

## K. Projektovanie

### K.1 Tepelné straty

Podľa STN 38 3350 sa má hrúbka tepelnej izolácie potrubia tepelných sietí navrhovať ako hospodárna. Na výpočet ročných tepelných strát vodných tepelných sietí s kvalitatívnou reguláciou (pomerná teplota obehovej vody v závislosti na strednej teplote vonkajšieho vzduchu) je nutné najprv určiť strednú ročnú teplotu teplotonosnej látky ako v prírodnom, tak aj vo vratnom potrubí (STN 38 3350).

Stredná ročná teplota okolitej zeminy sa podľa STN 38 3350 pre jednoduchosť uvažuje  $t = +10^{\circ}\text{C}$ . Pokiaľ chýbajú presnejšie podklady počas prevádzky vo vykurovacom období, je to  $t = +5^{\circ}\text{C}$ .

Stredná ročná teplota okolitej zeminy sa uvažuje pri pomere hĺbky osi potrubia k vonkajšiemu priemeru bezkanálovej konštrukcie nad 1,25. Pri plytkom založení potrubia (uvedený pomer menší než 1,25) sa počíta ako výpočtová teplota okolitého prostredia a stredná ročná teplota vonkajšieho vzduchu. Ak nie sú známe bližšie údaje, aby bolo možné podľa STN 38 3360 určiť presnejšie hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti okolitej zeminy, počíta sa podľa nasledovného vzorca:

$$\lambda_z = 1,5 \div 2,0 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

*Výpočet tepelných strát (na 1m dĺžky) pre podzemné vedenie predizolovaných rúr:*

Tepelné straty pre prírodné potrubie  $q_p$  a spätočné potrubie  $q_s$  vypočítame:

$$q_p = U_1(t_p - t_z) - U_2(t_s - t_z)$$

$$q_s = U_1(t_s - t_z) - U_2(t_p - t_z)$$

Výpočet úhrnných strát:

$$q_p + q_s = 2(U_1 - U_2) * ((t_p + t_s) / 2 - t_z)$$

$U_1$ a $U_2$	koeficienty tepelných strát
$t_p$ a $t_s$	teploty prírodného a spätočného média
$t_z$	teplota zeminy v hĺbke osí potrubia h

Koeficienty tepelných strát:

$$U_1 = \frac{R_z + R_i}{(R_z + R_i)^2 - R_h^2} \quad U_2 = \frac{R_h}{(R_z + R_i)^2 - R_h^2}$$

$R_z$	tepelný odpor zeminy
$R_i$	tepelný odpor izolácie
$R_s$	tepelný odpor spôsobený vzájomným vplyvom prírodného a spätočného potrubia

## K. Projektovanie

Pre dvojicu rúr rovnakej konštrukcie je možné počítať:

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

Vzorec pre tepelný odpor zeminy:

$$R_z = \frac{1}{2\pi\lambda_z} \ln \frac{4h_k}{D}$$

$h_k$	korigovaná hodnota hĺbky $h$ , takže je zohľadnený odpor pri prestupe na povrchu zeminy $h_k = h + R_o * \lambda_z$
$h$	hĺbka osí potrubí
$\lambda_z$	súčiniteľ tepelnej vodivosti zeminy, zvyčajne má hodnotu 1,5 - 2 W/mK u vlhkej zeminy (pre suchý piesok okolo 1,0 W/mK)
$R_o$	odpor pri prestupe na povrchu zeminy, zvyčajne sa používa hodnota 0,0685 m <sup>2</sup> K/W

Vzorec pre tepelný odpor izolácie:

$$R_i = \frac{l}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{D_i}{d}$$

$D_i$	vonkajší priemer izolačného materiálu
$d$	vonkajší priemer medionosnej rúry
$\lambda_i$	súčiniteľ tepelnej vodivosti izolačného materiálu u PUR peny $\lambda_i = 0,027W / mK$
$l$	dĺžka potrubia v m

Východzím vzťahom pre určenie mernej tlakovej straty v priamom potrubí je nasledujúca rovnica:

$$R_h = \frac{l}{4\pi\lambda_z} \ln \left( 1 + \left( \frac{2h_k}{c} \right)^2 \right)$$

$c$	vzájomná osová vzdialenosť potrubí $c = D + r$
-----	--

### Príklad:

Výpočet pre dvojicu rúr:

$$(d_p = d_s, D_p = D_s)$$

S nasledujúcimi parametrami:

$$d = 0,1143m$$

$$D = 0,200m (t = 3,2mm \Rightarrow D_i = 0,2 - 2 * 0,0032 = 0,1936m)$$

$$c = 0,2 + 0,2 = 0,4m$$

## K. Projektovanie

a ďalšími vstupnými hodnotami:

$$t_p = 130^\circ\text{C}$$

$$t_s = 70^\circ\text{C}$$

$$t_z = 8^\circ\text{C}$$

$$\lambda_z = 1,7\text{W} / \text{mK} = 1,7\text{W} / \text{m}^\circ\text{C}$$

$$h = 0,8\text{m}$$

$$h_k = h + R_o * \lambda_z = 0,8 + 0,0685 * 1,7 = 0,916\text{m}$$

$$R_z = \frac{1}{2\pi\lambda_z} \ln \frac{4h_k}{D} = \frac{1}{2\pi * 1,7} \ln \frac{4 * 0,916}{0,2} = 0,272\text{W} / \text{mK}$$

$$R_i = \frac{1}{2\pi\lambda_z} \ln \frac{D_i}{d} = \frac{1}{2\pi * 0,033} \ln \frac{0,1936}{0,1143} = 2,541\text{W} / \text{mK}$$

$$R_h = \frac{1}{4\pi\lambda_z} \ln \left( 1 + \left( \frac{2h_k}{c} \right)^2 \right) = \frac{1}{4\pi * 1,7} \ln \left( 1 + \left( \frac{2 * 0,916}{0,4} \right)^2 \right) = 0,145\text{W} / \text{mK}$$

potom

$$U_1 - U_2 = \frac{1}{R_z + R_i + R_h} = \frac{1}{0,272 + 2,541 + 0,145} = 0,338\text{W} / \text{mK}$$

a

$$q_p + q_s = 2(U_1 - U_2) \left( \frac{t_p + t_s}{2 - t_z} \right) = 2 * 0,338 * \left( \frac{130 + 70}{2 - 8} \right) = 62,19\text{W} / \text{m}$$

V tabuľkách komponentov v časti B sú uvedené tepelné straty pre jednotlivé rady a priemery potrubí vztiahnuté na 1 m a 1 °K.

Vo výpočte sú použité rovnaké vstupné parametre:  $t_p, t_s, t_z, \lambda_z, h$  ako v tomto príklade.

Pomocou hodnôt z tabuliek je možné posúdiť výhodnosť vybraného radu izolácie.

Ročné tepelné straty sa vypočítajú:

$$Qr[\text{GJ} \cdot \text{r}^{-1}] = q[\text{W} \cdot \text{m}^{-1}] * L[\text{m}] * 8760[\text{h} \cdot \text{r}^{-1}] * 3600[\text{s} \cdot \text{h}^{-1}] * 10^{-9}$$

## K. Projektovanie

### K.2 Tlakové straty

$\Delta p$	tlaková strata v (horizontálnom) potrubí
$\Delta p_1$	tlakovej straty v priamom potrubí
$\Delta p_m$	tlaková strata v miestnych (zaradených) hydraulických odporoch

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_m$$

#### K.2.1 Tlaková strata v priamom potrubí

$$\Delta p = R_1 * l$$

$R_1$	merná tlaková strata priameho úseku potrubia na 1 m dĺžky $Pa.m^{-1} = N.m^{-2}.m^{-1}$
-------	---

$$R_1 = \lambda * \frac{w^2}{2} * \frac{\rho}{d}$$

$$R_1 = 0,8125 * \lambda * \frac{G^2}{d^5}$$

$$R_1 = [N.m^{-2}.m^{-1}] = [Pa.m^{-1}]$$

$\lambda$	súčiniteľ hydraulického trenia (bezrozmerná veličina)
$w$	rýchlosť prúdenia teplotnosnej látky [m/s]
$g$	tiažové zrýchlenie (9,81 m/s <sup>2</sup> )
$\rho$	merná hmotnosť teplotnosnej látky [kg.m-3]
$d$	vnútorný priemer potrubia [m]
$G$	hmotnostný prietok teplotnosnej látky [kg/s]

Drsnosť vnútorného povrchu potrubia (absolútna) je pre jednotnosť daná v STN 38 3350

*pre vodné tepelné siete*

$$k = 5.10^{-4} m$$

*pre parné potrubie*

$$k = 2.10^{-4} m$$

*pre kondenzátne potrubie tepelných sietí*

$$k = 1.10^{-3} m$$

Súčiniteľ hydraulického trenia sa určí z Nikuradzeho diagramu podľa Reynoldsovoho čísla

