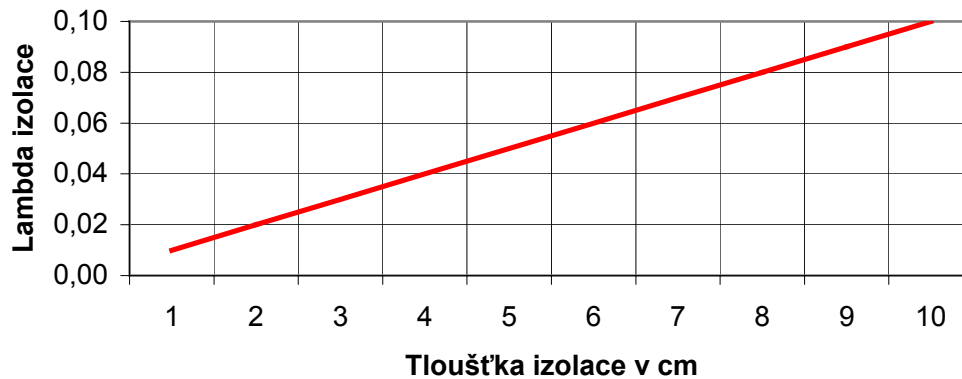


Příklad :

Potrubím DN 150 je dopravována přehřátá pára o výstupní teplotě ze zdroje 250°C. Určete závislost tloušťky izolace pro konstantně zadaný rozdíl teplot mezi zdrojem a spotřebičem 10 K. Mění se kvalita izolace v rozmezí $\lambda = 0,01 - 0,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Tloušťka izolace v cm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
λ izolace (W/m.K)	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080	0,090	0,100

Tloušťka izolace pro potrubí DN 150 při zadaném konstantní rozdílu teplot mezi zdrojem tepla a spotřebičem 10K ve vazbě na změnu kvality izolace

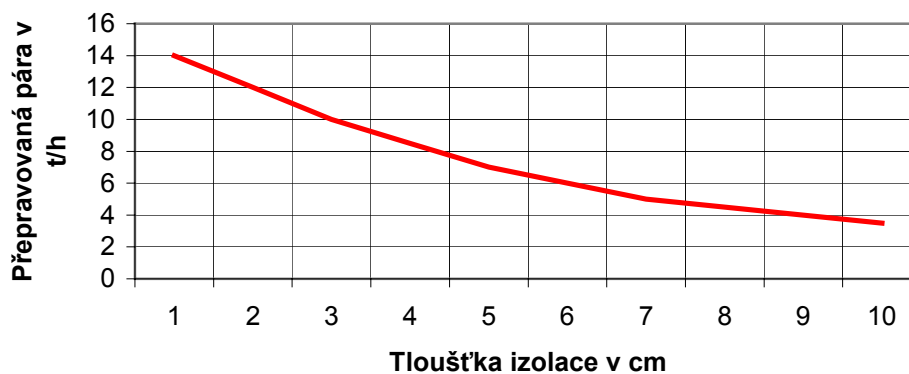


Příklad :

Potrubím DN 150 je dopravována přehřátá pára o výstupní teplotě ze zdroje 250°C. Určete závislost tloušťky izolace pro konstantně zadaný rozdíl teplot mezi zdrojem a spotřebičem 10 K. Předpokládá se konstantní kvalita izolace $\lambda = 0,04 \text{ W/m.K}$. Mění se množství dopravované páry.

Tloušťka izolace v cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Množství dopravované páry v kg/h	14,0	12,0	10,0	8,5	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5

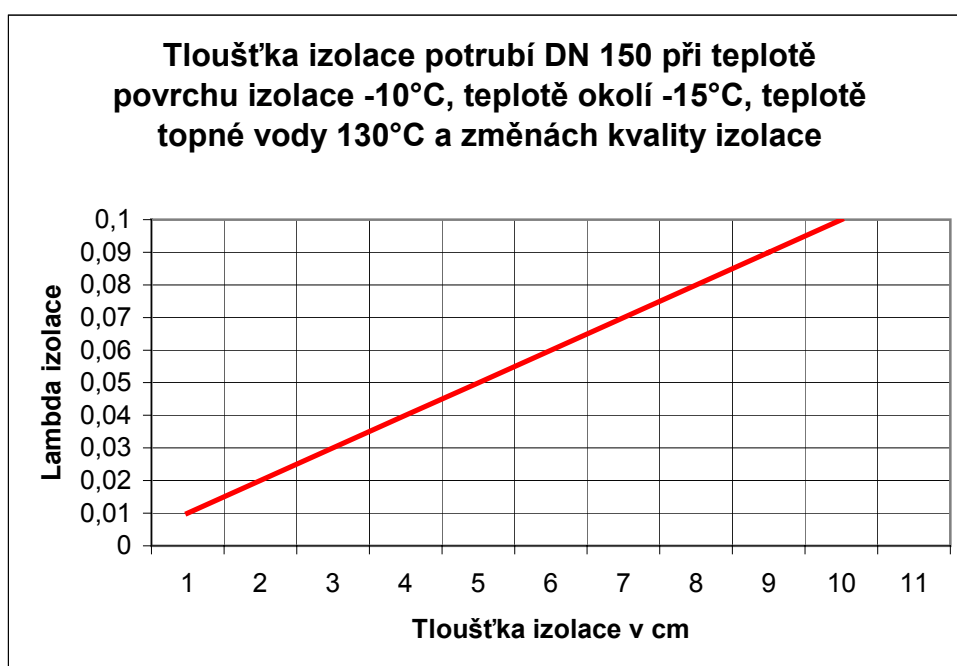
Tloušťka izolace parního potrubí DN 150 při konstantním zadaném rozdílu teplot mezi zdrojem tepla a spotřebičem 10°C a změnách množství přepravované páry.



Příklad :

Stanovte závislost tloušťky izolace v cm pro případy dodávek tepla v horké vodě o konstantní teplotě 130°C s měnící se kvalitou izolace, kdy $\lambda = 0,01 - 0,1$ W/m.K. Teplo je dodáváno potrubím o DN 150. Teplota okolí je -15°C a teplota povrchu izolace je -10°C. Teplota povrchu izolace i okolí je stálá.

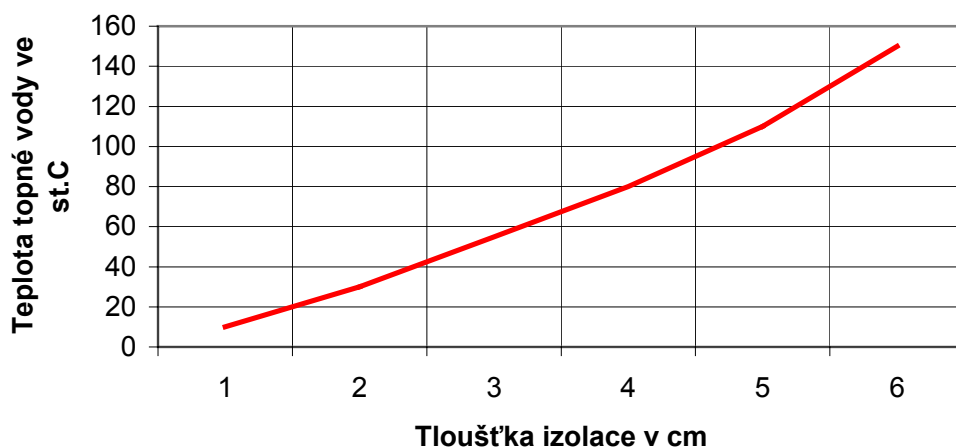
Tloušťka izolace v cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lambda izolace W/m.K	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10

**Příklad :**

Stanovte závislost tloušťky izolace v cm pro případy dodávek tepla v topné vodě o měnící se teplotě dodávané topné vody 10 - 150°C s konstantní kvalitou izolace, kdy $\lambda = 0,04$ W/m.K. Teplo je dodáváno potrubím o DN 150. Teplota okolí je -15°C a teplota povrchu izolace je -10°C. Teplota povrchu izolace i okolí je konstantní.

