

## VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY, S PŘIHLÉDNUTÍM K METODICE DLE ČSN EN 13941+A1 - NAVRHOVÁNÍ A PROVÁDĚNÍ VEDENÍ VODNÍCH TEPELNÝCH SÍTÍ BEZKANÁLOVÉ SDRUŽENÉ KONSTRUKCE PŘEDIZOLOVANÝCH POTRUBÍ

Tato norma doporučuje ve své informativní příloze "D" zvážit při návrhu vhodné izolace tyto okolnosti:

a/ rozměry potrubí

b/ úroveň provozní teploty

c/ náklady na pokládku, nevyužité teplo a tepelné ztráty mezi teplárnou a místem spotřeby

d/ nebezpečí kondenzace

e/ blízkost silnoproudých kabelů či jiných vedení citlivých na teplo

f/ požadavky na povrchovou teplotu a dopady na okolí

g/ požadavky na nejvyšší teplotu okolního prostředí v teplárně apod.

Hodnocené potrubí je v geometrické konfiguraci (viz Obrázek)

$D_1 = 0,0825\text{m}$

$D_2 = 0,0889\text{m}$

$D_3 = 0,174\text{m}$

$D_4 = 0,180\text{m}$

---

### TEPELNÝ ODPOR SDRUŽENÉ TRUBNÍ KONSTRUKCE

Tepelný odpor celé sdrúžené trubní konstrukce je závislý především na teplotě, vlhkosti a stáří izolační PUR pěny. Vzhledem k předpokládanému rozdílu provozních teplot na přívodním a vratném potrubí v jednotlivých obdobích roku, je třeba odlišit, z hlediska výpočtu tepelného odporu, vzhledem k tepelně technickým vlastnostem technických materiálů při různých teplotách, tepelnou izolaci použitou pro přívodní i vratnou linii. Toto je provedeno výpočtem teploty v jádře izolace v prvním kroku výpočtu pro každou z hodnocených izolací (na přívodní a vratné trubce) a jeho dalším upřesňováním v násl. krocích.

Tepelný odpor válcové izolace je

$$R_{iz(t)} = \frac{1}{2\pi\lambda_{iz(t)}} \ln \frac{D_3}{D_2}$$

kde

$\lambda_{iz(t)}$  je tepelná vodivost materiálu izolace při provozní teplotě izolace

$D_3$  je vnější průměr izolačního obalu

Na základě informace provozovatele posuzované potrubní trasy, společnosti CENTROTHERM Mladá Boleslav, a.s., IČ 46356533 je možno předpokládat provozní teploty měřené trubní trasy, pro stanovení počátečních hodnot tepelné vodivosti, přibližně dle následujícího rozdělení:

V topném období, tedy standardně od 15. října do 15. dubna každého roku, je teplota přívodní vody  $t_f$  měřena v rozmezí  $(100 - 130)^\circ\text{C}$ , tedy průměrná teplota je  $115^\circ\text{C}$  a teplota vratné vody  $t_r$  je měřena v rozmezí  $(40 - 70)^\circ\text{C}$ , tedy průměrná teplota je  $55^\circ\text{C}$

Mimo topné období, tedy standardně od 15. dubna do 15. října každého roku, kdy topná voda slouží téměř výhradně k ohřevu vody pro hygienické účely, je  $t_f$  měřena trvale  $80^\circ\text{C}$  a  $t_r$  je, v závislosti na potřebě ohřáté vody pro hygienické účely, měřena v rozmezí  $(40-50)^\circ\text{C}$ , tedy průměrná teplota je  $45^\circ\text{C}$

Výpočtem lze, např. metodou nejmenších čtverců, křivku skutečně naměřených hodnot tepelné vodivosti PUR pěny, z údajů naměřených a uvedených v protokolu [15] v závislosti na provozní teplotě, aproximovat s dostatečnou přesností např. rovnicí:

$$\lambda_{iz} = 0,0196 + 0,0001t_j \quad (\text{x.x})$$

kde  $t_j$  je teplota v jádře izolační tloušťky, která je logaritmickým průměrem teploty na ohraničujícím vnitřním a vnějším povrchu izolace vypočtený

$$t_j = t_3 + \frac{t_2 - t_3}{\ln t_2 - \ln t_3} \quad (\text{x.x})$$

Nebo je možno využít pro určení závislosti tepelné vodivosti PUR pěny na provozní teplotě vztah uvedený v [9]:

$$\lambda_{iz} = 0,023e^{(0,005t_j)} - 0,002$$

s omezením platnosti výpočtového vztahu na interval teplot  $30 < t_j < 110^\circ\text{C}$ .

Platnost tohoto vztahu byla ověřována na základě výsledků, které autor této práce nechal na vzorcích potrubní izolace změřit v laboratořích IMA Dresden zachycených v protokole [15] a výsledkem tohoto ověřování je návrh úpravy vztahu v části odečítané konstanty na rovnici platnou pro provozní teploty  $t_j = (30 - 110)^\circ\text{C}$

$$\lambda_{iz} = 0,023e^{(0,005t_j)} - 0,0039$$

Postupnou iterací zaměřenou na získání střední logaritmické teploty v jádře izolace, lze určit z rovnice (x.x) tepelnou vodivost vztahenou k této teplotě jádra izolační tloušťky.