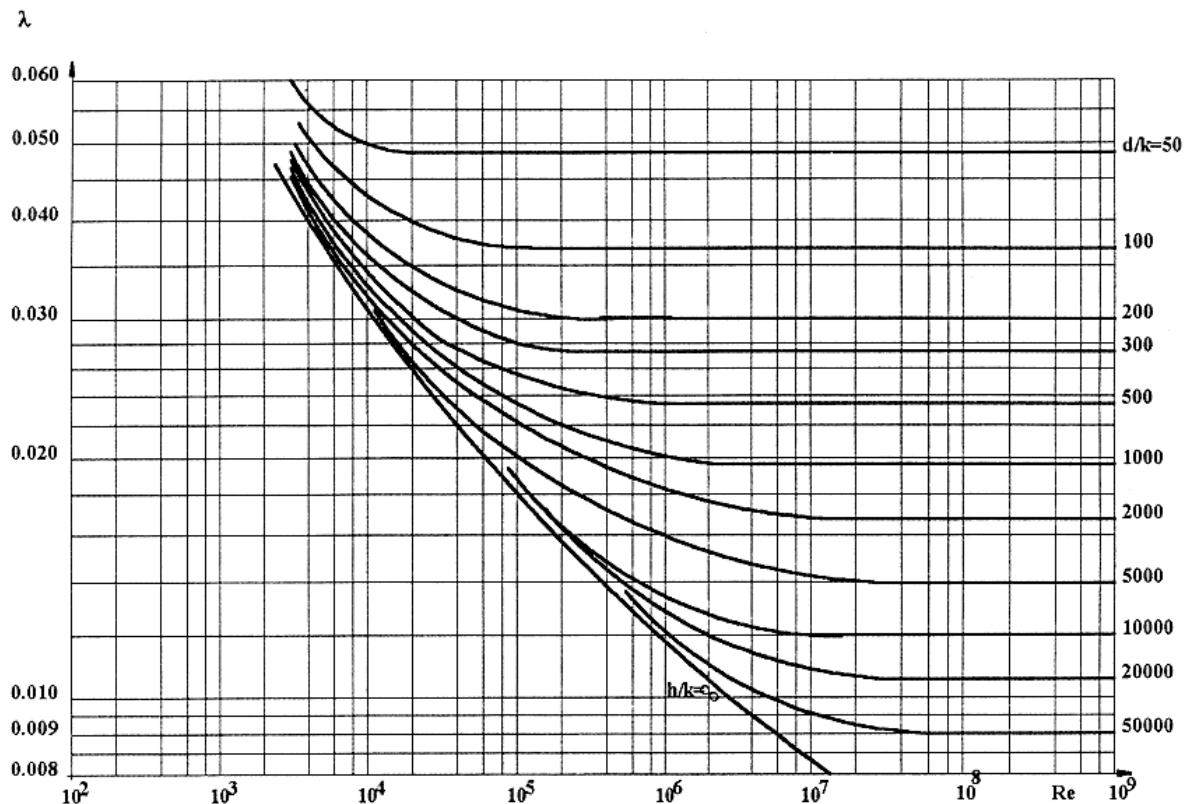
## K. Projektovanie

$$\text{Re} \frac{w.d}{\nu}$$

a pomernej drsnosti  $k/d$ .

Pre tepelné siete s kvalitatívnou reguláciou (premenná teplota obehovej vody v závislosti od strednej teploty vonkajšieho vzduchu) sa počíta pre strednú teplotu prívodného a vratného potrubia spoločne, pre tepelné siete s kvantitatívnou reguláciou (premenné množstvo obehovej vody podľa teploty vonkajšieho vzduchu pri konštantnej teplote obehovej vody) sa počíta tlaková strata samostatne pre prívodné a samostatne pre vratné potrubie.

*Závislosť súčiniteľa hydraulického trenia od Reynoldsovho čísla a od relatívnej drsnosti potrubia*



*Závislosť tlakového spádu od prietoku vody pre vodné tepelné siete. Platí pre absolútnu drsnosť potrubia  $k=0,5$  až  $1,0$  mm a pre hustotu vody  $975 \text{ kg/m}^3$  (pri  $75^\circ\text{C}$ )*

## K. Projektovanie

### K.2.2 Tlaková strata v miestnych odporoch

Súčtová tlaková strata v miestnych (zaradených) hydraulických odporoch, nachádzajúcich sa v danom úseku potrubia, sa určuje:

$$\Delta p_m = \sum \xi \frac{w^2}{2} \rho$$

$$\Delta p_m = 0,8125 \sum \xi \frac{G^2}{\rho d^4}$$

$$\Delta p_m = [N.m^{-2}] = [Pa]$$

$\sum \xi$	súčet súčiniteľov miestnych (zaradených) hydraulických odporov na danom úseku potrubia
$\xi$	bezrozmerný súčiniteľ miestneho (zaradeného) hydraulického odporu, závislý od charakteru odporu

Ak si predstavíme rovné potrubie s vnútorným priemerom  $d$ , ktorého tlaková strata sa rovná tlakovej strate v miestnych odporoch, potom je možné dĺžku tohoto úseku potrubia nazvať ekvivalentnou dĺžkou miestnych (zaradených) hydraulických odporov:

$$\Delta p_m = R.l$$

$$\sum \xi \frac{w^2}{2} \rho = \lambda \frac{w^2}{2} \cdot \frac{\rho}{d} \cdot l_e$$

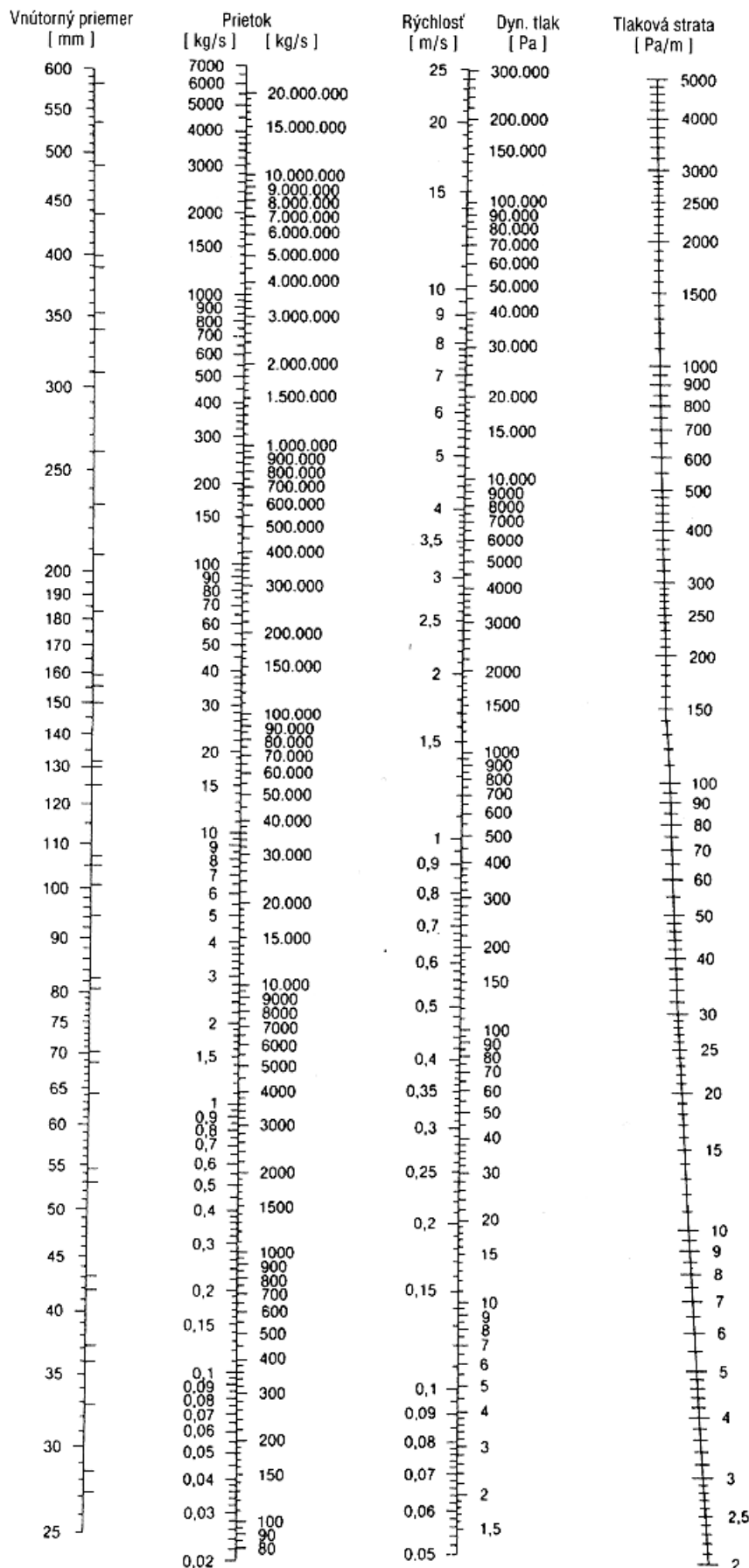
$$l_e = \frac{\sum \xi \cdot d}{\lambda} = [m]$$

### K.2.3 Prietokový nomogram

Nomogram je vytvorený pre teplotu média  $80^\circ\text{C}$  a drsnosť potrubia  $k = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

V nami predkladanej presnosti je vhodný len na orientačné použitie.