Tloušťka izolace v cm	1	2	3	4	5	6
Teplota topné vody ve °C	10	30	55	80	110	150

**Závislost tloušťka izolace potrubí DN 150 při
změnách teploty dodávané topné vody, konstantní
hodnotě izolace 0,04 W/m.K, konstantních
hodnotách venkovní teploty -15°C a teplotě povrchu
izolace -10°C.**

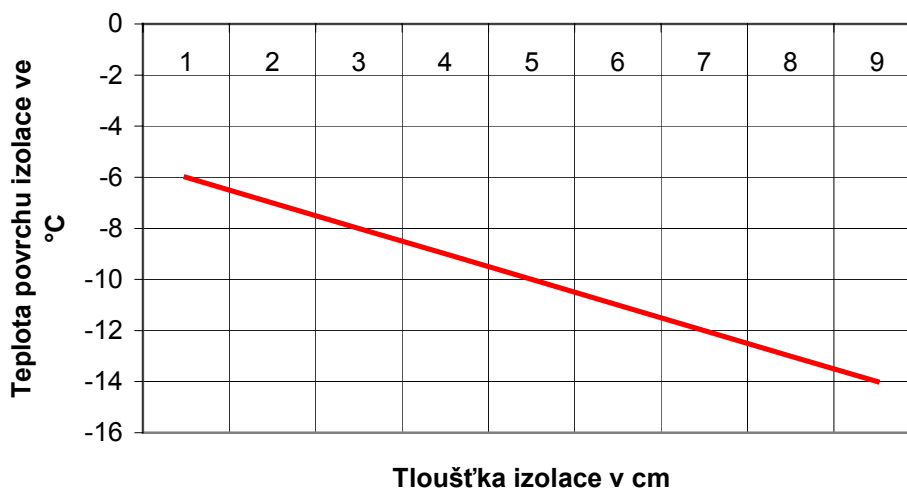


Příklad :

Stanovte závislost tloušťky izolace v cm pro případy dodávek tepla v horké vodě o konstantní teplotě dodávané horké vody 130°C s konstantní kvalitou izolace, kdy $\lambda = 0,04 \text{ W/m.K}$ a měnící se teplotou povrchu izolace. Teplo je dodáváno potrubím o DN 150. Teplota okolí je konstantní -15°C.

Tloušťka izolace v cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Teplota povrchu izolace ve °C	-6,0	-7,0	-8,0	-9,0	-10,0	-11,0	-12,0	-13,0	-14,0

**Tloušťka izolace potrubí DN 150 při změnách
teploty povrchu izolace a konstantních
hodnotách lambda izolace 0,04 W/m.K, teplotě
topné vody 130°C a teplotě okolí -15°C.**



5.0 Chladnutí potrubí po jeho odstavení z provozu

Teplota potrubí t po jeho odstavení postupně klesá až na teplotu t_e , jejíž výše závisí na rozdílu teploty t potrubí a teploty okolí t_0 , na množství tepla akumulovaného v potrubí, v jeho náplni a v tepelné izolaci a na tepelném odporu Σr tepelné izolace, respektive prostředí, které potrubí obklopuje a na době ochlazování τ :

Za předpokladu, že t_0 je konstantní, $t_0 = \text{konst}$, potom je :

$$t_e = t_0 + (t - t_0) \cdot e^{-\omega \tau}$$

kde znamená :

$$\omega = \frac{3,6}{\Sigma r \cdot \Sigma G \cdot c} \quad , \quad \Sigma r = r_{i1} + r_{i2} + \dots + r_{in} \quad , \quad \Sigma G \cdot c = G_t \cdot c_t + G_n \cdot c_n + 0,46 \cdot G_i \cdot c_i$$

$G_t \cdot c_t$ (vlastní potrubí), $G_n \cdot c_n$ (náplň v potrubí), $0,46 \cdot G_i \cdot c_i$ (izolace potrubí)

Pokles teploty syté páry, která proudí mezi úsekem 1 – 2, viz obrázek z předchozích kapitol, závisí na tlaku, který vzniká při průtoku tímto úsekem, neboť teplota syté páry je funkcí jejího tlaku $t'' = f(p'')$. Konkrétně pro sytou vodní páru s dostatečnou přesností platí :

$$t'' = 100 \cdot \sqrt[4]{p} \quad , \quad \text{kde tlak } p \text{ je v jednotkách (bar, nebo atp)}$$

Tepelné ztráty způsobují v tomto případě kondenzaci páry v množství :

$$\Delta G = G_1 - G_2 = \frac{\Delta Q}{r''}$$

kde r'' značí výparné teplo při tlaku syté páry v úseku potrubí 1 – 2.

Proudí-li úsekem potrubí 1 – 2 mírně přehřátá pára, ochladí se nejprve na teplotu syté páry o $t - t''$, čímž se uhradí část tepelné ztráty $\Delta Q'' = Q - \Delta Q' = G_h \cdot c_{stř} \cdot (t - t'')$.

Druhá část tepelné ztráty $\Delta Q'$ způsobí kondenzaci nyní již syté páry v množství podle výše uvedeného vztahu :

$$\Delta G = G_1 - G_2 = \frac{\Delta Q}{r''}$$

V uvedených vztazích značí :

Q	- množství tepla	kJ
ΔQ	- tepelná ztráta potrubí	kJ
$\Delta Q''$	- tepelná ztráta přehřátí proudící přehřáté páry	kJ
$\Delta Q'$	- tepelná ztráta působící kondenzaci proudící syté páry	kJ
G_t, G_n, G_i	- hmotnost 1metru vlastního potrubí, náplně potrubí a izolace	kg
G_h	- hmotnost proudící páry potrubím	kg/h
r''	- výparné teplo při odpovídajícím tlaku syté páry	kJ/kg
c_t, c_n, c_i	- měrná tepelná kapacita materiálu potrubí, náplně a izolace	kJ/kg.K
ω	- poměr součinitele prostupu tepla z obsahu potrubí do okolního vzduchu k jednotkovému množství tepla, které obsahuje stěna potrubí, jeho náplň a izolace na začátku chladnutí	1/h
τ	- doba chladnutí potrubí	h

Příklad :

Horkovodní potrubí o DN 150, opatřeno izolací z minerální vlny o tloušťce 7 cm, je jako venkovní vedení uloženo na potrubním mostě. Průměrná provozní teplota dodávané horké vody je $t = 150^\circ\text{C}$.

Určete orientačně teplotu ochlazené horké vody v potrubí v případě odstavení potrubí z provozu při různé venkovní teplotě t_0 a době odstavení potrubí τ .

Za předpokladu, že t_0 je konstantní, $t_0 = \text{konst}$, potom je :

$$t_e = t_0 + (t - t_0) \cdot e^{-\omega\tau}$$

Výpočet potřebných hodnot pro 1metr délky potrubí o průměru DN 150 :

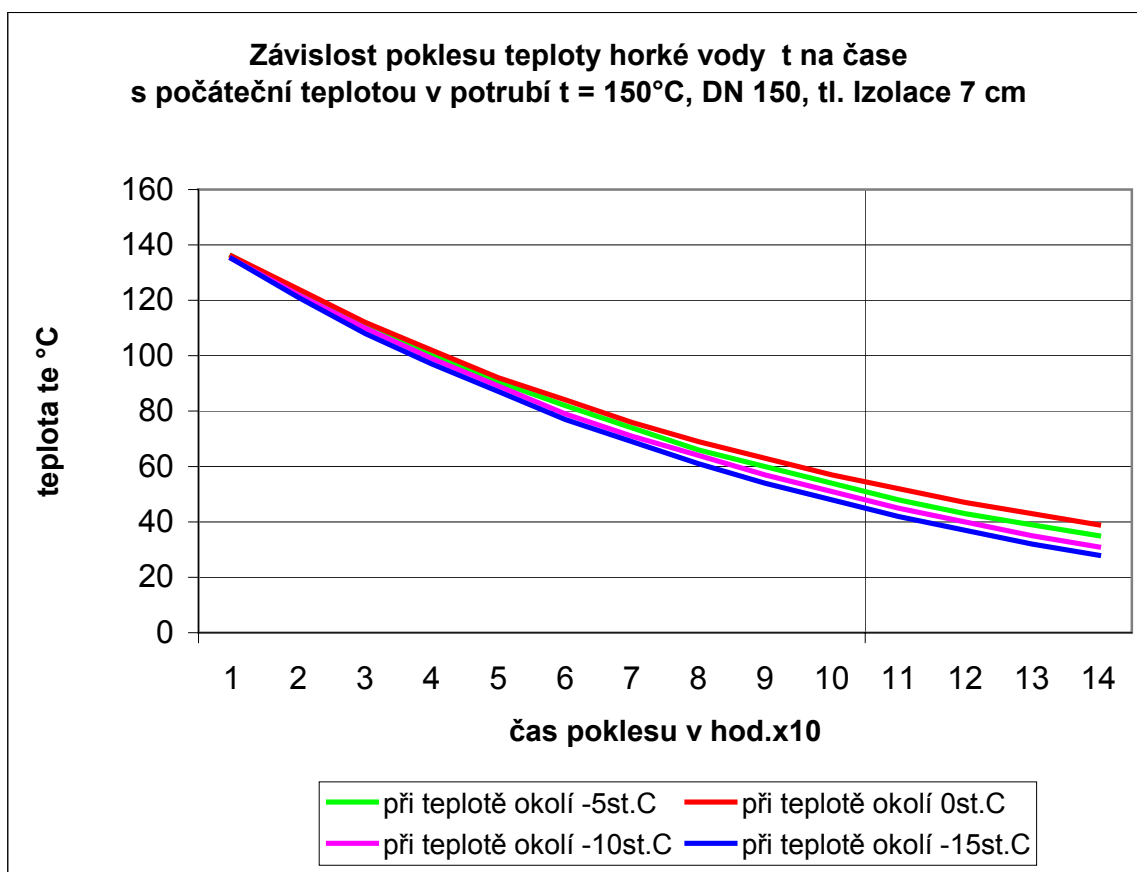
Údaj	Hmotnost	Měrná tepelná kapacita	Hodnota G. c
Materiál potrubí	$G_t = 17,03 \text{ kg}$	$c_t = 0,452 \text{ kJ/kg.K}$	$G_t \cdot c_t = 7,70 \text{ kJ/K}$
Náplň potrubí	$G_n = 17,66 \text{ kg}$	$c_n = 4,2 \text{ kJ/kg.K}$	$G_n \cdot c_n = 74,18 \text{ kJ/K}$
Izolace potrubí	$G_i = 5,08 \text{ kg}$	$c_i = 0,8 \text{ kJ/kg.K}$	$0,46 \cdot G_i \cdot c_i = 1,87 \text{ kJ/K}$
Celkem			$G \cdot c = 83,75 \text{ kJ/K}$

