

Ing. Roman VAVŘIČKA, Ph.D.
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí

Tepelné namáhání a hluková hlediska provozu potrubních sítí

Thermal Stress and Noise Aspects of the Pipeline Networks Operation

Recenzent
Ing. Bořivoj Šourek, Ph.D.

Příspěvek je zaměřen na problematiku dilatace potrubních sítí. Z pohledu projektanta se jedná o velmi jednoduchou a dobře popsanou problematiku, nicméně – jak je v článku ukázáno – nejsou-li dodrženy základní požadavky při navrhování potrubních sítí, mohou být důsledky zcela fatální.

Klíčová slova: teplotní dilatace, pevnostní namáhání, uchycení potrubí, hluk

The paper is focused on the issue of the pipeline networks dilatation. From the perspective of the designer, it is a very simple and well-documented issue. However, as is shown in the article, if the basic requirements are not met when designing the pipeline networks, the results can be quite fatal.

Keywords: thermal dilatation, stress, pipe fixing, noise

ÚVOD

Tepelné namáhání potrubních sítí souvisí s tzv. dilatačním chováním potrubí vlivem změn teplot materiálu potrubí. Z pohledu fyzikálního je jasné, že změna neprobíhá pouze v ose potrubí, tj. délkově, ale i objemově. Objemová změna je však ve většině inženýrských aplikací týkajících se potrubních sítí zanedbávána. Co je však společné s tímto jevem nutné řešit, jsou hlediska pružnosti materiálu a v neposlední řadě i možnosti přenosu vibrací.

TEPLOTNÍ DILACE POTRUBÍ

Při tepelném namáhání potrubí, tj. ohřívání nebo chladnutí, vzniká v potrubí napětí, které se přenáší do upevnění potrubí jako axiální síla. V praxi se většinou uvažuje se změnou délky potrubí, tj. prodloužením nebo naopak smrštěním. Vztah pro výpočet délkového prodloužení potrubí je:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (1)$$

kde je:

Δl změna délky potrubí [mm],

l_0 délka úseku potrubí [m],

α součinitel teplotní délkové roztažnosti potrubí, viz tab. 1 [mm/m·K],

Δt rozdíl teplot [K].

Tab. 1 Mechanické vlastnosti materiálu potrubí

Tab. 1 Mechanical properties of the pipe material

Materiál potrubí	Součinitel délkové roztažnosti α [mm/m·K]	Modul pružnosti E [MPa]	Hmotnost potrubí DN 15 [kg/m]
Ocel	0,012	200 až 250·10 ³	1,23
Měď	0,017	110 až 130·10 ³	0,48
Hliník	0,0238	66 až 76·10 ³	0,34
AL-PEX (vícevrstvé)	0,026	5 až 7·10 ³	0,147
PVC	0,08	3 až 9·10 ³	0,137
PEX	0,15	6 až 9·10 ³	0,169
PE-HD (PN 10)	0,18	0,8 až 1,4·10 ³	0,174

Pozn.: S nárůstem teploty roste i součinitel teplotní délkové roztažnosti potrubí, hodnoty uvedené v tab. 1 lze použít při výpočtech do 200 °C.

Základními materiály, které jsou v potrubních sítích používány, ať se jedná o projekty vytápění nebo zdravotně technických instalací (voda, kanalizace, plyn), jsou ocel, měď a různé typy plastů. Jak se projevuje změna délky rovného úseku potrubí o délce 10 m při ohřátí o 50 K, ukazuje tab. 2, ze které vyplývá, že zatímco u kovových materiálů se jedná o změnu délky řádově v jednotkách milimetrů, u plastových materiálů to jsou již jednotky centimetrů. Plasty mají tedy přibližně desetkrát vyšší délkovou roztažnost než kovy.