# K. Projektovanie



## K. Projektovanie

### K.3 Zmeny smeru trasy

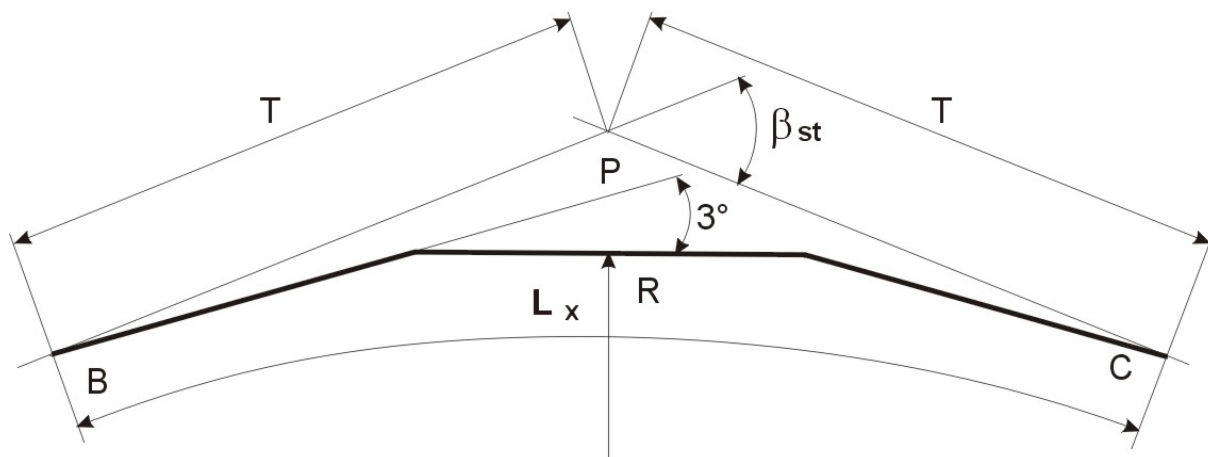
Náhla zmena smeru v trase sa najčastejšie robí súčasným využívaním ohybov na kompenzáciu. Samotná zmena smeru sa dosiahne zaradením príslušného predizolovaného oblúka.

Pri zmene smeru trasy menšej než  $45^\circ$  sa nehodí používať štandardné tvarovky vzhľadom k bočnému vybočeniu potrubia pri dilatácii. K riešeniu tohto problému sa navrhuje viacero možností.

#### K.3.1 Vybočenie pod uhlom $\alpha$ z $\leq 4^\circ$ na zvar

V montážnych zvaroch je možná zmena smeru vedenia potrubia daná maximálne prípustnou šírkou koreňovej medzery zvaru – 3 mm. Vybočením pod uhlom  $\leq 4^\circ$  na zvar sa môže dosiahnuť zmena smeru trasy. Medzi jednotlivými vybočeniami je potrebné počítať s dĺžkou rúry  $l_x \geq 6m$ .

Priemer rúry [mm]	Uhol zmeny smeru [°]
89	4
114 - 139	3
159 - 219	2
273 - 457	1
610	0,5



Príklad: zmena trasy rúry 139 x 3,6

Počet rúr  $n$ , dĺžky  $l_x$   $n = \frac{\beta_{st}}{3}$

Potrebná celková dĺžka rúr  $L_x$   $L_x = 6 * n$  [m]

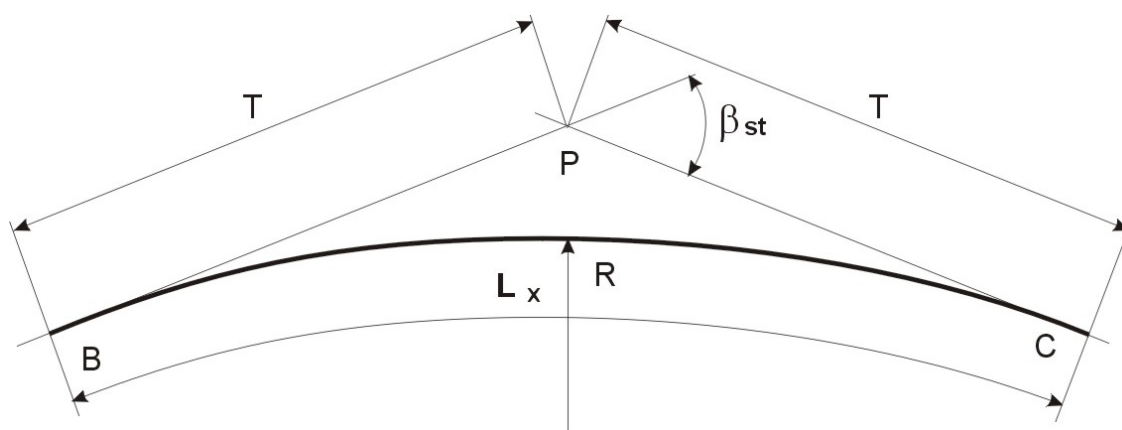
## K. Projektovanie

### K.3.2 Elastické ohýbanie rúr

Pri použití takéhoto ukladania potrubia sa rúry dlhé 6 alebo 12 m axiálne zvaria a podľa tvaru trasy sa elasticky ohýbajú. Rúry sa zvarajú mimo výkopu. Po ukončení zvarovania sa vložia do výkopu a elasticky sa ohnú do tvaru trasy.

Polomery ohybu pri elastickom ohýbaní závisia od odporových modulov v ohybe pre rôzne priemery ocelových rúr. Preto polomery ohybov nesmú byť menšie než je uvedené v tabuľke č.1, aby sa zabránilo napätiam väčším ako je  $\sigma_{dov}$ .

Pretože v praxi je ťažké zistiť existujúci polomer ohybu R, sú v tabuľke uvedené tiež príslušné uhly ohybu  $\alpha_d$ . Pomocou uhlov  $\alpha_d$  je možné zistiť potrebnú dĺžku  $L_x$ .



Počet rúr n, dĺžky  $l_x$

$$n = \frac{\beta_{st}}{\alpha_d}$$

Celková dĺžka rúr  $L_x$

$$L_x = n * l_x \text{ [m]}$$

*Prípustné polomery ohybu a uhly v závislosti na priemere ocelovej rúry dr pri elastickom ohýbaní rúr*

Dĺžka rúr $L_x$	dr /mm/	R min /m/	$\alpha_d$ /°/
6 m	26,9	18	19
	33,7	22	15
	42,4	25	13
	48,3	30	11
	60,3	35	10
	76,1	42	8
	88,9	50	7

## K. Projektovanie

Dĺžka rúr Lx	dr /mm/	R min /m/	$\alpha$ d /°/
12 m	114,3	69	10
	133,0	78	8
	139,7	78	8
	159,4	102	6
	168,3	102	6
	219,1	128	5
	273,0	158	4,5
	323,9	189	3,5
	355,6	207	3
	406,4	229	2,8
	457,2	256	2,6
	508,0	292	2,4

### K.3.3 Dlhý oblúk

Dlhé oblúky sú rúry, ktoré sa ohýbaním prispôsobujú tvaru trasy. Dlhé oblúky sa vyhotovujú ohýbaním 6 alebo 12 m rúr. Rúry < DN 80 sa môžu ohýbať priamo na stavbe pomocou ohýbacieho zariadenia a tak sa prispôbia tvaru trasy. V oblasti dlhého oblúku slúži zemina ako proti uloženie, aby sa zabránilo vybočeniu potrubia.

Ak je dovolené axiálne napätie ocelevej rúry  $\sigma_{dov} = 150 \text{ N/mm}^2$  a ak je uvažované s tlakom zeminy  $p = 0,04 \text{ N/mm}^2$ , vzniká z tejto požiadavky najmenší prípustný polomer ohybu R s uhlom oblúku  $\alpha$ .

$$R = \frac{A * \sigma}{p * D} \text{ [m]}$$

Uhol  $\alpha$  je možné vypočítať nasledovným spôsobom:

$$\alpha = \frac{360 * L}{2 * \pi * R} \text{ [°]}$$

kde je

A	prierez ocelevej rúry	[mm <sup>2</sup> ]
$\sigma$	dovolené napätie	[N/mm <sup>2</sup> ]
p	tlak zeminy	[N/mm <sup>2</sup> ]
D	priemer plášťovej rúry z HDPE	[mm]
L	dĺžka rúry	[m]
R	polomer ohybu	[m]

## K. Projektovanie

Prípustné polomery ohybov a uhly ohybov v závislosti na priemere oceleovej rúry  $d_r$  pre dlhé oblúky

Priemer ocelovej rúry $d_r$ /mm	R [m]	6 m	12 m
		$\alpha$ [°]	$\alpha$ [°]
26,9	7,2	39	-
33,7	10,2	28	-
42,4	10,6	27	-
48,3	12,4	23	46
60,3	14,6	20	39
76,1	16,3	18	35
88,9	18,6	15	30
114,3	19,5	-	29
133	22,5	-	25
139,7	22,9	-	25
159	25	-	23
168,3	26	-	22
219,1	32	-	18
273	38	-	15
323,9	41	-	14
355,6	46	-	14
406,4	50	-	14
457,2	52	-	13
508	53	-	13

Pri objednávke dlhých oblúkov je potrebné zadať uhol  $\alpha$  alebo polomer ohybu a uviesť smer trasy.

### K.3.4 Projektovanie dlhých oblúkov

*Uhol, polomer, dĺžka oblúka a dĺžka dotyčnice*

Výpočet uhla zmeny smeru  $\beta_{st}$  a dĺžka dotyčnice T ako aj výpočet dĺžky oblúka  $L_x$  a polomeru R platí rovnako tak pre elastické ohýbanie ako i pre dlhé oblúky.

*Určenie uhla zmeny smeru  $\beta$*

V bodoch B a C sa vedú dotyčnice, ktoré sa pretnú v priesečníku P. V bode P môže byť zmeraný uhol zmeny smeru  $\beta_{st}$ .