Hodnota ω :

$$\omega = \frac{3,6}{\Sigma r \cdot \Sigma G \cdot c} = \frac{3,6}{4,44 \cdot 83,75} = 0,009685369$$

Pro různě, vhodně volené časové úseky chladnutí τ je možno postupně získat teplotu vody v potrubí při různých teplotách okolí. Výsledky jsou zřejmé z následující tabulky a souvisejícího grafu :

Čas chladnutí v hodinách	20	40	60	80	100	120	140
Teplota t_e ve °C při :							
konstantních venkovních teplotách 0°C	124	102	84	69	57	47	39
- 5°C	123	100	82	66	54	43	35
- 10°C	122	99	79	64	51	40	31
- 15°C	121	97	77	61	48	37	28



5.1 Hospodárná tloušťka tepelné izolace.

Hospodárná tloušťka tepelné izolace s_h se zjistí z nejmenší hodnoty součtu nákladů na ztráty tepla a nákladů na pořízení a udržování tepelné izolace.

Obě tyto složky se určí v závislosti na tloušťce tepelné izolace pro celou dobu ekonomické životnosti izolace nebo užívání izolace a to pro část tepelné izolace o stejném průměru nebo pro 1 metr délky izolované trubky.

Sečtení obou těchto složek se provede buď matematicky, kdy se prvá parciální derivace podle tloušťky izolace položí rovno nule nebo graficky.

Do pořizovacích nákladů je často třeba zahrnout i náklady na prostor potřebný pro vedení potrubí, neboť tloušťka tepelné izolace ovlivňuje rozměry podzemních kanálů. Proto matematické řešení pomocí jednoduchých vzorců lze použít pouze pro potrubí ve volných prostorách, na jejichž velikost nemá tloušťka tepelné izolace vliv.

Pro případy rovinných a nebo málo zakřivených ploch lze hospodárnou tloušťku izolace v centimetrech vyjádřit vztahem :

$$s_h = \sqrt{\frac{A}{a \cdot N}} - 100 \cdot \frac{\lambda_i}{\alpha_i} \dots\dots\dots (\text{ cm })$$

Pro potrubí s tepelnou izolací o tloušťce v rozmezí $s = (0,25 \text{ až } 0,9) D$ pak vztahem :

$$s_h = \sqrt{960 \cdot D^2 + \frac{795 \cdot D \cdot A}{a \cdot B}} - 19 \cdot D \dots\dots\dots (\text{ cm })$$

kde představuje : $A = \lambda_i \cdot (t - t_0) \cdot \tau \cdot C_t \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$

$$B = C_x + C \cdot (s_x + 50 \cdot D)$$

a	- roční odpis. sazba izolace a poměrné roční výdaje na její udržování	0,01 , %
s_x	- předběžně odhadnutá tloušťka izolace potrubí	cm
C	- přírůstek ceny tepelné izolace potrubí na 1 cm její tloušťky	Kč/m ² .cm
C_x	- cena 1 m ² tepelné izolace o tloušťce s_x nebo s_h	Kč/m ²
C_t	- cena ztraceného tepla	Kč/GJ
D	- vnější průměr potrubí	m
N	- cena 1 m ³ tepelné izolace rovinné nebo mírně zakřivené plochy o tloušťce s_h	Kč/m ³
λ_i	- průměrná měrná tepelná vodivost tepelné izolace v provozním stavu	W/m.K
τ	- provozní doba tepelně izolovaného zařízení	h/r

Příklady :

1. plošná izolace – venkovní provedení

Určení hospodárné tloušťky izolace výpočtem podle výše uvedených vztahů při použití následujících hodnot konkrétního technického zadání z praxe :

teplota proudícího média	$t = 90^{\circ}\text{C}$
průměrná teplota okolního vzduchu v topném období	$t_0 = 4,3^{\circ}\text{C}$
cena ztraceného tepla	$C_t = 300 \text{ Kč/GJ}$
tepelná vodivost izolačního materiálu	$\lambda_i = 0,04 \text{ W/m.K}$
součinitel přestupu tepla z povrchu izolace do okolí	$\alpha_i = 25 \text{ W/m}^2.\text{K}$
cena 1 m ³ tepelné izolace o tl. s_h	$N = 1000 \text{ Kč/m}^3$
provozní doba tepelně izolovaného zařízení v topném období	$\tau = 3\,600 \text{ h/r}$
odpisová sazba izolace	$a = 0,12 \text{ (12\%)}$

výsledné hodnoty:

hodnota $A = 13\,328$
hospodárná tl. izolace $s_h = 10 \text{ cm}$

2. izolace potrubí – venkovní provedení

Určení hospodárné tloušťky izolace výpočtem podle výše uvedených vztahů při použití následujících hodnot konkrétního technického zadání z praxe :

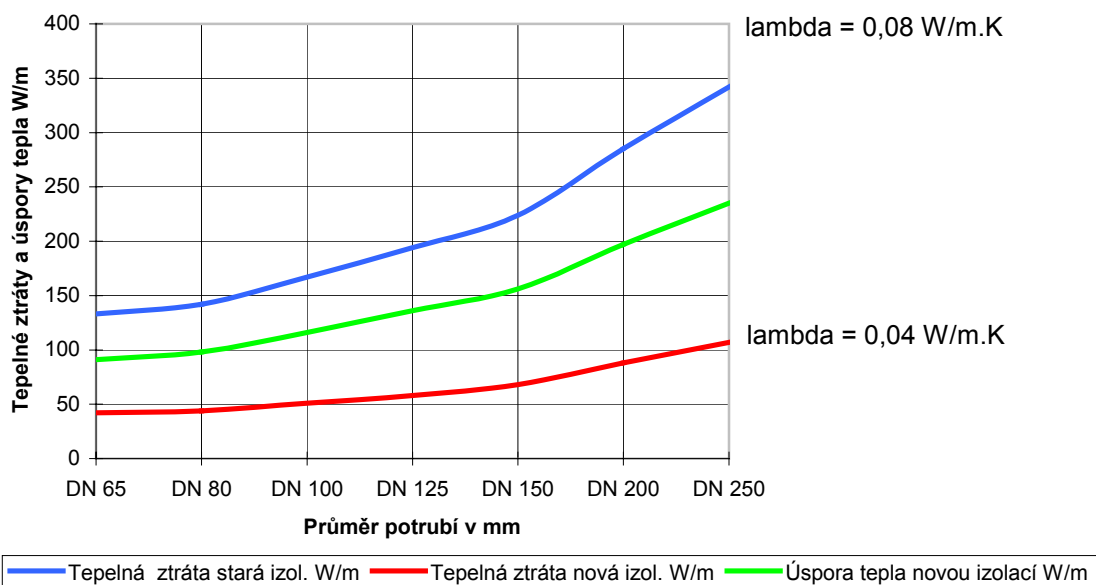
průměr tepelného potrubí	$D = 0,2 \text{ m}$
teplota proudícího média	$t = 90^{\circ}\text{C}$
průměrná teplota okolního vzduchu v topném období	$t_0 = 4,3^{\circ}\text{C}$
cena ztraceného tepla	$C_t = 300 \text{ Kč/GJ}$
tepelná vodivost izolačního materiálu	$\lambda_i = 0,04 \text{ W/m.K}$
předběžně odhadnutá tl. izolace	$s_x = 12 \text{ cm}$
cena 1 m ² tepelné izolace o tl. s_h	$C_x = 190 \text{ Kč/m}^2$
přírůstek ceny tepelné izolace potrubí na 1 cm její tloušťky	$C = 15 \text{ Kč/m}^2.\text{cm}$
provozní doba tepelně izolovaného zařízení v topném období	$\tau = 3\,600 \text{ h/r}$
odpisová sazba izolace	$a = 0,12 \text{ (12\%)}$

výsledné hodnoty:

