

KONSTRUKCE PROJEKTOVÁNÍ

Všeobecná část

Sdružená konstrukce

Technika ukládání

Výhody a nevýhody techniky ukládání

K 1.0

K 1.1

K 1.2

Ukládání za studena

Konvenční ukládání

Přípustná délka ukládání

Provozní samopředpětí

K 2.0

K 2.1

K 2.2

K 2.3

Dilatace

Omezená dilatace

Kompenzace

Opravné faktory dilatace

Diagram L kompenzátoru

Diagram Z kompenzátoru

Diagram U kompenzátoru

K 3.0

K 3.1

K 3.2

K 3.3

K 3.4

K 3.5

K 3.6

Ukládání za tepla

Tepelné předpětí

Metody a funkce

Údaje pro dimenzování

Kompenzace dilatace

Systém EKO

K 4.0

K 4.1

K 4.2

K 4.3

K 4.4

Předpětí dilatačních ramen

Mechanické předpětí

Tepelné předpětí

K 5.0

K 5.1

Zakřivení trasy

Ohyby se zvláštním úhlem a zkosené řezy

Elastické ohýbání

Táhlý oblouk

Výpočet

K 6.0

K 6.1

K 6.2

K 6.3



KONSTRUKCE PROJEKTOVÁNÍ

Odbočky

45° T-odbočka

Paralelní odbočka

K 7.0

K 7.1

K 7.2

Pevný bod

Síla na pevný bod – ukládání za studena

Třecí síla a betonový blok

Síla na pevný bod – ukládání za tepla

K 8.0

K 8.1

K 8.2

K 8.3

Odkrytí trasy

Napojení na jiné potrubní systémy

K 9.0

K 9.1

Dimenzování

Přenositelný výkon

K 10.0

K 10.1

Energetická ztráta

Tepelná vodivost trubky

Součinitel prostupu tepla

Tepelná vodivost zeminy

Celkový tepelný odpor

Ztráta tepelné energie

Nadzemní vedení

K 11.0

K 11.1

K 11.2

K 11.3

K 11.4

K 11.5

Hospodárnost

Anuitní faktor

K 12.0

K 12.1

Životnost

K 13.0

Důkaz napětí

Přímá trubka

PUR-pěna a PEHD-plášťová trubka

Únavový lom

K 14.0

K 14.1

K 14.2



PROJEKTOVÁNÍ

Všeobecná část

Plášťová trubka z plastické hmoty (KMR) se v dlouhodobé praxi velice osvědčila. S ohledem na hospodářské, ekologické a technické aspekty má oproti jiným obvyklým metodám ukládání značné přednosti.

Aby se tyto přednosti daly zcela využít, je zapotřebí znát velice dobře funkční vlastnosti systému KMR, protože projektování plášťových trubek z plastické hmoty předpokládá rozsáhlé speciální vědomosti.



Projektant proto musí mít k dispozici příslušné odborné pracovní podklady, aby mohl napláňovat hospodárné a účelné tepelné sítě. Následující odstavce Vám zprostředkují úvod do stavu statických znalostí. Nezabývají se však všemi situacemi vznikajícími při projektování.

Proto je během každé fáze stavební aktivity – od výběrového řízení až po provedení a dokumentaci – k dispozici technická podpora firmy **isoplus**, aby poskytla potřebné informace a provedla potřebné výpočty pro individuální řešení problému.

Ekonomická situace dálkového zásobování teplem vyžaduje velmi dobré znalosti jak výpočtových mezí týkajících se statiky trubek, tak i dílčích součinitelů bezpečnosti $[\gamma_M]$ používaných materiálů. Proto se musí věnovat velká pozornost jednotlivým výpočtovým kritériím dimenzování. To je zajištěno pouze na základě použití nejmodernějších programů výpočetní techniky.

POZOR: Pro lepší interpretaci je v této kapitole vedle každého vzorce (1) až (77) na stranách **K 2.0** až **K 14.1.1** uveden paralelně jeden příklad (příkl.). Zde platí: DN 150 ($d_a = 168,3$ mm; $s_1 = 4,0$ mm; $d_i = 160,3$ mm) s PUR izolací a PEHD plášťovou trubkou ($D_a = 250,0$ mm; $s_2 = 4,2$ mm; $D_i = 241,6$ mm). U teplonosné trubky se vychází z trubky z černé ocele (ocel St 37.0) naplněné vodou.

Sdružená konstrukce

Teplonosná a plášťová trubka z tvrdého polyetylénu jsou navzájem silově spojeny pomocí polyuretanové tvrdé pěny a tvoří jeden celek (sdruženou konstrukci). Tím se tento potrubní systém, potažmo tato technika ukládání, podstatně odlišuje od konvenční metody.

Tyto zvláštnosti je třeba zohlednit již během projektování a také při ukládání potrubí, aby byl zajištěn spolehlivý provoz a dlouhá životnost trasy s plášťovou trubkou z plastické hmoty.



Při tepelném zatížení dochází u všech třech složek – teplotonosná trubka, PUR pěna a PEHD plášťová trubka – na rozdíl od jiných potrubních systémů ke stejným změnám délky v axiálním směru. Proto se všechny vnější síly, které vznikly na základě zatížení zeminou a dopravou, jakož i třením mezi plášťovou trubkou a okolní zeminou (pískové lože), přenášejí z PEHD plášťové trubky přes PUR pěnu na teplotonosnou trubku.

Na základě těchto vnějších, jakož i vnitřních sil způsobených tepelnou dilatací dojde ke vzniku celé řady napětí, které sdružená konstrukce musí zachytit.

Tím dochází k mezním hodnotám, které je třeba zohlednit jak při projektování, tak při montáži. Systémy s plášťovou trubkou z plastické hmoty firmy **isoplus** se dají používat při maximální trvalé provozní teplotě 149°C. Na přání je možné nahlédnout do protokolu s odpovídajícím zkušebními potvrzeními úřední zkušební materiálů (AMPA).

U teplot nad 130°C jsou zapotřebí podrobné a rozsáhlé statické výpočty, neboť vysoké teploty způsobují enormní axiální dilatace a síly. Proto se před zahájením dimenzování musí důkladně přezkontrolovat profil zatížení, neboť je možné, že přípustné hodnoty materiálů dosahují svých hranic.

Technika ukládání

V podstatě se u metod ukládání potrubí rozlišuje mezi **UKLÁDÁNÍM ZA STUDENA** a **UKLÁDÁNÍM ZA TEPLA**. Tyto obě hlavní skupiny mají zase 5 rozdílných charakteristických technik. Podle toho, jaké jsou místní podmínky, popř. omezení u plánované potrubní trasy ukládané do země, je možno volit mezi následujícími pěti metodami ukládání:

UKLÁDÁNÍ ZA STUDENA

- ⇒ **Ukládání za studena** >> K 2.0
bez ohraničení přípustné délky ukládání
ale s omezením teploty do maximálně 85°C
- ⇒ **Konvenční ukládání** >> K 2.1
s ohraničením přípustné délky ukládání
a omezením teploty do maximálně 149°C
- ⇒ **Provozní samopředpětí** >> K 2.3
bez ohraničení přípustné délky ukládání,
avšak s omezením teploty do maximálně 130°C

UKLÁDÁNÍ ZA TEPLA

- ⇒ **Tepelné předpětí** >> K 4.0
bez ohraničení přípustné délky ukládání,
avšak s předpětím v nezasypaném výkopu a omezení
teploty do maximálně 149°C (teplota předehřevu = střední teplota)
- ⇒ **Systém s jednorázovým kompenzátozem** >> K 4.4
bez ohraničení přípustné délky ukládání,
avšak s předpětím v zasypaném výkopu a omezení
teploty do maximálně 140°C (teplota předehřevu maximálně 80°C)

PROJEKTOVÁNÍ

Výhody a nevýhody

Technika ukládání		Výhoda	Nevýhoda
UKLÁDÁNÍ ZA STUDENA	Ukládání za studena	Nízké axiální napětí z tepelné dilatace. Výkop se může okamžitě zasypat.	Maximální přípustná provozní teplota $\leq 85^{\circ}\text{C}$.
	Konvenční ukládání	Maximální přípustné axiální napětí nebude překročeno. Výkop se může okamžitě zasypat.	Maximální přípustná délka ukládání musí být dodržena umístěním potřebných dilatačních ramen (L,Z,U).
	Provozní samopředpětí	Výkop se může okamžitě zasypat. Nejsou zapotřebí dilatační ramena.	Extrémně vysoké axiální dilatační pohyby. Nebezpečí vybočení. Axiální napětí sahající za mez kluzu ocele. Dodatečné navrtávané odbočky nejsou eventuálně možné.
UKLÁDÁNÍ ZA TEPLA	Tepelné předpětí	Omezení axiálního napětí na $\approx 155 \text{ N/mm}^2$ $\Rightarrow$ nízké technické riziko. Nízká axiální dilatace. Nejsou zapotřebí dilatační ramena.	Výkop musí zůstat otevřený až do provedení předpětí. Podle metody je zapotřebí regulovatelné provozní médium nebo přípojka elektrického proudu 380 V.
	Systém s jednorázovým kompenzátorem	Výkop může být až na jednorázové kompenzátory okamžitě zasypán. Nejsou zapotřebí dilatační ramena.	Čím vyšší je teplota, tím více kompenzátorů je zapotřebí. Montážní výkop musí zůstat v místech s kompenzátory až do přehřevu otevřený.

Použití a definice

U této techniky je u rovně probíhajících KMR tras možné ukládání potrubí téměř bez omezení. K pojmu „Ukládání za studena“ existují různé názory, popř. se lehkomylně vsadí vše na technologii, která není exaktně definována. Rozlišují se tři rozdílné podkategorie ukládání za studena, které jsou zde představeny podle výše provozní bezpečnosti.

Ukládání za studena do teploty $T_B \leq 85^\circ\text{C}$

Podle Hookova materiálového zákona je dilatace vůči napětím $[\sigma]$ ve stejném poměru, popř. proporcionální, což znamená:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1)$$

E = modul pružnosti $[\text{N/mm}^2]$

ε = poměrné prodloužení $\Delta L/L_x$ [-]

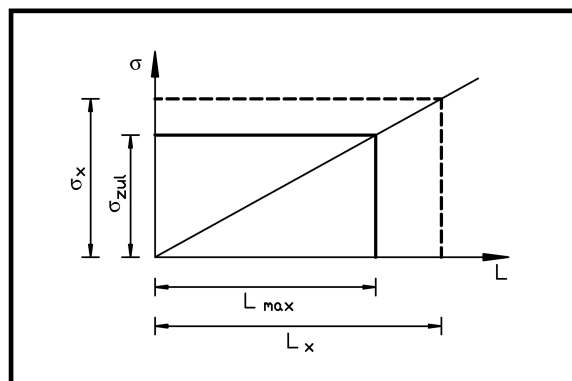
U KMR systému se dilatace dosáhne zahřátím teplosné trubky o ΔT , pak je:

$$\varepsilon = \alpha \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$(1)(2) \Rightarrow \sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad [\text{N/mm}^2] \quad (3)$$

α = součinitel tepelné roztažnosti ocele $[1/\text{K}]$

ΔT = rozdíl teplot $[\text{K}]$



Ohraničením provozní teploty $[T_B]$ na $\leq 85^\circ\text{C}$ se axiální napětí $[\sigma]$ omezí na dílčí součinitel bezpečnosti $[\gamma_M]$ o $R_e : 1,1$ (R_e = mez kluzu), kterého je zapotřebí dle AGFW FW 401, neboť rozdíl teplot $[\Delta T]$ mezi teplotou zeminy $[T_E]$ a T_B činí pouhých 75 K. Pro teplosné trubky s ocelí St 37.0 platí při 85°C pro E , α a R_e konstanty uvedené na straně K 2.1.

$$\sigma_{zul} = R_e : \gamma_M \quad [\text{N/mm}^2] \quad (4)$$

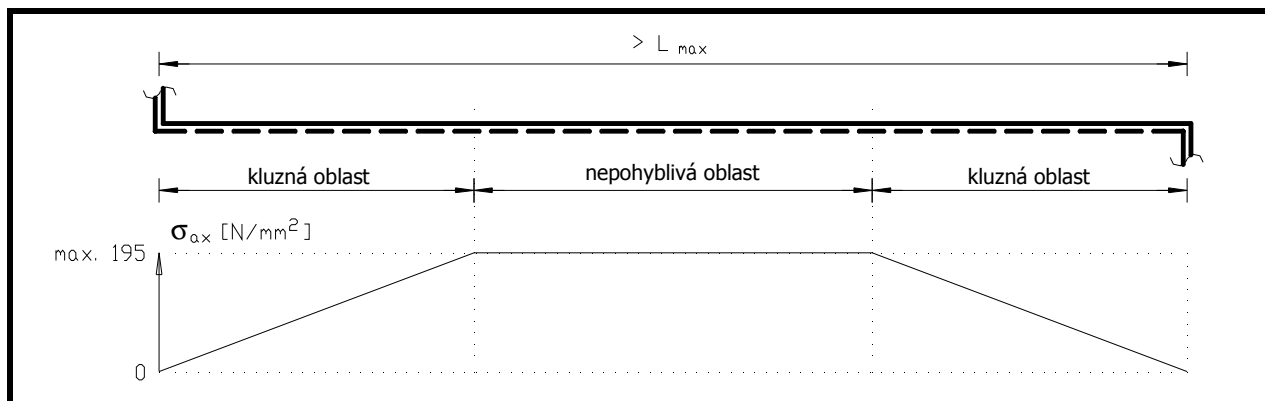
$$\sigma_{zul} = 216,50 : 1,1$$

$$\text{výsledek: } \sigma_{zul} = 196,8 \text{ N/mm}^2$$

$$(3) \Rightarrow \sigma_{vorh} = E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$(\text{příkl. 3}) \Rightarrow \sigma_{vorh} = 2,0794 \cdot 10^5 \cdot 1,24 \cdot 10^{-5} \cdot 75 \quad \text{výsledek: } \sigma_{vorh} = 193,4 \text{ N/mm}^2$$

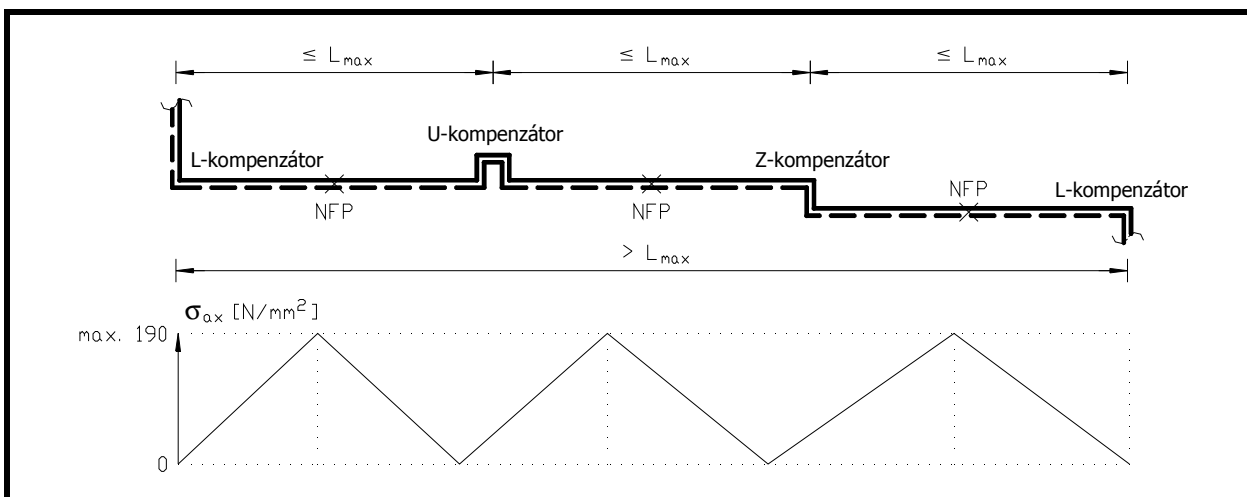
Pro tepelné trasy s plášťovou trubicí z plastické hmoty s teplotou $T_B \leq 85^\circ\text{C}$ to znamená, že může být provedeno projektování bez ohraničení délky ukládání. Pouze musí být kompenzovány vzniklé, relativně nízké, axiální dilatace použitím dilatačních ramen nebo polštářů.



UKLÁDÁNÍ ZA STUDENA

Konvenční ukládání

Tuto techniku lze použít všude tam, kde je průběh trasy podmíněn lokálními překážkami jako např. stavební objekty, křížení silnic, stromy atd.. Předpokladem však je, že bude dodržena přípustná délka ukládání L_{max} . Z výšek nadloží vyplývají maximální přípustné délky ukládání uvedené v tabulce **K 2.2.2**. Bude-li kompletní úsek trasy delší než L_{max} , pak musí být rozdělen na několik úseků $\leq L_{max}$, přičemž se naplánují kompenzátory Z nebo U.



Dílní hodnota bezpečnosti $[\gamma_M]$ činí, jak již bylo uvedeno, dle AGFW FW 401 pro materiálovou vlastnost mez kluzu při T_B 120°C $\Rightarrow$ 1,10. Z toho u teplot do maximálně 140°C vyplývá maximální dovolené axiální napětí $[\sigma_{zul}]$ v teplotnosné trubce $\approx$ 190 N/mm². Od $T_B > 140^\circ\text{C}$ se dovolené axiální napětí redukuje na maximálně $\leq$ 180 N/mm².

Teplotnosná trubka ocel St 37.0 dle DIN 1626 / 1629 $\Rightarrow$ pevnost v tahu $R_m = 350 - 480 \text{ N/mm}^2$

85°	A_T	155°	140°	130°	120°	110°	90°	50°	20°
207,94	E	202,60	203,80	204,60	205,40	206,20	207,63	210,13	212,00
1,24	α	1,28	1,27	1,26	1,26	1,25	1,24	1,21	1,19
216,50	R_e	197,50	201,00	204,00	207,00	210,00	215,00	227,00	235,00
1,10	γ_M	1,10	1,06	1,08	1,10	1,11	1,14	1,08	1,10
195,00	$\sigma_{zul} \approx$	180,00	190,00					210,00	

A_T = statická výpočtová teplota v °C
 α = součinitel tepelné dilatace $[10^{-5}]$ v 1/K

R_e = přípustná mez kluzu v N/mm²
E = modul pružnosti v kN/mm²

Na požádání uvedeme další údaje o materiálu.

Přípustná délka ukládání $L_{\max}$

Síla tření $[F'_R]$ se zvyšuje se vzrůstající délkou ukládání $[L_x]$. Síla tření omezuje dilataci. Vedle třecí síly, která je konstantní po celé délce $[L_x]$, existuje dilatační síla $[F_D]$. Dokud je součet třecích sil v trubce $[F_{Rohr}]$ nižší než dilatační síla teploty $[F_T]$, vzniká kluzný úsek. Když jsou obě síly, jak třecí, tak i dilatační ve stejném poměru, vzniká nulový pohybový bod, popř. nepohyblivá oblast. Pro dilatační sílu $[F_T]$ platí:

$$F_T = A \cdot \sigma_x \quad [N] \quad (5)$$

$$F_T = 2.064,66 \cdot 101,562 \quad [N] \quad (\text{příkl. 5})$$

$$\text{výsledek: } F_T = 209.691,00 \text{ N} \quad (\text{příkl. 5})$$

$$\begin{aligned} A &= \text{průřez teplotnosné trubky [mm}^2\text{]} \\ \sigma_x &= \text{vznikající tlakové, popř. tahové} \\ &\quad \text{napětí [N/mm}^2\text{]} \Rightarrow (8) \end{aligned}$$

průřez trubky $[A]$ je:

$$A = (d_a - s) \cdot \pi \cdot s \quad [\text{mm}^2] \quad (6)$$

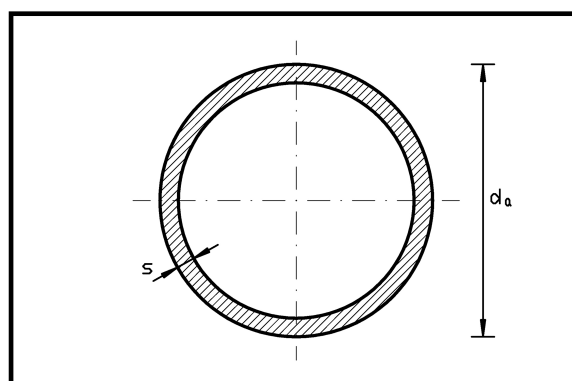
$$A = (168,3 - 4,0) \cdot 3,1416 \cdot 4,0 \quad [\text{mm}^2] \quad (\text{příkl. 6})$$

$$\text{výsledek: } A = 2.064,66 \text{ mm}^2 \quad (\text{příkl. 6})$$

d_a = vnější průměr teplotnosné trubky [mm]

s = tloušťka stěny teplotnosné trubky [mm]

π = 3,1416 [-]



Protože průřez teplotnosné trubky $[A]$ a síla tření $[F'_R]$, viz stranu **K 3.0**, jsou konstantní veličiny, je napětí $[\sigma_x]$ délky trubky $[L_x]$ proporcionální.

$$F_{Rohr} = F'_R \cdot L_x \quad [N] \quad (7)$$

$$F_{Rohr} = 4.193,82 \cdot 50 \quad [N] \quad (\text{příkl. 7})$$

$$\text{výsledek: } F_{Rohr} = 209.691,00 \text{ N} \quad (\text{příkl. 7})$$

F_{Rohr} = síla v trubce při L_x [N]

F'_R = síla tření na jeden metr [N/m] $\Rightarrow$ (14)

L_x = existující délka trubky [m], např. 50 m

Součet třecích sil $[F_{Rohr}]$ vytváří v teplotnosné trubce axiální napětí:

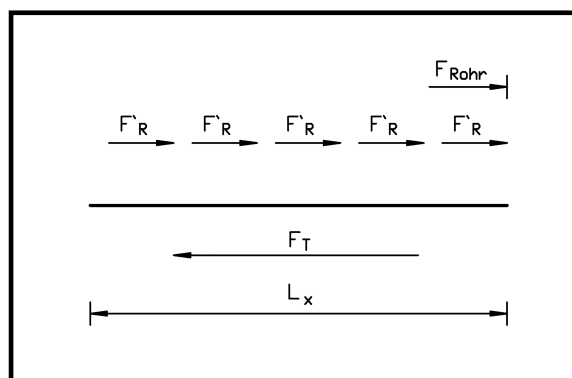
$$\sigma_a = \frac{F_{Rohr}}{A} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (8)$$

$$\sigma_a = \frac{209.691,00}{2.064,66} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (\text{příkl. 8})$$

$$\text{výsledek: } \sigma_a = 101,562 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{příkl. 8})$$

σ_a = axiální napětí [N/mm²]

A = průřez teplotnosné trubky [mm²]



UKLÁDÁNÍ ZA STUDENA

Je-li axiální napětí omezeno na jednu maximální přípustnou hodnotu [$\sigma_{zul} = 190 \text{ N/mm}^2$], vzniká vždy jedna délka [L_{zul}], u které existuje rovnováha mezi součtem třecích sil [F_{Rohr}] (7) a dilatační silou [F_T] (5).

$$F'_R \cdot L_{zul} = F_T \text{ [N]} \quad (9)$$

$$4.193,82 \cdot 93,53892 = F_T \text{ [N]} \quad (\text{příkl. 9})$$

$$\text{výsledek: } F_T = 392.285,40 \text{ N} \quad (\text{příkl. 9})$$

$$F'_R \cdot L_{zul} = A \cdot \sigma_{zul} \text{ [N]} \quad (10)$$

$$4.193,82 \cdot 93,5389 = 2.064,66 \cdot 190 \text{ (příkl. 10)}$$

$$\text{výsledek: } 392.285,40 \text{ N} \quad (\text{příkl. 10})$$

z toho vyplývá, že:

$$L_{zul} = \frac{F_T}{F'_R} = \frac{A \cdot \sigma_{zul}}{F'_R} \text{ [m]} \quad (11)$$

$$L_{zul} = \frac{392.285,40}{4.193,82} = \frac{2.064,66 \cdot 190}{4.193,82} \text{ (příkl. 11)}$$

$$\text{výsledek: } L_{zul} = 93,53892 \approx 93,50 \text{ m (příkl. 11)}$$

L_{zul} = přípustná montážní délka od NFP (přirozený pevný bod) do místa kompenzace (kompenzátory L, Z, U)

$$L_{max} = L_{zul} \cdot 2 \text{ [m]} \quad (12)$$

$$L_{max} = 93,50 \cdot 2 \text{ [m]} \quad (\text{příkl. 12})$$

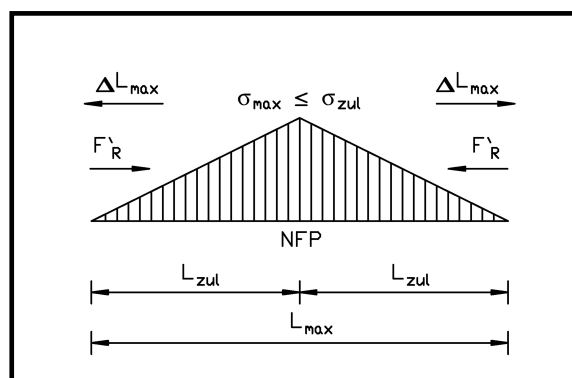
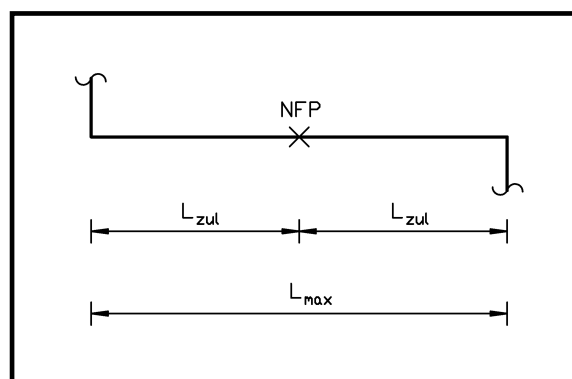
$$\text{výsledek: } L_{max} = 187,00 \text{ m} \quad (\text{příkl. 12})$$

Přípustná délka ukládání [L_{max}] mezi dvěma dilatačními rameny závisí na následujících parametrech:

- ⇒ výška nadloží [$\ddot{U}_H$]
- ⇒ vnější průměr teplotnosné trubky [d_a]
- ⇒ vnější průměr plášťové trubky [D_a]
- ⇒ maximální dovolené axiální napětí [σ_{zul}]

Na základě toho, že se síla tření [F'_R] stejnoměrně hromadí od konců trubek až do středu úseku, dochází ve středu úseku ke vzniku rovnováhy sil. Tento klidový bod se označuje jako přirozený pevný bod [NFP], ze kterého se potrubí zase rovnoměrně roztahuje oběma směry o hodnotu ΔL .