Tab. 2 Změna délky 10 m dlouhého potrubí DN 15 při ohřátí o 50 K

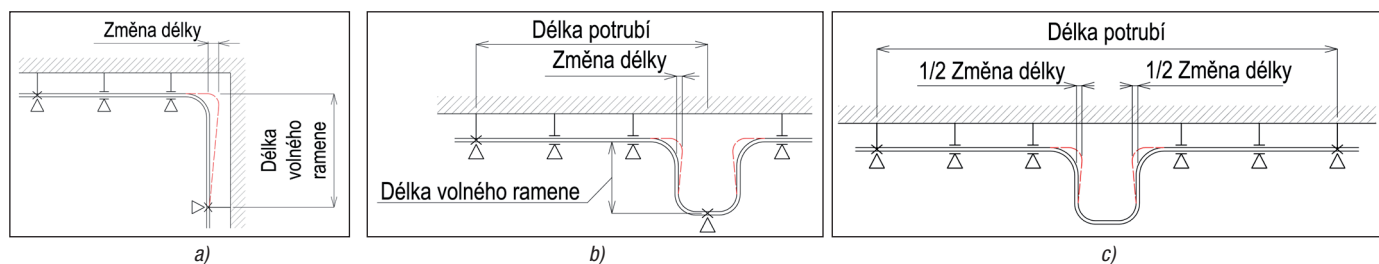
Tab. 2 Change in length of 10 m long pipe DN 15 when heated up 50 K

Materiál potrubí	Změna délky Δl [mm]
Ocel	6
Měď	8,5
Hliník	12
AL-PEX (vícevrstvé potrubí)	13
PVC	40
PEX	75
PE-HD (PN 10)	90

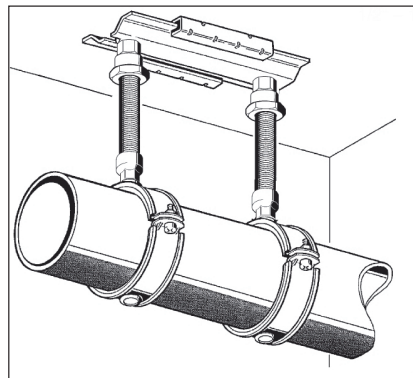
Délkovým změnám vlivem teplotní roztažnosti lze velice jednoduše zabránit buď tzv. posuvným uložením, např. lomem trasy (obr. 1a), nebo ohybovými kompenzátory (obr. 1b a 1c) [1, 2, 3]. Posuvné uložení potrubí je většinou realizováno objímkami s kluznými třmeny a musí být umístěno tak, aby nevytvářelo nechtěné pevné body. U kompenzátorů jde většinou o zabudování mezi dva pevné body. U delších úseků se doporučuje umístit pevný bod uprostřed, aby se prodloužení rozdělilo na dvě části.

Pevné uchycení je takové, které neumožňuje dilatace, tj. v místě podpory zamezuje pohybu potrubí v jeho ose. Pevný bod může být realizován v místech ohybu potrubí, osazení armatury či vodoměru, případně v místě odbočky. Kluzné uložení potrubí je způsob uchycení, kdy je potrubí zabráněno vybočit z osy trasy, ale v ose potrubí může docházet k dilatačnímu pohybu trubky. Kluzné uložení u volně vedeného potrubí lze provést buď volnou objímkou (objímka není pevně dotažena na povrchu trubky), nebo speciálně upraveným závěsem potrubí (obr. 2).

Při průchodu potrubí zdí u kluzného uložení musí být trubka opatřena chráničkou. V případě uložení potrubí v konstrukci budovy (ve stěně,