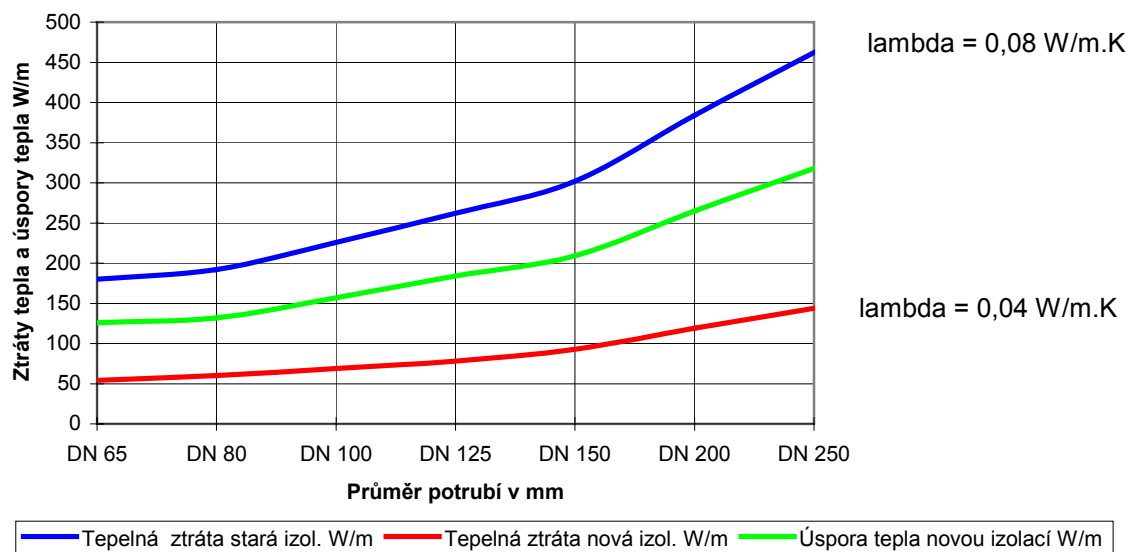
hodnota $A = 13\,328$
hodnota $B = 520$
hospodárná tl. izolace $s_h = 19 \text{ cm}$

V další části práce je uvedena řada příkladů z technické praxe ve formě grafického provedení, které umožňují získat názor na úspory energie izolovaných potrubí a případně i nákladů na provedení izolace.

**Úspory tepla při izolaci potrubí starou a novou izolací - voda 150 °C.
Teplota okolí (celoroční průměr) 8,6 °C. Vrchní vedení na potrubním mostě.**

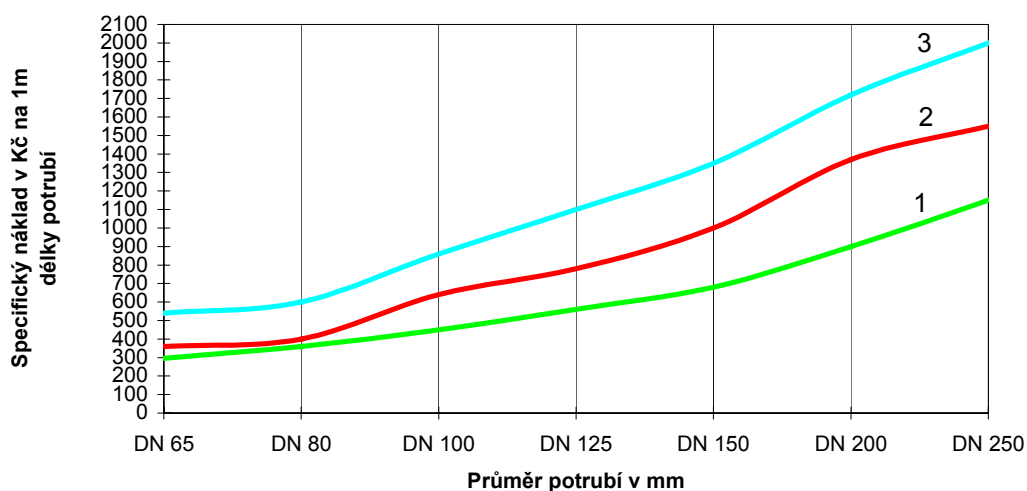


**Úspory tepla při izolaci potrubí starou a novou izolací - pára 200 °C.
Teplota okolí (celoroční průměr) 8,6 °C. Venkovní vedení.**

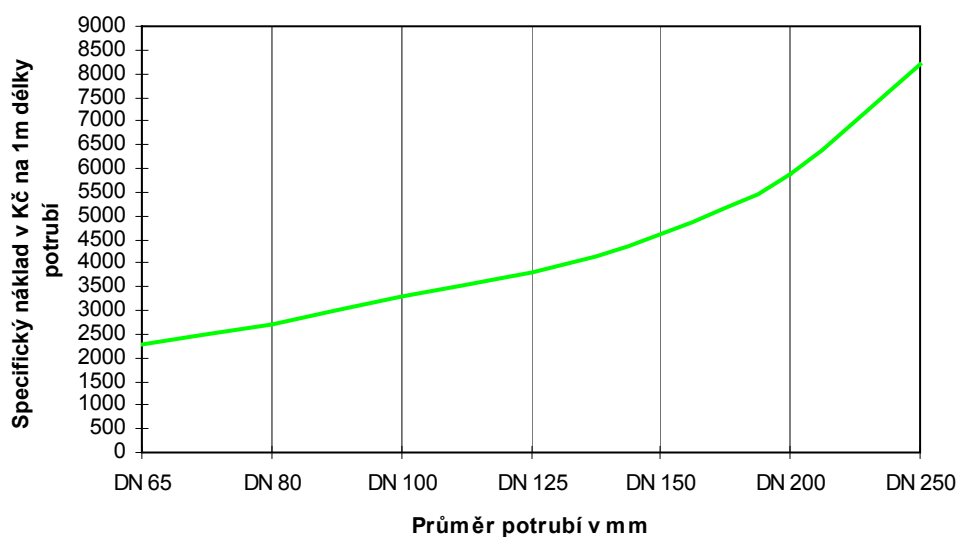


**Náklady na provedení izolovaného potrubí vedeného vrchem
na potrubním mostě.**

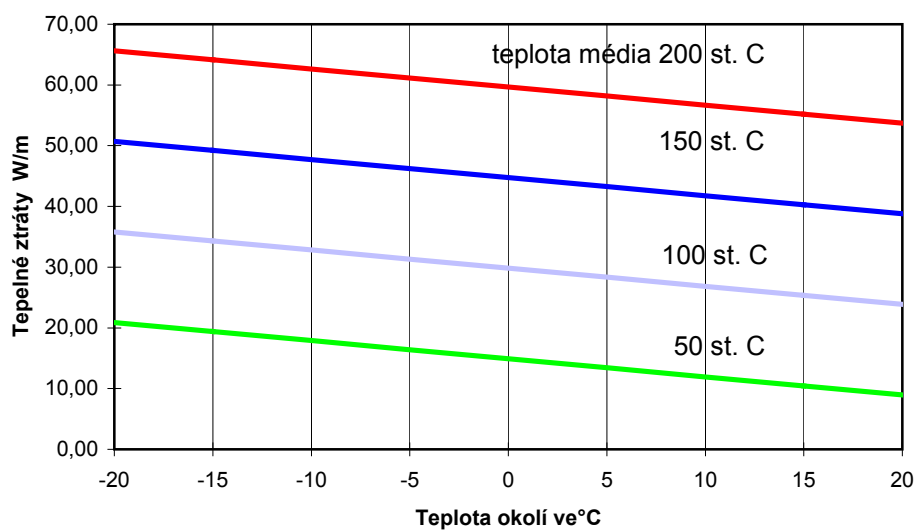
**1 - Orsil tl. 30-70 mm, 2 - Armaflex tl.16-20 mm,
3 - Armaflex tl. 26-30 mm**