## K. Projektovanie

### Určenie dĺžky oblúku $L_x$

Pomocou uhla zmeny smeru  $\beta_{st}$  sa určí dĺžka oblúka  $L_x$ . Pritom sú možné 2 prípady:

$$\beta_{st} > \alpha_d \quad \text{alebo} \quad \beta_{st} < \alpha_d$$

Uhol  $\alpha_d$  je možné podľa príslušného priemeru rúry zistiť z tabuľky č.1, č.2

### Určenie dĺžky dotýčnice $T$

Pre vyznačenie trasy je potrebné mať priesečník dotýčníc P a uhol zmeny smeru  $\beta_{st}$ . Ďalej sa musí uviesť začiatok a koniec zmeny smeru t.j. body dotýčníc A a B.

1. Pomocou pôdorysu trasy môže byť zmeraná dĺžka dotýčnice T.

### Určenie polomeru ohybu $R$

$$R = \frac{L_x * 180}{\pi * \beta_{st}} \text{ [m]}$$

## K.4 Tepelné predĺženie potrubia

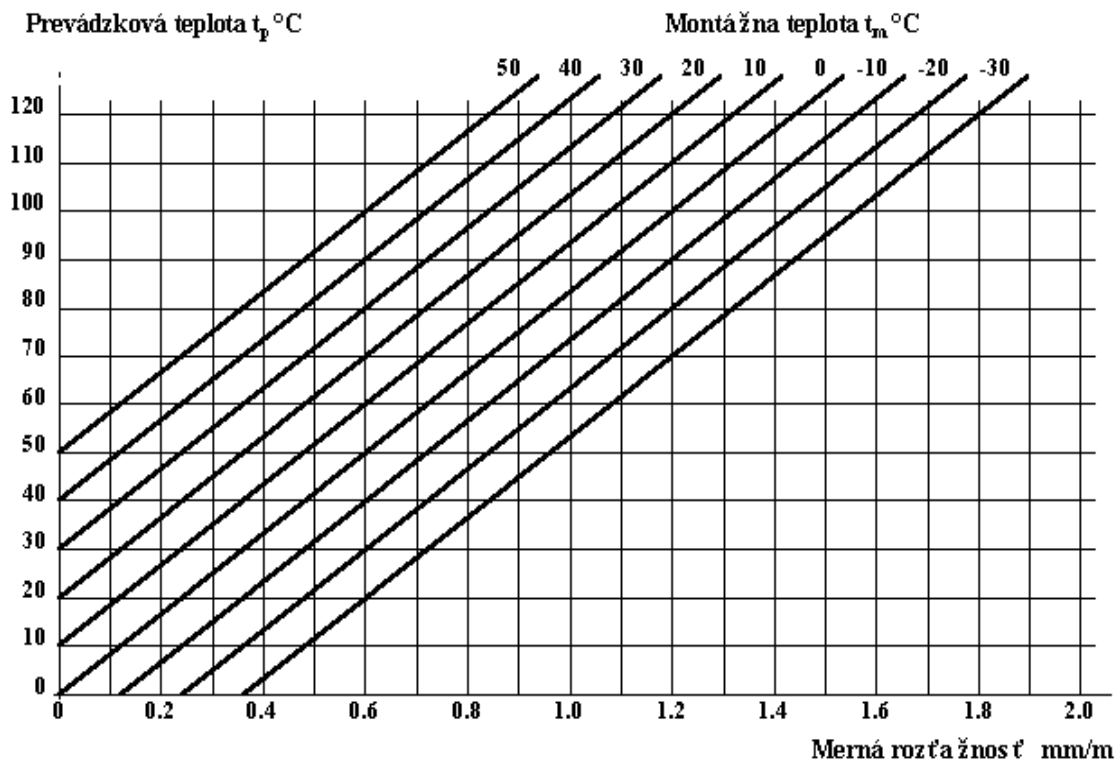
### K.4.1 Voľná dilatácia

Oteplenie voľne ležiaceho potrubia spôsobí roztiahnutie (dilatáciu), čo je možné určiť:

$$\Delta L = \alpha \cdot 10^3 \cdot (t_p - t_m) \cdot L$$

$\Delta L$	dilatácia [mm]
$\alpha$	súčiniteľ tepelnej rozťažnosti $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} K^{-1}$
$t_p$	prevádzková teplota [°C]
$t_m$	montážna teplota [°C]
$L$	dĺžka potrubia [m]

## K. Projektovanie



Pomocou diagramu možno určiť predĺženie (dilatáciu) voľne ležiaceho potrubia pri prvom oteplení. Pri ďalších zmenách teplôt sú hodnoty predĺženia nižšie.

Predizolované potrubie má sendvičovú konštrukciu. Rúra, izolačný materiál a plášť sa chovajú ako jeden celok, pri ktorom nie je možné, aby sa rúra pohybovala nezávisle od plášťa.

Predĺženie (skrátene) medionosnej rúry spôsobí, že sa predĺži (skrúti) tiež plášť.

### K.4.2 Trecia sila

Pri pohybe potrubia v zemi vzniká medzi povrchom plášťa a okolím trenie, ktorého veľkosť závisí od druhu zasypu a od tlaku nadložia na plášť.

$$F = \pi \cdot D \cdot H \cdot \rho \cdot g \cdot \mu$$

$F$	trecia sila pôsobiaca na 1m potrubia [N/m]
$D$	priemer plášťovej rúry [m]
$H$	osová hĺbka uloženia potrubia v zemi (0,6 - 1,4 m)
$\rho$	merná hmotnosť zasyповého materiálu (normaK.: 1800 – 2200 kg . m <sup>-3</sup> )
$\mu$	súčiniteľ trenia medzi plášťovou rúrou a pieskom (normal.: 0,3 - 0,6)
$g$	= 9,81 m . s <sup>-2</sup>

*Veľkosť trenia pre rôzne hĺbky uloženia*

Časť K., strana 13

## K. Projektovanie

D (mm)	F [kN/m]		
	H = 0,6 m	H = 1,0 m	H = 1,4 m
90		2,14	
110	1,59	2,62	3,66
125	1,83	3	4,17
140	2,06	3,37	4,68
160	2,37	3,87	5,37
180	2,7	4,38	6,07
200	3	4,87	6,75
225	3,41	5,52	7,63
250	3,84	6,19	8,53
280	4,31	6,93	9,55
315	4,96	7,91	10,86
400	6,44	10,19	13,94
450	7,41	11,63	15,84
500	8,33	13,02	17,7
560	9,54	14,78	20,03
630	10,93	16,83	22,73
710	12,53	19,19	25,84
800	14,64	22,13	29,63

### K.4.3 Prípustná dĺžka ukladania - montážna dĺžka

Rúra je pri dilatáciách namáhaná silou, ktorá závisí od plochy prierečného prierezu medionosnej rúry A a osového napätia vyvolaného zmenou teploty:

$$\sigma_a = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$$

$\sigma_a$	osové napätie (N/mm <sup>2</sup> )
$E$	modul pružnosti (N/mm <sup>2</sup> )
$\alpha$	koeficient tepelnej rozťažnosti (K <sup>-1</sup> )
$\Delta T$	zmena teploty

Pri zasypanom potrubí sa s narastajúcou vzdialenosťou v smere od voľného konca lineárne zvyšuje napätie v oceľovej rúre, vplyvom trenia medzi plášťom a zeminou, pokiaľ sa neustáli rovnováha medzi trecími silami a tlakovými silami v rúre, teda

$$F \cdot L = A \cdot \sigma_a$$

## K. Projektovanie

Miesto na potrubí, od ktorého sa už potrubie nepohybuje, je prirodzený pevný bod.

Pri bezkanálovom podzemnom uložení tepelne predizolovaného oceleového potrubia s pevnou väzbou medzi nosnou rúrou, PUR penou a plášťovou rúrou sa uvažuje pri stanovení maximálnej montážnej dĺžky potrubia s vplyvom trecej sily medzi rúrou a pieskovým lôžkom. Potom prirodzený pevný bod medzi kompenzátormi je vo vzdialenosti:

$$L_{\max} = \frac{\sigma_a \cdot A}{F}$$

$L_{\max}$	maximálna montážna dĺžka [m]
$\sigma_a$	dovolené axiálne napätie ocelevej rúry [pre St 37.0 – 150 N . mm <sup>-2</sup> ]
$A$	prierezová plocha ocelevej rúry [mm <sup>2</sup> ]
$F$	trečia sila [N/m]

Napätie v stene rúry v mieste prirodzeného pevného bodu rastie s teplotou a pri určitej teplote dosiahne medze klzu materiálu. Pri materiály akosti 11353.1, St.37.0, štandardne používaného pre predizolované potrubia, dôjde k dosiahnutiu medze klzu pri zvýšení teploty asi o 95°C.

V zasypanom predizolovanom potrubí vznikajú okrem vyššie spomenutých axiálnych napätí tiež napätia ohybové a obvodové. Ohybové napätia sú podobne ako axiálne napätia deformačné, zatiaľ čo obvodové napätia sú silové. Deformačné napätie sa znižuje pri deformáciách materiálov, ale veľkosť silových napätí pri deformácii zostáva nezmenená. Spôsob riešenia silového napätia závisí od použitej metódy montáže potrubia.