V místě přirozeného pevného bodu se tím vyskytuje největší napětí [σ_{max}], které se musí omezit na σ_{zul} a které se směrem ke koncům potrubí lineárně zmenšuje.



UKLÁDÁNÍ ZA STUDENA

Přípustné délky ukládání $L_{\max}$ v m

Rozměry teplonosné trubky			vnější průměr plášť. trubky D_a v mm			$L_{\max}$ při výšce nadloží $[\ddot{U}_H]$ od horní hrany pl. trubky (MR) k horní hraně terénu								
jmen. světlost v	vnější $\varnothing$ d_a	tl. stěny s v mm dle				$\ddot{U}_H = 0,80 \text{ m}$			$\ddot{U}_H = 1,20 \text{ m}$			$\ddot{U}_H = 1,60 \text{ m}$		
DN	v mm	R 2.0	tepelná izolace			tepelná izolace			tepelná izolace			tepelná izolace		
			S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *
20	26,9	2,6	90	110	125	50	41	35	34	28	24	26	21	18
25	33,7	3,2	90	110	125	72	58	51	49	40	35	37	30	26
32	42,4	3,2	110	125	140	74	65	57	51	44	39	38	34	30
40	48,3	3,2	110	125	140	85	74	66	58	51	45	44	39	34
50	60,3	3,2	125	140	160	104	92	80	71	63	55	54	48	42
65	76,1	2,9	140	160	180	117	101	89	81	70	62	61	53	47
80	88,9	3,2	160	180	200	131	115	102	90	80	71	69	61	54
100	114,3	3,6	200	225	250	148	130	115	103	91	81	79	70	62
125	139,7	3,6	225	250	280	159	141	124	111	99	88	86	76	68
150	168,3	4,0	250	280	315	187	165	145	132	117	103	102	91	80
200	219,1	4,5	315	355	400	210	183	159	150	131	115	116	102	90
250	273,0	5,0	400	450	500	218	190	167	158	138	123	124	109	97
300	323,9	5,6	450	500	560	249	220	192	182	162	142	144	128	112
350	355,6	5,6	500	560	630	240	210	181	177	155	135	140	123	108
400	406,4	6,3	560	630	710	266	231	209	198	173	155	157	138	122
450	457,2	6,3	630	710	800	257	222	206	193	168	154	154	135	124
500	508,0	6,3	710	800	900	244	210	195	185	160	148	149	130	120
600	610,0	7,1	800	900	1000	278	240	209	214	185	163	173	151	133
700	711,0	8,0	900	1000	---	309	270	---	240	211	---	196	173	---
800	813,0	8,8	1000	1100	---	332	294	---	261	232	---	215	192	---
900	914,0	10,0	1100	1200	---	368	329	---	292	262	---	242	218	---
1000	1016,0	10,0	1200	1300	---	359	324	---	287	260	---	239	217	---

S = standardní tl. izolace 1 x = 1 x zesílená tloušťka izolace 2 x = 2 x zesílená tl. izolace

POZOR: U rozměrů plášťové trubky (*) napsaných kurzívou se jedná o zvláštní provedení. V případě potřeby se informujte předem o možnostech dodání.

Hodnoty uvedené v tabulce se zakládají na směrnici AGFW FW 401-část 10 a platí pro zeminy se specifickou hmotností 19 kN/m^3 , maximálním přípustným smykovým napětím $[\tau_{\text{PUR}}]$ o hodnotě $\leq 0,04 \text{ N/mm}^2$ a vnitřním úhlem tření půdy $[\varphi]$ $32,5^\circ$. Jak pro černé teplonosné trubky, materiál ocel St 37.0, W-B nebo S (svařované nebo bezešvé), č. 1.0254, tloušťky stěn dle kapitoly T, strana T 2.0. Pro ostatní výšky nadloží $[\ddot{U}_H]$ se $L_{\max}$ musí interpolovat a dodatečně zkrátit o $\approx 5 \%$.

Maximální dovolené axiální napětí $[\sigma_{\text{zul}}]$ v rovné trubce = 190 N/mm^2 , za maximální provozní teploty $[T_B]$ 140°C a jmenovitého tlaku PN 25. Při $T_B > 140^\circ\text{C}$ se $L_{\max}$ musí zkrátit o 5% , neboť $\sigma_{\text{zul}} = \text{maximálně } 180 \text{ N/mm}^2$. V závislosti na T_B a výšce nadloží $[\ddot{U}_H]$ může již délka ukládání $\geq 120 \text{ m}$ způsobit axiální dilataci $[\Delta L] > 80 \text{ mm}$. Této hodnotě ΔL odpovídá tloušťka dilatačního polštáře $[\text{DP}_s] > 120 \text{ mm}$.

Teplota PEHD plášťové trubky se musí dle AGFW FW 401 omezit na maximálně 60°C , což zase znamená maximální přípustnou tloušťku dilatačního polštáře 120 mm . Je-li $\Delta L > 80 \text{ mm}$, je třeba předepnout dilatační ramena, resp. dilatační polštáře, viz stranu K 5.0 a K 5.1.

UKLÁDÁNÍ ZA STUDENA

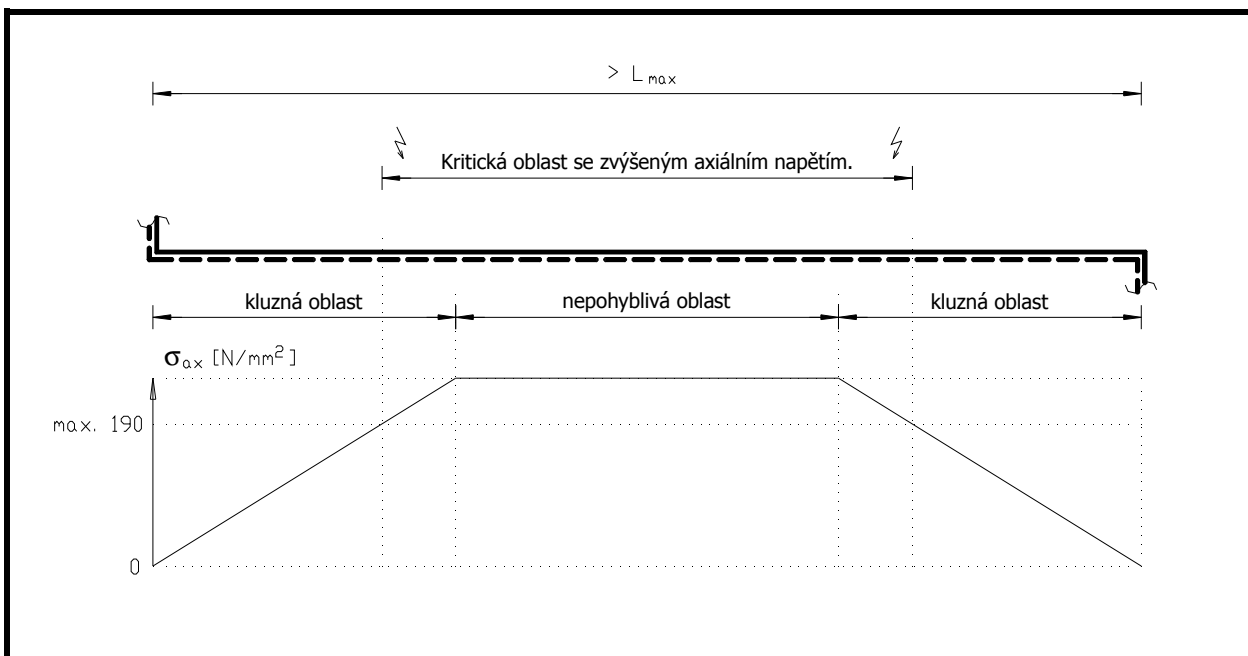
Provozní samopředpětí

Pomocí techniky provozního samopředpětí, ukládání za studena při provozní teplotě $> 85^{\circ}\text{C}$ je možné proniknout do oblastí s enormní zátěží, které dřív u sdružené konstrukce s plášťovou trubicou z plastické hmoty platily jako nepřijatelné. U této techniky je možné uložit téměř rovně probíhající KMR trasy skoro bez omezení, tzn. také bez již známých kompenzačních opatření jako jsou kompenzátory U nebo Z.

Pro svařované nebo bezešvé teplotnosné trubky ocel St 37.0, technické dodací podmínky dle DIN 1626/1629, je až do jmenovité světlosti DN 300, bez ohledu na dílčí součinitele bezpečnosti $[\gamma_M]$, dovolené axiální napětí $[\sigma_{ax}]$ v rovné trubce 300 N/mm^2 ($R_e \cdot 1,5$) při maximální provozní teplotě 130°C . Dle osvědčení výrobce teplotnosných trubek je skutečná mez kluzu materiálu St 37.0 $[R_e]$ cca 300 N/mm^2 . Této okolnosti se využívá pro provozní samopředpětí.

Od DN 350 se snižuje σ_{ax} u ocele St 37.0. To může mít za následek to, že musí být použita kvalitativně vysoce hodnotná teplotnosná trubka, např. ocel St 52.0. V případě použití jiných druhů ocele by mohlo i přes podepření a vedení zeminou a PEHD pláštěm dojít ke vzniku místní nestability ve formě vyboulení, popř. ratchetingu (= stálý růst místních plastických deformací při opakujícím se zatížení nad R_e). Proto se pro ocel St 37.0 musí možná jmenovitá světlost, při použití provozního samopředpětí, omezit na maximálně DN 300.

U konstrukčních, popř. provozních teplot od 131° do maximálně 149°C se při technice provozního samopředpětí, nezávisle na dimenzi, musí pro teplotnosnou trubku výhradně použít materiál ocel St 52.0.



“Provozního samopředpětí” trasy se dosáhne jednorázově plánovaným překročením meze kluzu, $R_{e \text{ St } 37.0} = 204 \text{ N/mm}^2$ při 130°C , v teplotnosné trubce. Na základě omezení tepelné dilatace během prvního uvedení do provozu se materiál při dosažení R_e v rovné trubce jednorázově plasticky stlačí. U dalšího zatížení zůstane materiál elastický.

Zvláštnosti „Provozního samopředpětí“ viz stranu **K 2.3.1**

13. zvláštností Provozního samopředpětí

1. Tři až čtyřikrát větší dilatační pohyb vůči tepelnému předpětí, což vyžaduje více dilatačních polštářů nebo dokonce dilatační prvky.
2. Případně je dodatečně zapotřebí tepelného nebo mechanického předpětí dilatačních polštářů, resp. dilatačních ramen.
3. Vyšší tlaková napětí v polyuretanové tvrdé pěně v místech veškerých ohybů trasy a extrémně vyšší síly v místech uzavíracích armatur uložených v zemi.
4. Dílensky předizolované odbočky způsobují zeslabení průřezu průchozího potrubí a tím dodatečně zeslabená místa, která můžeme popřípadě kompenzovat pouze zesilovacím límcem nebo všeobecně použitím T kusů dle DIN 2615.
5. Redukce tepelné trubky musí být dle DIN 2616-část 2.
6. Každou dodatečnou domovní přípojku, popř. navrtávanou odbočku je třeba staticky zkontrolovat. Nezávisle na tom, zda se nacházejí v kluzném úseku nebo v nepohyblivé oblasti, je možné, že přípoj pevnostně nevyhovuje.
7. Natrvalo definované půdní hodnoty na celém úseku. Výkopové práce se musí přesně řídit podle požadavků na jakost pískového lože, jakož i opětného zasypaní. Případně se musí provést průběžná kontrola.
8. Výšky nadloží musí být ještě před zahájením prací přesně definovány a každá změna musí být po statické stránce zkontrolována a povolena.
9. Pevné body uložené v zemi a pevné body ve stavebních objektech není možné realizovat na základě zvýšených axiálních sil.
10. Zkosené řezy, resp. vybočení ve svařech není dle AGFW FW 401 přípustné, neboť axiální napětí $[\sigma_{ax}]$ překračuje mez kluzu $[R_e]$. **U montáže platí jako hranice tolerance pouhých 0,25° !**
Montážní firma musí v této souvislosti obdržet příslušné pokyny a bude-li zapotřebí musí být kontrolována.
11. Zvýšené zatížení objímkových spojek, které vyžadují kvalitativně hodnotnou objímkovou konstrukci.
12. Pokud možno žádnou montáž podél stromořadí, neboť kořeny mohou rozhodujícím způsobem ovlivnit statické podklady půdních hodnot (tření) !
13. Všechny stavební aktivity paralelně k KMR trase, které vyžadují výkopové práce, zhotovení výkopu nebo šachty, musí být kvůli nebezpečí vybočení nebo zvednutí potrubní trasy překontrolovány a proto musí být povoleny. Projektant zodpovědný za statiku potrubí musí dát své svolení. Musí být informováni všichni provozovatelé. Firma **isoplus** může být nápomocna výpočtem maximálně možné délky odkrytého výkopu.

Všichni účastníci stavby musejí během zhotovení „Paralelního staveniště“ jednat velmi opatrně a svědomitě. A i zde je třeba provádět průběžnou kontrolu těchto prací. V tak zvaných kritických oblastech ($\swarrow$ viz kladečský plán trasy $\searrow$) u ukládání za studena, je odkrytí nejkritičtější, protože je zde překročena mez kluzu $[R_e]$ ocelové trubky. **Vybočení nebo zvednutí trubek je možné i bez předchozího varování !**

isoplus požaduje v případě technologie „Provozního samopředpětí“ písemné souhlasné prohlášení, popř. potvrzení investora nebo jiného zmocněnce, že jsou známy veškeré body týkající se udaných omezení, zvláštností a rizik a že se akceptují na dobu životnosti tepelné trasy.

DILATACE

Axiální dilatace

Kolísající teploty mají za následek to, že všechny teplotnosné látky mění svůj objem. U plášťové trubky z plastické hmoty má axiální pohyb dilatace způsobený měnícími se teplotami velký význam. Vůči těmto délkovým změnám působí třecí síly mezi PEHD plášťovou trubkou a pískovým ložem. Na základě těchto sil vznikají v systému nejrůznější napětí. Úkolem statiky je zachycení vzniklých napětí se zřetelem na bezpečnost, aby se zabránilo dosažení, popř. překročení mezních hodnot a aby délkové změny potrubního vedení byly optimálně kompenzovány.

Volná dilatace

Pod pojmem „volná dilatace“ $[\epsilon]$ se rozumí neomezená změna délky $[\epsilon_L]$ potrubí při zvýšení teploty, bez ohledu na třecí síly a odpory. Určující veličina změny délky je součinitel roztažnosti $[\alpha]$ teplotnosné trubky. Volně uložené potrubní vedení s plášťovou trubkou z plastické hmoty mající délku $[L_x]$ změní svůj délku, nebere-li se v úvahu tření v uložení při zvýšení teploty, následujícím způsobem:

$$\epsilon_L = \alpha \cdot L_x \cdot \Delta T \quad [\text{mm}] \quad (13)$$

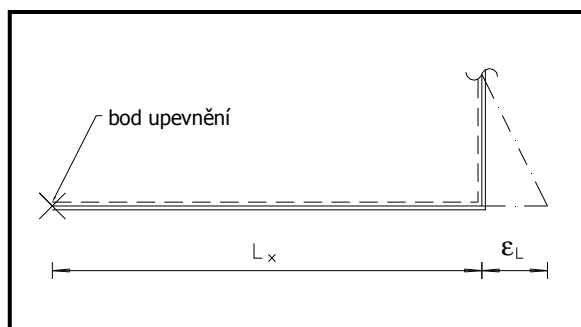
$$\epsilon_L = 1,26 \cdot 10^{-5} \cdot 50.000 \cdot 120 \quad [\text{mm}] \quad (\text{příkl. 13})$$

$$\text{výsledek: } \epsilon_L = 75,6 \text{ mm} \quad (\text{příkl. 13})$$

L_x = existující délka trubky [mm]

α = součinitel tepelné roztažnosti
teplotnosné trubky [1/K], viz stranu **K 2.1**

ΔT = rozdíl teploty mezi teplotou okolí a
maximální provozní teplotou $[T_B]$,
např. $130 - 10 = 120^\circ\text{C}$



Omezená dilatace

Oproti volné dilataci dochází v zasypaném stavu u potrubního vedení s plášťovou trubkou z plastické hmoty při zvýšení teploty k silnému omezení délkové dilatace, neboť na základě axiálního pohybu vzniká mezi PEHD plášťovou trubkou a okolní zeminou třecí síla $[F'_R]$. Třecí síla vzniká následkem hmotností, popř. normálových (kolmých) sil $[\Sigma F]$ působících zevně na KMR konstrukci. Vyplývá tedy ze síly tlaku zeminy, resp. normálové síly $[F'_N]$ a hmotnostní síly potrubního vedení s obsahem vody $[F'_G]$, jakož i ze součinitele tření $[\mu]$.

$$F'_R = \mu \cdot (F'_N + F'_G) \quad [\text{N/m}] \quad (14)$$

$$F'_R = 0,40 \cdot (10.076,46 + 408,10) \quad [\text{N/m}] \quad (\text{příkl. 14})$$

$$\text{výsledek: } F'_R = 4.193,82 \text{ N/m} \\ \text{nebo } F'_R = 4,194 \text{ kN/m} \quad (\text{příkl. 14})$$

$$\mu = \text{součinitel tření } [-] \Rightarrow (15)$$

$$F'_N = \text{normálová síla, popř. síla tlaku zeminy } [\text{N/m}] \Rightarrow (18)$$

$$F'_G = \text{viz kapitulu Montáž, strana M 11.1, vzorce (88) až (92) \Rightarrow (\text{příkl.}) = 408,10 N/m}$$

Součinitel tření $[\mu]$ je tangens úhlu tření stěn $[\delta]$ mezi PEHD plášťovou trubicí a pískovým ložem.

$$\mu = \tan \delta \quad (15)$$

$$\mu = \tan 21,67 \quad \text{výsledek: } \mu = 0,397 \approx 0,40 \quad (\text{příkl. 15})$$

Velikost δ závisí na vnitřním úhlu tření $[\varphi]$ půdy. Pro písek a štěrkopísek je při středním uložení uveden v literatuře a příslušných směrnících týkajících se statiky potrubí úhel tření $[\varphi]$ $32,5^\circ$, jakož i specifická hmotnost $[\rho]$ 19 kN/m^3 jako konstrukční veličina.

$$\delta = (2/3) \cdot \varphi \quad (16)$$

$$\delta = (2/3) \cdot 32,5 \quad \text{výsledek: } \delta = 21,67^\circ \quad (\text{příkl. 16})$$

Aby bylo možné zjistit zatížení zeminou, resp. normálovou sílu $[F'_N]$, musí být znám součinitel klidového tlaku $[k_0]$ úhlu tření půdy $[\varphi]$.

$$k_0 = 1 - \sin \varphi \quad (17)$$

$$k_0 = 1 - \sin 32,5 \quad \text{výsledek: } k_0 = 1 - 0,537 = 0,463 \approx 0,46 \quad (\text{příkl. 17})$$

Pro normálovou sílu $[F'_N]$ platí:

$$F'_N = \rho \cdot h_m \cdot \pi \cdot D_a \cdot \frac{1 + k_0}{2} \quad [\text{N/m}] \quad (18)$$

$$F'_N = 19.000 \cdot 0,925 \cdot 3,1416 \cdot 0,25 \cdot \frac{1 + 0,46}{2}$$

$$\text{výsledek: } F'_N = 10.076,46 \text{ N/m} \quad (\text{příkl. 18})$$

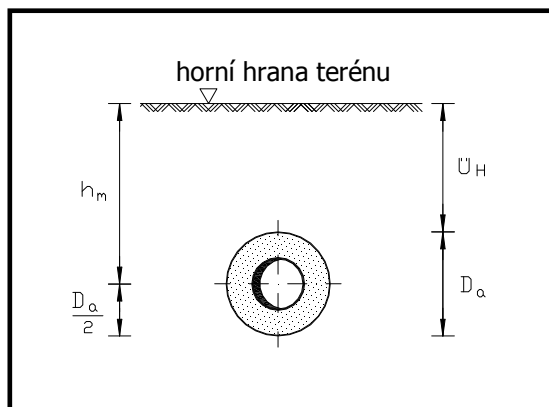
ρ = specifická hmotnost půdy $[\text{N/m}^3]$

h_m = výška od osy trubky k horní hraně terénu $[\text{m}]$
 $= \frac{\ddot{U}_H + D_a}{2}$; z.B. $0,8 + 0,25 : 2 = 0,925$

$\ddot{U}_H$ = výška nadloží nad horní hranou trubky $[\text{m}]$

π = 3,1416 $[-]$

D_a = vnější průměr PE plášťové trubky $[\text{m}]$



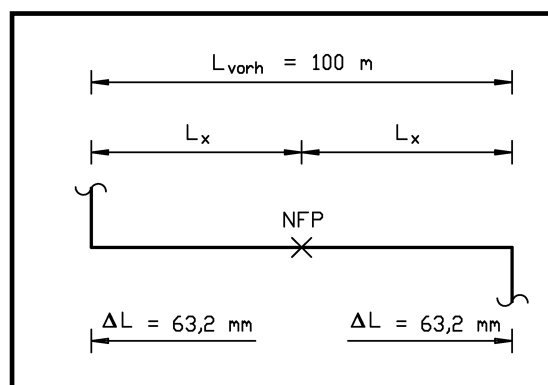
Pro určení omezené dilatace $[\Delta L]$, popř. axiálního posunutí $[u]$ se od ε_L (13) musí odečíst třecí odpor.

$$\Delta L = \varepsilon_L - \frac{F'_R \cdot L_x^2}{2 \cdot E \cdot A} \quad [\text{mm}] \quad (19)$$

$$\Delta L = 75,6 - \frac{4,194 \cdot 50.000^2}{2 \cdot 204.600 \cdot 2.064,66} \quad [\text{mm}]$$

$$\text{výsledek: } \Delta L = 63,2 \text{ mm} \quad (\text{příkl. 19})$$

To znamená, že úsek (DN 150/250, $T_B = 130^\circ\text{C}$, $\ddot{U}_H = 0,80 \text{ m}$) dlouhý 100 m, se posune od středu přirozeného pevného bodu [NFP] směrem k oběma koncům kompenzátorů (L, Z, U) vždy o 63,2 mm.