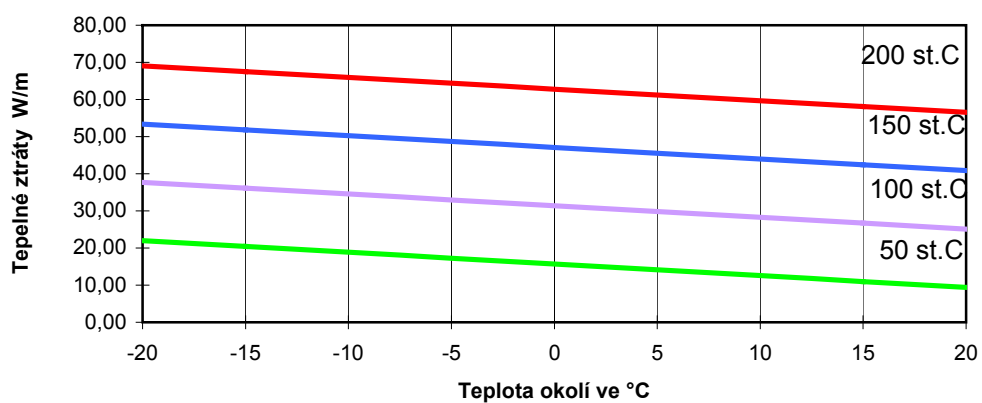
**Náklady na předizolované potrubí vedené v zemi s
hloubkou uložení do 1 metru. Náklady zahrnují dvojici
potrubí stejného průměru.**



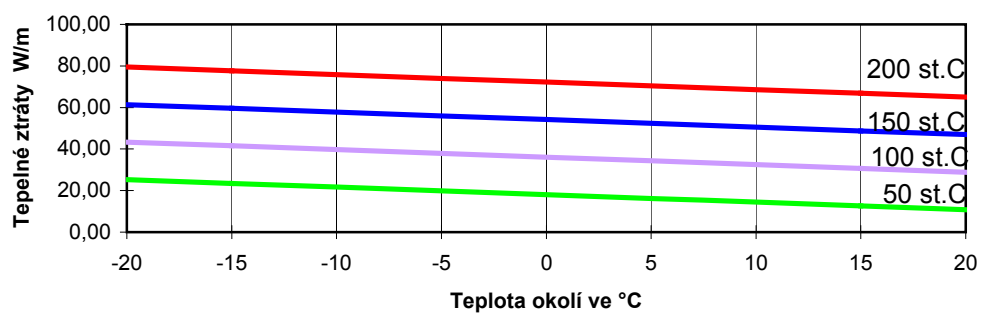
Tepelné ztráty izolovaného potrubí DN 65, povrchové vedení



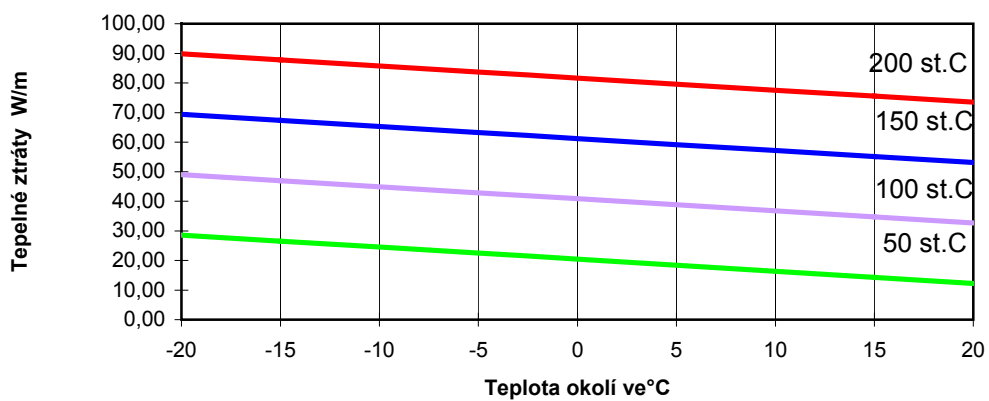
Tepelné ztráty izolovaného potrubí DN 80, povrchové vedení



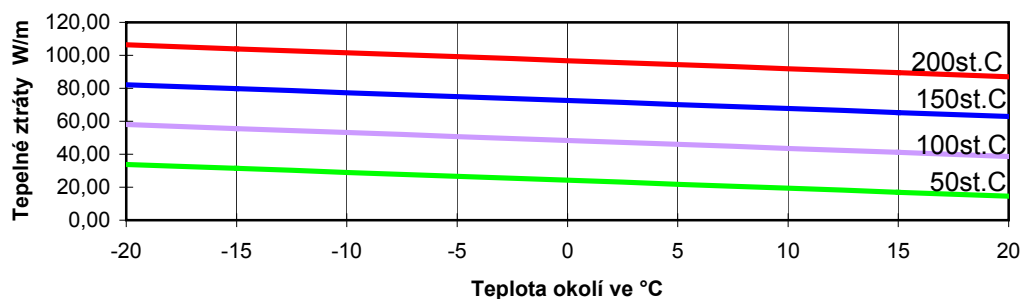
Tepelné ztráty izolovaného potrubí DN 100, povrchové vedení



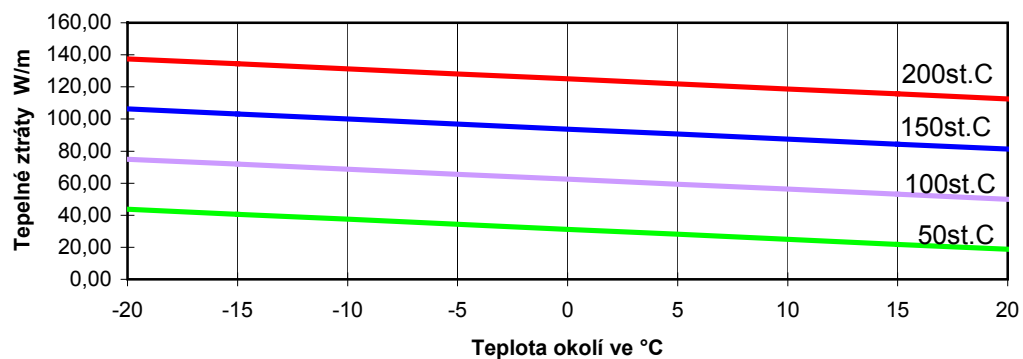
Tepelné ztráty izolovaného potrubí DN 125, povrchové vedení



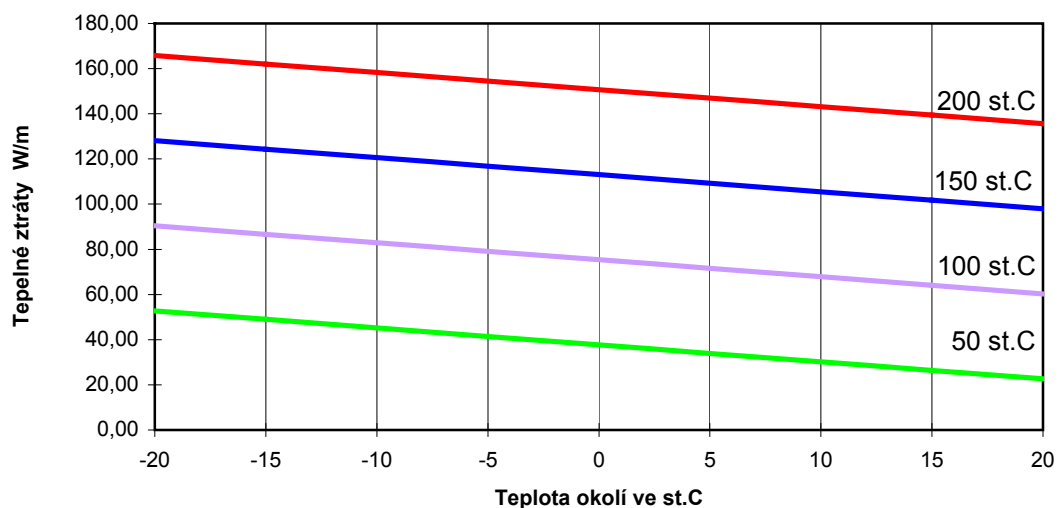
Tepelné ztráty izolovaného potrubí DN 150, povrchové vedení