### K.4.4 Redukovaná dilatácia

Ak je predĺženie potrubia brzdené trecou silou  $F$ , ktorá pôsobí po celej dĺžke  $L$ , potom:

$$\Delta L = \alpha \cdot 10^3 (t_p - t_m) L - \frac{F \cdot L^2 \cdot 10^3}{2 \cdot A \cdot E}$$

$\Delta L$	redukované predĺženie [mm]
$\alpha$	súčiniteľ tepelnej rozťažnosti ocele = $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
$(t_p - t_m)$	rozdiel prevádzkovej a montážnej teploty [ $^\circ\text{C}$ ]
$L$	dĺžka potrubia [m]
$F$	trečia sila pôsobiaca na 1m potrubia [N/m]
$A$	prierezová plocha ocelevej rúry [mm <sup>2</sup> ]
$E$	modul pružnosti [=2,1 . 10 <sup>5</sup> N mm <sup>-2</sup> ]

Toto je spôsob, akým môžeme pri dostatočných podkladoch vypočítať skutočné predĺženie použiteľné pri úspornom navrhovaní potrubnej trasy.

## K. Projektovanie

### K.5 Spôsobu ukladania

Voľba inštalácie rozvodných sietí závisí od prevádzkovej teploty média a od medze klzu materiálu potrubia. Rozvody s médiom, ktorého teplota nepresiahne 90°C, môžu byť ukladané bez zvláštnych opatrení na zníženie axiálneho napätia.

Pri rozvodoch s médiom, ktorého teplota sa pohybuje v rozpätí 90° - 130° C, sú rozhodujúce predovšetkým dĺžky priamych úsekov potrubnej trasy. Potrubná trasa sa buď rozdelí na kratšie úseky s expanznými zónami, alebo sa potrubie tepelne predopne, prípadne sa použije kombinácia týchto riešení.

#### K.5.1 Za studena s kompenzáciou

Ak pracovná teplota média presiahne 90°C, nesmie byť vzdialenosť medzi dvoma dilatačnými miestami väčšia ako dvojnásobok maximálnej montážnej dĺžky.

*Izolácia triedy A*

D (mm)	L <sub>max</sub>		
	H = 0,6 m	H = 1,0 m	H = 1,4 m
20	26	15	11
25	37	22	15
32	38	23	16
40	44	26	19
50	54	33	23
65	61	37	27
80	69	42	30
100	70	43	31
125	85	52	38
150	102	63	45
200	116	72	53
250	124	78	57
300	143	91	67
350	140	89	66
400	157	101	75
450	155	100	74
500	150	98	73

V Slovenskej republike (podobne i v Českej republike) sa potrubie tepelných sietí svojím charakterom radí medzi diaľkové potrubia. U diaľkových potrubí sa dbá v prvom rade na čo najmenší hydraulický odpor. Preto STN 38 3360 prakticky nedovoľuje v tepelných sieťach používať kompenzátory U s výnimkou parných tepelných sietí alebo vo zvlášť zdôvodnených prípadoch. Uvádza, že "kompenzácia tepelných dilatácií potrubia tepelných sietí sa robí

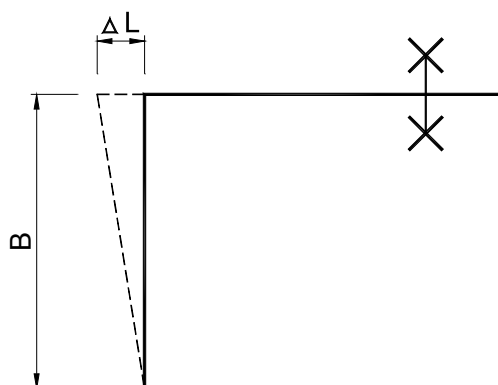
## K. Projektovanie

priradeným spôsobom zmenami smeru trasy (L a Z - kompenzátory) a osovými kompenzátormi v priamych úsekoch."

Dilatačné miesta sú teda buď typu L, Z, U, alebo osové s axiálnymi kompenzátormi.

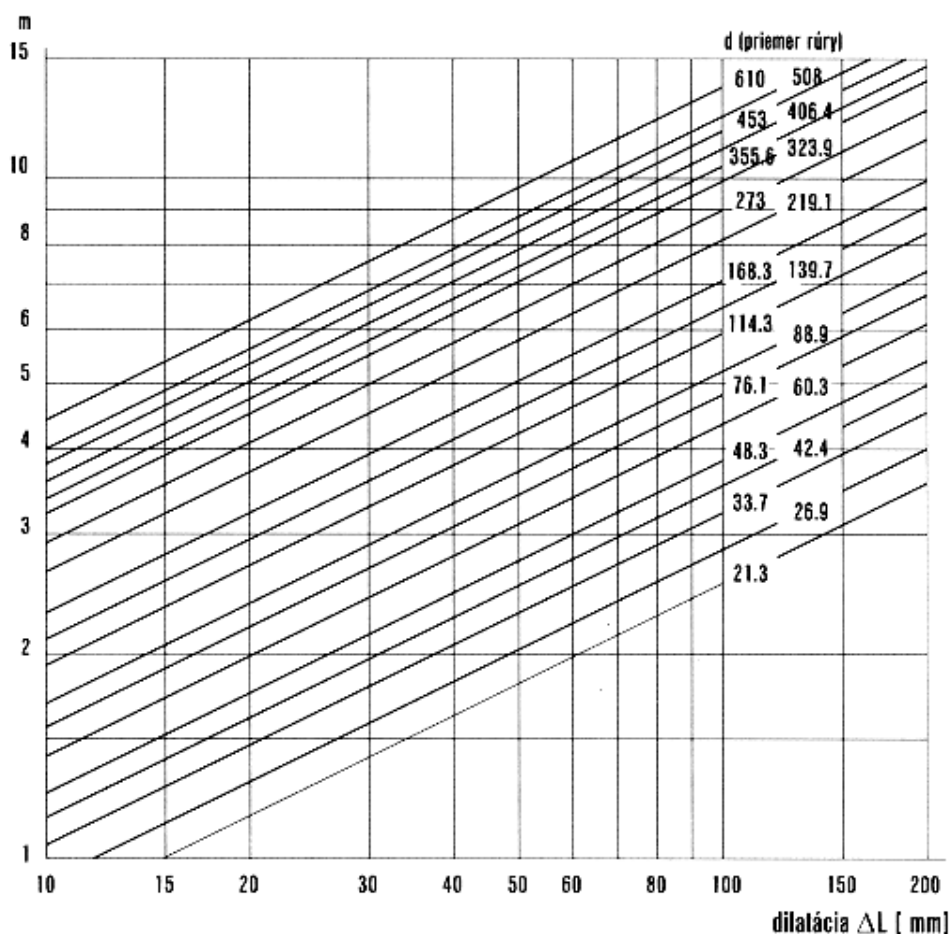
### Prirodzené L, Z a U kompenzátory

#### L – kompenzátory



L kompenzátory pracujú tak, že predĺženie  $\Delta L$  z dlhšieho ramena je kompenzované pohybom kratšieho ramena. Ak poznáme  $\Delta L$ , môžeme vypočítať potrebnú dĺžku B pohyblivého ramena. Z nasledujúceho diagramu sa stanoví dĺžka B pre rôzne hodnoty  $\Delta L$ .

Dĺžka pohyblivého ramena B

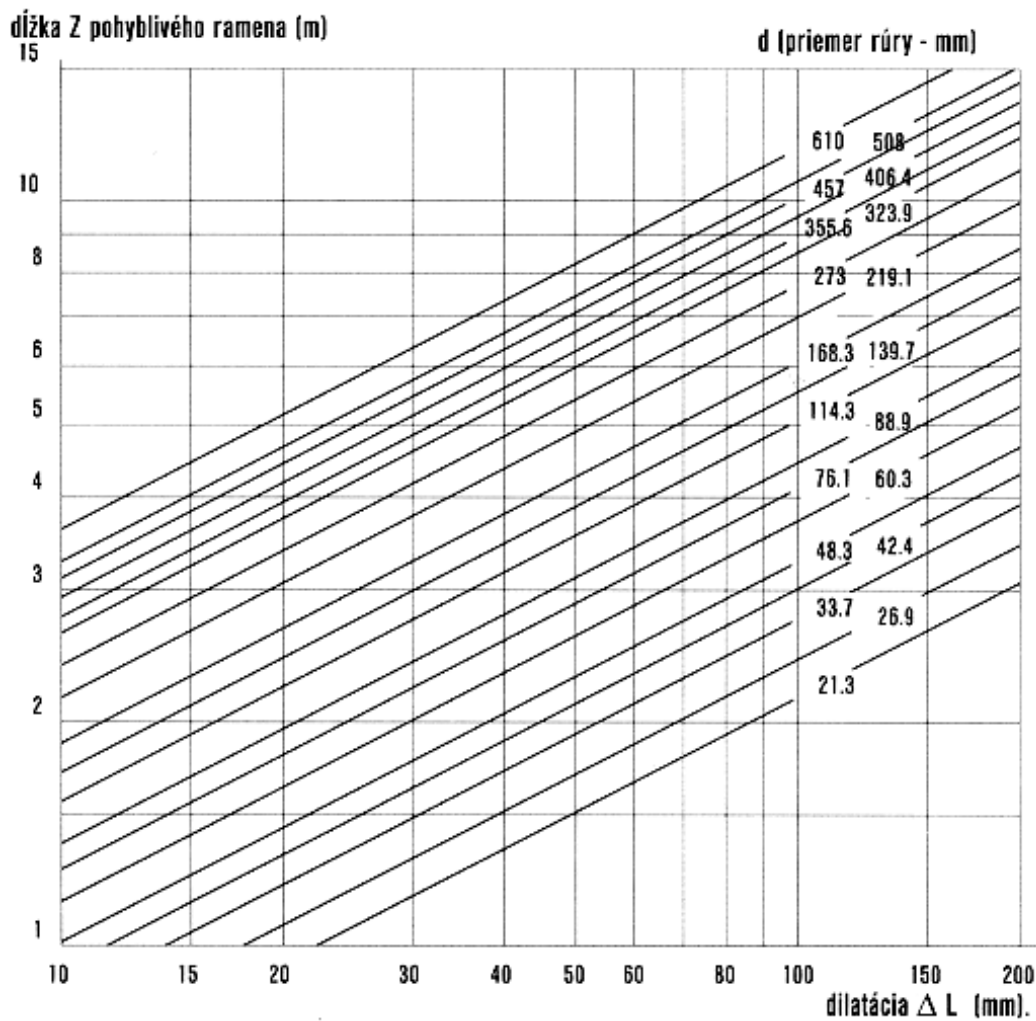
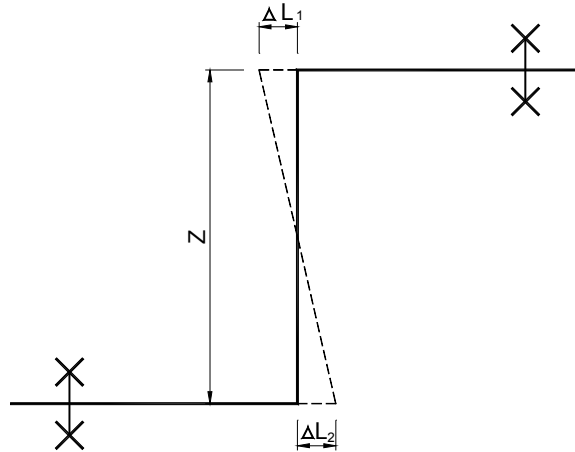