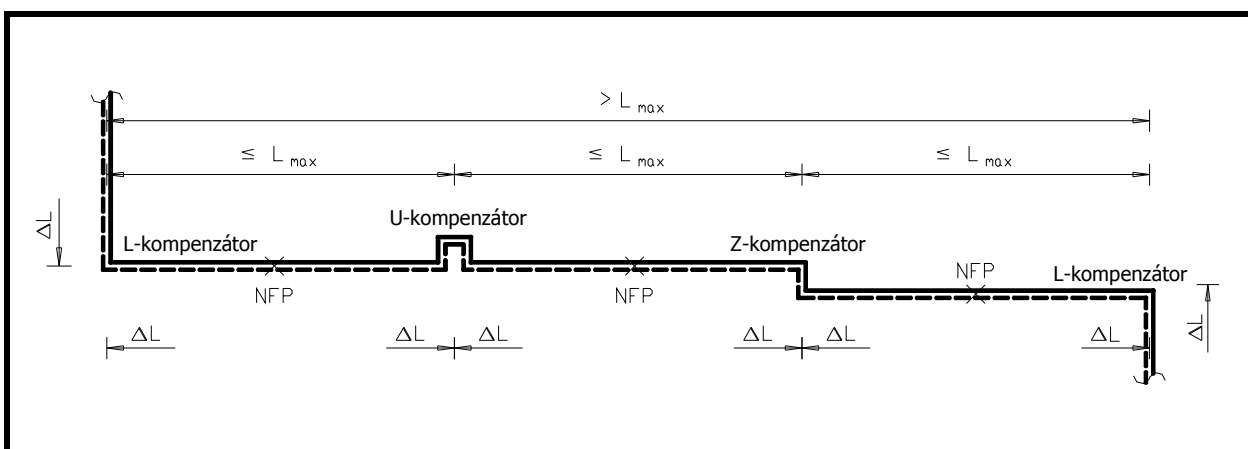


DILATACE

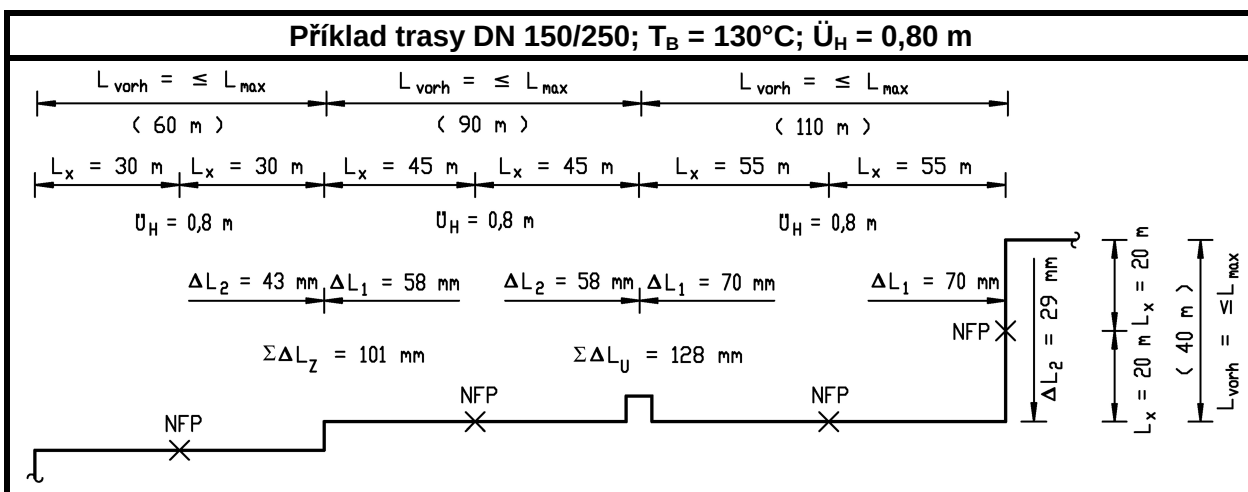
Kompensace

Pro dimenzování délek dilatačních ramen u kompenzátorů L, Z a U, jakož i pro určení nutných tloušťek dilatačních polštářů, musí být známa velikost očekávané délkové dilatace $[\Delta L]$. Protože je závislá na délce trasy $[L_{\text{vorh}}]$, provozní teplotě $[T_B]$, jakož i na výšce nadloží, musí být proveden přesný výpočet, viz stranu **K 3.0** a **K 3.1**. V praxi může však hodnota ΔL být určena s dostačující přesností na základě diagramů, viz stranu **K 3.2.1** a **K 3.2.2**.

Tyto diagramy platí pro jmenovité světlosti ocelových trubek do DN 500, výšku nadloží 0,80 m, a provozní teplotu 130°C. Větší jmenovité světlosti není možné na základě komplexnosti výpočtových, popř. iteračních kroků zobrazit v diagramu. V takových případech provádí výpočty pouze firma **isoplus** za pomoci nejaktuálnějšího softwaru.



Na základě skutečné délky trasy $[L_{\text{vorh}}]$ mezi dvěma dilatačními rameny $[DS]$ je určena polovička délky $[L_x]$.



Délková dilatace $[\Delta L]$ z délky L_x pro DN 20 do DN 200 viz stranu **K 3.2.1**

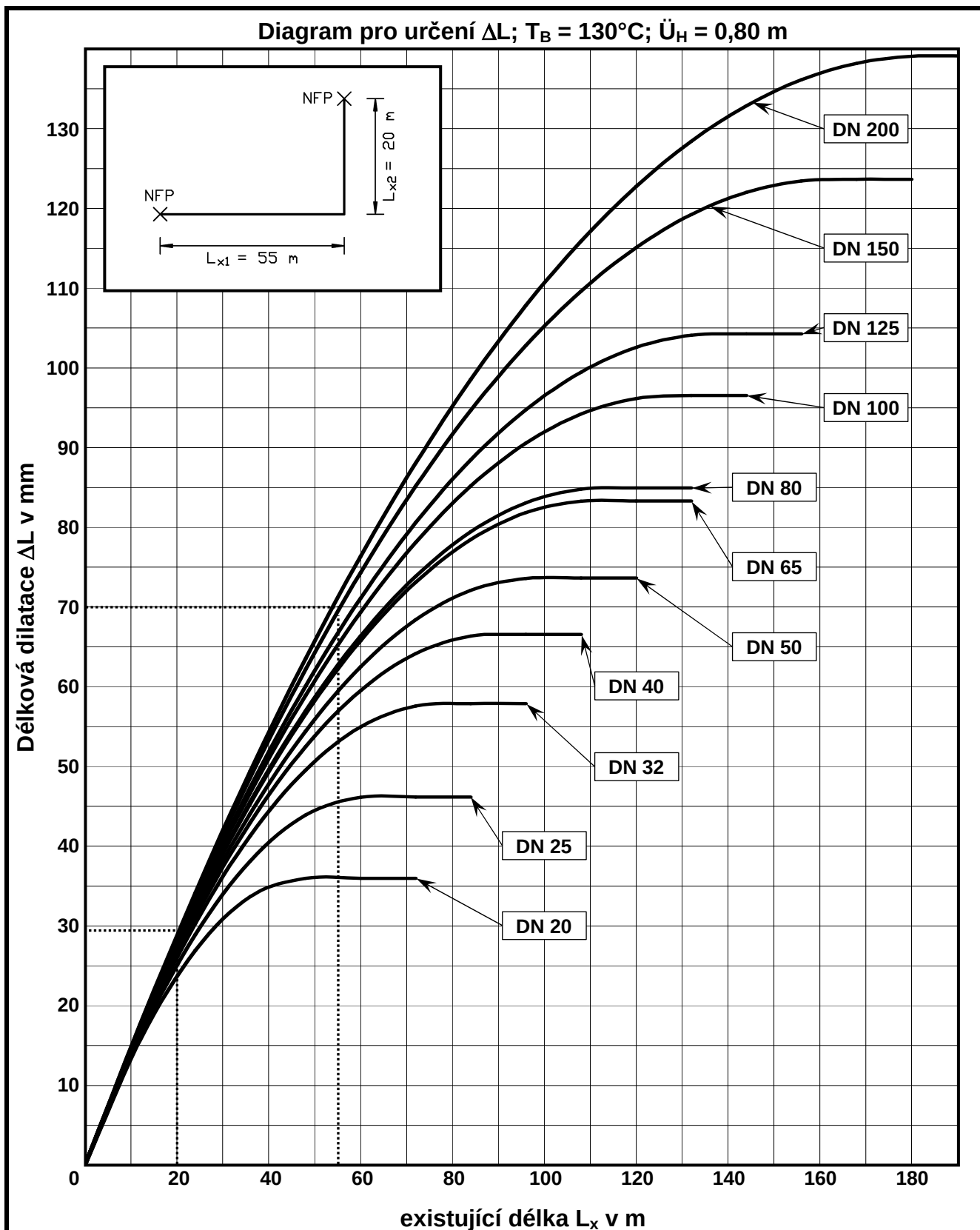
Délková dilatace $[\Delta L]$ z délky L_x pro DN 250 do DN 500 viz stranu **K 3.2.2**

Opravné faktory pro jiné $\ddot{U}_H$, úhly a T_B viz stranu **K 3.3** + **K 3.3.1**

Určení nutných tloušťek dilatačních polštářů $[DP_s]$ viz stranu **K 3.3.1**

Určení délky ramen $[DS_L]$ kompenzátorů L, Z a U viz stranu **K 3.4** - **K 3.6**

Délková dilatace ΔL [mm] pro DN 20 až DN 200



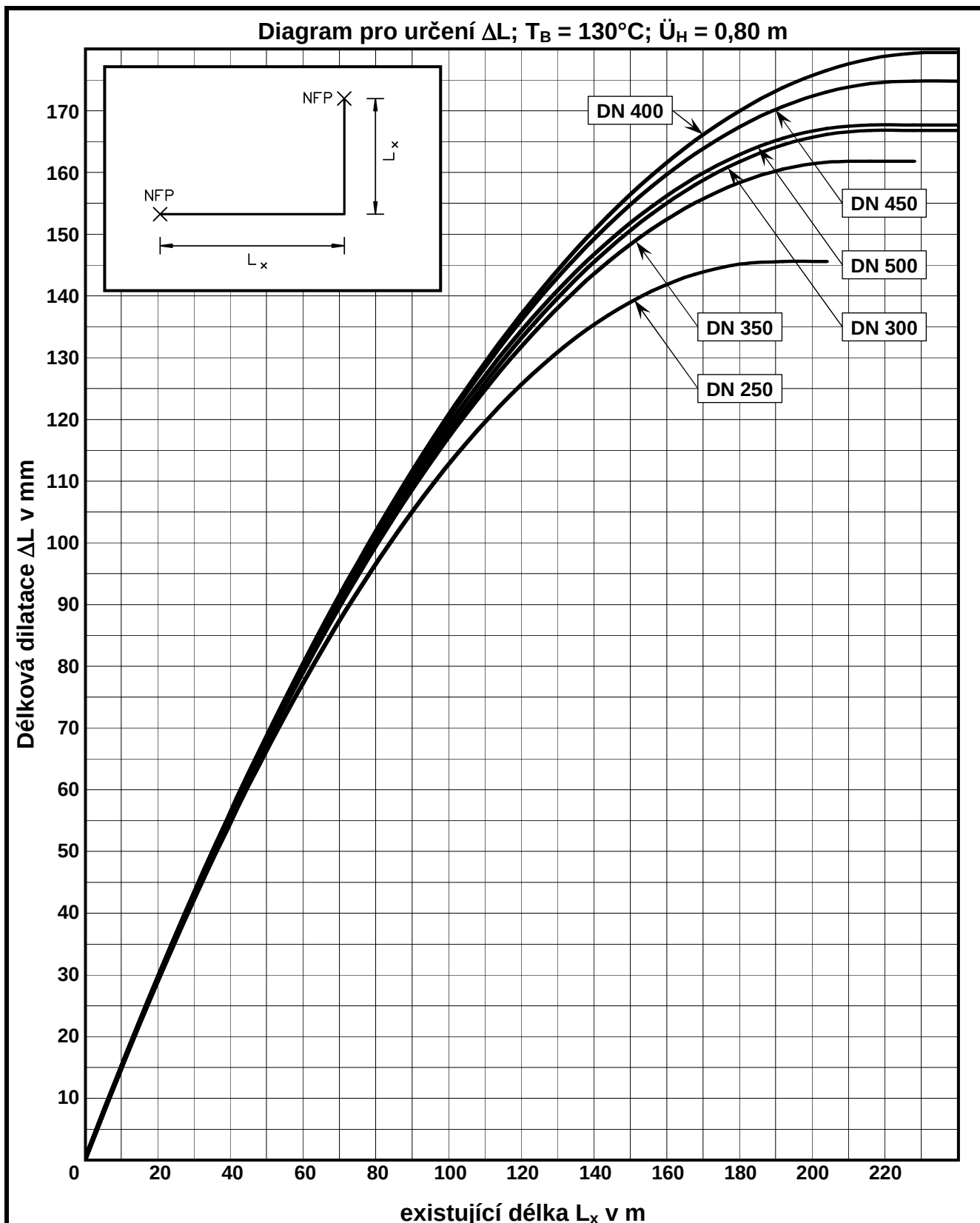
Opravné faktory pro jiné $\ddot{U}_H$, úhly a T_B viz strana K 3.3 + K 3.3.1

Určení potřebných tlouštěk dilatačních polštářů $[DP_s]$ viz stranu K 3.3.1

Určení délky ramen $[DS_L]$ kompenzátorů L, Z a U viz stranu K 3.4 - K 3.6

DILATACE

Délková dilatace ΔL [mm] pro DN 250 do DN 500



Opravné faktory pro jiné $\ddot{U}_H$, úhly a T_B viz strana K 3.3 + K 3.3.1

Určení potřebných tloušťek dilatačních polštářů $[DP_s]$ viz stranu K 3.3.1

Určení délky ramen $[DS_L]$ kompenzátorů L, Z a U viz stranu K 3.4 - K 3.6

Opravné faktory pro jiné výšky nadloží [$\ddot{U}_H$]

Pro výšky nadloží $> 0,80$ m je možné zmenšit délkovou dilataci [ΔL]. Podle toho, jaký je poměr mezi skutečnou délkou trasy [L_{vorh}] mezi dvěma dilatačními rameny [DS], k maximální přípustné délce ukládání [L_{max}], vznikají nejružnější součinitelé snížení [$\Delta f_{\ddot{U}_H}$]. Pro obdržení příslušné hodnoty je třeba znát poměr [L_V] mezi L_{vorh} a L_{max} při $\ddot{U}_H = 0,80$ m.

$$L_V = \frac{L_{vorh}}{L_{max}} \quad [-] \quad (20)$$

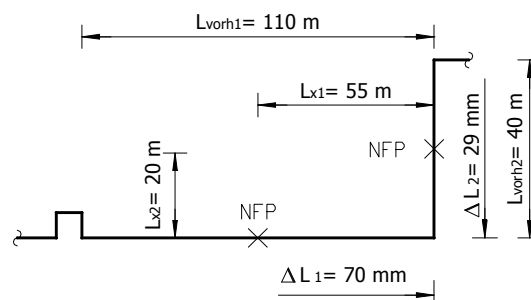
Pro součinitele snížení [$\Delta f_{\ddot{U}_H}$] platí:

Součinitel snížení	Poměr délek L_V při $\ddot{U}_H = 0,80$	$\ddot{U}_H = 0,80$ m	$\ddot{U}_H = 1,00$ m	$\ddot{U}_H = 1,20$ m	$\ddot{U}_H = 1,60$ m	Příklady délek L_{vorh} pro DN 150/250, $L_{max} = 187,00$ m (viz K 2.2)
$\Delta f_{\ddot{U}_H} A$	$< 0,15$	1,00	1,00	1,00	1,00	$< 28,05$ m
$\Delta f_{\ddot{U}_H} B$	$0,15 - < 0,30$	1,00	1,00	1,00	0,90	28,05 m - $< 56,10$ m
$\Delta f_{\ddot{U}_H} C$	$0,30 - < 0,45$	1,00	1,00	0,90	0,80	56,10 m - $< 84,15$ m
$\Delta f_{\ddot{U}_H} D$	$> 0,45$	1,00	0,90	0,85	0,70	$> 84,15$ m

příklad DN 150/250; $T_B = 130^\circ\text{C}$; $\ddot{U}_H = 1,20$ m; $L_{vorh1} = 110$ m; $L_{vorh2} = 40$ m

$L_{vorh1} = 110$ m; $L_V = 110 : 187 = 0,59$
 $L_{x1} = 55$ m; $\Delta L_1 = 70$ mm z K 3.2.1
 $\Delta f_{\ddot{U}_H} D = \mathbf{0,85}$; $\Delta L_1 = 70 \cdot 0,85 = 59,5$ mm

$L_{vorh2} = 40$ m; $L_V = 40 : 187 = 0,21$
 $L_{x2} = 20$ m; $\Delta L_2 = 29$ mm z K 3.2.1
 $\Delta f_{\ddot{U}_H} B = \mathbf{1,00}$; $\Delta L_2 = 29 \cdot 1,00 = 29,0$ mm

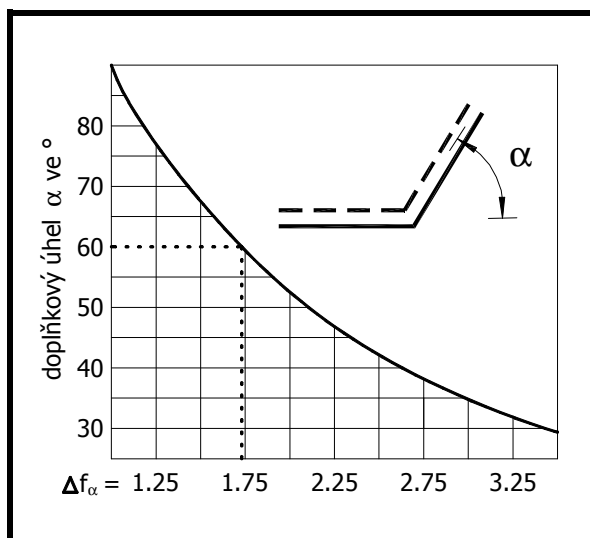


Opravné faktory – doplňkový úhel [α] $< 90^\circ$

Pro doplňkový úhel [α] $< 90^\circ$ je třeba vypočítat dle diagramu pomocí přepočítacích faktorů [Δf_α] příčné posunutí [ΔL_V] vyplývající z axiální dilatace [ΔL_u].

příklad, ΔL_1 , $\alpha = 60^\circ$:
 $70 \cdot 0,85 \cdot \mathbf{1,73} = 103$ mm

$\Delta L_V \geq 80$ mm vyžaduje tloušťky polštářů [DP_s] > 120 mm. Tato tloušťka polštářů mívá za následek překročení maximální přípustné teploty PEHD pláště 60°C . Proto musí být dilatační ramena s [DP_s] > 120 mm tepelně nebo mechanicky předepnuta, což umožní redukci tloušťky polštářů na [DP_s] ≤ 120 mm viz stranu K 5.0 a K 5.1.



Určení potřebných tlouštěk dilatačních polštářů [DP_s] viz stranu K 3.3.1

Určení délek ramen [DS_L] u kompenzátorů L, Z a U viz stranu K 3.4 - K 3.6

DILATACE

Opravné faktory pro jiné provozní teploty $[T_B]$

Maximální provozní teplota $[T_B]$ má rozhodující vliv na skutečnou velikost dilatace. Proto musí dle **K 3.2.1** nebo **K 3.2.2** být opravena vypočtená délková dilatace pomocí následujících faktorů $[\Delta f_{TB}]$.

Provozní teplota T_B ve $^{\circ}\text{C}$	149	140	130	120	110
Opravný faktor Δf_{TB}	1,29	1,10	1,00	0,92	0,84

Provozní teplota T_B ve $^{\circ}\text{C}$	100	90	80	70	60
Opravný faktor Δf_{TB}	0,75	0,67	0,59	0,50	0,42

příklad, $T_B = 90^{\circ}\text{C}$ ($\Delta L_1 \cdot \Delta f_{UH} \cdot \Delta f_{\alpha} \cdot \Delta f_{TB}$):

$$\Rightarrow 70 \cdot 0,85 \cdot 1,73 \cdot \mathbf{0,67} = 69,00 \text{ mm} \quad (21) \Rightarrow DP_s = 120 \text{ mm}$$

Minimální tloušťka dilatačního polštáře $[DP_{s \min}]$

Poté co byl pomocí opravných faktorů $[\Delta f_{UH} + \Delta f_{\alpha} + \Delta f_{TB}]$ vypočítán efektivní pohyb dilatace $[\Delta L_{\text{eff}}]$, musí být následujícím způsobem určena minimální tloušťka dilatačního polštáře $[DP_{s \min}]$:

$$DP_{s \min} = \Delta L_{\text{eff}} \cdot 1,50 \text{ [mm]} \quad (21)$$

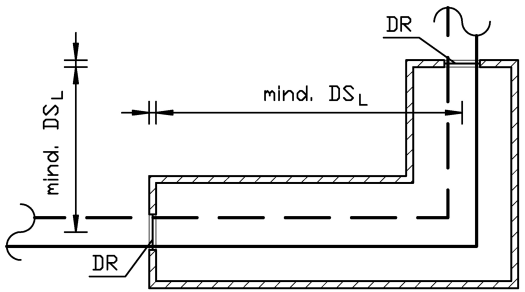
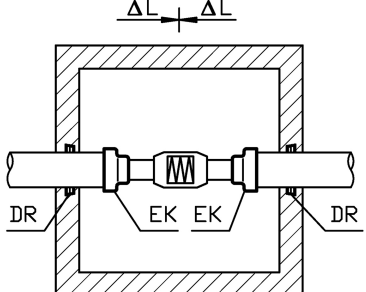
Podle pohybu dilatace $[\Delta L_{\text{eff}}]$ se proto rozlišuje volitelná tloušťka dilatačního polštáře $[DP_s]$:

$$\begin{aligned} \Delta L_{\text{eff}} &= 00 - < 27 \text{ mm} &\Rightarrow DP_s &= 40 \text{ mm} \\ \Delta L_{\text{eff}} &= 27 - < 53 \text{ mm} &\Rightarrow DP_s &= 80 \text{ mm} \\ \Delta L_{\text{eff}} &= 53 - < 80 \text{ mm} &\Rightarrow DP_s &= 120 \text{ mm} \end{aligned}$$

U $\Delta L_{\text{eff}} > 80 \text{ mm}$ musí být dilatační polštáře tepelně nebo mechanicky předepruty o 50 %, viz stranu **K 5.0** a **K 5.1**, to pak znamená, že DP_s je:

$$\begin{aligned} \Delta L_{\text{eff}} &= 80 - < 106 \text{ mm} &\Rightarrow DP_s &= \Delta L_{\text{eff}} \cdot 0,75 \text{ [mm]} &(22) &\Rightarrow DP_s = 80 \text{ mm} \\ \Delta L_{\text{eff}} &= 106 - < 160 \text{ mm} &\Rightarrow DP_s &= \Delta L_{\text{eff}} \cdot 0,75 \text{ [mm]} &(22) &\Rightarrow DP_s = 120 \text{ mm} \end{aligned}$$

Efektivní dilataci $[\Delta L_{\text{eff}}] > 160 \text{ mm}$ není možné kompenzovat pomocí dilatačních polštářů. Zde je třeba naplánovat dilatační prvky nebo v šachtách axiální kompenzátory.