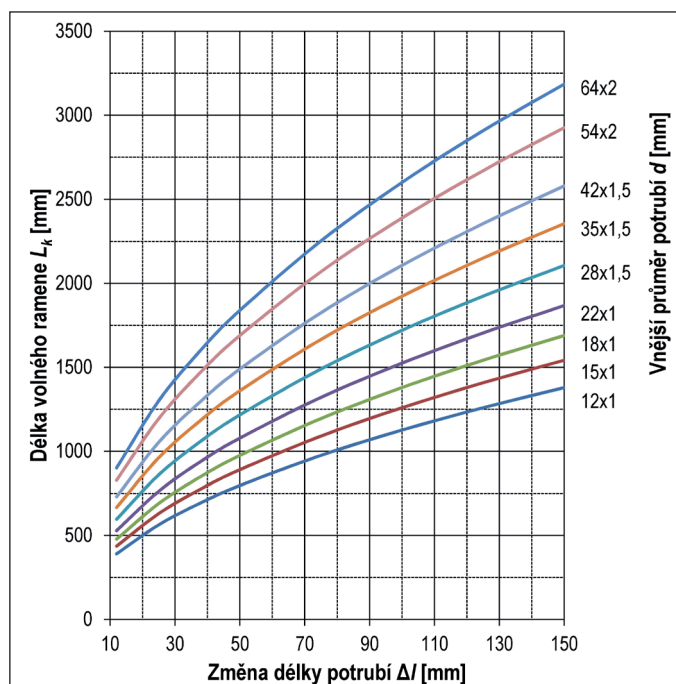


Obr. 1 Kompenzace délkové roztažnosti potrubí: a) lomem trasy; b) U-kompensátor s pevným bodem vyložení; c) U-kompensátor s volným vyložení
Fig. 1 Compensation of the pipeline linear expansion: a) bend of the route; b) U-compensator with fixed point; c) free U-compensator



Obr. 2 Příklad kluzného uložení potrubí [10]
Fig. 2 Example of the sliding fixing of pipe [10]

úsek potrubí lze stanovit kombinací vztahu (1) a navržené tloušťky stěny tepelné izolace. Oproti tomu minimální délka volného ramene je závislá na konkrétním typu potrubí. Při návrhu kompensátoru je důležitým hlediskem materiál potrubí, z důvodu rozdílného modulu pružnosti u kovů a plastů. Pro většinu nomogramů výrobců potrubí je výchozí velikostí materiál potrubí, průměr a změna délky potrubí Δl , která má být kompenzována. Např. pro měděné potrubí lze postupovat dle grafu na obr. 3 nebo dle vztahu [10]:



Obr. 3 Návrh délky volného ramene L_k pro měděné potrubí
Fig. 3 Proposal of the free branch length L_k for copper pipes

v podlaží nebo stropu) lze základní ohybový kompensátor vytvořit kombinací tloušťky stěny tepelné izolace potrubí a změnou, resp. lomem trasy (obr. 1a). Potrubí má tak možnost volně se pohybovat v rámci stlačitelnosti materiálu tepelné izolace. Základním předpokladem je nejen dodržení maximální dilatované délky potrubí, ale také minimální délky tzv. volného ramene. Maximální dilatovaný rovný

$$L_k = 32,5 \cdot \sqrt{d \cdot \Delta l} \quad (2)$$

kde je:

L_k délka volného ramene [mm],
 d vnější průměr potrubí [mm],
 Δl změna délky potrubí [mm].

Ačkoli výše uvedené výpočty jsou velmi jednoduché, právě absence provedení jednotlivých způsobů uchycení potrubí bývá prvním problémem. Způsob uchycení musí nejen respektovat požadavek na volné (kluzné) uložení potrubí, ale také musí minimalizovat přenos vibrací z potrubí do stavební konstrukce. V neposlední řadě musí být závěsy potrubí u volného vedení potrubí navrženy v souladu s požadavkem na materiál potrubí.

VZDÁLENOST ZÁVĚSŮ U HORIZONTÁLNĚ VEDENÉHO POTRUBÍ

Pro výpočet vzdálenosti mezi závěsy (podpěrami) potrubí volně zavěšeného pod stropem lze použít vztah (3), nebo využít tabulek výrobců potrubí (např. [10]).

$$L_p = 0,125 \cdot \sqrt[3]{\frac{a \cdot E \cdot J}{m}} \quad (3)$$

kde je:

L_p vzdálenost podpěr potrubí [m],
 a spád potrubí [%],
 E modul pružnosti materiálu tab. 1.1 [Pa],
 m hmotnost potrubí [kg/m],
 J moment setrvačnosti potrubí [m⁴].

$$J_x = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) \quad (4)$$

kde je:

D vnější průměr [m],
 d vnitřní průměr [m].