# K. Projektovanie

## Z - kompenzátory

pracujú v obidvoch lomových bodoch. Celková dĺžková dilatácia sa vypočíta:

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2$$



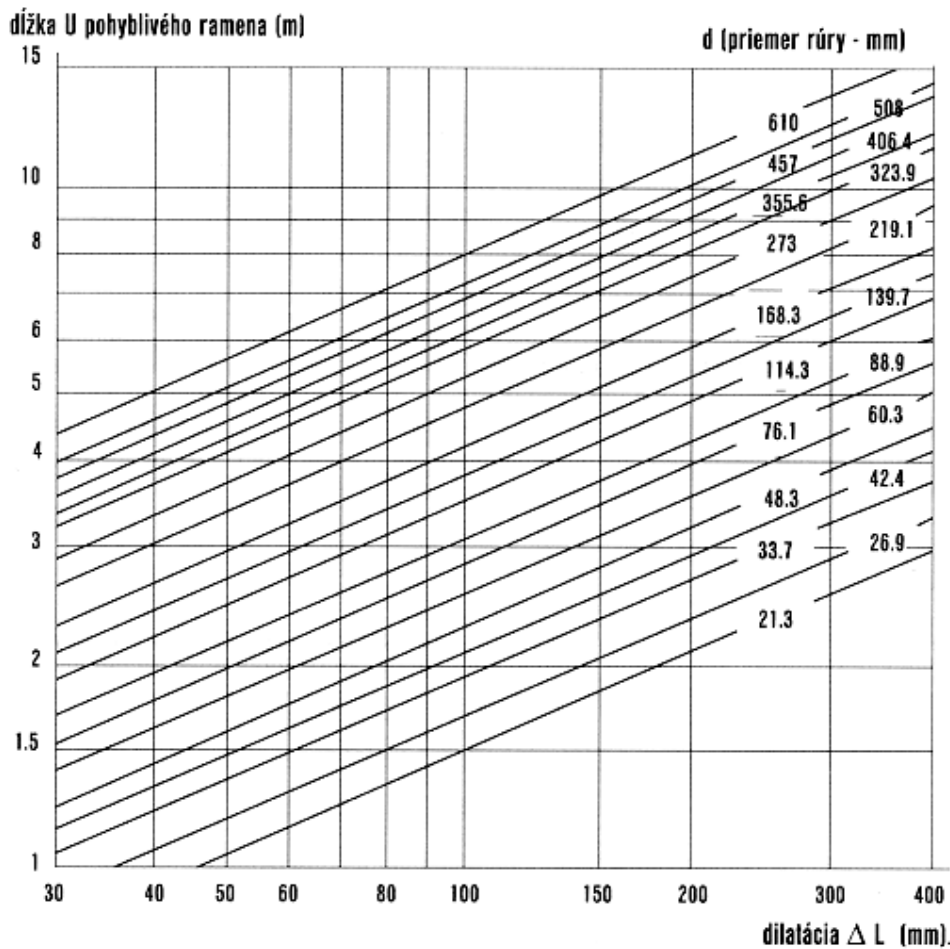
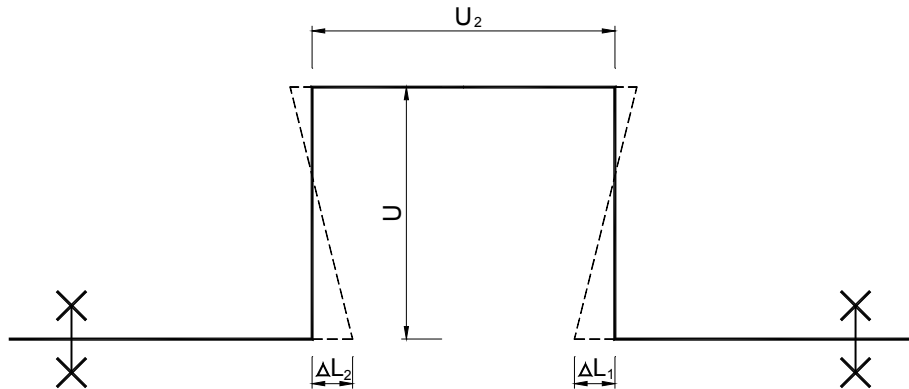
## K. Projektovanie

### U - kompenzátory

U kompenzátory pracujú v obidvoch lomových bodoch. Celková dĺžková dilatácia sa vypočíta:

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2$$

Podľa možností majú byť dilatačné úseky medzi dvoma pevnými bodmi rovnaké ( $L_1 = \max. 2/3 L_2$ ). Z nasledujúceho diagramu sa stanoví dĺžka ramien U pre rôzne  $\Delta L$ . Pričné rameno kompenzátora  $U_2$  je väčšie alebo rovné  $1/2U$ .



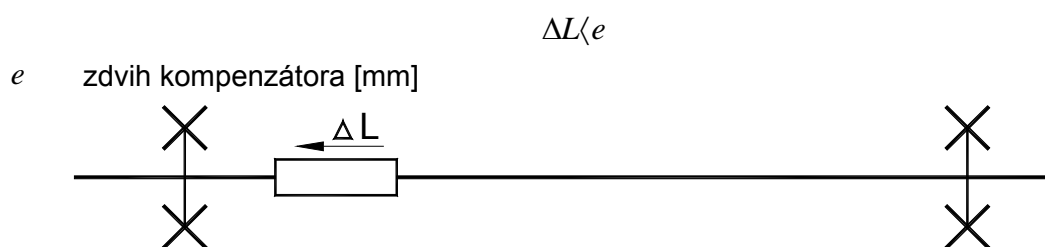
Minimálne rozmery U-ohybov sú uvedené v diagrame. Uvedené údaje boli stanovené pre dilatačnú dĺžku  $L_{max}$ , montážnu teplotu  $10^{\circ}\text{C}$  a pracovnú teplotu média  $130^{\circ}\text{C}$ .

## K. Projektovanie

### K.5.2 Osové kompenzátory

Na priamej potrubnej trase môžu ako dilatačné miesta slúžiť aj axiálne vlnocové kompenzátory. Je to jednoduchšie a lacnejšie riešenie ako použitie U-ohybov.

Od uloženia za studena pracujú osové kompenzátory pri každom predĺžení alebo skrátení potrubia vplyvom zmeny teploty média. Pri projektovaní je potrebné poznať tzv. zdvih kompenzátora, t.j. predĺženie, ktoré je takýto prvok schopný vyrovnat'. (Kompenzátor je výrobcom predopnutý na -e.) Potom musí platiť:



### K.5.3 S použitím odľahčovačov

Pri tomto spôsobe kompenzácie sa tepelné predĺženie vyrovnáva po menších úsekoch, z ktorých každý má v potrubí zabudovaný mikrokompenzátor, tzv. odľahčovač. Pritom v takejto trase nie sú použité členiace pevné body, iné kompenzátory, ani kompenzačné vankúše. Z rozdielu medzi prevádzkovou a montážnou teplotou  $\Delta t$  sa predĺženie od 60K transformuje do napätia v systéme (ako u nekompenzovaných potrubí). Zvyšnú dilatáciu vyrovnávajú odľahčovače. Jednotlivé prvky majú schopnosť vyrovnat' dilatáciu len cca 20 mm a sú v potrubí zabudované v menších vzdialenostiach.

### K.5.4 S predpätím

V rozvodoch, kde dĺžky priamych úsekov potrubia prekračujú  $L_{max}$ , je výhodné potrubie tepelne predopnúť.

Pri tomto spôsobe kompenzácie dilatácií sa potrubie zahreje na teplotu, ktorá leží uprostred teplotného rozdielu medzi maximálnou prevádzkovou teplotou a teplotou pri montáži.