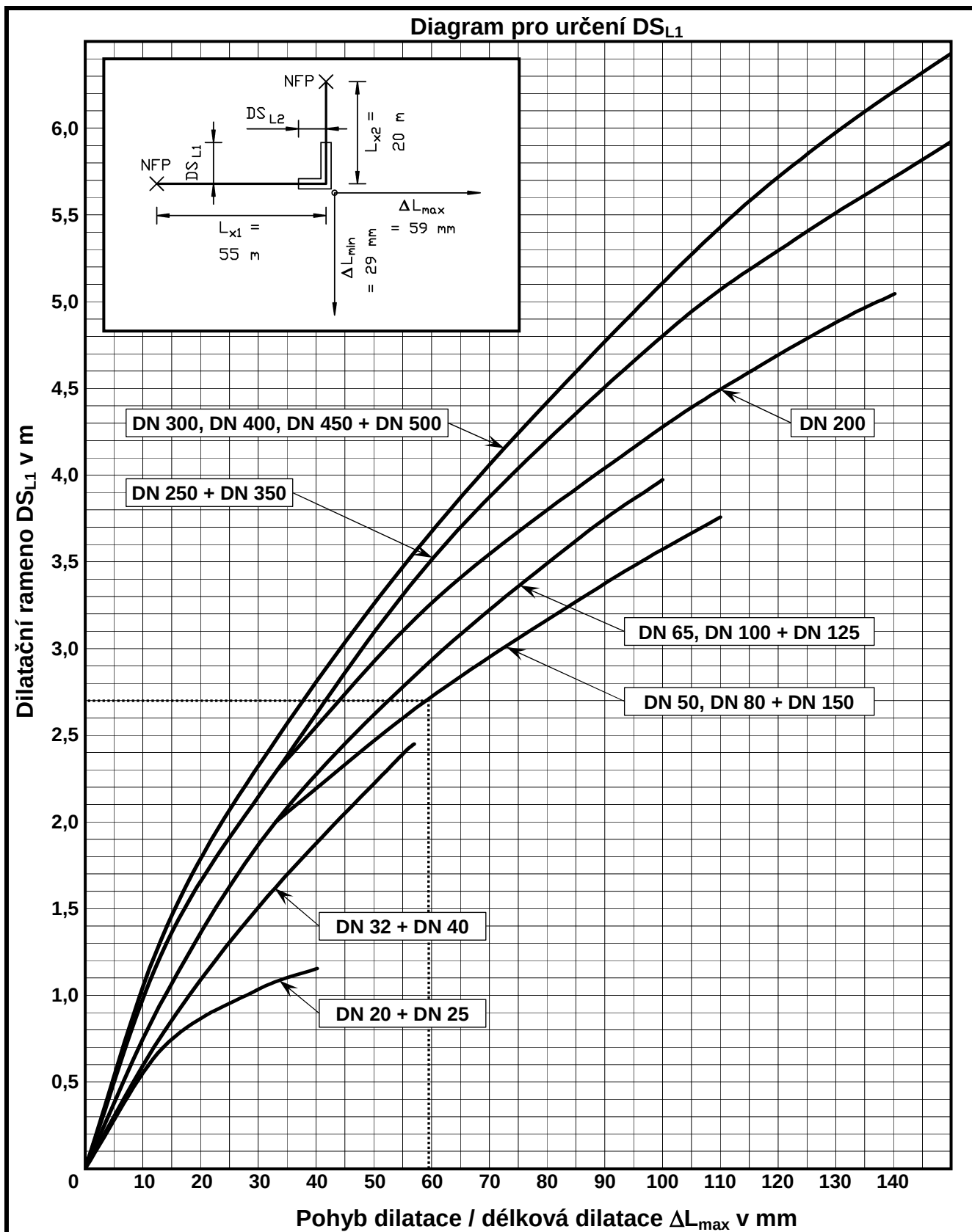
Příklad dilatačního prvku	Příklad šachty s kompenzátorem
	
DR = těsnicí kroužek (strana P 6.0)	EK = koncové víčko (strana P 5.0)

Příklady pro umístění dilatačních polštářů viz stranu **K 3.4.1** + **K 3.7**

Určení délky ramena $[DS_L]$ u kompenzátorů L, Z a U viz stranu **K 3.4** - **K 3.6**

DILATAČNÍ RAMENO

Délka dilatačního ramena DS_{L1} [m] pro kompenzátory L z ΔL_{max}



Určení potřebných tloušťek dilatačních polštářů $[DP_s]$ viz stranu **K 3.3.1**

Určení délky dilatačního ramena $[DS_{L2}]$ pro kompenzátory L z ΔL_{min} viz stranu **K 3.4.1**

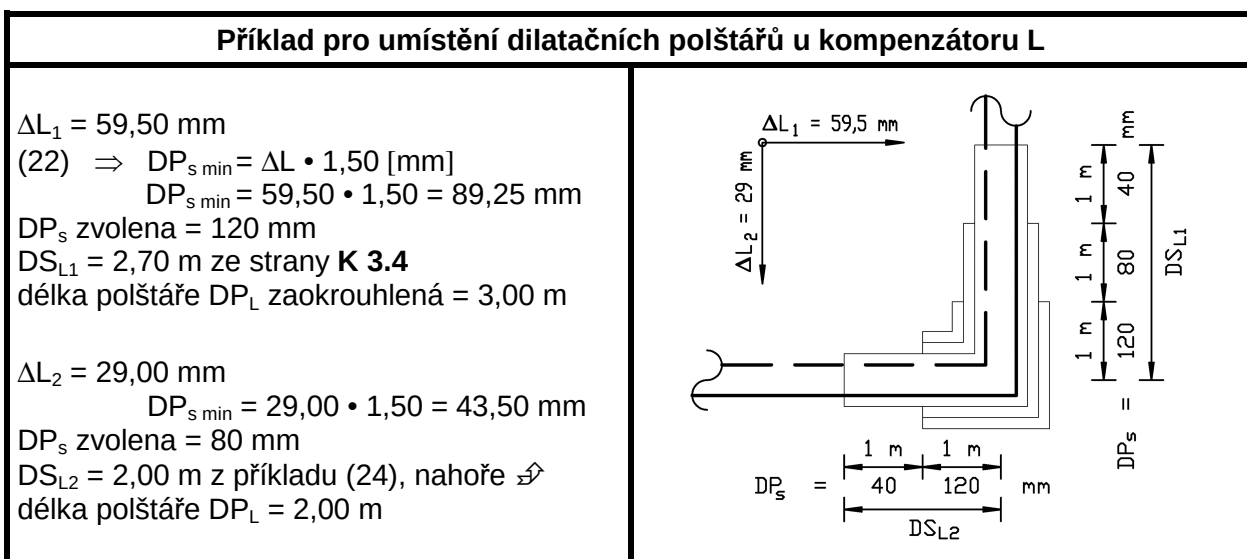
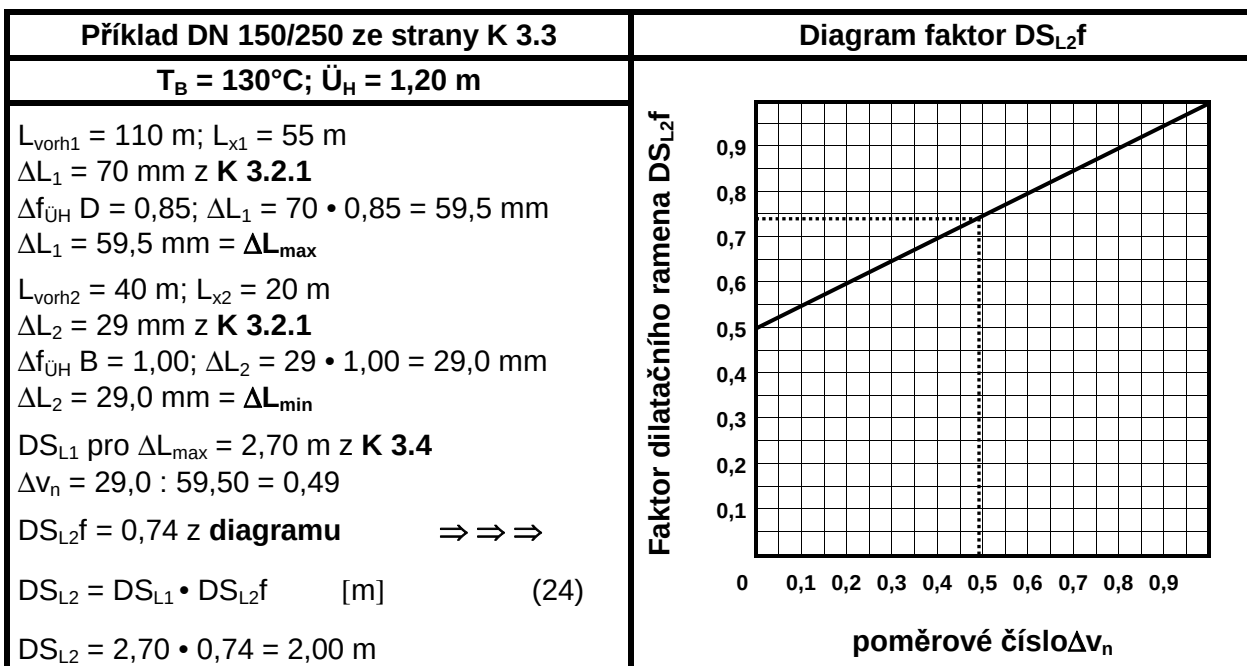
DILATAČNÍ RAMENO

Délka dilatačního ramena DS_{L2} [m] pro kompenzátory L z $\Delta L_{\min}$

Pomocí diagramu na straně K 3.4 se určí délka delšího ramena $[DS_{L1}]$ kompenzátoru L, vycházející z maximálního pohybu dilatace $[\Delta L_{\max}]$. Pro určení délky kratšího ramena $[DS_{L2}]$, je třeba vědět, jaký je poměr $[\Delta v_n]$ mezi $\Delta L_{\min}$ a $\Delta L_{\max}$.

$$\Delta v_n = \frac{\Delta L_{\min}}{\Delta L_{\max}} \quad [-] \quad (23)$$

Na základě tohoto poměrového čísla se určí faktor dilatačního ramena $[DS_{L2f}]$.

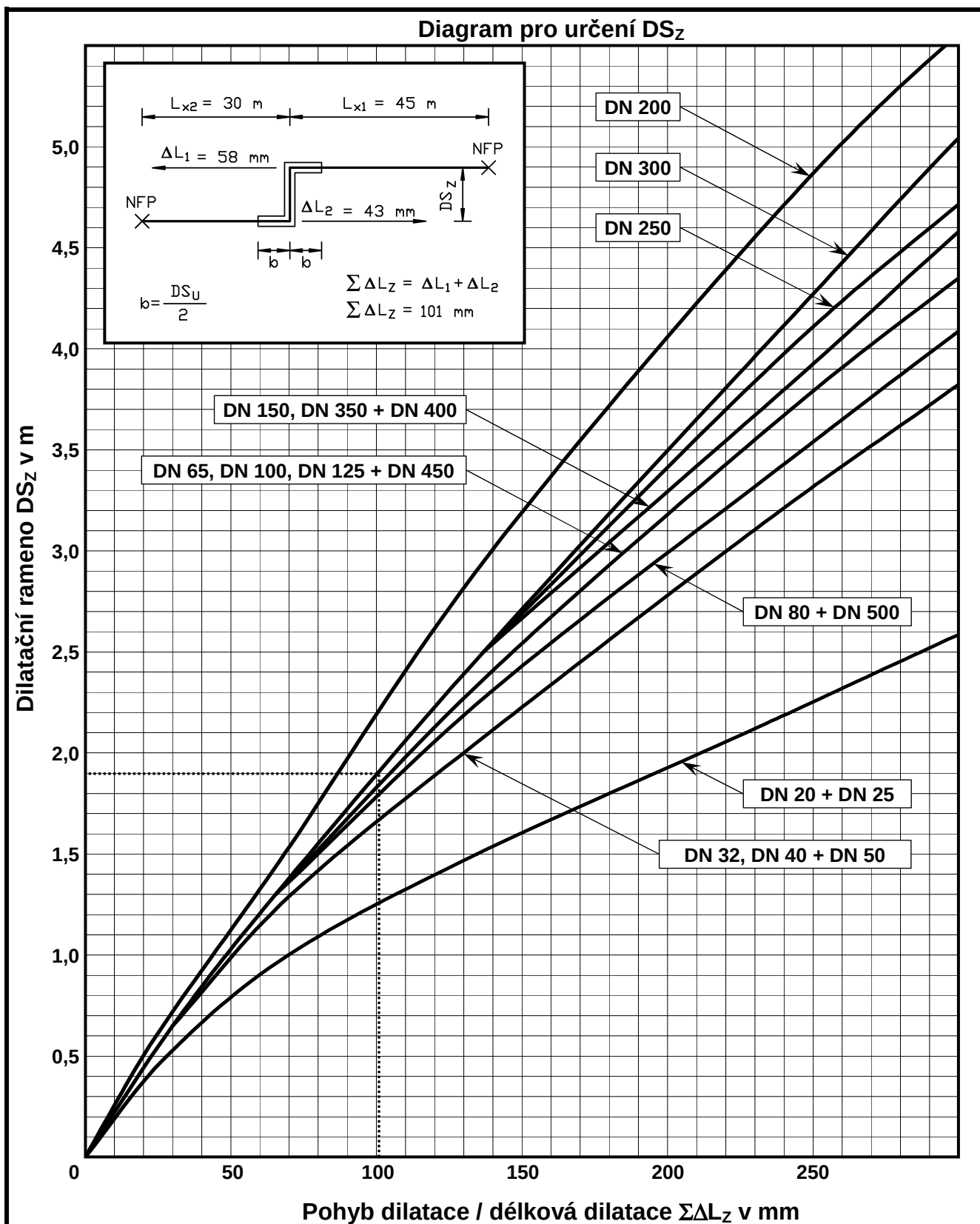


Určení potřebné tloušťky dilatačního polštáře $[DP_s]$ viz stranu K 3.3.1

Určení délky dilatačního ramena $[DS_{L2}]$ pro kompenzátory L z $\Delta L_{\min}$ viz stranu K 3.4

DILATAČNÍ RAMENO

Délka dilatačního ramena DS_z [m] pro kompenzátor Z ze $\sum \Delta L_{1+2}$

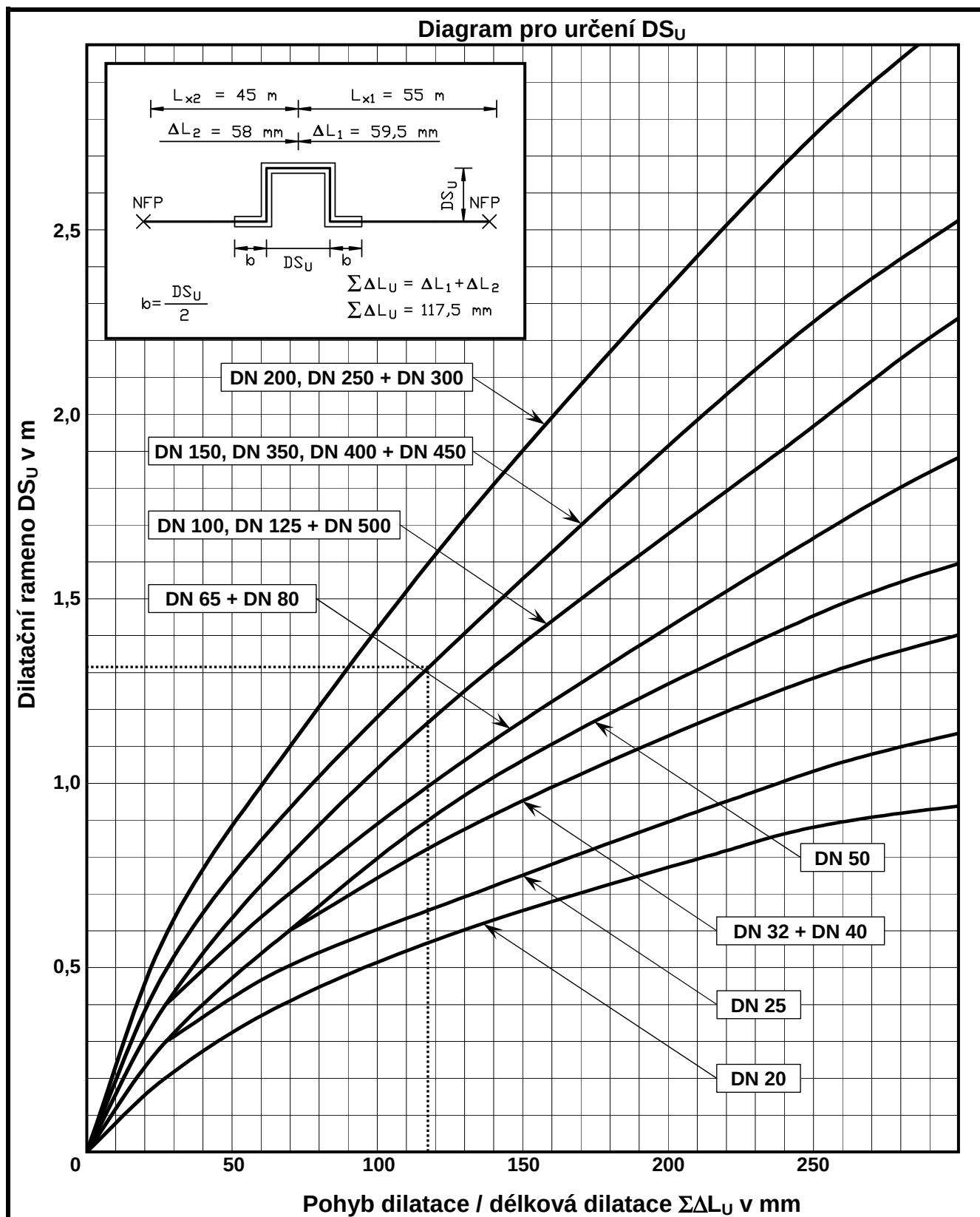


Příklad pro umístění dilatačních polštářů u kompenzátoru Z viz stranu K 3.7

Určení potřebné tloušťky dilatačního polštáře $[DP_s]$ viz stranu K 3.3.1

DILATAČNÍ RAMENO

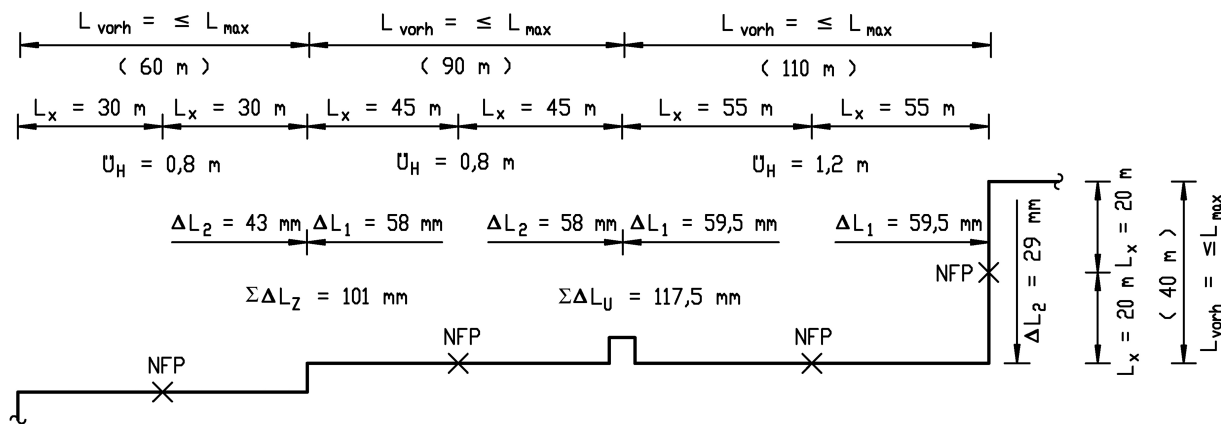
Délka dilatačního ramena DS_U [m] pro kompenzátor U z $\Sigma\Delta L_{1+2}$



Příklad pro umístění dilatačních polštářů u kompenzátoru U viz stranu K 3.7
Určení potřebné tloušťky dilatačního polštáře $[DP_s]$ viz stranu K 3.3.1

DILATAČNÍ RAMENO

Příklad trasy DN 150/250; $T_B = 130^\circ\text{C}$; $\ddot{U}_H = 0,80 \text{ m} - 1,20 \text{ m}$



Příklad pro umístění dilatačních polštářů u kompenzátoru Z

$$\Delta L_1 = 58,00 \text{ mm}$$

$$(21) \Rightarrow DP_{s \min} = \Delta L \cdot 1,50 [\text{mm}]$$

$$DP_{s \min} = 58,00 \cdot 1,50 = 87,00 \text{ mm}$$

DP_s zvolena = 120 mm

$$\Delta L_2 = 43,00 \text{ mm}$$

$$DP_{s \min} = 43,00 \cdot 1,50 = 64,50 \text{ mm}$$

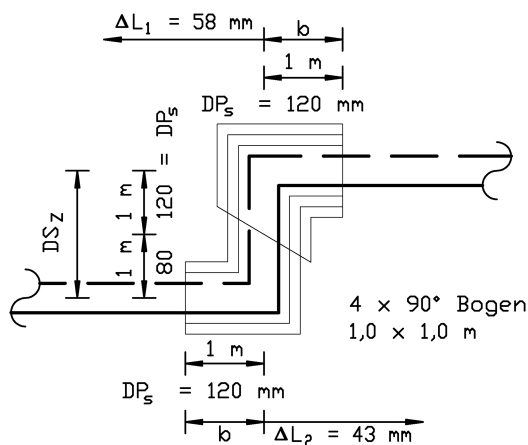
DP_s zvolena = 80 mm

$$\Sigma \Delta L_z = 101,00 \text{ mm}$$

DS_Z = 1,90 m ze strony **K 3.5**

DS₇ zvolena = 2,00 m $\Rightarrow$ 2 ohyby 1 x 1 m

$$b = DS_z : 2 = 0,95 \text{ m}; DS_L \text{ zvolena} = 1,00 \text{ m}$$



Příklad pro umístění dilatačních polštářů u kompenzátoru U

$$\Delta L_1 = 59,50 \text{ mm}$$

$$(21) \Rightarrow DP_{s \min} = \Delta L \cdot 1,50 [\text{mm}]$$

$$DP_{s \min} = 59,50 \cdot 1,50 = 89,25 \text{ mm}$$

DP_s zvolena = 120 mm

$$\Delta L_2 = 58,00 \text{ mm}$$

$$DP_{s \min} = 58,00 \cdot 1,50 = 87,00 \text{ mm}$$

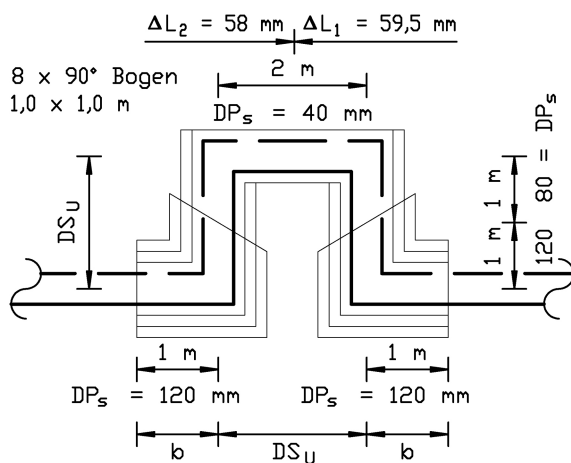
DP_s zvolena = 120 mm

$$\Sigma \Delta L_{ij} = 117,50 \text{ mm}$$

$DS_U = 1,32 \text{ m}$ ze strony **K 3.6**

DS_y zvolena = 2,00 m $\Rightarrow$ 2 ohyb 1 x 1 m

$$b = DS_{II} : 2 = 0,66 \text{ m}; DS_{II} \text{ zvolena} = 1,00 \text{ m}$$



Určení potřebné tloušťky dilatačního polštáře [DP_s] viz stranu **K 3.3.1**

Určení délky ramena [DS_L] pro kompenzátor Z a U z $\sum \Delta L_{1+2}$ viz stranu **K 3.5 + K 3.6**

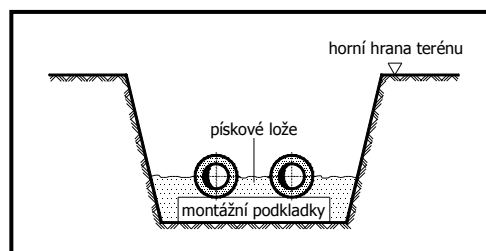
UKLÁDÁNÍ ZA TEPLA

Tepelné předpětí

Technika tepelného předpětí slouží k zahřátí potrubní trasy **před** zasypáním výkopu. V praxi se tepelné předpětí provádí za použití příslušně regulované provozní teplotnosné látky, může se však provést i pomocí mobilního paro-vakuového agregátu nebo elektro-tepelného agregátu.