Z pohledu porovnání lze uvést tabulky pro vzdálenosti podpěr u ocelových (tab. 3) a měděných potrubí (tab. 4) a plastového potrubí PP-R, S 2,5 (tab. 5). Ve všech případech se jedná o potrubí horizontální a naplněné vodou dle DIN 1988-2 [9].

Jakým způsobem se může projevit zanedbání výše popsaných vlastností potrubí, ukazuje příklad multifunkční budovy postavené v roce 2013 v Plzni v ulici Šafaříkovy sady. Na této budově se setkala hned několik pochybení. Co se může stát v případě nedodržení předepsaných pevných a kluzných uložení potrubí, včetně absence kompensátorů délkové roztažnosti při montáži, ukazují obr. 4 a 5. Jedná se o potrubí rozvodu teplé vody (PP-R 75 × 12,5), které po uvedení do provozu v podstatě

Tab. 3 Vzdálenosti podpěr u horizontálního ocelového potrubí naplněného vodou dle DIN 1988-2 [9]

Tab. 3 Span of the horizontal steel pipes filled with water, according to DIN 1988-2 [9]

Jmenovitý průměr [DN]	Jmenovitý průměr [“]	Vnější průměr [mm]	Vzdálenost podpěr [m]
10	3/8“	17,2	2,25
15	1/2“	21,3	2,75
20	3/4“	26,9	3,00
25	1“	33,7	3,50
32	1 1/4“	42,4	3,75
40	1 1/2“	48,3	4,25
50	2“	60,3	4,75
65	2 1/2“	76,1	5,50
80	3“	88,9	6,00
100	4“	114,3	6,00
125	5“	139,7	6,00

Tab. 4 Vzdálenosti podpěr u horizontálního měděného potrubí naplněného vodou dle DIN 1988-2 [9]

Tab. 4 Span of the horizontal copper pipes filled with water, according to DIN 1988-2 [9]

Vnější průměr [mm]	Vzdálenost podpěr [m]	Vnější průměr [mm]	Vzdálenost podpěr [m]
12	1,25	42	3,00
15	1,25	54	3,50
18	1,50	64	4,00
22	2,00	76,1	4,25
28	2,25	88,9	4,75
35	2,75	108	5,00

Tab. 5 Vzdálenosti podpěr u horizontálního plastového potrubí PP-R, S 2,5 naplněného vodou dle DIN 1988-2 [9]

Tab. 5 Span of the horizontal plastic pipes PPR, S 2,5 filled with water, according to DIN 1988-2 [9]

Vnější průměr [mm]	Vzdálenost podpěr [m]						
	při 20 °C	při 30 °C	při 40 °C	při 50 °C	při 60 °C	při 70 °C	při 80 °C
16	0,90	0,85	0,85	0,80	0,80	0,70	0,65
20	0,95	0,90	0,85	0,85	0,80	0,70	0,70
25	1,00	1,00	1,00	0,95	0,90	0,90	0,85
32	1,20	1,15	1,15	1,10	1,00	0,95	0,90
40	1,30	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10	1,00
50	1,50	1,50	1,40	1,30	1,25	1,20	1,10
63	1,70	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,20
75	1,85	1,80	1,75	1,60	1,55	1,50	1,40
90	2,00	2,00	1,85	1,80	1,75	1,60	1,50



Obr. 4 Ukázka porušení uchycení pevného bodu potrubí a narušení stropní konstrukce vlivem teplotní délkové roztažnosti potrubí

Fig. 4 Failure example of the pipe fixed point fastening and ceiling construction disruption due to the thermal expansion of the pipe