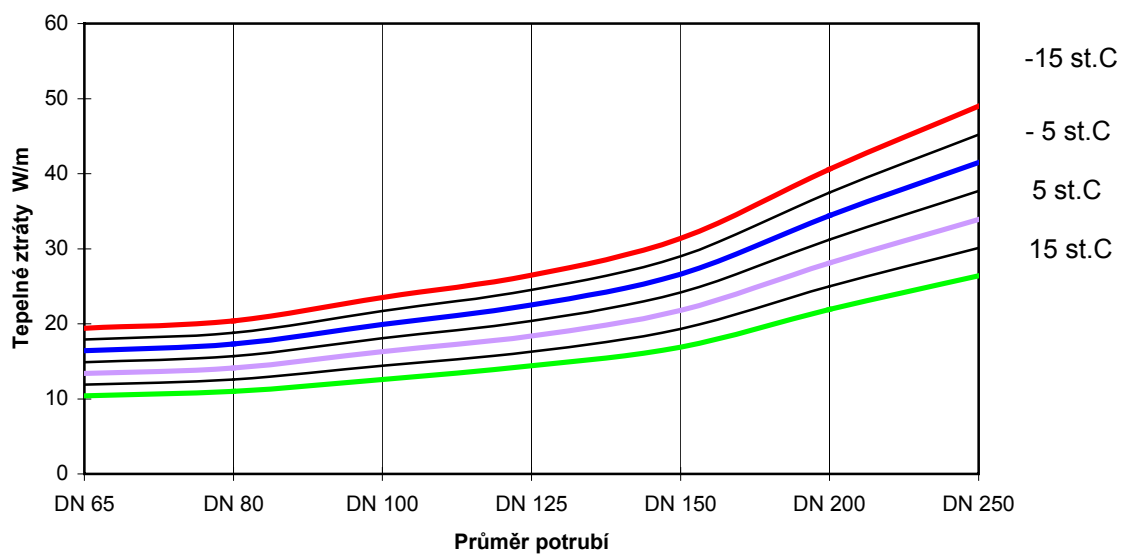
Tepelné ztráty izolovaného potrubí DN 200, povrchové vedení

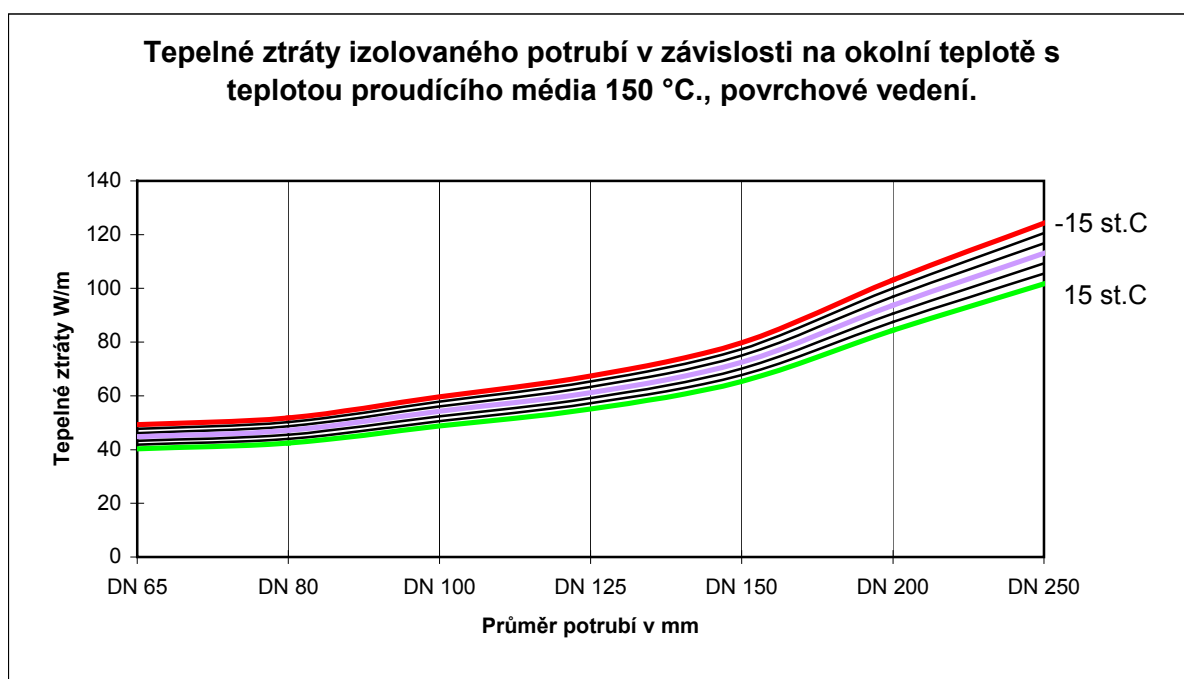
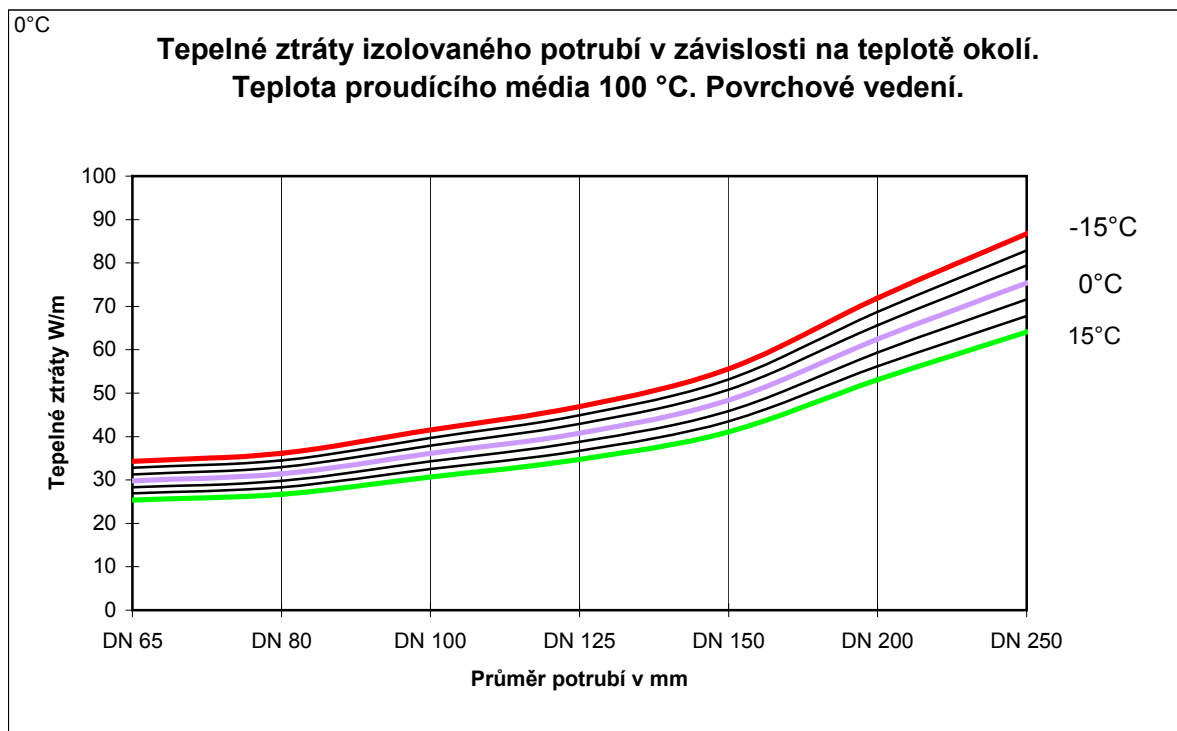