Jestliže z důvodů nedostatku místa není možné realizovat žádná přirozená dilatační ramena, lze použít techniku tepelného předpětí. Ta se používá vždy v tom případě, jestliže $L_{\max}$ plánovaného úseku trasy byla překročena. Na začátku a konci úseku předpětí by se měl, pokud možno, nacházet kompenzátor L, Z nebo U, popř. může být na jedné straně naplánován pevný bod.

V příslušném úseku se pro provedení předpětí potrubní vedení zasypou pouze do poloviny plášťové trubky pískem a zhutní, tento zhutněný písek slouží k vedení potrubí. Při předpětí v otevřeném výkopu vzniká volná změna délky, která musí být zaprotokolována.



Zbytková dilatace vyplývající z kluzných úseků, viz stranu **K 4.3.1** a **K 4.3.2**, musí být kompenzována dilatačními polštáři. Délka nepohyblivé oblasti nemá žádný vliv na axiální dilataci na koncích kluzných úseků. Tepelné předpětí zaručuje, že mohou být uloženy libovolně dlouhé úseky, aniž by bylo překročeno přípustné axiální napětí.

V úsecích trasy, které jsou kratší než přípustná délka ukládání, je tepelné předpětí v otevřeném výkopu prakticky bezúčinné, neboť se nevytvoří žádná nepohyblivá oblast. Předepnutí takových úseků má však tu výhodu, že se sníží počet potřebných dilatačních polštářů. Tento postup se označuje jako tepelné předpětí dilatačních ramen, popř. polštářů, viz stranu **K 5.0**.

Tepelné předpětí se zakládá na použití standardních KMR komponent firmy **isoplus**. Je-li provedeno pomocí paro-vakuového agregátu nebo elektro-tepelného agregátu, jsou předpisy dodavatele, popř. výrobce agregátu dodatečně určující a závazné.

Metody předpětí

1. Tepelné předpětí pomocí provozní teplotnosné látky

Tato metoda je vhodná v případech, kdy úsek předpětí navazuje přímo na stávající síť a pokud není zapotřebí vypustit trasu před jejím uvedením do provozu. Dalším předpokladem je to, že teplota přiváděného tepla pro přívodní a vratné potrubí se může regulovat tak, aby se dosáhlo potřebné teploty předpětí.

Na základě vysoké tepelné vodivosti provozní teplotnosné látky jsou doby předpětí až do jmenovitých světlostí DN 250 relativně nízké. Bude-li pro provedení zapotřebí vypuštění předepínaného úseku, je třeba dbát na přípustnou teplotu při vypouštění do místní kanalizace.

2. Tepelné předpětí pomocí páry

Při atmosférickém tlaku vzduchu je bod varu vody 100°C a vzniká pára o teplotě 100°C. Pro předpětí je však zapotřebí páry o teplotě 60°C až 75°C. Sníží-li se tlak vzduchu pomocí vakuového čerpadla na 0,4 barů, pak varný bod vody leží již při 75°C a vytváří se pára mající stejnou teplotu. Ta přenáší tepelný výkon 756 W/kg.

S ohledem na užitečné šíření tepla dodává pára cca patnáctkrát víc tepla než voda. Velkou předností této metody je proto nízká potřeba vody, jakož i značně rychlejší doba nahřátí oproti metodě (1.). Je třeba dodržovat speciální předpisy dodavatele agregátu.

3. Tepelné předpětí elektrickým proudem

Pomocí této metody lze bez problémů provést předpětí částí úseku dle potřeb postupující stavby. Zaslepovací, popř. koncová víčka nejsou zapotřebí. Propojení přívodního a vratného potrubí není z důvodu elektrického zkratu přípustné. Tento druh předpětí se smí použít pouze u stejných dimenzí přívodního a vratného potrubí.

Předpětí několika různých jmenovitých světlostí není možné, neboť přitom dochází k přehřátí malých dimenzí. Během předpětí je třeba zajistit, aby vznikající elektromagnetická pole neohrožovala ani osoby ani funkčnost zařízení. Další nevýhodou může být potřeba proudového napájení o 380 V na staveništi. Je třeba dodržovat speciální předpisy dodavatele agregátu.

Funkce

Jestliže budou překročeny přípustné délky ukládání $[L_{\max}]$, tak se axiální napětí proporcionálně zvyšují nad maximální hodnotu $[\sigma_{zul}]$. Aby axiální napětí **nebylo** překročeno, i když délka trasy je vyšší než $L_{\max}$, je tepelné předpětí v otevřeném výkopu jednou možností pro omezení napětí.

Jak již bylo řečeno, tak se podle Hookova materiálového zákona dilatace nacházejí vůči napětím ve stejném poměru, resp. jsou proporcionální, srovnej se stranou **K 2.0**, vzorec (1) až (3). Pak je na základě snížení rozdílu teplot na polovinu možné omezit axiální napětí na velikost nižší než je přípustné axiální napětí.

Příklad:

Maximální provozní teplota $[T_B]$ KMR sítě je 130°C, teplota zeminy $[T_E]$ 10°C, z toho vyplývá ΔT o hodnotě 120 K, délka úseku je $> L_{\max}$. Pro teplonosné trubky ocel St 37.0 platí při teplotě 130°C pro E , α a R_e konstanty $\Rightarrow E = 2,046 \cdot 10^5$ a $\alpha = 1,26 \cdot 10^{-5}$ uvedené na straně **K 2.1**.

$$(3) \Rightarrow \sigma_{\text{vorh}} = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$(\text{příkl. 3}) \Rightarrow \sigma_{\text{vorh}} = 2,046 \cdot 10^5 \cdot 1,26 \cdot 10^{-5} \cdot 120 \quad \text{výsledek: } \sigma_{\text{vorh}} = 309,4 \text{ N/mm}^2$$

E = modul pružnosti $[\text{N/mm}^2]$

α = součinitel roztažnosti ocele $[1/\text{K}]$

ΔT = rozdíl teplot $[\text{K}]$

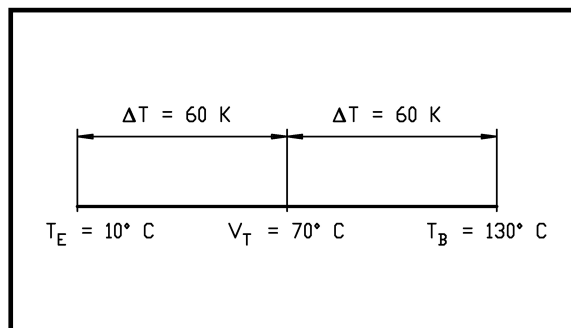
UKLÁDÁNÍ ZA TEPLA

Dovolené axiální napětí $[\sigma_{zul}]$ 190 N/mm² bude překročeno! Jestliže se vedení nyní tepelně předepne s teplotou 70°C, tak se rozdíl teplot a vzniklé napětí sníží na polovinu.

$$\Delta T = \frac{T_B - T_E}{2} \quad [K] \quad (25)$$

$$\Delta T = \frac{130 - 10}{2} = 60 \text{ K} \quad (\text{příkl. 25})$$

(3) $\Rightarrow \sigma_{vorh} = E \cdot \alpha \cdot \Delta T$
 (příkl. 3) $\Rightarrow \sigma_{vorh} = 2,046 \cdot 10^5 \cdot 1,26 \cdot 10^{-5} \cdot 60$
 výsledek: $\sigma_{vorh} = 154,7 \text{ N/mm}^2$

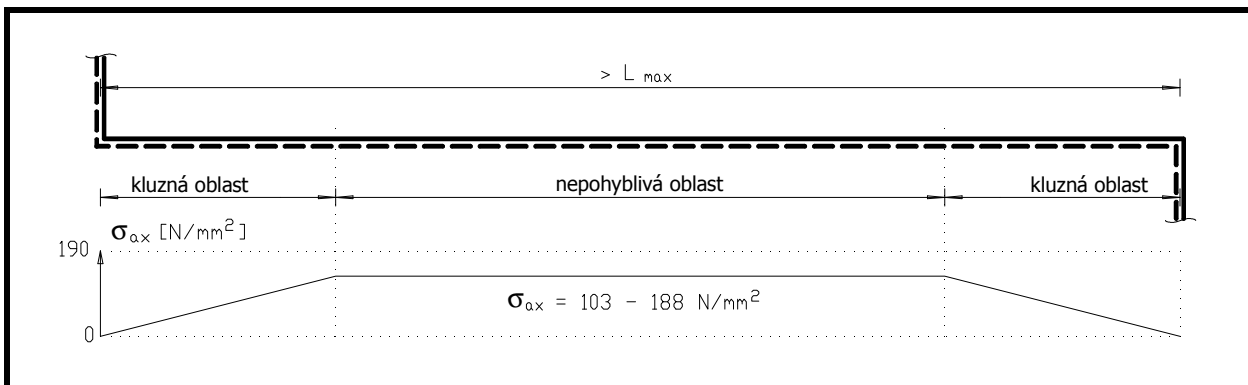


Provede-li se to v praxi a zahřeje-li se trasa před zasypáním výkopu pískem a zeminou na střední teplotu, resp. teplotu předpětí $[V_T]$, lze pokládat libovolně dlouhé úseky. Protože rozdíl teplot $[\Delta T]$ mezi V_T a T_B , jakož i V_T a T_E musí být vždy stejně velký, vyplývá z toho při $T_B = 130^\circ\text{C}$ axiální napětí o hodnotě $\approx 155 \text{ N/mm}^2$.

Předpokladem je zasypání výkopu pískem a zeminou při konstantní a především stejné teplotě předpětí $[V_T]$ v přírodním a vratném potrubí.

$$V_T = \Delta T + T_E \quad [^\circ\text{C}] \quad (26) \quad \Delta T \Rightarrow (25)$$

Střední oblast úseku předpětí se na základě rovnováhy sil neroztáhne a tím má největší axiální napětí. Tato mezilehlá délka se označuje jako nepohyblivá oblast, ve které jsou potlačeny veškeré pohyby. Směrem ke koncům úseku předpětí se napětí snižuje a vzniká axiální dilatace. Proto se tyto dva úseky označují jako kluzné úseky.



Příklady maximálního napětí $[\sigma_a]$ v závislosti na ΔT :

$T_B = 149^\circ\text{C}$ $\Delta T \Rightarrow (25) = 69,5 \text{ K}$ $V_T \approx 70^\circ\text{C}$
 (3) $\Rightarrow \sigma_{vorh} = 2,0260 \cdot 10^5 \cdot 1,28 \cdot 10^{-5} \cdot 69,5 = 180,2 \text{ N/mm}^2$

$T_B = 110^\circ\text{C}$ $\Delta T \Rightarrow (25) = 50 \text{ K}$ $V_T = 60^\circ\text{C}$
 (3) $\Rightarrow \sigma_{vorh} = 2,0620 \cdot 10^5 \cdot 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot 50 = 128,9 \text{ N/mm}^2$

$T_B = 90^\circ\text{C}$ $\Delta T \Rightarrow (25) = 40 \text{ K}$ $V_T = 50^\circ\text{C}$
 (3) $\Rightarrow \sigma_{vorh} = 2,0763 \cdot 10^5 \cdot 1,24 \cdot 10^{-5} \cdot 40 = 103,0 \text{ N/mm}^2$

Statické údaje pro dimenzování

- ⇒ provozní teplota [T_B] maximálně **149°C**
- ⇒ teplota předpětí v přívodním a vratném potrubí minimálně **50°C** a maximálně **83°C**
- ⇒ stejný rozdíl teplot [K] mezi teplotou zeminy a teplotou předpětí a mezi maximální provozní teplotou a teplotou předpětí
- ⇒ stupeň jmenovitého tlaku maximálně PN 25
- ⇒ maximální dovolené axiální napětí v rovné trubce = **190 N/mm²**
- ⇒ konstantní výška nadloží po celé délce úseku předpětí
- ⇒ jednotná síla tření [F'_R] u plášťové trubky na základě rovnoměrného stupně zhutnění pískového lože a nasypané zeminy po celé délce úseku předpětí

Pokud se tyto hodnoty negativně změní, mohou v provozním stavu vzniknout axiální napětí, která v extrémním případě řádově dosáhnou hodnot jako u techniky ukládání „Provozního samopředpětí“. To by mohlo mít za následek zánik záručního nároku.

Statika trubek se vypočítá podle skutečných parametrů pro dimenzování vztahujících se k projektu. Délky kluzných úseků se přitom používají pro určení dilatačních ramen a potažmo dilatačních polštářů pro plný teplotní rozsah.

Na základě zeslabení průřezu ocele v základní trubce musí být zásadně proveden výpočet odbočky v nepohyblivé oblasti. Redukce o několik dimenzí nejsou v nepohyblivé oblasti principiálně přípustné. Na základě rychlého vyrovnání špičkových hodnot napětí je možné redukovat o jednu jmenovitou světlost.

V předepnutých trasách se dá zabránit vybočení u paralelních výkopů, jestliže se potrubní vedení provozuje s teplotou předpětí. Před zahájením výkopových prací však musí zúčastněné strany dát své svolení, srovnej se stranou **K 9.0**.

Předáním plánu trasy a plánu předpětí zaručuje projekční firma statickou zkoušku a povolení, resp. odsouhlasení plánované KMR trasy.

Plán předpětí

Aby mohl být zaručen hladký průběh předpětí, je třeba zhotovit detailní koncept a podrobný časový rozvrh. Následující body musí být určeny a odsouhlaseny:

- ⇒ metoda provedení předpětí
- ⇒ rozdělení jednotlivých úseků a jejich délka
- ⇒ směr spádu úseku, minimálně 3 ‰
- ⇒ možnost zásobování vodou a proudem
- ⇒ stanoviště agregátu, popř. místa napojení na zdroj tepla
- ⇒ poloha pískového sedla a měřicích míst každého úseku
- ⇒ musí se odbočné trasy zasypat nebo ne?
- ⇒ které stěnové prostupy se ještě nesmí zafixovat, popř. zabetonovat?
- ⇒ **DŮLEŽITÉ:** je třeba zohlednit dobu trvání zasypání výkopu (!) a zkoordinovat s výkopovými pracemi

UKLÁDÁNÍ ZA TEPLA

Kompensace dilatace

Pro dimenzování délek dilatačních ramen $[DS_L]$ v předepnutých úsecích trasy musí být známa zbytková dilatace $[\Delta L_r]$. Ta závisí na následujících faktorech:

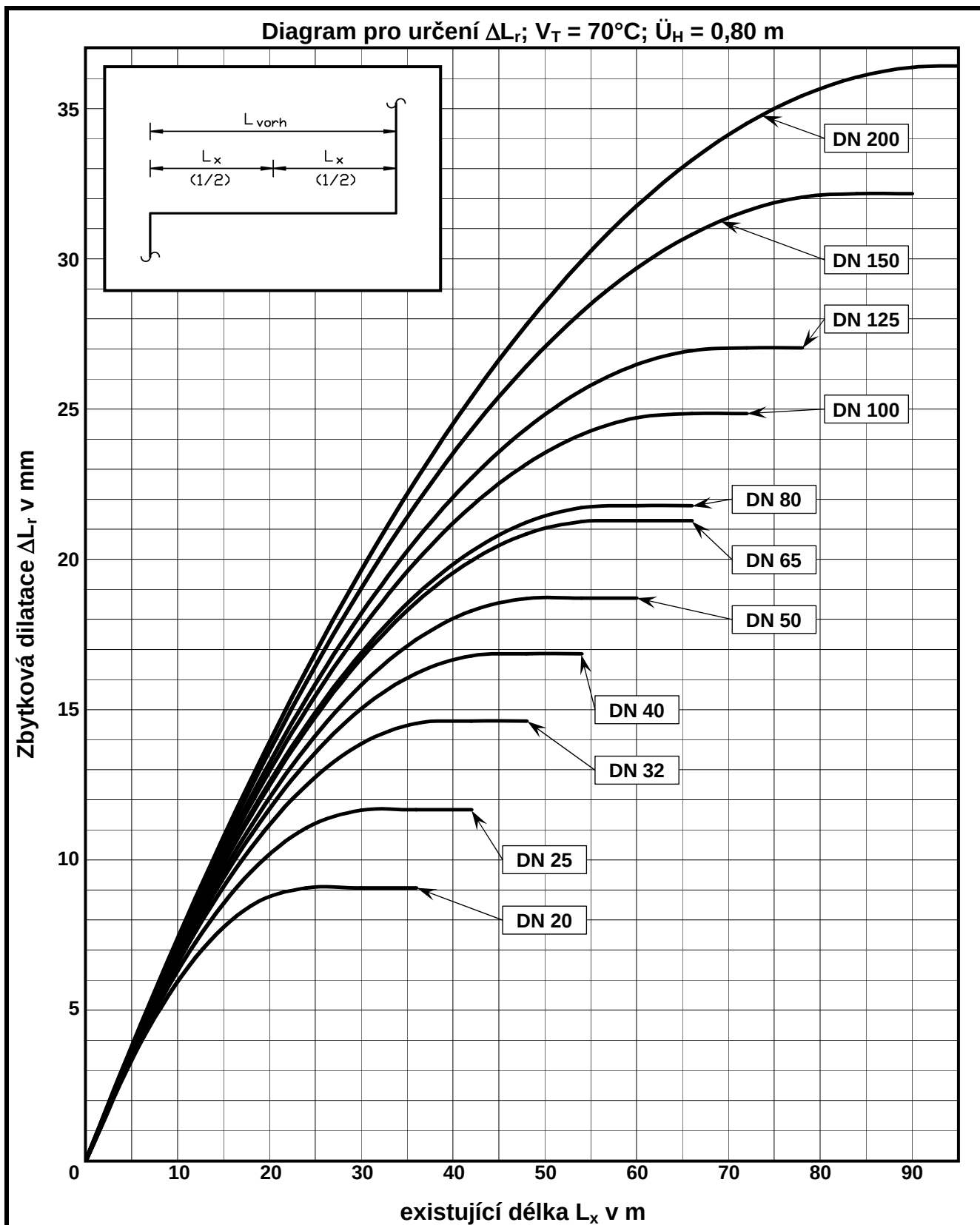
- ⇒ příčné síle $[F'_{el}]$
- ⇒ provozním tlaku $[p_B]$
- ⇒ třecí síle $[F'_R]$
- ⇒ součiniteli příčné kontrakce $[\nu]$
- ⇒ teplotě předpětí $[V_T]$
- ⇒ výšce nadloží $[\ddot{U}_H]$
- ⇒ příčné síle vnitřního tlaku $[F'_p]$
- ⇒ délce kluzného úseku $[GB_L]$ $[l_o]$

Protože existuje značné množství různých vlivů, musí být proveden přesný a komplexní výpočet. Pro praxi může však ΔL_r být určeno na základě diagramů, viz stranu **K 4.3.1** a **K 4.3.2**. Základem těchto diagramů je směrnice AGFW FW 401, část 10, ve které jsou také zobrazeny přesné vzorce a výpočtová řešení.

U smíšených systémů – s a nebo bez předpětí – je pro určení DS_L rozhodující délková dilatace $[\Delta L]$ nepředepnutého úseku.

UKLÁDÁNÍ ZA TEPLA

Zbytková dilatace ΔL_r [mm] pro DN 20 až DN 200



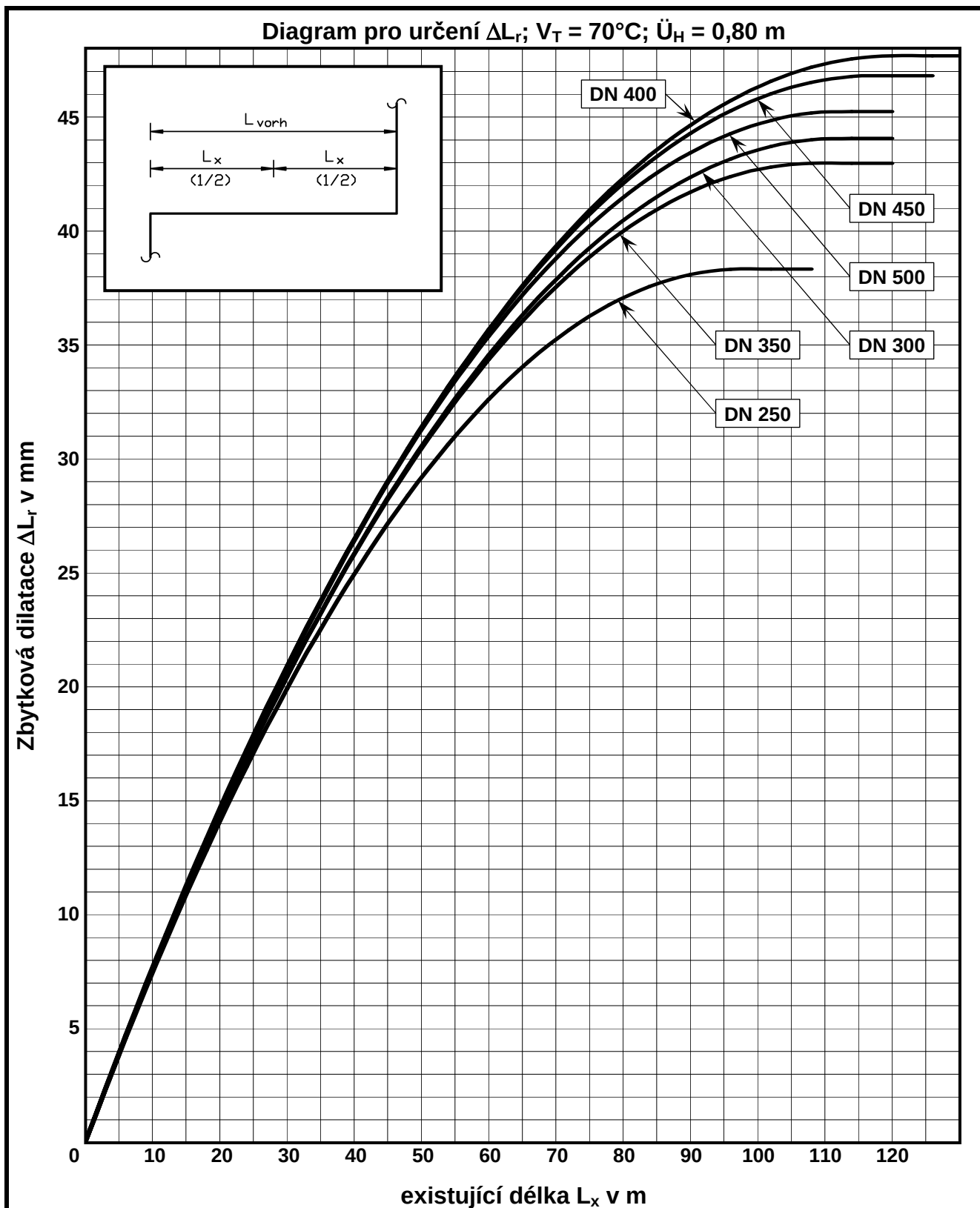
Opravné faktory pro jiné $\ddot{U}_H$ a úhly viz stranu K 3.3

Určení potřebné tloušťky dilatačního polštáře $[DP_s]$ viz stranu K 3.3.1

Určení délek ramen $[DS_L]$ kompenzátorů L, Z a U viz stranu K 3.4 - K 3.6

UKLÁDÁNÍ ZA TEPLA

Zbytková dilatace ΔL_r [mm] pro DN 250 až DN 500



Opravné faktory pro jiné $\ddot{U}_H$ a úhly viz stranu K 3.3

Určení potřebné tloušťky dilatačního polštáře $[DP_s]$ viz stranu K 3.3.1

Určení délek ramen $[DS_L]$ kompenzátorů L, Z a U viz stranu K 3.4 - K 3.6

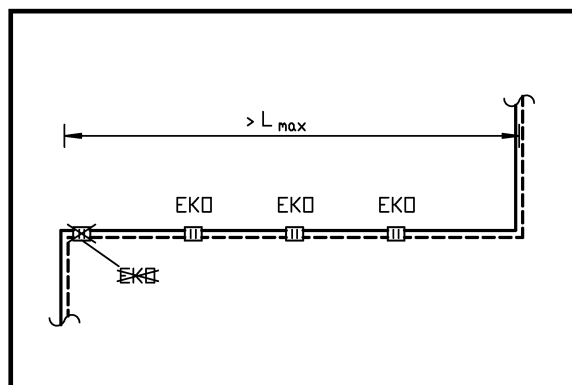
Jednorázový kompenzátor, systém EKO

Systém **EKO** (EinmalKOMPensator – jednorázový kompenzátor) slouží k tepelnému předpětí potrubí **isoplus** v již zasypaných výkopech. Úseky mezi jednotlivými jednorázovými kompenzátory se mohou zasypat. Nezasypou se pouze montážní jámy s jednorázovými kompenzátory. Zpravidla se tepelné předpětí provádí pomocí stávající teplotnosné látky, může být však provedeno i pomocí mobilních topných agregátů.