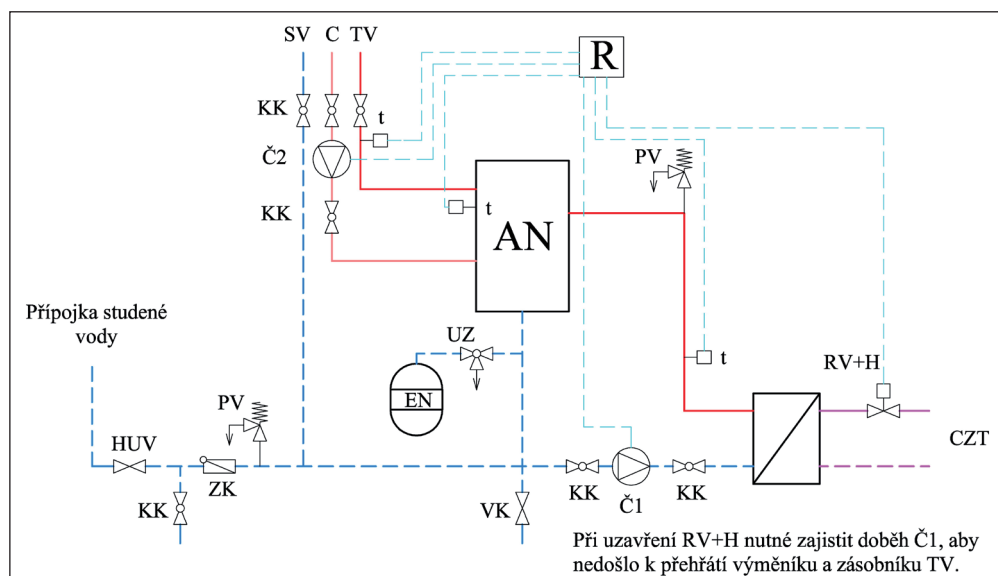
Obr. 5 Prověšení plastového potrubí po uvedení do provozu v důsledku absence kompenzátorů a kluzných bodů uchycení

Fig. 5 Plastic pipes sag after commissioning, due to the lack of compensators and sliding fixing points

vytrhalo závěsy ze stropu (obr. 4) a na několika místech zcela změnilo svůj tvar a směr vedení (obr. 5).

Na tomto případě se rovněž projevil vliv tepelného namáhání na životnost plastového potrubí. Nejprve je nutné popsat schéma přípravy teplé vody systému. Schéma přípravy teplé vody bylo dle projektové dokumentace projekční kanceláře v pořádku (obr. 6). Při realizaci se montážní firma neřídila ani požadavkem projektanta, ani požadavkem dodavatele plastového potrubí. Následkem byla, téměř ihned po uvedení do provozu, havárie výměníku teplé vody.

Co bylo příčinou havárie? Výměník pro přípravu teplé vody byl navržen pro přímé napojení na CZT se jmenovitou teplotou přívodní horké vody 130 °C. Naneštěstí montážní firma sekundární oběh výměníku napojila za použití plastových trubek již přímo namontovaných na výměník tepla. Výrobce plastového potrubí vždy garantuje provozní charakteristiku dle závislosti na provozním tlaku, teplotě a rozměru potrubí [11]. Pokud uvážíme použité potrubí PP-R 50 × 8,3 mm a provozní přetlak 0,64 MPa, pak je výpočtové napětí ve stěně trubky pro zadané pa-



Obr. 6 Schéma zapojení přípravy teplé vody posuzovaného objektu (novostavba bytového domu Šafaříkovy sady v Plzni): C – cirkulace TV; CZT – primární strana výměníku tepla; Č1 – nabíjecí čerpadlo TV; Č2 – cirkulační čerpadlo; EN – expanzní nádoba; HUV – hlavní uzávěr vody; KK – kulový kohout; R – regulace; RV+H – regulační a havarijní ventil; PV – pojistný ventil; SV – studená voda; TV – teplá voda; UZ – uzavírací ventil se zajištěním; VK – vypouštěcí kohout AN; ZK – zpětná klapka