Tepelné ztráty izolovaného potrubí DN 250, povrchové vedení

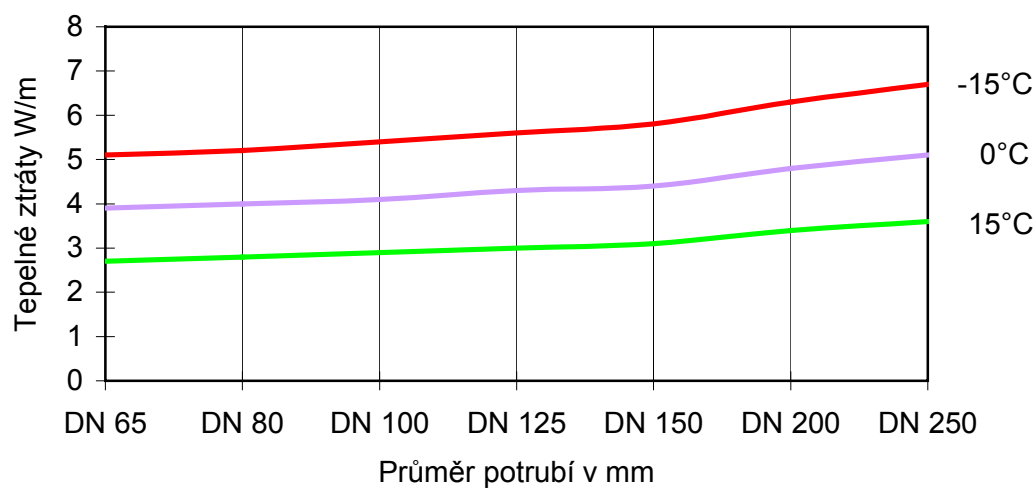


Tepelné ztráty izolovaného potrubí v závislosti na teplotě okolí, povrchové vedení. Teplota proudícího média 50 °C.

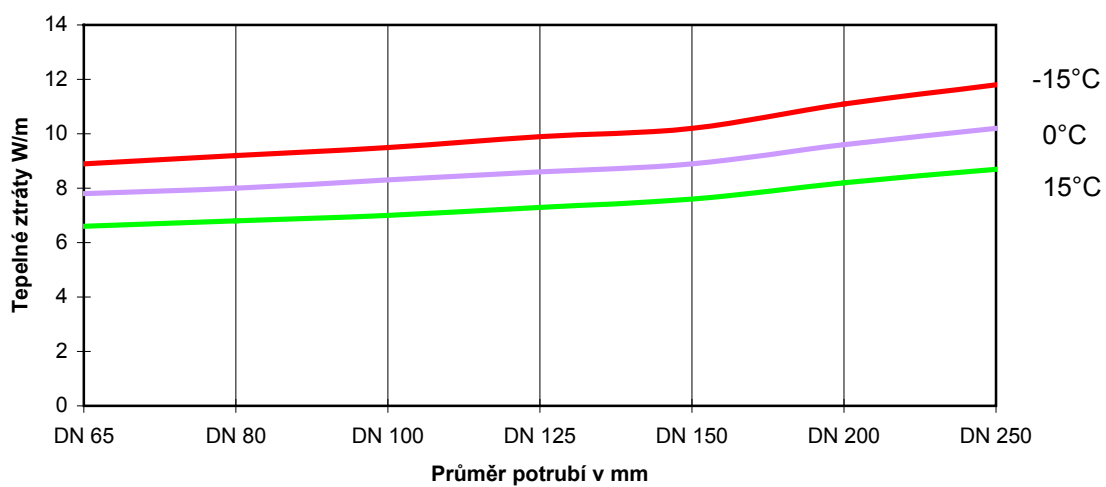




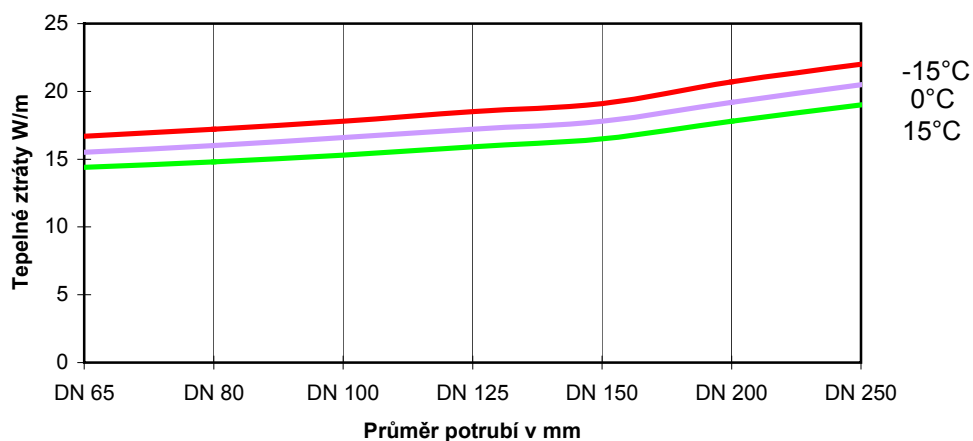
**Ztráty tepla izolovaného potrubí v bezkanálovém uložení v zemi.
Teplota proudícího média 50 °C**



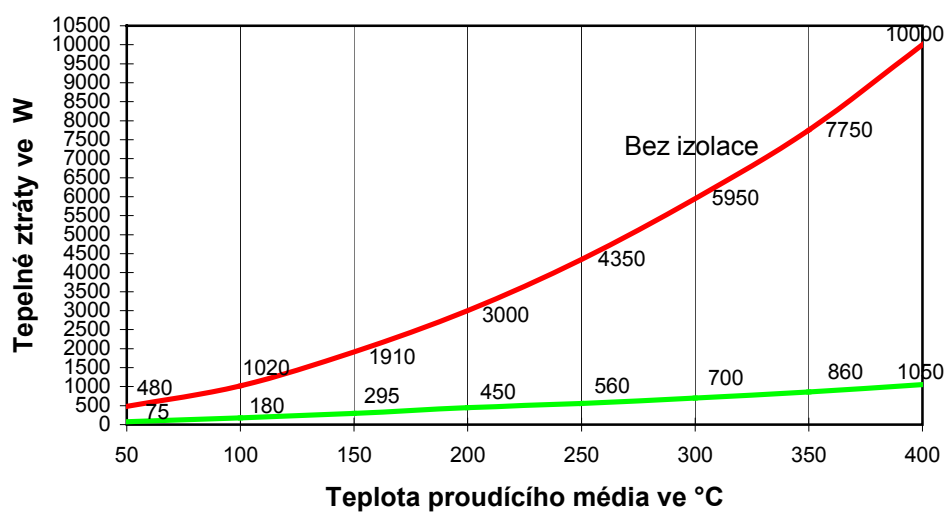
Tepelné ztráty izolovaného potrubí v bezkanálovém uložení v zemi. Teplota proudícího média 100 °C



**Tepelné ztráty izolovaného potrubí v bezkanálovém
uložení v zemi. Teplota proudícího média 200 °C.**



**Ztráty tepla povrchem 1 m2 izolované a
neizolované ocelové trubky do okolí**



5.2 Soustava čtyřtrubková a dvoutrubková

Příklad :

Pro bytový dům, který se nachází v oblasti s nejnižší oblastní teplotou – 12°C, je z předávací stanice vedena v topném neprůlezném kanále teplovodní přípojka s dimenzí 2xDN150. Spolu s tím je vedena dvojice potrubí pro TV 2xDN80 s recirkulací. Dodávky tepla jsou prováděny čtyřtrubkovou soustavou. Hloubka kanálu je cca 1,2 m pod úroveň terénu.

Potrubí je izolované izolací armaflex ($\lambda_{iz} = 0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$). Na potrubích s topnou vodou je tloušťka izolace 4cm a na potrubí TV 3 cm. Celková délka teplovodní přípojky je cca 300 metrů.

Určete průměrné tepelné ztráty přípojky v topném období, kdy průměrná venkovní teplota v topném období je 3,1°C a průměrná teplota v kanále je cca 20°C. Průměrná teplota dodávané topné vody, odpovídající průměrné venkovní teplotě je 60°C a u TV cca 48°C.

Srovnajte se ztrátami, které by vznikly při dodávkách tepla pouze dvoutrubkovým systémem.