Jednorázový kompenzátor je stavební prvek, který se zavaří do trasy s plášťovou trubkou z plastické hmoty (trasa KMR). Při ohřátí trubek dojde ke změnám délek, které systém EKO musí dodatečně zachytit. Svařením vodicích trubek jednorázového kompenzátoru po provedené kompenzaci dilatace se dosáhne předpětí trasy.

Jednorázové kompenzátory se používají u tras, jejichž maximální přípustné délky ukládání jsou překročeny a z důvodů nedostatku místa není možné naplánovat přirozené dilatační prvky, nebo nelze provést předeřev v otevřeném výkopu. Na začátku i na konci úseku s jednorázovým kompenzátorem se však musí nacházet dilatační rameno, popř. může být také na jedné straně umístěn pevný bod.

Jednorázový kompenzátor nelze použít pro nepřetržitou kompenzaci dilatace. Proto je jeho umístění na začátku, popř. na konci úseku (v kluzné oblasti) neopodstatněné. Aby se dosáhlo předpětí, popř. ohraničení axiálního napětí v zasypaném výkopu, musí se jednorázový kompenzátor nacházet v nepohyblivé oblasti. V úsecích trasy menších než maximální přípustná délka ukládání je jednorázový kompenzátor bezúčinný.



Funkce

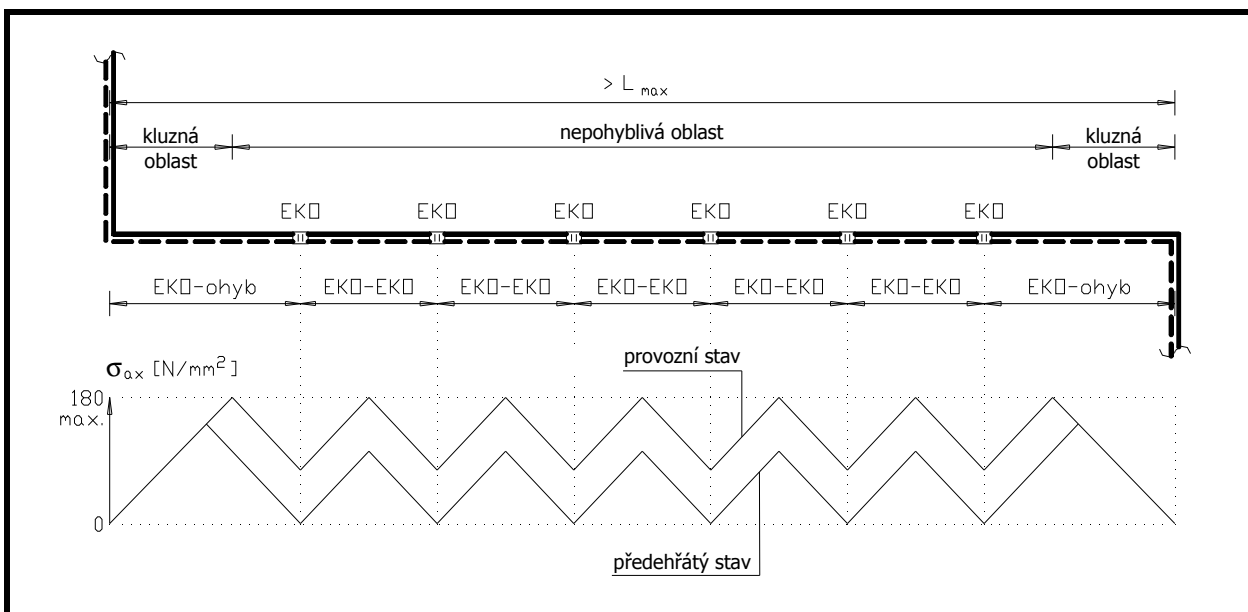
Aby se v projektovaných rovných úsecích trasy dosáhlo ohraničení axiálních napětí, použije se jednorázový kompenzátor. V úsecích s jednorázovým kompenzátorem vznikají vyšší axiální napětí než u tepelně předepnutých systémů v otevřených výkopech.

Tato tepelná napětí se pomocí systému EKO přemění při zahřátí v přípustná tlaková napětí, popř. při ochlazení v přípustná tahová napětí. Po několika tepelných cyklech zatížení dojde k vyrovnání špičkových hodnot napětí.

Jednorázový kompenzátor dosáhne koncové pozice, jakmile oba konce teplotnosné trubky na sebe uvnitř vlnovce a vodicích trubek narazí. Tato koncová pozice se pozná podle toho, že konec vnější vodicí trubky dosáhl úrovně značky na vnitřní vodicí trubce. V této pozici se obě vodicí trubky svaří koutovým svarem.

Tím je trasa zpevněna a materiálově a silově spojena, takže v nepohyblivé oblasti úseku nevznikají žádné dilatační pohyby teplotnosných trubek. Proto musí být dodrženy projektované rozměry vzdáleností, popř. rozměry, na kterých se zakládá statika.

UKLÁDÁNÍ ZA TEPLA



Statické údaje pro dimenzování

- ⇒ provozní teplota [T_B] maximálně **140°C**
- ⇒ teplota předpětí v přívodním a vratném potrubí maximálně **80°C**
- ⇒ jmenovitý tlakový stupeň maximálně PN 25
- ⇒ maximální dovolené axiální napětí v rovné trubce = **180 N/mm²**
- ⇒ stejná výška nadloží po celém úseku systému EKO
- ⇒ jednotná třecí síla [F_R] na plášťové trubce pomocí stejnoměrného stupně zhutnění pískového lože a zásypové zeminy po celém úseku jednorázového kompenzátoru

Jestliže se tyto hodnoty negativně změní, může dojít k tomu, že se v provozním stavu vyskytnou axiální napětí, která v extrémním případě dosáhnou hodnot jako u techniky ukládání „Provozního samopředpětí“.

Pro provozní teplotu **130°C** vyplývají maximální přípustné vzdálenosti, které jsou uvedené v tabulce na straně **K 4.4.2**, a sice mezi dvěma jednorázovými kompenzátory, jakož i mezi jedním jednorázovým kompenzátorem a přirozeným dilatačním ramenem jako je kompenzátor L, Z nebo U.

Tyto hodnoty platí pro půdy se specifickou hmotností 19 kN/m³, vnitřním úhlem tření půdy [φ] 32,5° a pro svařované nebo bezešvé ocelové trubky dle DIN 1626/1629, materiál ocel St 37.0, číslo 1.0254, tloušťky stěn dle kapitoly Trubky, strana **T 2.0**. Pro jiná nadloží je třeba vzdálenosti interpolovat a dodatečně zkrátit o $\approx 5\%$.

Kompensace dilatace

Pro dimenzování délek dilatačních ramen [DS_L] uvnitř úseku s jednorázovým kompenzátorem musí být známa velikost očekávané délkové dilatace [ΔL] „EKO-ohyb“. A protože je závislá na více parametrech, musí být proveden přesný a komplexní výpočet, srovnej se stranou **K 4.3**. V praxi je však možné určit hodnotu ΔL na základě diagramů, viz stranu **K 3.2.1** a **K 3.2.2**. Pro délku [L_x] se přitom vezme délka „EKO-ohyb“.

Stavební díl jednorázový kompenzátor viz kapitolu Příslušenství strana **P 2.0** a **P 2.1**
 Montážní pokyny a průběh prováděcích prací viz kapitolu Montáž strana **M 5.0** až **M 5.2**

UKLÁDÁNÍ ZA TEPLA

Přípustné vzdálenosti EKO v m, $T_B = 130^\circ\text{C}$

Rozměry teplonosné trubky			vnější průměr plášť. trubky D_a v mm			EKO – EKO při výšce nadloží $[\ddot{U}_H]$ od horní hrany plášťové trubky po terén								
jmen. světl. v	vnější $\varnothing$ d_a	tl. stěny s v mm dle T 2.0				$\ddot{U}_H = 0,80 \text{ m}$			$\ddot{U}_H = 1,20 \text{ m}$			$\ddot{U}_H = 1,60 \text{ m}$		
DN	v mm		tloušťka izolace			tloušťka izolace			tloušťka izolace			tloušťka izolace		
			S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *
20	26,9	2,6	90	110	125	10	---	---	---	---	---	---	---	---
25	33,7	3,2	90	110	125	15	12	10	10	---	---	---	---	---
32	42,4	3,2	110	125	140	15	13	12	10	---	---	---	---	---
40	48,3	3,2	110	125	140	17	15	14	12	10	---	---	---	---
50	60,3	3,2	125	140	160	21	19	17	14	13	11	11	10	---
65	76,1	3,2	140	160	180	24	21	19	16	14	13	12	11	10
80	88,9	3,2	160	180	200	27	24	22	18	16	15	14	12	11
100	114,3	3,6	200	225	250	31	28	25	21	19	17	16	14	13
125	139,7	3,6	225	250	280	34	31	27	23	21	19	18	16	14
150	168,3	4,0	250	280	315	41	36	32	28	25	22	21	19	17
200	219,1	4,5	315	355	400	47	41	37	32	28	25	24	22	19
250	273,0	5,0	400	450	500	50	44	40	34	31	28	26	23	21
300	323,9	5,6	450	500	560	58	52	47	40	36	32	31	28	25
350	355,6	5,6	500	560	630	57	51	45	40	35	31	30	27	24
400	406,4	6,3	560	630	710	64	57	85	45	40	46	35	31	35
450	457,2	6,3	630	710	800	65	73	65	45	51	45	34	39	35
500	508,0	6,3	710	800	900	80	71	55	56	50	44	44	39	34
600	610,0	7,1	800	900	1000	72	64	58	51	46	41	40	35	32

Rozměry teplonosné trubky			vnější průměr plášť. trubky D_a v mm			EKO – přirozené dilatační rameno při $[\ddot{U}_H]$ od horní hrany plášťové trubky po terén								
jmen. světl. v	vnější $\varnothing$ d_a	tl. stěny s v mm dle T 2.0				$\ddot{U}_H = 0,80 \text{ m}$			$\ddot{U}_H = 1,20 \text{ m}$			$\ddot{U}_H = 1,60 \text{ m}$		
DN	v mm		tloušťka izolace			tloušťka izolace			tloušťka izolace			tloušťka izolace		
			S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *
20	26,9	2,3	90	110	125	24	---	---	---	---	---	---	---	---
25	33,7	3,2	90	110	125	34	28	24	23	---	---	---	---	---
32	42,4	3,2	110	125	140	35	31	28	24	---	---	---	---	---
40	48,3	3,2	110	125	140	41	36	32	27	24	---	---	---	---
50	60,3	3,2	125	140	160	50	44	39	33	30	26	25	23	---
65	76,1	3,2	140	160	180	56	49	44	38	33	30	29	25	22
80	88,9	3,2	160	180	200	63	56	51	43	38	34	32	29	26
100	114,3	3,6	200	225	250	73	65	58	49	44	39	37	33	30
125	139,7	3,6	225	250	280	79	71	63	54	48	43	41	37	33
150	168,3	4,0	250	280	315	94	84	75	64	57	51	49	44	39
200	219,1	4,5	315	355	400	108	96	85	74	66	58	56	50	44
250	273,0	5,0	400	450	500	116	103	93	80	71	64	61	54	49
300	323,9	5,6	450	500	560	135	122	108	94	84	75	72	64	57
350	355,6	5,6	500	560	630	132	118	105	92	82	73	70	63	56
400	406,4	6,3	560	630	710	149	133	166	104	93	90	80	71	69
450	457,2	6,3	630	710	800	148	143	126	103	100	89	80	77	70
500	508,0	6,3	710	800	900	157	139	127	110	98	87	85	76	67
600	610,0	7,1	800	900	1000	167	149	134	119	106	95	92	82	74

S = standardní tloušťka izolace 1 x = 1 x zesílená tloušťka izolace 2 = 2 x zesílená tloušťka

POZOR: U průměrů plášťové trubky (*) napsaných kurzívou se jedná o zvláštní provedení. V případě potřeby se předem informujte o možnostech jejich dodání.

Při odlišných parametrech budou vzdálenosti v případě potřeby vypočítány firmou **isoplus**.

PROJEKTOVÁNÍ

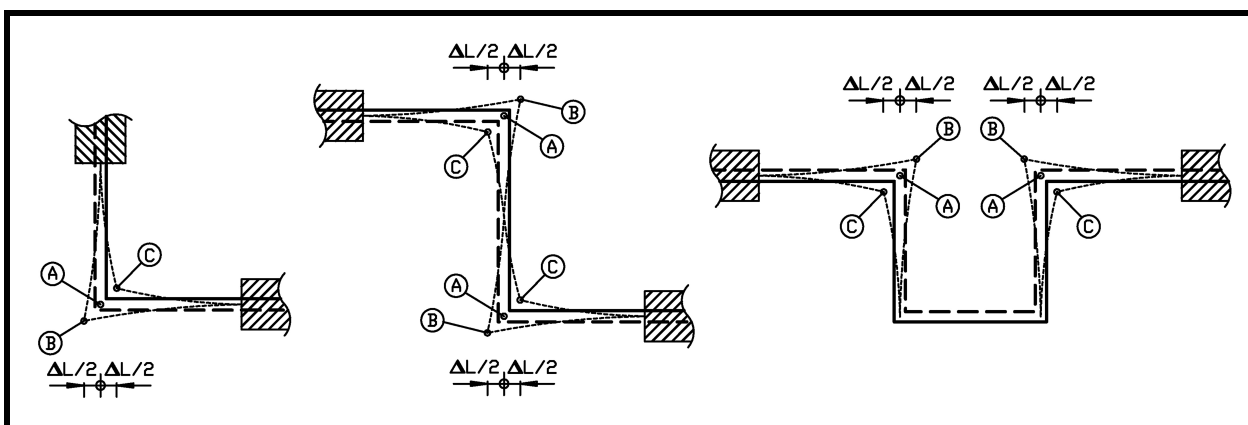
Předpětí dilatačních ramen, resp. dilatačních polštářů

Redukce délky kompenzátorů L, Z nebo U, jakož i redukce tloušťek dilatačních polštářů pomocí předpětí je známá technika používaná při stavbě potrubního vedení. Používá se zejména v oblastech s většími dimenzemi a speciálně v technologii „Provozní samopředpětí“, viz stranu K 2.3.

Používá se všude tam, kde musí být zachyceny velké změny délky nebo kde dilatační rameno nemůže na základě místních podmínek dosáhnout staticky vypočtené délky. V praxi se tohoto zmenšení může dosáhnout pomocí mechanického nebo tepelného předpětí. Přitom polštáře nemusí zachytit prvotní dilataci, pouze kompenzují zbytkový pohyb.

Technika redukce - mechanické předpětí dilatačních ramen

1. Dilatační polštáře se namontují v místech kompenzátorů L, Z nebo U v pozici bez pnutí. Poté se tento úsek zasype pískem a zeminou a zhutní.
2. Ve vzdálenosti délky trubkového kusu nebo délky doměrku před a za dilatačním polštářem se ponechá montážní výkop a zbylý výkop se také zasype a zhutní.

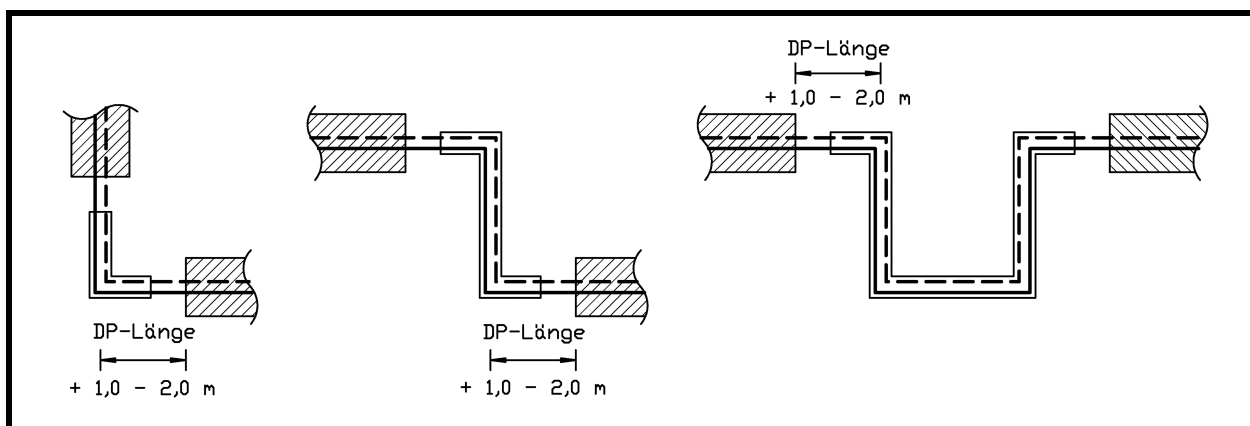


3. V místě svaru ve výkopu se zhotoví předpěťová mezera nebo se odřízne přepěťový ocelový kroužek, jehož délka odpovídá $\Delta L/2$. Tato hodnota mechanického předpětí $[m_v]$ je uvedena v kladečském plánu trasy.
4. Pomocí stahovacího přípravku se nyní bod **A** přitáhne k bodu **C** a potrubí se v této pozici svaří, provede se dodatečná izolace objímkové spojky a montážní výkop se zasype pískem a zeminou a zhutní se.
5. Tím je dilatační rameno předeprnuto o 50 %, resp. se dilatační polštář nachází v excentrické pozici.
6. Při ohřátí na statickou střední teplotu např. 70°C ($T_B = 130^\circ\text{C}$) se bod **C** přesune na místo bodu **A**. V této pozici se rameno nachází ve stavu bez pnutí, neboť došlo ke změně délky pouze o $\Delta L/2$.
7. Při dalším zvýšení teploty na maximální provozní teplotu $[T_B]$ např. 130°C dojde k tomu, že bod **A** se přesune na **B**, což zase odpovídá pouze $\Delta L/2$.

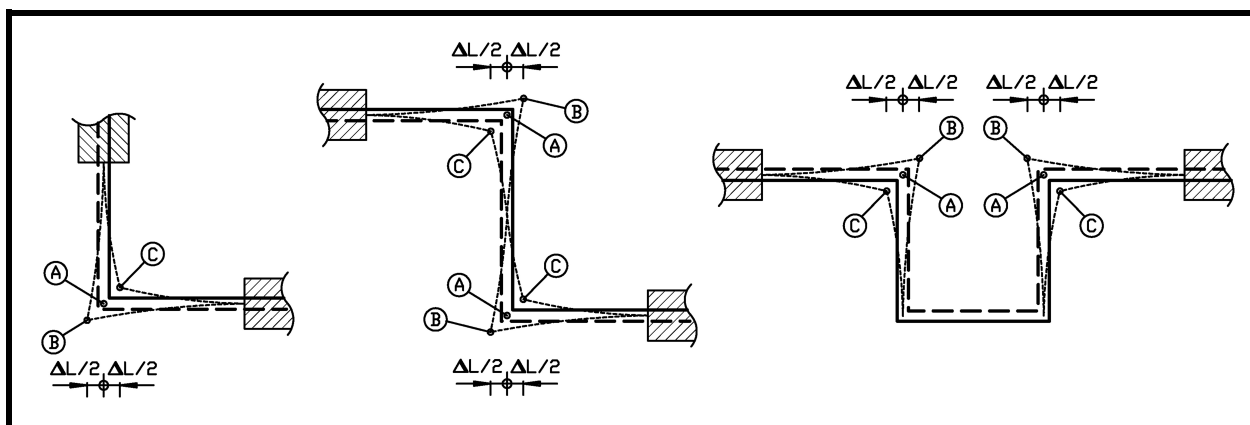
Technika redukce – tepelné předpětí dilatačních ramen

Na rozdíl od tepelného předpětí v otevřeném výkopu není u předpětí dilatačních ramen, popř. dilatačních polštářů zapotřebí žádný protokol.

1. Dilatační polštáře se montují u studené trasy v místech kompenzátorů L, Z nebo U v pozici bez pnutí a **tyto oblasti se na rozdíl od mechanického předpětí nezasypané ani pískem, ani zeminou a tedy ani nezhutní.**
2. Do vzdálenosti cca 1-2 m před dilatačními polštáři se nyní musí kompletní trasa KMR dle kapitoly Montáž, strana **M 2.3** a **M 2.4**, zasypat pískem, zeminou a zhutnit. Nezasypané úseky jsou uvedeny v kladečském plánu trasy, popř. plánu předehevu.



3. Poté se síť uvede do provozu nebo se pomocí předpěťového agregátu najede na skutečnou teplotu předpětí $[V_T]$ např. 75°C ($T_B = 140^\circ\text{C}$).
4. Při dosažení V_T se začne se zhotovením pískového lože v místech ještě otevřených úseků s polštáři, poté se tyto výkopy zasypou zeminou a zhutní. **Přitom je zapotřebí, aby teplota předpětí byla konstantně udržována.** Dilatační rameno se nyní nachází ve střední dilatační pozici **A**, ve stavu při $[V_T]$ např. 75°C bez pnutí.
5. Prvotní dilatace (ohřev na $[V_T]$ např. 75°C) tedy nebyla kompenzována dilatačním polštářem a dilatační rameno se tím předeplulo o 50 %.
6. Při ohřátí na maximální provozní teplotu $[T_B]$ např. 140°C se bod **A** přesune na místo bodu **B** o $\Delta L/2$, popř. při ochlazení na 10°C na místo bodu **C** také pouze o $\Delta L/2$.