Fig. 6 Diagram of the hot water preparation system in the assessed premise (new residential building Šafaříkovy sady, Pilsen): C – circulation HW; CZT – primary side of the heat exchanger; Č1 – charging pump HW; Č2 – circulation pump; EN – expansion vessel; HUV – main water shut-off valve; KK – ball valve; R – regulation; RV+H – regulatory and emergency valve; PV – safety valve; SV – cold water; TV – hot water; UZ – shut-off valve with protection; VK – drain valve of AV; ZK – backflow valve

rametry cca $\sigma_v = 2,41$ MPa. Pro provozní povrchovou teplotu potrubí 80 °C lze pak z údajů výrobce potrubí odečíst životnost potrubí cca 25 let. Pro teplotu 90 °C lze stanovit životnost potrubí na cca 5 let, pro teplotu 110 °C je životnost potrubí cca 0,9 roku. Pro případ povrchové teploty potrubí okolo 130 °C není příslušná křivka již k dispozici! S ohledem na trend, kdy jednoznačně s rostoucí povrchovou teplotou potrubí výrazně klesá jeho životnost, lze při povrchové teplotě okolo 130 °C uvažovat životnost potrubí řádově v několika desítkách hodin. Důsledky nešťastného provedení napojení ukazuje obr. 7. Nutno dodat, že havárie byla zapříčiněna také špatně nastavenou regulací, kdy nebyl zajištěn doběh čerpadla Č1, a při uzavření regulačního ventilu na primární straně výměníku tak došlo k lokálnímu přehřátí.



Obr. 7 Stav výměníku teplé vody těsně po havárii

Fig. 7 State of the hot water heat exchanger immediately after the accident

Ačkoli výrobce potrubí (v návodu na montáž potrubí) i projektant (v projektu) shodně požadovali při instalaci tohoto typu plastového potrubí za výměníkem tepla z hlediska ochrany při přehřátí systému nainstalovat cca 1,5 až 2 m kovového potrubí, byl tento požadavek montážní firmou zcela ignorován.

HLUKOVÉ HLEDISKO PROVOZU POTRUBNÍCH SÍTÍ

Provoz technických zařízení budov s sebou přináší problematiku vzniku a šíření hlukových projevů. Zdroji mohou být např. armatury, potrubní rozvody, čerpadla, ventilátory, kanalizační nebo vodovodní potrubí, výtahy atd. Zvuk je vlastně mechanické kmitání pružného prostředí ve frekvenčním rozsahu 20 až 20 000 kmitů za sekundu (tj. pásma slyšitelnosti). Zvuk se může šířit v plynech, kapalinách i pevných látkách ve formě akustického vlnění. Pro představu, akustická vlna se ve vzduchu pohybuje rychlostí 340 m/s, ale ve vodě až 1500 m/s. U plynů a kapalin se vyskytuje pouze podélné akustické

vlnění, u elastických materiálů se ale může vyskytovat jak podélné, tak i příčné vlnění, což v kombinaci vede ke kmitání ohybovému. Všechny stavební materiály, se kterými se setkáváme, vykazují pokles intenzity chvění v závislosti na vzdálenosti od zdroje. V případě šíření zvuku pevnými materiály nazýváme toto kmitání chvění. Rozhodující veličinou je v tomto případě činitel vnitřního tlumení, definovaný jako [4, 7]:

$$\eta = \frac{I_q}{I} \quad (5)$$

kde je:

- η činitel vnitřního tlumení [-],
- I_q část intenzity chvění přeměněná v teplo [W/m²],
- I celková intenzita chvění [W/m²].