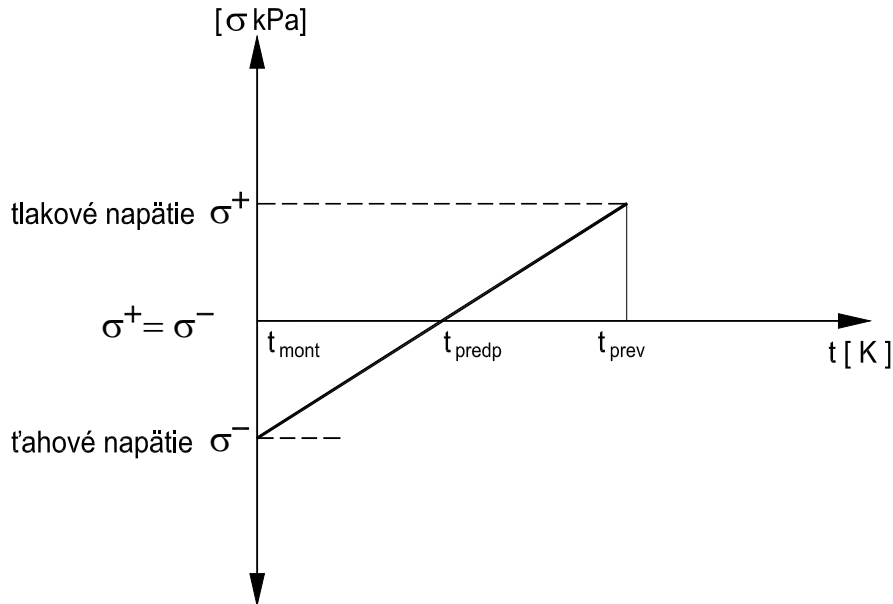
$$t_{predp} = \frac{1}{2} (t_{prev} + t_{mont})$$

$t_{predp}$	teplota predpínania [K]
$t_{prev}$	prevádzková teplota [K]
$t_{mont}$	montážna teplota [K]

Keď sa potrubie v dôsledku dilatácií predĺži, zasype sa zeminou a zemina sa zhutní. Po následnom ochladení sa potrubie nemôže skrátit' na pôvodnú dĺžku (pôsobí trenie)

## K. Projektovanie

a vznikne v ňom ťahové napätie. U takto predopnutého potrubia je po zahriatí na prevádzkovú teplotu axiálne napätie o polovicu nižšie, ako bez predpätia.



Predpínanie v otvorenom výkope je vhodné urobiť tam, kde výkop môže byť dlho otvorený a nie je treba rýchle ho zahrnúť. Pri tomto spôsobe predpätia je potrubie pohyblivo uložené na dne výkopu na drevených hranoloch, alebo na pieskovom podloží.

Potrubie je možné nahrievať teplou vodou, horúcim vzduchom, alebo elektrickým prúdom. Trenie medzi plášťovou rúrou a pieskovým lôžkom pôsobením vlastnej hmotnosti rúry by mohlo zabrániť predĺženiu. Preto sa potrubie pri predohreve zodvihne alebo sa nepredhrievajú dlhé úseky.

Pred nahriatím potrubia treba vypočítať, o koľko sa potrubie pri predopínacej teplote predĺži:

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$\Delta L$	predĺženie potrubia [mm]
$L$	dĺžka priameho úseku potrubnej trasy [m]
$\alpha$	koeficient tepelnej rozťažnosti, [K <sup>-1</sup> ]
$\Delta T$	rozdiel medzi teplotou potrubia pri predopnutí a teplotou potrubia pri montáži $\Delta T = (t_{predp} - t_{mont})$

Keď sa ohriate potrubie predĺži o vypočítanú dĺžku, zasype sa a zhutnením sa pevne ukotví v zemi. Tepelné predopnutie je ukončené a potrubie je možné nechať vychladnúť.

## K. Projektovanie

### K.5.5 S tepelným predpätím a jednorazovými kompenzátormi

Keď výkop nemôže byť dlho otvorený, je treba potrubnú trasu predopnúť s použitím jednorazových kompenzátorov. Tepelne predopnutý systém s jednorazovými kompenzátormi je kombináciou systému bez predohreву a tepelne predopnutého systému. Predopínaná trasa sa rozdelí na menšie úseky, ktorých dĺžka nie je väčšia ako  $L_m$  a na konci týchto úsekov sa umiestnia kompenzátory.  $L_m$  je vzdialenosť medzi dvoma jednorazovými kompenzátormi, ktorá vyplýva zo zdvihu kompenzátora a nesmie sa prekročiť. Vzdialenosť od pevného bodu k jednorazovému kompenzátoru nesmie presiahnuť  $1/2L_{max}$ . Rúry sa položia do výkopu a jednorazové kompenzátory sa namontujú. Výkop sa (okrem miest s jednorazovými kompenzátormi) zasype, ale nezhutní! Po nahriatí systému na predopínanú teplotu sa kompenzátory zavaria po obvode a ďalej plnia funkciu bežnej rúry. Potrubie je predpäté. Je možné pokračovať hutnením zásypu.

Predbežné nastavenie kompenzátora sa vypočíta podľa tejto rovnice:

$$\Delta L = \frac{1}{2}(t_{prev} - t_{mont})L\alpha$$

$\Delta L$	dilatácia zachytená kompenzátorom [mm]
$\alpha$	koeficient tepelnej rozťažnosti [ $K^{-1}$ ]
$t_{prev}$	prevádzková teplota [K, °C]
$t_{mont}$	montážna teplota [K, °C]
$L$	vzdialenosť medzi dvoma jednorazovými kompenzátormi najviac, najviac však $L_{max}$ [m]

- Odbočky, ktoré nie sú umiestnené v blízkosti pevných bodov, je treba chrániť dilatáčnými vankúšmi proti bočným pohybom.
- Pri tlakovej skúške systému, ešte pred zavarením jednorazových kompenzátorov, je treba preveriť, či sú pevne uchytené konce potrubného systému. Je treba tiež skontrolovať, či je pevne zaistené potrubie v blízkosti jednorazových kompenzátorov, aby nemohlo nastať jeho vybočenie.
- Stabilizácia potrubia môže byť urobená čiastočným zásypom. Pri tomto spôsobe sa potrubie vo výkope zasype a ponechajú sa odkryté iba miesta, kde sú jednorazové kompenzátory.

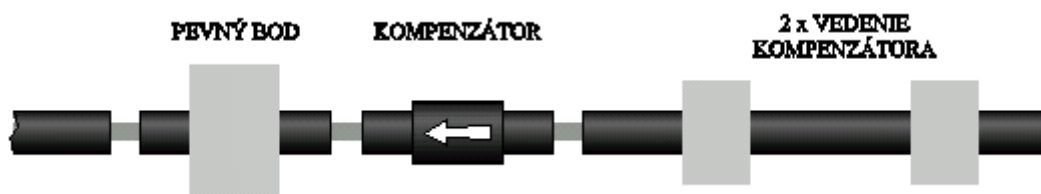
## K. Projektovanie

### K.6 Kompenzovanie tepelnej rozťažnosti

#### K.6.1 Kompenzátory

Predizolované vlnovcové kompenzátory sú dodávané v osovom vyhotovení, pripravené na montáž predopnutím a zaistením na zdvih -e. Sú konštruované na určitú teplotu a maximálny prevádzkový tlak.

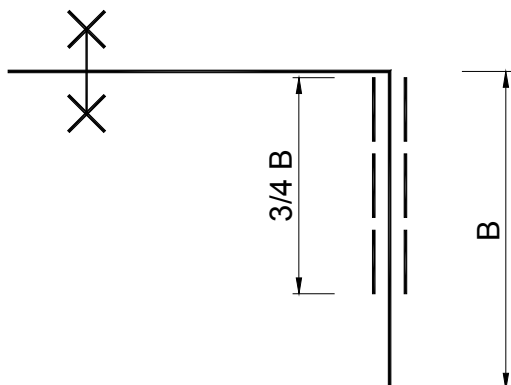
Kompenzátor je potrebné zaradiť v trase hneď za pevný bod a orientovať tak, aby sa privaril k rúre pevného bodu stabilným ramenom. Pohyblivé rameno smeruje ku kompenzovanému úseku. *Pri montáži je orientácia kompenzátora jednoznačne určená šípkou, ktorá má vždy smerovať k pevnému bodu.* Pohyblivé rameno sa zaisťuje proti vybočeniu tzv. vedením kompenzátora. Je to betónový blok, ktorý ním prechádzajúcej rúre umožňuje pohyb iba v osovom smere. Výkres vedenia kompenzátora je súčasťou montážnej dokumentácie.



#### K.6.2 Kompenzačné vankúše

Pri kompenzácii oblúkmi je nutné rešpektovať tepelné dilatácie a pripraviť pre tieto pohyby potrubnej konštrukcie v zemi potrebný „priestor“, ako vyplýva z nasledujúcich názorných obrázkov. Spôsob riešenia závisí od vodorovného posunu rúry (predĺženia - skrátenia)  $\Delta L$ . Ak je posun pohyblivého ramena v dĺžke B menší alebo rovný 35 mm, je potrebné potrubnú konštrukciu obložiť dilatáčnymi vankúšmi pozdĺž  $3/4$  dĺžky B pohyblivého ramena v 1 vrstve

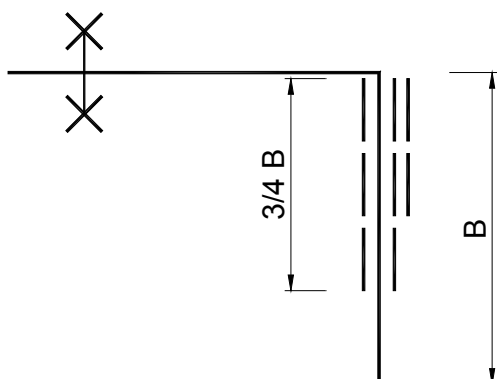
$\Delta L$  je menšie alebo rovné 35 mm (1 vrstva )



Ak je posun pohyblivého ramena v dĺžke B väčší než 35 mm, ale menší alebo rovný 70 mm, je potrebné potrubnú konštrukciu obložiť dilatáčnymi vankúšmi pozdĺž  $3/4$  dĺžky B pohyblivého ramena v 2 vrstvách.