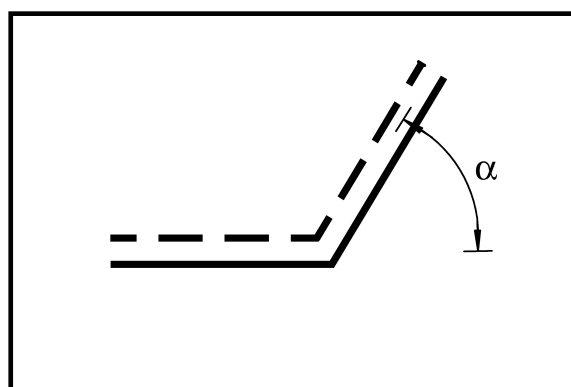
PROJEKTOVÁNÍ

Zakřivení trasy

I přes pečlivé projektování není v zásadě možné realizovat potrubní trasu pomocí staticky nejvýhodnějších trasovacích prvků, tedy ohybu 90°. Často vznikají během stavební fáze překážky, které způsobí nepatrné vybočení a vyžadují technicky bezvadné, jakož i levné řešení. Příčné posunutí, ke kterému dojde na základě malých úhlů vybočení, může být pouze do určité míry kompenzováno dilatačními polštáři. V závislosti na velikosti doplňkového úhlu $[\alpha]$ je k dispozici více možných řešení.

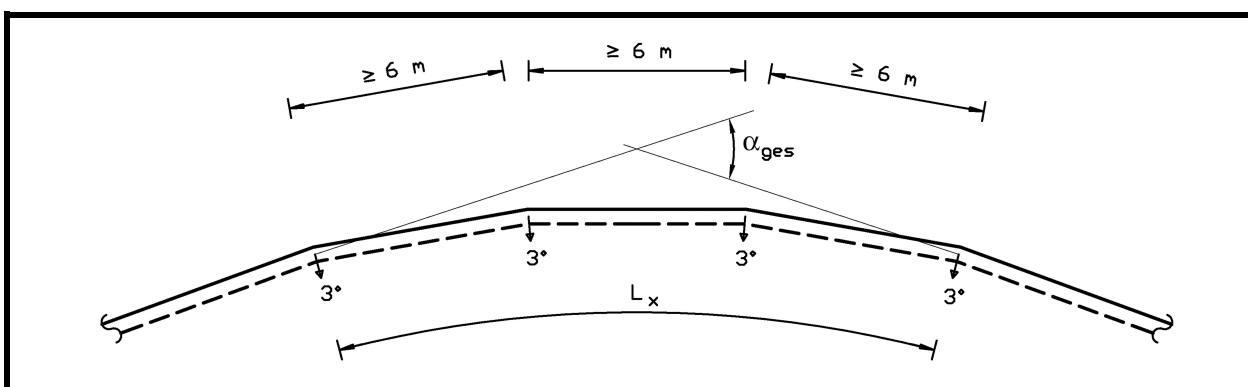
Ohyb se zvláštním úhlem

Takové ohyby lze použít pouze velmi podmíněně, neboť např. ohyb 60° již vybočí o hodnotu 1,73 krát větší než je hodnota axiální změny délky, ohyb 45° o hodnotu 2,35krát větší, srovnej stranu **K 3.3**. Proto se úhly $\leq 30^\circ$ hodí pouze omezeně pro kompenzaci dilatace. Zásadně musí být všechny ohyby se zvláštním úhlem staticky přezkoušeny projektantem a povoleny. Všechny ohyby s doplňkovým úhlem $[\alpha]$ mezi 5° a 90° v krocích po 5° je možné dílensky vyrobit.



Zkosené řezy

Vybočení v místě svaru jsou přípustná u všech variant dimenzování kromě technologie „Provozního samopředpětí“, viz stranu **K 2.3**, pod úhlem do 3° a s minimální vzdáleností délky trubky 6 m bez omezení a bez statického přezkoušení. V nepohyblivé oblasti trasy, která je tepelně předepnutá v otevřeném výkopu, mohou být provedena do maximálně 5°. V místě vybočení se špičkové napětí zcela koncentruje na svar. Proto zkosené řezy představují prvek, který je maximálně zatížený.

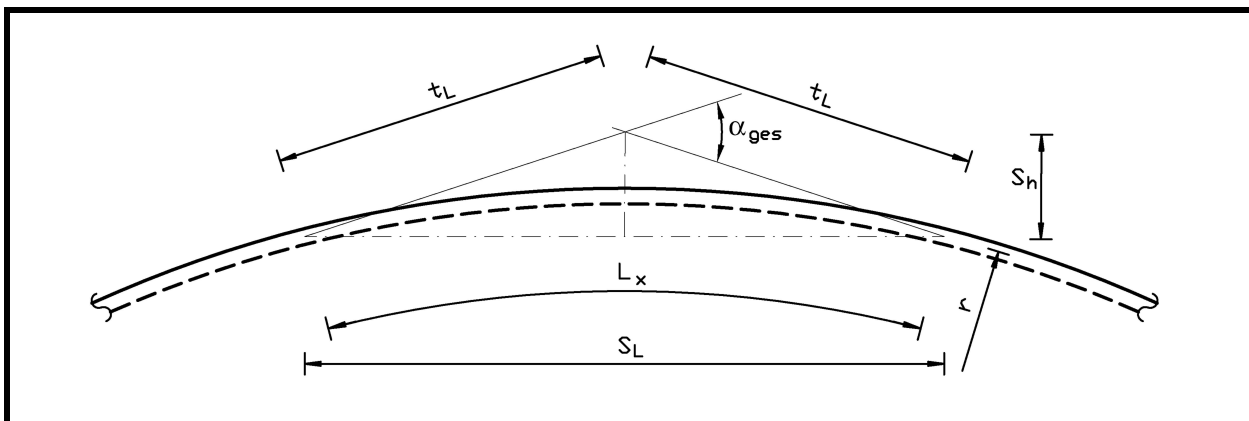


Maximálně přípustný úhel vybočení je dodatečně omezen používanou technikou provádění PEHD objímek. Pomocí přesuvné objímky není např. možné provést vybočení větší než 3°. Počet potřebných 6 metrových trubek, resp. délka $[L_x]$ závisí na celkovém úhlu vychýlení $[\alpha_{ges}]$.

$$L_x = \left(\frac{\alpha_{ges}}{3} - 1 \right) \cdot 6 = 2 \cdot \alpha_{ges} - 6 \quad [\text{m}] \quad (27)$$

Elastické ohýbání

Tato technika je přípustná neomezeně a bez statického přezkoušení. Elasticky zakřivené úseky se ze statického hlediska považují za rovné trubkové kusy. V úsecích se změnou směru se trubkové kusy svaří mimo výkop. Poté se potrubí uloží do výkopu a přitom se elasticky ohne. Z důvodů rozdílných momentů odporu jsou minimální poloměry ohybu $[r]$ závislé na průměru teplotnosné trubky $[d_a]$. Proto poloměry nesmí být menší než jejich uvedené hodnoty.



Přípustné poloměry ohybu $[r]$ a úhly ohybu $[\alpha]$ v závislosti na průměrech ocelové trubky $[d_a]$:

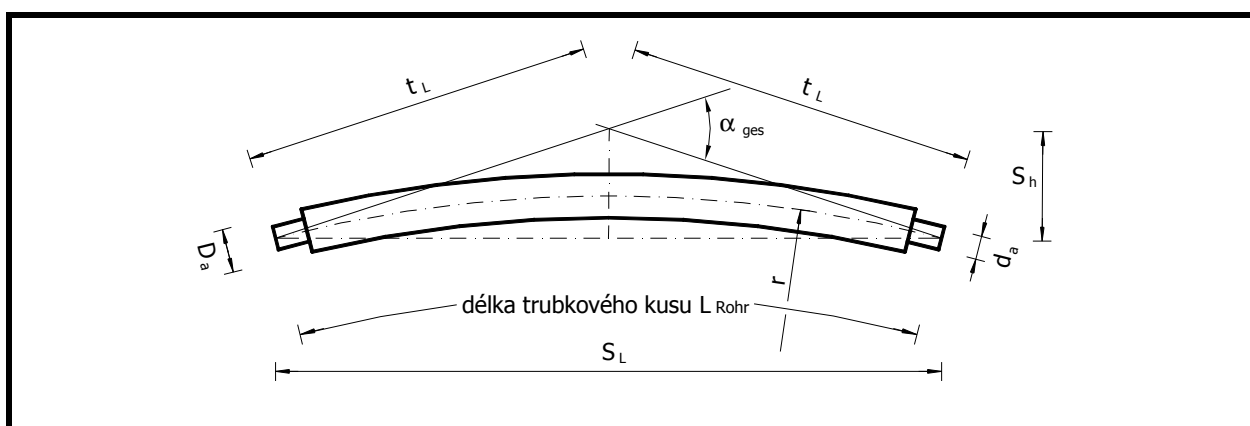
Rozměry teplotnosné trubky		Max. přípust. úhel ohybu		Minim. poloměr ohybu r v m	Kruhová úseč při $r_{\min}$ a 12,00 m		
Jmen. světlost v DN	Vnější průměr d_a v mm	na 6,00 m trubk. kusu α v °	na 12,00 m trubk. kusu α v °		Délka sečny S_L v m	Výška úseče S_h v m	Délka tečny t_L v m
20	26,9	19	nedodává se	18,09	5,97 (6 m)	0,25 (6 m)	3,03 (6 m)
25	33,7	15	nedodává se	22,92	5,98 (6 m)	0,20 (6 m)	3,02 (6 m)
32	42,4	13	26	26,44	11,90	0,68	6,11
40	48,3	11	22	31,26	11,93	0,57	6,08
50	60,3	10	20	34,38	11,94	0,52	6,06
65	76,1	8	16	42,97	11,96	0,42	6,04
80	88,9	7	14	49,11	11,97	0,37	6,03
100	114,3	5	10	68,76	11,98	0,26	6,02
125	139,7	4	8	85,94	11,99	0,21	6,01
150	168,3	3	6	114,59	11,99	0,16	6,01
200	219,1	2,5	5	137,51	12,00	0,13	6,00
250	273,0	2,5	5	137,51	12,00	0,13	6,00
300	323,9	nedodává se	4	171,89	12,00	0,11	6,00
350	355,6	nedodává se	3	229,18	12,00	0,08	6,00
400	406,4	nedodává se	3	229,18	12,00	0,08	6,00
450	457,2	nedodává se	3	229,18	12,00	0,08	6,00
500	508,0	nedodává se	3	229,18	12,00	0,08	6,00

Výpočet počtu kusů $[n]$, poloměru ohybu $[r]$, úhlů ohybu $[\alpha]$ na trubkový kus, jakož i rozměry kruhové úseče $[L_x]$, $[S_L]$, $[S_h]$ a $[t_L]$ najdete na straně **K 6.3**.

PROJEKTOVÁNÍ

Táhlý oblouk

Dílsensky vyrobené táhlé oblouky se hodí pro všechny dimenze. Ohýbáním mohou být individuálně přizpůsobeny různému vedení trasy, ať už ve tvaru L, Z a U nebo sestupnému či vzestupnému vedení trasy. Protože ze statického hlediska nevznikají v táhlých obloucích vyšší napětí než u rovného trubkového kusu, jsou ideálním stavebním dílem pro zakřivení trasy. Aby se zabránilo vybočení, slouží zemina v úseku s táhlým obloukem jako opěrné, popř. podpěrné uložení. Proto je třeba při pozdějším paralelním odkrytí tohoto potrubí dávat pozor a jednat opatrně, viz stranu **K 9.0**.



Přípustné poloměry ohybu [r] a úhly ohybu [α] v závislosti na průměrech ocelové trubky [d_a]:

Rozměry teplotnosné trubky		Max. přípust. úhel ohybu		Minim. poloměr ohybu r v m	Kruhovú úseč při $r_{\min}$ a 12,00 m		
Jmen. světlost v DN	Vnější průměr d_a v mm	na 6,00 m trubk. kusu α v °	na 12,00 m trubk. kusu α v °		Délka sečny S_L v m	Výška úseče S_h v m	Délka tečny t_L v m
20	26,9	41	nedodává se	8,39	5,87 (6 m)	0,53 (6 m)	3,14 (6 m)
25	33,7	27	nedodává se	12,73	5,95 (6 m)	0,35 (6 m)	3,06 (6 m)
32	42,4	26	52	13,22	11,59	1,34	6,45
40	48,3	22	44	15,63	11,71	1,14	6,31
50	60,3	20	40	17,19	11,76	1,04	6,26
65	76,1	18	36	19,10	11,80	0,94	6,21
80	88,9	17	34	20,22	11,83	0,88	6,18
100	114,3	16	32	21,49	11,85	0,83	6,16
125	139,7	13	26	26,44	11,90	0,68	6,11
150	168,3	11	22	31,25	11,93	0,57	6,08
200	219,1	9	18	38,20	11,95	0,47	6,05
250	273,0	9	18	38,20	11,95	0,47	6,05
300	323,9	nedodává se	15	45,84	11,97	0,39	6,04
350	355,6	nedodává se	15	45,84	11,97	0,39	6,04
400	406,4	nedodává se	8	85,95	11,99	0,21	6,01
450	457,2	nedodává se	8	85,95	11,99	0,21	6,01
500	508,0	nedodává se	8	85,95	11,99	0,21	6,01

Pro výrobu je třeba uvést úhel [α], poloměr [r] a směr ohybu vlevo nebo vpravo (ve směru trasy od zdroje ke spotřebiči). Výpočet počtu kusů [n], poloměru ohybu [r], úhlů ohybu [α] na trubkový kus, jakož i rozměry kruhové úseče [L_x], [S_L], [S_h] a [t_L] najdete na straně **K 6.3**.

Výpočet táhlého oblouku + elasticky ohýbané úseky

Pomocí doplňkového úhlu $[\alpha_{ges}]$ se vypočítá délka oblouku $[L_x]$. Úhel $[\alpha_{ges}]$ zpravidla vyplývá z trasových údajů investora, popř. provozovatele. Počet $[n]$ trubek se zjistí následovně:

příklad DN 125 á 12 m:

$$n = \frac{\alpha_{ges}}{\alpha_{max}} \quad [-] \quad (28)$$

$$n = \frac{70}{27} = 2,59 \approx 3 \text{ trubkové kusy}$$

délka oblouku $[L_x]$ dle

$$L_x = n \cdot L_{Rohr} \quad [m] \quad (29)$$

$$L_x = 3 \cdot 12 \text{ m} = 36 \text{ m}$$

nebo

$$L_x = \frac{\alpha_{ges} \cdot \pi \cdot r}{180} \quad [m] \quad (30)$$

$$L_x = \frac{70 \cdot \pi \cdot 29,48}{180} = 36 \text{ m}$$

poloměr oblouku $[r]$ dle

$$r = \frac{L_x \cdot 180}{\pi \cdot \alpha_{ges}} \quad [m] \quad (31)$$

$$\pi = 3,1416 \quad [-]$$

$$r = \frac{36 \cdot 180}{\pi \cdot 70} = 29,47 \text{ m}$$

délka tečny $[t_L]$ dle

$$t_L = \frac{L_x \cdot 57,3}{\alpha_{ges}} \cdot \tan \frac{\alpha_{ges}}{2} \quad [m] \quad (32)$$

$$t_L = \frac{36 \cdot 57,3}{70} \cdot \tan \frac{70}{2} = 20,63 \text{ m}$$

úhel $[\alpha]$ pro jeden trubkový kus dle

$$57,3 = \text{konstanta} \quad [-]$$

$$\alpha_{Stange} = \frac{\alpha_{ges}}{n} \quad [^\circ] \quad (33)$$

$$\alpha_{Stange} = \frac{70}{3} = 23,33^\circ \text{ pro trubk. kus}$$

délka sečny $[s_L]$ dle

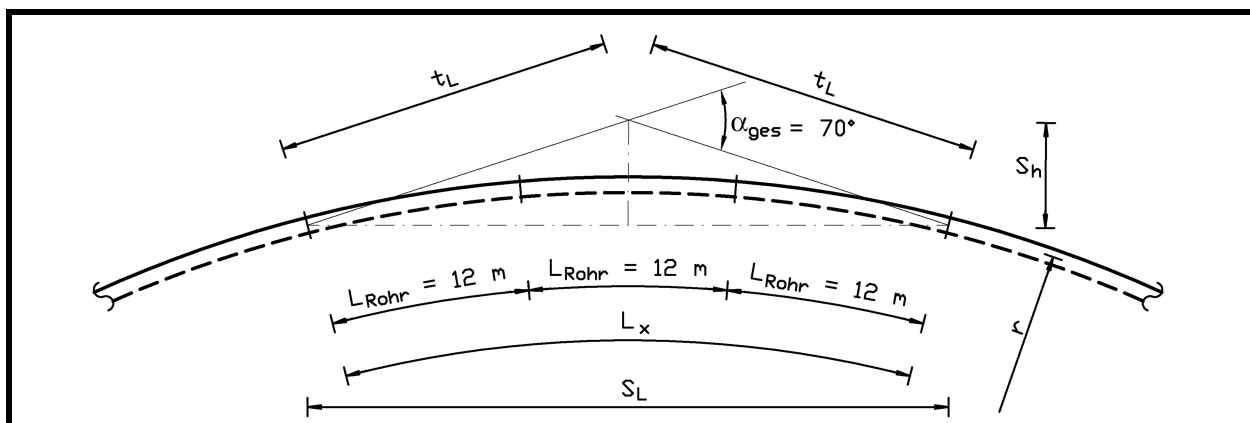
$$s_L = 2 \cdot r \cdot \sin \frac{\alpha_{ges}}{2} \quad [m] \quad (34)$$

$$s_L = 2 \cdot 29,47 \cdot \sin \frac{70}{2} = 33,80 \text{ m}$$

jakož i výška úseče $[s_h]$ dle

$$s_h = r - \sqrt{r^2 - \frac{s_L^2}{4}} \quad [m] \quad (35)$$

$$s_h = 29,47 - \sqrt{(29,47)^2 - \frac{33,80^2}{4}} = 5,33 \text{ m}$$



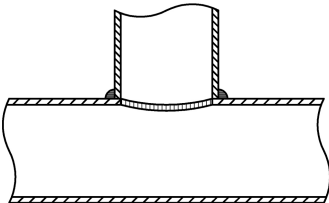
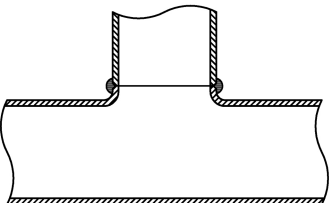
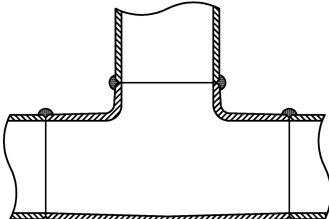
PROJEKTOVÁNÍ

Odbočky

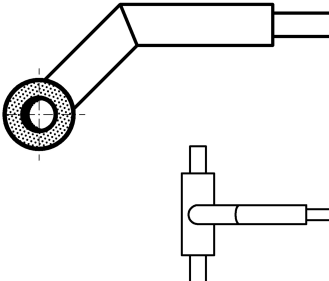
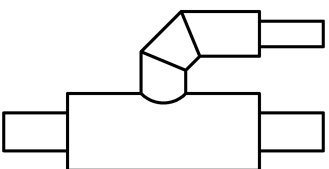
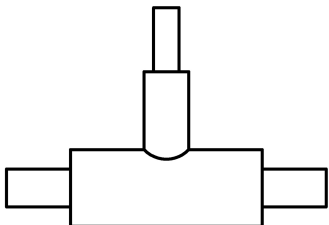
Pro domovní přípojky a pro rozvětvené sítě se do průchozího vedení montují T-kusy. Podle průběhu terénu a nutnosti vypouštění a odvodušnění mohou být odbočky montovány s odbočením nahoru nebo dolů. Přitom je třeba dbát na to, že se hloubka výkopu mění dle kapitoly Montáž, strana **M 2.1.1** a tím se mění i výška nadloží.

Protože odbočky představují ve sdružené konstrukci KMR hodně namáhané prvky, je třeba rozlišovat podle délky odbočení, který tvar odbočky bude zvolen. U každé T-odbočky 45° a paralelní odbočky je možné provést pomocí nejmodernějšího softwaru iterativní statický výpočet. U odboček se stejnou jmenovitou světlostí jako je průchozí vedení nebo o jednu dimenzi menší, jsou odbočky vyráběny standardně s T-kusy dle DIN 2615.

U dílensky prefabrikovaných odboček sdružené konstrukce se rozlišuje mezi následujícími třemi druhy provedení:

Navařená	Vyhrdlená	DIN 2615
 Odbočné vedení navařené natupo koutovým svarem na základní trubku	 Základní trubka je vyhrdlená a odbočka je navařená kruhovým svarem	 Navařovací T-kus, popř. T-výkovek jako stavební díl navařený dle DIN 2615

Zároveň se rozlišuje mezi třemi stavebními tvary:

T-kus 45°	Paralelní odbočka	Kolmá odbočka
 Odbočující v úhlu 90° s etážovým úhlem 45°	 Odbočující nahoru s ohybem 90° do paralelního směru	 Odbočující kolmo k základní trubce

U firmy **isoplus** jsou všechny odbočky ocelové trubky v základní trubce principiálně provedeny jako vyhrdlené odbočky. Odbočky se stejnou dimenzí nebo o jeden stupeň jmenovité světlosti menší jsou zásadně zhotoveny s navařenými T-kusy dle DIN 2615 T 1, v závislosti na tloušťce stěny pokračujícího vedení dle řady 2 nebo 3.

Odbočky ve vyhrdleném provedení nebo s T-kusy dle DIN nabízejí jednoznačné bezpečnostní rezervy v rámci statického výpočtu potrubí. Dle AGFW FW 401, část 10, platí pro všechna tři provedení následující součinitele zvýšení napětí [i]:

i	Navařené provedení		Vyhrdlené provedení		DIN 2615	
	průchozí ved.	odboč. ved.	průchozí ved.	odboč. ved.	průchozí ved.	odboč. ved.
i_N	$k \cdot 1,2$	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 0,8$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,4$
i_M	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,6$	$k \cdot 0,4$
i_{Mx}	$k \cdot 2,0$	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 1,4$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 1,2$	$k \cdot 0,4$
i_Q	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,6$	$k \cdot 0,4$
$i_\varnothing$	$k \cdot 1,3$	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 0,9$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,775$	$k \cdot 0,4$
$i_{\varnothing\Sigma}$	2,300		1,600		1,175	
%dif.	100 %		- 30,5 %		- 49 %	

N = normálová síla

M = ohybový moment

M_x = krouticí moment

Q = příčná síla

$\varnothing$ = průměr

$\varnothing\Sigma$ = souhrn průchozí a odboč. vedení

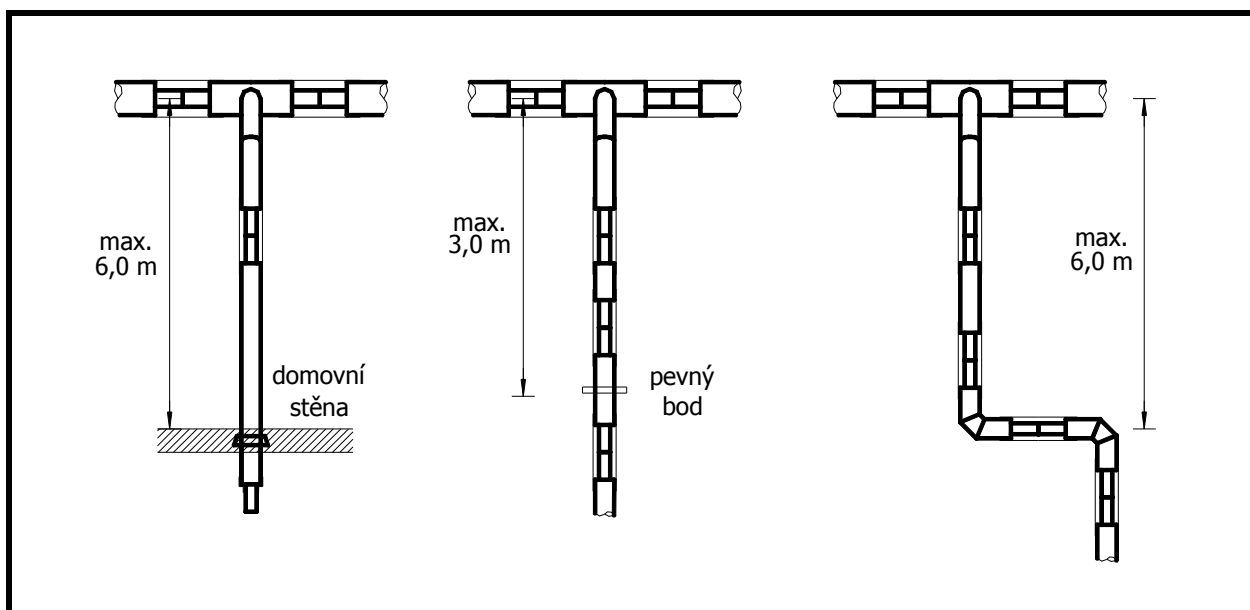
%Diff. = procentuální zlepšení

k = únavová hodnota dle AGFW

To znamená, že vyhrdlený T-kus je o 30 % a T-kus dle DIN 2615 o 49 % staticky výhodnější než navařený T-kus.