U stavebních materiálů, jako jsou např. ocel a beton, je tento činitel velmi malý, a proto vedou chvění (resp. nežádoucí hluk) daleko lépe než např. cihly nebo dřevo. Konstrukční provedení budov je tedy z hlediska šíření hluku stavební konstrukcí velmi důležité. Pro úplnost je však ještě nutné dodat, že na šíření chvění v konstrukcích nebo šíření zvuku budovou má vliv celá řada veličin, např. činitel zvukové pohltivosti stěn atd.

Základními metodami v boji proti hluku jsou [4]:

Metoda redukce hluku ve zdroji

Spočívá v odstranění zdroje hluku nebo ve snížení jeho hlučnosti. V případech zdravotně technických instalací se většinou jedná o vhodnou konstrukci jednotlivých zařízení a předmětů. Hluk může způsobit proud vody, odtok vody ze splachovacích nádrží, výtok proudu vody atd. Materiály, které dobře tlumí tyto projevy, jsou většinou keramika nebo litina. Např. při návrhu vodovodu je nutné respektovat požadavky normy ČSN 75 5455, kdy pro různé typy použitého potrubí a účely je uvedena tabulka maximálních a doporučených návrhových rychlostí proudění vody (tab. 6)

Tab. 6 Minimální a maximální rychlosti proudění vody ve vodovodním potrubí dle ČSN 75 5455 [8]

Tab. 6 Minimum and maximum water velocity in pipes, according to CSN 75 5455 [8]

Druh potrubí		Nejnižší doporučená rychlost w_{min} [m/s]	Nejvyšší dovolená rychlost w_{max} [m/s]
Přívodní potrubí při výpočtovém průtoku	Ocelové pozinkované potrubí	0,5	1,7
	Potrubí z nerezavějící oceli	0,5	2,0
	Měděné potrubí	0,5	2,0
	Potrubí z plastů nebo s vnitřním plastovým povrchem	0,5	3,0
Cirkulační potrubí teplé vody. Trvalý odběr vody (déle než 30 min)	Ocelové pozinkované potrubí	0,2	0,5
	Potrubí z nerezavějící oceli	0,3	0,8
	Měděné potrubí	0,3	1,0
	Potrubí z plastů nebo s vnitřním plastovým povrchem	0,3	1,5

Metoda dispozice

Je založena na vhodném situování hlučných prostor. Správný návrh prostorové situace uvnitř budovy, např. kotelen, toalet, kuchyní, koupelen atd., může ušetřit významné finanční prostředky na zajištění akustické pohody chráněných místností. Pro praxi to znamená důkladně zvážit, kde potrubní rozvody navrhovat a kde se naopak snažit jejich trasám vyhnout.

Metoda izolace

Spočívá v odizolování hlučného zařízení nebo celého hlučného prostoru speciálními zvukoizolačními kryty, příčkami apod. Příkladem je

vkládání izolačních rohoží mezi zařizovací předměty zdravotní techniky zavěšenými na stěnách apod. Nutno dodat, že v projektu by tato metoda měla být použita, až pokud není možné použít některou z předchozích dvou metod [5, 6].

Příklady uložení potrubí s tlumicími prvky reprezentují obr. 8 a 9.

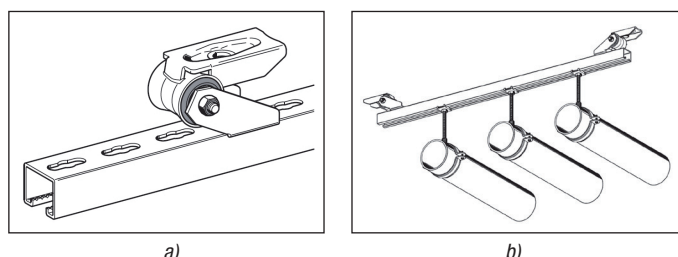
ZÁVĚR

Cílem článku bylo připomenout základní požadavky návrhu potrubních sítí stran tepelného namáhání. Velice důležité je při plánování tras potrubí brát v úvahu nejen teplotní délkovou roztažnost navrhovaného potrubí, ale také hlediska hluková. Již ve fázi projektu je možné předcházet budoucím problémům, kdy si jeden soused stěžuje na hluk, pokud si druhý soused např. napouští vanu nebo se sprchuje. Také je nutné připomenout, že jakákoli snaha projektanta řešit výše uvedené problémy, vyplývající z fyzikální podstaty návrhu potrubních sítí, většinou selhává přímo na stavbě, a sice při skutečné realizaci projektu ve snaze co nejvíce ušetřit investiční prostředky.