Tepelný odpor krycího izolačního pláště je vyjádřen vztahem

$$R_c = \frac{1}{2\pi\lambda_c} \ln \frac{D_4}{D_3} = \frac{1}{2\pi * 0,43} \ln \frac{0,180}{0,174} = 0,012547 \text{ mK/W}$$

kde

$D_4$  je vnitřní průměr trubky izolačního pláště (krycí trubky izolace)

$\lambda_c$  je tepelná vodivost materiálu trubky izolačního pláště (krycí trubky izolace). Vzhledem k tomu, že posuzované potrubí je v plášti z vysoko hustotního polyetylenu HDPE o hustotě  $\approx 960\text{kg/m}^3$  za přibližně konstantní teploty v rozsahu  $(10-30)^\circ\text{C}$ , je uvažována, pro účely výpočtů tepelných ztrát teplovodních a horkovodních tras, tepelná vodivost materiálu krycího pláště izolace konstantní -  $\lambda_{c20^\circ\text{C}} = 0,43\text{ W/mK}$ .

Tepelná vodivost naprosté většiny technických materiálů se mění nejen s provozní teplotou, ale i s časem. Tedy pro výpočty tepelných ztrát v delších časových úsecích - (roky), je nutné vzít v úvahu i tzv. "stárnutí" izolačních materiálů. Pro účel výpočtu ztrát pro delší časové období je možno základním způsobem vycházet z grafu (viz [Error! Reference source not found.](#)).

V postupu výpočtu celkového tepelného odporu celé sdružené předizolované trubní konstrukce je však vždy nutno uvažovat, vzhledem k proměnné hodnotě tepelné vodivosti PUR pěny v závislosti na teplotě teplotnosné látky, tepelný odpor pro jednotlivé provozní stavy. Platí, při zdůvodnitelném zanedbání tepelného odporu medionosné trubky a přestupu tepla mezi teplotnosnou látkou a vnitřní stěnou trubky, že celkový odpor izolační konstrukce každé předizolované trubky je dán součtem

$$R_i = R_{iz} + R_c$$

---

## TEPELNÝ ODPOR PŘESTUPU TEPLA MEZI PŘÍVODNÍM A VRATNÝM POTRUBÍM

je dán vztahem

$$R_h = \frac{1}{4\pi \cdot \lambda_E} \ln\left(1 + \left(\frac{2h_c}{C}\right)^2\right)$$

Kde C je vzdálenost mezi osami obou potrubí

Tepelný odpor přestupu tepla mezi přívodním a vratným potrubím posuzované konstrukce pro předpokládanou tepelnou vodivost zásypové zeminy  $1,6\text{ W/mK}$

$$R_h = \frac{1}{4\pi\lambda_E} \ln\left(1 + \left(\frac{2h_c}{C}\right)^2\right) = \frac{1}{4 * \pi * 1,6} \ln\left(1 + \left(\frac{2 * 1,39}{0,430}\right)^2\right) = 0,186\text{mK/W}$$

---

## MĚRNÁ TEPELNÁ ZTRÁTA PRO PŘÍVODNÍ POTRUBÍ A PRO VRATNÉ POTRUBÍ

pro přívodní potrubí

$$\Phi_f = U_1(t_{1f} - t_E) - U_2(t_{1r} - t_E)$$

a pro vratné potrubí

$$\Phi_r = U_1(t_{1r} - t_E) - U_2(t_{1f} - t_E)$$

Celková tepelná ztráta je

$$\Phi = \Phi_f + \Phi_r = 2(U_1 - U_2) \left( \frac{t_{1f} + t_{1r}}{2} - t_E \right)$$

kde jsou

$U_1$  a  $U_2$  součinitele tepelné ztráty

$t_{1f}$  a  $t_{1r}$  teploty topné látky v přívodním a vratném potrubí

$t_E$  teplota neporušené zeminy v hloubce  $h$  – tedy ve vzdálenosti mezi povrchem a středem potrubí, možno určit za pomoci [28]

Pro symetrické trubkové konstrukce – a v posuzovaném případě je tato podmínka splněna, lze součinitele tepelných ztrát vypočítat z následujících rovnic:

$$U_1 = \frac{R_E + R_i}{(R_E + R_i)^2 - R_h^2}$$

$$U_2 = \frac{R_h}{(R_h + R_i)^2 - R_h^2}$$

kde

$R_E$  je izolační odpor zeminy

$R_i$  je izolační odpor izolačního materiálu sdružené trubní konstrukce

- zde je podstatné, zda pro účely výpočtu je tepelně izolačním materiálem nazývána pouze izolační PUR pěna či se jedná o tepelný odpor celé sdružené izolační konstrukce, tedy medionosné trubky (- který lze, v případě kovové medionosné trubky, zcela zanedbat), PUR pěny i tepelný odpor izolačního pláště (- který, vzhledem k jeho tepelně-technickým vlastnostem, zanedbat zcela nelze).

$R_h$  je izolační odpor přestupu tepla mezi přívodním a vratným potrubím

*Poznámka: V normě [17] je v prvním součtu ve jmenovateli zlomku v závorce uvedena, pravděpodobně mylně, hodnota  $(R_E + R_i)$ , správně však je  $(R_h + R_i)$  - viz vzorový výpočet uvedený v [12] na str. 176 (angl. i ruské vydání).*

Celkový součinitel tepelné ztráty se vypočte

$$U_1 - U_2 = \frac{1}{R_E + R_i + R_h}$$

Celková tepelná ztráta je rovna součtu tepelné ztráty přívodní a vratné trubky

$$\Phi = \Phi_f + \Phi_r$$

Tento výpočet určuje celkovou velikost tepelné ztráty potrubní dvojice (přívod a vrat) o nesterýných provozních teplotách teplotné látky.