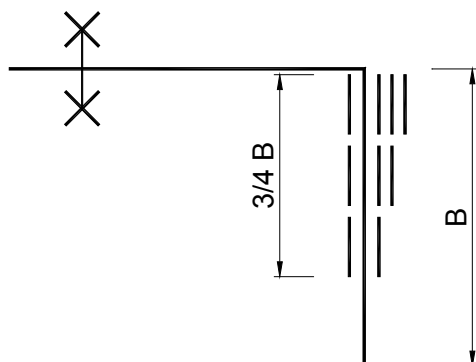
## K. Projektovanie

35 mm je menšie ako  $\Delta L$  je menšie alebo rovné 70 mm (2 vrstvy)



Ak je posun pohyblivého ramena po dĺžke B väčší než 70 mm, ale menší, alebo rovný 105 mm, je potrebné potrubnú konštrukciu obložiť dilatačnými vankúšmi pozdĺž 3/4 dĺžky B pohyblivého ramena v 3 vrstvách.

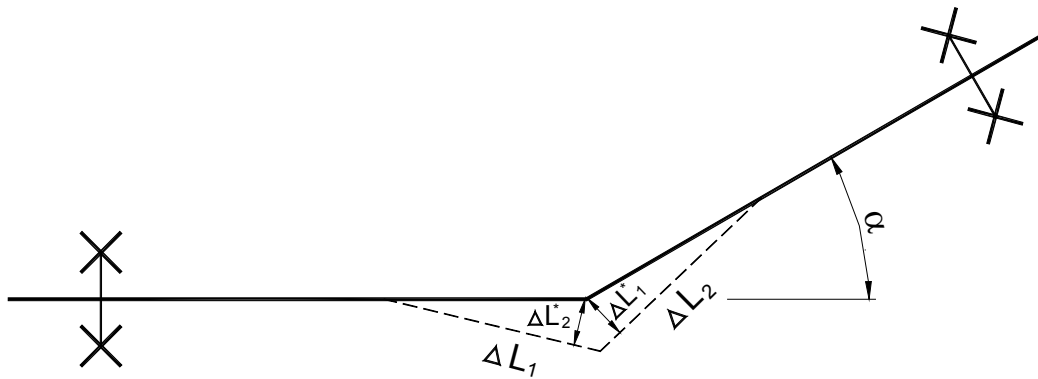
70 mm je menšie ako  $\Delta L$  je menšie alebo rovné 105 mm (3 vrstvy)



Aby nenastalo prekročenie dovoleného namáhania, musia byť ohyby obložené dilatačnými vankúšmi spomínaným spôsobom. Dilatácia potrubia je závislá predovšetkým od pracovnej teploty média. S klesajúcou teplotou sa zmenšujú dilatácie a znižuje sa taktiež potreba dilatačných vankúšov. Ak sú dilatačné vankúše uložené vo viac ako troch vrstvách, pôsobia na potrubie ako nežiaduca tepelná izolácia. V prípade, ak by bolo treba použiť viac ako tri vrstvy dilatačných vankúšov, musí sa dilatačné rameno predopnúť.

Na kompenzáciu je možné využiť i zmeny smeru vedenia s vonkajším uhlom a menším ako 90°, avšak kvôli pevnosti a pružnosti nie menším ako 45°. Výpočtom sa musia dokázať pomery napätí v oceľovom potrubí.

## K. Projektovanie



$$\Delta L_1 = \frac{\Delta L_2}{\tan \alpha} + \frac{\Delta L_1}{\sin \alpha}$$

$$\Delta L_2 = \frac{\Delta L_1}{\tan \alpha} + \frac{\Delta L_2}{\sin \alpha}$$

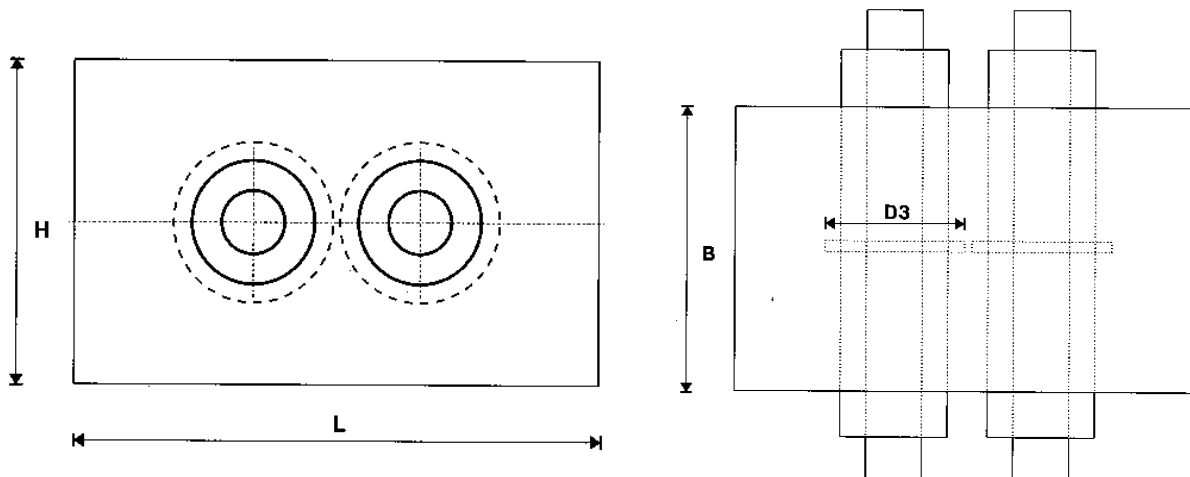
$\Delta L_1$ ,  $\Delta L_2$  sú vypočítané predĺženia potrubia v sledovanom úseku [mm]

Dĺžky B pohyblivých ramien sa stanovujú z diagramu. Pohyblivé ramená sa v dĺžke 2/3 až 3/4 B obložia dilatáčnymi vankúšmi.

## K. Projektovanie

### K.7 Pevné body

Pevné body slúžia na jednoznačné fixovanie potrubia. Umiestňujú sa tam, kde dilatácia nesmie zo statických dôvodov spôsobiť prekročenie určitej hodnoty tlakových a teplotných zaťažení. Zásadne sa pevné body používajú u potrubí s rýchlymi a častými zmenami teploty, aby sa zamedzil pohyb celého potrubného úseku.



Samotný prvok s kotviacou platňou sa na stavbe väčšinou zabuduje do armovaného betónového bloku pevného bodu. Pri jeho dimenzovaní musíme brať do úvahy sily, ktoré na blok pôsobia od potrubia. Jedná sa najmä o pevný bod na koncoch trasy. V miestach medzi dvomi dilatáčnymi úsekmi sa sily často rušia.

$$F_A = 2 \cdot A \cdot a \cdot \Delta t \cdot E = 2 \cdot A \cdot s_A$$

$F_A$	maximálna prídavná axiálna sila (dvojice rúr) [N/m]
$A$	prierezová plocha ocelevej rúry [mm <sup>2</sup> ]
$\Delta t$	= ( $t_{prev} + t_{mont}$ ) [K]
$E$	modul pružnosti ocele [N.mm <sup>-2</sup> ]
$a$	súčiniteľ tepelnej rozťažnosti ocele [K <sup>-1</sup> ]

## K. Projektovanie

Oceľová rúra		Betónový blok			Armovanie	
DN	F <sub>A</sub> [kN]	H <sub>min</sub> [mm]	L <sub>min</sub> [mm]	B <sub>min</sub> [mm]	priemer [mm]	počet [ks]
20	55	400	1000	500	8	2
25	85	400	1000	500	8	2
32	90	500	1000	700	8	2
40	103	500	1000	700	8	2
50	145	600	1000	700	8	2
65	184	800	1000	700	8	2
80	238	900	1200	900	8	2
100	347	900	1300	1000	8	2
125	405	1000	1400	1200	8	2
150	542	1000	1500	1200	8	4
200	841	1200	1800	1200	10	6
250	1167	1200	2000	1200	10	6

Uvedené rozmery závisia na vznikajúcich silách na pevný bod a súčasne na miestnych pôdnych vlastnostiach, nie sú teda záväzné. V tabuľke sa uvažuje s dovoleným namáhaním zeminy  $150 \text{ kN/m}^2$  ( $1,5 \text{ kp/cm}^2$ ) a výškou zásypu potrubia zeminou 500 - 800 mm. Pre dimenzovanie betónových blokov väčších priemerov sú rozhodujúce miestne pôdne pomery a montážna dĺžka. Pri účelnom projektovaní sa často môžu rozmery betónového bloku zmenšiť.

*Zaťaženie pevných bodov silami od potrubia smie nastať až po dostatočnom zatvrdnutí betónu (použiť betón triedy 30) a obednení. Betónový blok musí byť založený v rastlom teréne. Jeho výkres je súčasťou montážnej dokumentácie.*