Kontakt na autora: Roman.Vavricka@fs.cvut.cz

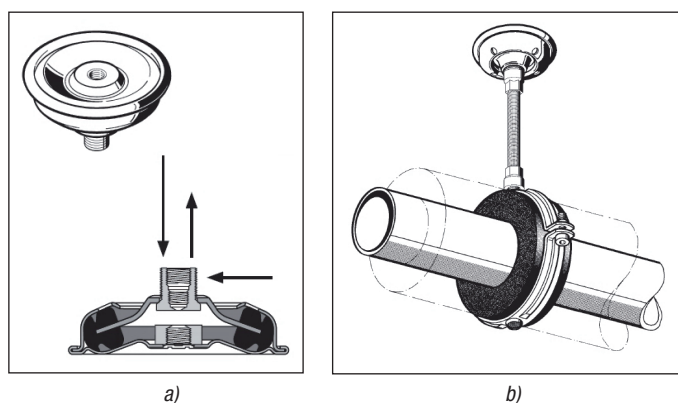
Použité zdroje:

- [1] BROŽ, K. *Zásobování teplem*. Vydavatelství ČVUT, 2002. 217 s. ISBN 80-01-02521-3.
- [2] BYSTRICKÝ, V., POKORNÝ, A. *Technická zařízení budov – A. Třetí vydání*. Vydavatelství ČVUT, 2006. 205 s. ISBN 80-01-02716-3.
- [3] NESTLE, H. a kol. *Příručka zdravotně technických instalací*. Vydavatelství Sobotáles, 2003. 480 s. ISBN 80-86706-02-8.
- [4] NOVÝ, R. *Hluk a chvění*. Vydavatelství ČVUT, 2000. 389 s. ISBN 80-01-02246-3.
- [5] NOVÝ, R. *Hluk generovaný z potrubí. Vytápění, větrání, instalace*. 2007, roč. 16, č. 4, s. 200–202. ISSN 1210-1389.
- [6] NOVÝ, R. *Pružné ukládání strojů. Vytápění, větrání, instalace*. 2011, roč. 20, č. 3, s. 98–103. ISSN 1210-1389.
- [7] NOVÝ, R., KUČERA, R. *Hlučnost termostatických ventilů. Vytápění, větrání, instalace*. 2007, roč. 16, č. 1, s. 27–31. ISSN 1211-0906.
- [8] ČSN 75 5455. *Výpočet vnitřních vodovodů*. ČNI, 2014.
- [9] DIN 1988-2. *Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen – Planung und Ausführung, Bauteile, Apparate, Werkstoffe, Technische Regel des DVGW*, 1988.
- [10] Firemní podklady Sikla Bohemia s.r.o. [online]. Dostupné z: www.sikla.cz
- [11] Firemní podklady FV-plast [online]. Dostupné z: www.fv-plast.cz



Obr. 8 Odhlučněné uložení potrubí na závěs SDE 2 (tlumicí prvek je z pružné pěny PUR) [10]: a) detail konstrukce prvku SDE 2; b) příklad montáže

Fig. 8 Soundproofed fixing of pipeline to hinge SDE 2 (damping element is from flexible PUR foam) [10]: a) construction detail of the SDE 2; b) assembly example



Obr. 9 Samostatný tlumicí prvek SDE 1 [10]: a) detail konstrukce SDE 1; b) příklad montáže

Fig. 9 Separate damping element SDE 1 [10]: a) construction detail of the SDE 1; b) assembly example