Vypočtené výsledky :

měrná tepelná ztráta topných rozvodů	13 W/m
měrná tepelná ztráta rozvodů TV	13 W/m
celková ztráta tepelného výkonu topných rozvodů v délce 2x300m	7,8 kW
celková ztráta tepelného výkonu rozvodů TV v délce 2x300m	7,8 kW
celkové ztráty tepla topných rozvodů v zimním období	55,0 GJ/r
celkové ztráty tepla rozvodů TV v zimním období	40,0 GJ/r
celkové ztráty tepla rozvodů tepelné přípojky v zimním období	95,0 GJ/r

Pokud by dodávka tepla byla řešena pouze systémem dvoutrubkovým, pak by celkové ztráty tepla v zimním období byly ve výši 60 GJ/r. Úspory tepla proti čtyřtrubkovému provedení (kdy celkové ztráty činí 95 GJ/r) představují 35 GJ/r, což je cca 37 %. V technické praxi se úspory tepla dvoutrubkovou soustavou proti soustavě čtyřtrubkové pohybují v rozmezí od 20 do 40%, podle teploty dodávaného teplotonosného média a způsobu uložení potrubí.

Náklady na realizaci dvoutrubkové soustavy představují celkovou částku 90 tis.Kč a zahrnují přemístění stávajících zásobníků na ohřev teplé vody do bytového domu a jejich napojení na stávající rozvody. Dále půjde o vyřazení cirkulačního rozvodu teplé vody a zvýšení průtoku v přívodním potrubí DN 150 ze stávajících 0,7 m/s na 1,1 m/s. Úspory tepla ve výši 35 GJ/r, představují při průměrné ceně dodávaného tepla 310 Kč/GJ roční úspory nákladů na teplo 10,85 tis.Kč.

Prostá doba návratnosti vložených investičních prostředků pak vychází 8,3 roků, což je hodnota relativně příznivá.

Zde je třeba konstatovat, že většina nově provedených izolací tepelných potrubí, jako náhrada za zastaralou dožitou izolaci, je ekonomicky příznivá, kde prostá doba návratnosti vložených investičních prostředků zpravidla nepřesahuje 5 roků.

5.3 Předávací stanice

Trubkové výměníky tepla

Předávací stanice v předchozích obdobích byly standardně prováděny s klasickými trubkovými výměníky tepla. Tyto výměníky jsou sice různých konstrukcí, ale všechny se

vyznačují poměrně značnými rozměry ve vztahu na přenášený výkon a tím i s příslušnou hodnotou tepelných ztrát z povrchu výměníků do okolí. Tyto ztráty tepla i při dobře provedené izolaci povrchu výměníků se pohybují na úrovni cca 5% v úspěšných případech. Celková provozní účinnost klasických trubkových výměníků se pohybuje ve výši cca 94 - 96%.

Při průtoku teplotonosných médií jsou u trubkových výměníků tepla dosahovány v běžných provozních režimech součinitelé prostupu tepla ve výši :

Staré trubkové výměníky – ze strojíren Žilina a ZVU Hradec Králové

U soustavy voda – voda do 500 - 600 W/m².K

U soustavy pára – voda v případě syté páry do 500 W/m².K

Nové trubkové výměníky Secespol - Cz s.r.o.

U soustavy voda – voda do 1800 W/m².K

U soustavy pára – voda v případě syté páry do 1200 W/m².K

Deskové výměníky tepla

Pokud je v předávacích stanicích použita technologie deskových výměníků tepla dochází k výrazné miniaturizaci rozměrů výměníků. Zmenšení rozměrů výměníků má za následek především několikanásobné zvýšení prostupných součinitelů tepla, které se v běžné technické praxi pohybují ve výši od 400 – 4000 W/m².K.

Obecně se dá říci, že součinitel prostupu tepla u deskových výměníků je cca 2,5 krát větší než u výměníků trubkových.

Díky malým rozměrům je velmi příznivý ukazatel hmotnosti výměníku ve vztahu k přenášenému výkonu (kg/kW). Tento ukazatel je až 10x menší než u výměníků klasických trubkových.

Ze stavebního hlediska si vybudování předávací stanice s technologií deskových výměníků vyžaduje minimální prostory, což výrazně snižuje celkové investiční náklady s předávací stanicí související.

Výše uvedené skutečnosti umožňují konstruovat a realizovat předávací stanice jako integrované, miniaturní kompaktní celky, což je výhodné z hlediska údržby, oprav i ostatních provozních hledisek.

Z hlediska energetických ztrát jsou deskové výměníky podstatně provozně úspornější a to především s ohledem na malý povrch výměníků v relaci na přenášený tepelný výkon. Tepelné ztráty sáláním a vedením do okolí jsou proto minimální a celková účinnost deskových výměníků je nejméně o 3% vyšší než u výměníků klasických trubkových.

Relativní nevýhodou deskových výměníků jsou zpravidla vyšší hydraulické ztráty při průtoku topných médií a možnosti častého zanášení předávacích ploch vnitřními inkrustacemi a problémy s čištěním těchto ploch.

Hydraulické ztráty se dají částečně kompenzovat vhodným tvarem desek výměníků, ale zůstává zde určitý tlakový rozdíl, který se musí řešit zvýšeným výkonem oběhových čerpadel nebo vyšším tlakem vstupní páry či jiného proudícího média. To určitým způsobem devastuje ostatní provozní výhody deskových výměníků.

Čištění teplosměnných ploch se zpravidla provádí chemicky, přírodními látkami s minimálními dopady na ekologickou zátěž.

Přechod z klasických trubkových výměníků, které jsou dožité na deskové výměníky se provádí v současné době zcela automaticky a proto není třeba provádět žádné složité analýzy, ale pouze zdůraznit základní důležité a převažující výhody výměníků deskových.

Příklad :

Vzájemné porovnání energetických ztrát předávací stanice s klasickými výměníky trubkovými a stanice s výměníky deskovými a provozní výhody předávací stanice s deskovými výměníky. V obou případech se jedná o předávací stanice napojené na horkovodní soustavu CZT, kde dodávka tepla pro vytápění je realizována s tepelným výkonem 200 kW a pro zásobníkovou přípravu TV s výkonem 50 kW.

Stanice jsou instalovány v samostatném suterénním prostoru vytápěného objektu. Průměrná roční spotřeba tepla v objektu je pro srovnání v obou případech 1700 GJ/r.

	Klasické výměníky	Deskové výměníky
Potřebný prostor pro instalaci zařízení	52 m ³	20 m ³
Úspora potřebného prostoru		32 m ³
Investiční náklady na technologii PS	500	400
Stavební náklady	150	80
Investiční náklady celkem	600 tis.Kč	460 tis.Kč
Úspory investičních nákladů		140 tis.Kč
Úspory vyšším využitím prostorů budovy	-	10 tis.Kč/r
Průměrná provozní účinnost	93 - 95 %	97 - 98 %
Ztráty tepla sáláním a vedením do okolí	94 GJ/r	55 GJ/r
Náklady na ztráty tepla	30 tis.Kč/r	17 tis.Kč/r
Úspory provozních nákladů ve ztrátách tepla		13 tis.Kč/r
Nakupované teplo ze sítě CZT	1794 GJ/r	1755 GJ/r

6.0 Závěr

Publikace se zaměřila na poskytnutí širších informací o problematice možností úspor energie při dodávkách tepla, provozní hospodárnosti a spolehlivosti dodávek tepla ke konečným spotřebitelům. Práce je zaměřena jak pro energetické poradenství, tak i jako pomůcka pro energetické auditory a uživatele tepelných zařízení.

Vycházelo se z praktických zkušeností, že každá potrubní soustava pro dodávky tepla by měla být, bez ohledu na výkon, výpočtově provedena odborným, kvalifikovaným způsobem a realizována zkušeným montážním týmem. Uživatel by měl mít možnost výběru z několika navržených provozních variant. Podceňování těchto skutečností může vést k rozporům s ustanovením příslušných vyhlášek i zákona o hospodaření energie, následnému nehospodárnému provozu a k neodstranitelným chybám.

Použitá a doporučená literatura

1. J. Mikula : Potrubí a armatury, Technický průvodce, SNTL Praha 1974
2. M. Sazima, V. Kmoníček, J. Schneler a kol. : Teplo, Technický průvodce, SNTL Praha 1989
3. M. Sazima a kolektiv : Sdílení tepla, Technický průvodce, SNTL Praha 1993
4. Firemní prospektové a výpočtové podklady : Alfa – Laval s.r.o., Cetetherm s.r.o., Secespol - Cz s.r.o., G – Mar plus s.r.o. a dalších firem
5. RAEN s.r.o. Praha : firemní podklady a práce z vlastních šetření, měření a kontrol

STUDIE PROBLEMATIKY SNIŽOVÁNÍ ENERGETICKÝCH ZTRÁT A ZVÝŠENÍ
SPOLEHLIVOSTI PŘI DODÁVKÁCH TEPLA

RAEN spol. s r.o., 2007

Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2007– část A – PROGRAM EFEKT“.