T-kus 45°

Tyto představují nejjednodušší a nejlevnější variantu pro připojení domovních přípojek do maximální délky 6,00 metrů, v závislosti na poměru dimenzí mezi průchozím a odbočným vedením. Na základě chybějící možnosti kompenzace v místě tvarovky 45°, resp. ohybu musí být nezávisle na provozní teplotě u větších odbočných délek naplánován po maximálně 3,00 m pevný bod nebo po 6,00 m ohyb. Stavební rozměry T-kusu 45° viz stranu **D 3.1**.

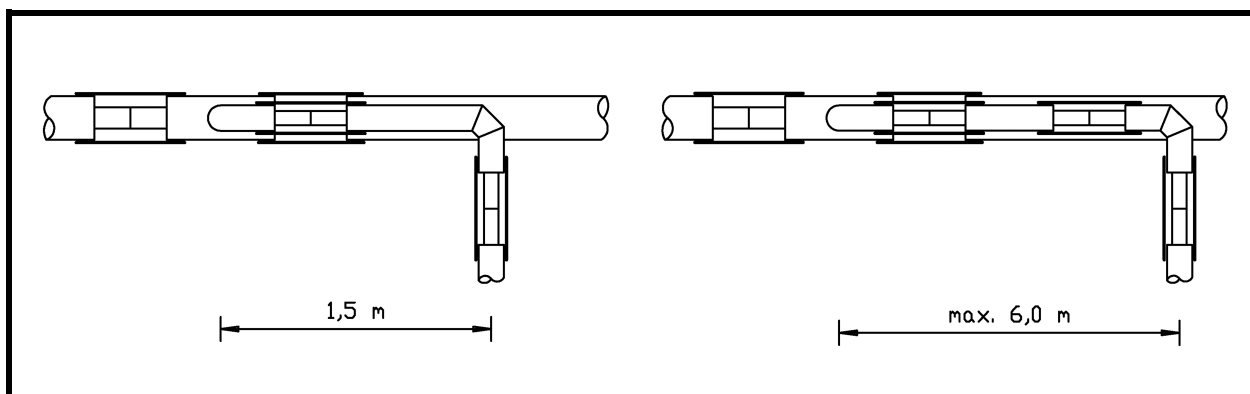


PROJEKTOVÁNÍ

Paralelní odbočka

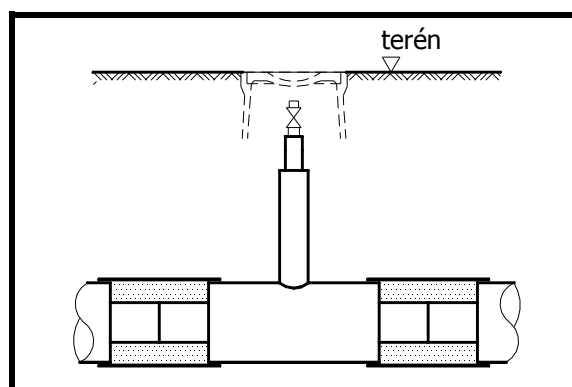
Jsou-li domovní přípojky delší nebo odbočuje-li nějaké vedení z hlavní trasy, pak je třeba namontovat paralelní odbočky, protože se u nich automaticky vytváří ohyb L, který chrání T-kus před dilatačním pohybem a souhrnem sil a momentů. Paralelní trasa nemusí být ve většině případů delší než přibližně 1,50 m. Pokud musí být u "velkých dimenzí" paralelní délka přeci jenom větší, pak musí být omezena v závislosti na poměru dimenzí mezi průchozím a odbočným vedením na maximálně 6,00 m.

V praxi se osvědčila realizace paralelního ramena dlouhého 1,50 m pomocí hotového ohybu 90° dlouhého 1,00 m x 1,00 m. Výhodou je, že se v paralelní trase musí napláňovat pouze jeden svar a jedna objímková spojka. Objímka může být před svařením médiové trubky nasunuta na 1,00 m dlouhé rameno ohybu. Stavební rozměry paralelní odbočky viz stranu **D 3.2**.



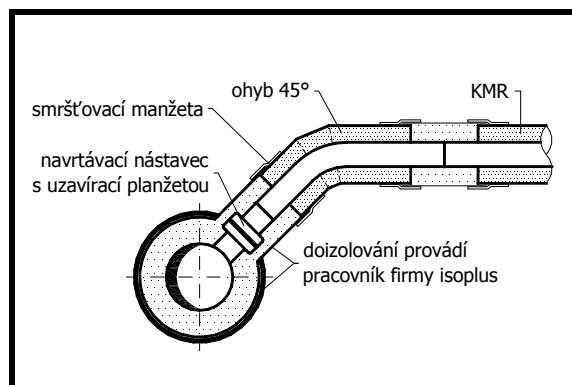
Kolmá odbočka

Může být použita jako T-kus pro vypouštění nebo/a odvodu. Nevýhodou však je, že na rozdíl od dílu VYP./ODV. viz stranu **D 6.0**, kolmá odbočka neobsahuje předizolovaný kulový kohout. Na základě chybějící odbočné trasy jsou kolmé odbočky staticky zanedbatelné. Pouze montáž v oblastech dilatačního ramene kompenzátoru L, Z nebo U není kvůli vznikajícímu ohybovému napětí přípustná.



Navrtávaná odbočka

Velké množství domovních přípojek se dodatečně zapojuje do již existujících hlavních tras nacházejících se v provozu. Technika navrtávání to umožňuje, aniž by muselo být přerušeno zásobování teplem. Tvary odboček jsou zvoleny analogově k T-kusu 45° nebo paralelní odbočce. Staticky je navrtání třeba považovat za navařený T-kus. Navrtávku, mimo svářečských prací, a dodatečnou izolaci odboček, provádí pracovník firmy **isoplus**.



Navrtávací nástavec viz stranu **P 3.0**, montáž viz stranu **M 6.0**.

Pevný bod

Při uložení potrubí KMR v zemině vznikají přibližně v polovině každého úseku přirozené pevné body [NFP] viz stranu **K 2.2**. Proto jsou konstrukční pevné body zpravidla zbytečné. Na základě optimálního projektování je skoro vždy možné se pevných bodů vzdát. Protože v místech pevných bodů je plášťová trubka přerušena, jsou méně odolné vůči poškození než všechny jiné stavební díly trasy.

Při umístění pevného bodu se přípustná délka ukládání [$L_{\max}$] redukuje na L_{zul} , popř. $L_{\max}/2$. Protože jsou pevné body vystaveny velkým silám, mělo by se od nich v zásadě upustit. Pevné body od DN 350, zvláště ve spojení s technologií „Provozního samopředpětí“ viz stranu **K 2.3**, jsou na základě neúměrně velkých sil prakticky zřídka kdy ovladatelné.

Za následujících výjimečných podmínek je možné napláňovat pevné body:

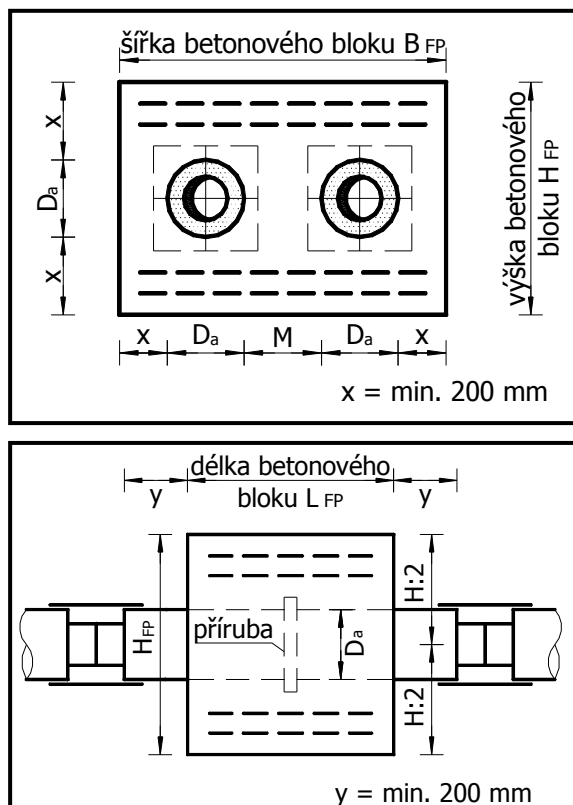
- ⇒ K určení směru dilatace, např. před dilatačními rameny, které jsou po stavebně technické stránce příliš krátká, nebo v místech ohybů s malými úhly doplňkového úhlu $\alpha < 30^\circ$.
- ⇒ K zabezpečení stěnových prostupů, které by byly vystaveny příliš velké axiální dilataci. Stěny stavebních objektů, popř. domů nejsou vhodné pro zakotvení pevného bodu. Mezi stěnou a betonovým blokem se přitom musí dodržet minimální světlost 2,00 m.
- ⇒ U obtížného, např. extrémně se svažujícího terénu, aby se zabránilo sesunutí trasy. Zde je třeba dodatečně zohlednit spád svahu a vlastní hmotnost potrubního vedení, tzn. že tyto síly musí být sečteny F_{FP} .
- ⇒ K upevnění parních potrubních tras ve středu dílčích úseků a před vstupem do budovy, aby se zabránilo pohybu potrubí na základě strmých rozdílů teplot.
- ⇒ Na přechodech rozličných technik ukládání jako např. mezi tepelným předpětím v otevřeném výkopu a systémem EKO nebo jinými druhy ukládání, viz stranu **K 9.1**.

Jestliže vzhledem ke vznikajícím silám nejsou na čelní plochy betonového bloku kladeny žádné požadavky, pak se použijí minimální rozměry betonového bloku. Minimální šířka [$B_{\min}$] se vypočítá následovně:

$$B_{\min} = n_R \cdot D_a + 2 \cdot x + (n_R - 1) \cdot M \quad [m] \quad (36)$$

(příkl. 36) ⇒ $B_{\min} = 2 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,20 + (2 - 1) \cdot 0,20 \quad [m] \quad \text{výsledek: } B_{\min} = 1,10 \text{ m}$

D_a = průměr plášťové trubky [m]	x = min. přesah betonu, popř. pouzdra [m]
n_R = počet potrubních vedení [-]	M = minimální montážní vzdálenost [m]
např. přírodní a vratné potrubí = 2	viz kapitolu Montáž, strana M 2.2



PROJEKTOVÁNÍ

Pro minimální výšku $[H_{\min}]$ platí následující jednoduchá rovnice. U rozdílných průměrů plášťové trubky $[D_a]$ se vezme větší rozměr.

$$H_{\min} = D_a + 2 \cdot x \text{ [m]} \quad (37)$$

(příkl. 37) $\Rightarrow H_{\min} = 0,25 + 2 \cdot 0,20 \text{ [m]}$ výsledek: $H_{\min} = 0,65 \text{ m}$

Minimální rozměry betonového bloku vypočítané na základě (36) a (37) je nezávisle na údajích specifických pro projekt vždy nutné dodržet. Pro délku betonového bloku $[L_{\min}]$ platí minimální rozměry uvedené v tabulce. Tato tabulka platí pro dvě trubky s jedním průměrem plášťové trubky $[D_a]$ standardní tloušťky izolace.

Teplonosná trubka		vnější Ø plášťové trubky D_a v mm	minimální montážní vzdálenost M v mm	minimální rozměry velikosti betonového bloku				výstužné železo	
jmen. světlost v DN	vnější Ø d_a v mm			šířka $B_{\min}$ v mm	výška $H_{\min}$ v mm	délka $L_{\min}$ v mm	čelní plocha $A_{FP\min}$ v mm	počet n_{Fe} v kusech	průměr $\varnothing_{Fe}$ v mm
20	26,9	90	150	0,73	0,49	0,80	0,36	2	8
25	33,7	90	150	0,73	0,49	0,80	0,36	2	8
32	42,4	110	150	0,77	0,51	0,80	0,40	2	8
40	48,3	110	150	0,77	0,51	0,80	0,40	2	8
50	60,3	125	150	0,80	0,53	0,80	0,43	2	8
65	76,1	140	150	0,88	0,54	0,80	0,48	2	8
80	88,9	160	200	0,92	0,56	0,80	0,52	2	8
100	114,3	200	200	1,00	0,60	0,80	0,60	2	8
125	139,7	225	200	1,05	0,63	0,80	0,67	4	8
150	168,3	250	200	1,10	0,65	0,80	0,72	4	8
200	219,1	315	300	1,33	0,72	1,00	0,96	6	10
250	273,0	400	400	1,50	0,80	1,00	1,20	6	10
300	323,9	450	400	1,70	0,85	1,00	1,45	6	10

Stavební díl Pevný bod viz stranu **D 4.0**, montáž viz stranu **M 3.6**.

Síla působící na pevný bod při ukládání za studena

U všech třech technik ukládání za studena (Ukládání za studena, Konvenční ukládání a Provozní samopředpětí), srovnej se stranou **K 1.1**, je skutečně účinná síla působící na pevný bod $[F_{FPKV}]$ závislá na délce úseku trasy $[L_x]$ a třecí síle $[F_R]$, viz stranu **K 3.0** $\Rightarrow$ (14).

$$F_{FPKV} = L_x \cdot F'_R \cdot n_R \cdot f_\mu \text{ [kN]} \quad (38)$$

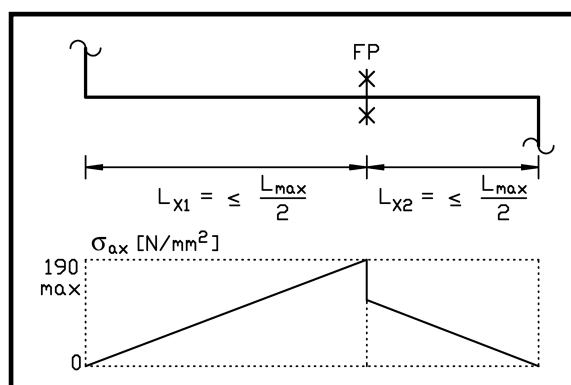
$$F_{FPKV} = 50 \cdot 4,194 \cdot 2 \cdot 0,85 \text{ [kN]} \quad (\text{příkl. 38})$$

$$\text{výsledek: } F_{FPKV} = 356,49 \text{ kN} \quad (\text{příkl. 38})$$

n_R = počet potrubních vedení [-]

f_μ = součinitel snížení (0,85) pro hodnotu tření $[\mu]$ mezi betonem a zeminou při zohlednění hmotnosti bloku

U mezilehlých pevných bodů se při výpočtu vychází z výsledného rozdílu délek mezi L_{x1} a L_{x2} . Co se týká třecí síly $[F_R]$ v závislosti na $\ddot{U}_H$ viz stranu **K 8.2**.



Třecí síla F'_R v kN/m

Rozměry teplonosné trubky			vnější průměr plášťové trubky D _a v mm			F' _R při výšce nadloží [Ü _H] od horní hrany plášť. trubky (MR) k terénu								
jmen. světł. v	vnější Ø d _a	tloušťka stěny s v mm dle T 2.0				ÜH = 0,80 m			ÜH = 1,20 m			ÜH = 1,60 m		
DN	v mm	T 2.0	tloušťka izolace			tloušťka izolace			tloušťka izolace			tloušťka izolace		
			S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *
20	26,9	2,6	90	110	125	1,33	1,64	1,88	1,95	2,41	2,75	2,58	3,17	3,62
25	33,7	3,2	90	110	125	1,33	1,65	1,89	1,96	2,41	2,75	2,58	3,17	3,62
32	42,4	3,2	110	125	140	1,65	1,89	2,14	2,41	2,76	3,11	3,18	3,63	4,08
40	48,3	3,2	110	125	140	1,65	1,89	2,14	2,42	2,76	3,11	3,18	3,63	4,08
50	60,3	3,2	125	140	160	1,90	2,15	2,48	2,77	3,12	3,59	3,64	4,09	4,70
65	76,1	3,2	140	160	180	2,16	2,49	2,83	3,13	3,60	4,07	4,10	4,71	5,32
80	88,9	3,2	160	180	200	2,50	2,84	3,19	3,61	4,09	4,57	4,72	5,33	5,96
100	114,3	3,6	200	225	250	3,21	3,65	4,11	4,60	5,21	5,84	5,99	6,77	7,58
125	139,7	3,6	225	250	280	3,68	4,13	4,69	5,24	5,87	6,64	6,80	7,60	8,58
150	168,3	4,0	250	280	315	4,19	4,73	5,41	5,91	6,67	7,59	7,64	8,62	9,78
200	219,1	4,5	315	355	400	5,49	6,29	7,22	7,67	8,75	9,99	9,86	11,21	12,77
250	273,0	5,0	400	450	500	7,33	8,40	9,53	10,10	11,53	13,00	12,88	14,65	16,47
300	323,9	5,6	450	500	560	8,53	9,65	11,06	11,65	13,12	14,95	14,77	16,59	18,83

S = standardní tloušťka izolace 1 x = 1 x zesílená tloušťka izolace 2 x = 2 x zesílená tloušťka izolace *

POZOR: U průměrů plášťových trubek (*) napsaných kurzívou se jedná o zvláštní provedení, v případě potřeby se předem informujte o možnostech dodání.

Hodnoty uvedené v tabulce se zakládají na směrnicih AGFW FW 401-část 10 a platí pro zeminy se specifickou hmotností 19 kN/m³, vnitřním úhlem tření půdy [φ] 32,5°, pro černé teplonosné trubky, materiál ocel St 37.0, W-B nebo S (svařovaná nebo bezešvá), č. 1.0254, tloušťky stěn dle kapitoly Trubky, strana T 2.0. Pro jiné $\ddot{U}_H$ se hodnota F'_R musí interpolovat, případně ji vypočítá firma **isoplus**.

Čelní plocha betonového bloku

Síla působící na pevný bod [F_{FPKV}] musí být přenesena přes čelní plochu [A_{FP}] betonového bloku na zeminu, popř. písek. Pro ztuhnutý nevázný středně zrnitý až hrubozrný písek (třída NS 0/2 dle DIN 4226) platí jako přípustná pevnost v tlaku [σ_E] = 150 kN/m². Čelní plocha [A_{FP}] se proto se zřetelem na plochu plášťové trubky vypočítá následovně:

$$A_{FP} = \frac{F_{FPKV}}{\sigma_E} + \frac{D_a^2}{4} \cdot \pi \cdot n_R \quad [m^2] \quad (39)$$

$$A_{FP} = \frac{356,49}{150} + \frac{0,25^2}{4} \cdot 3,1416 \cdot 2 \quad [m^2] \quad (\text{příkl. 39})$$

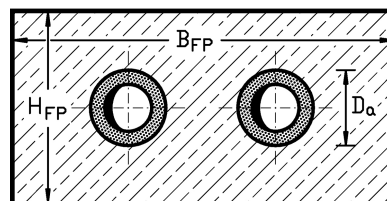
$$\text{výsledek: } A_{FP} = 2,38 + 0,10 = 2,48 \text{ m}^2 \quad (\text{příkl. 39})$$

D_a = průměr plášťové trubky [m] $\pi = 3,1416$ [-] n_R = počet potrubních vedení [-]

Šířka [B] a výška [H] betonového bloku se vypočítají se zřetelem na minimální rozměry dle strany K 8.1, následovně.

$$B_{FP} = \frac{A_{FP}}{H_{\min}} \quad [m] \quad (40)$$

(příkl. 40) $\Rightarrow$ $B_{FP} = 2,48 : 0,65$ [m] výsledek: $B_{FP} = 3,82$ m
nebo: $\Rightarrow$ $B \cdot H = \text{např. } 2,50 \text{ m} \cdot 1,00 \text{ m}$



PROJEKTOVÁNÍ

Síla působící na pevný bod při ukládání za tepla

Pro pevné body v tepelně předepnutých úsecích, tedy při ukládání za tepla (tepelné předpětí + systém EKO), srovnej se stranou **K 1.1**, se síla působící na pevný bod $[F_{FPWV}]$ vypočítá následovně:

$$F_{FPWV} = A \cdot \sigma_{vorh} \cdot n_R \cdot f_{\mu} \quad [N] \quad (41)$$

$$F_{FPWV} = 2.064,66 \cdot 154,7 \cdot 2 \cdot 0,85 \quad [N] \quad (\text{příkl. 41})$$

výsledek: $F_{FPWV} = 542.985 \text{ N}$ nebo $542,99 \text{ kN}$

A = průřez teplotnosné trubky $[mm^2]$
 $\Rightarrow$ (6), viz stranu **K 2.2**

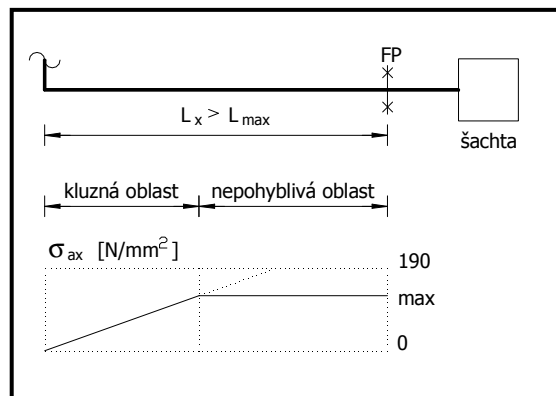
σ_{vorh} = existující axiální napětí $[N/mm^2]$

$\Rightarrow$ (3), viz stranu **K 4.1.1**

příkl. při $T_B = 130^\circ C + V_T = 70^\circ C$

n_R = počet potrubních vedení $[-]$

f_{μ} = součinitel snížení (0,85) pro hodnotu tření $[\mu]$ mezi betonem a zemínou se zřetelem na hmotnost bloku



Čelní plocha betonového bloku $[A_{FP}]$ se zase vypočítá dle $\Rightarrow$ (39)

$$A_{FP} = \frac{542,99}{150} + \frac{0,25}{2} \cdot \frac{0,25}{2} \cdot 3,1416 \cdot 2 \quad [m^2] \quad (\text{příkl. 39})$$

výsledek: $A_{FP} = 3,62 + 0,10 = 3,72 \text{ m}^2 \Rightarrow B_{FP} \cdot H_{FP} = \text{např. } 3,72 \text{ m} \cdot 1,00 \text{ m}$

Délka betonového bloku

Pro zjištění potřebné délky $[L_{FP}]$ betonového bloku musí být známa hodnota tření dna $[S'_R]$. Tato hodnota se zase vypočítá z celkové hmotnosti $[G_{FP}]$ betonového bloku a hmotnosti zeminy zakrývající betonový blok.

$$G_{FP} = B \cdot H \cdot \rho_B + B \cdot h_E \cdot \rho_E \quad [kN/m] \quad (42)$$

$$G_{FP} = 3,72 \cdot 1,00 \cdot 24 + 3,72 \cdot 0,425 \cdot 19 \quad [kN/m]$$

výsledek: $89,28 + 30,04 = 119,32 \text{ kN/m}$ (příkl. 42)

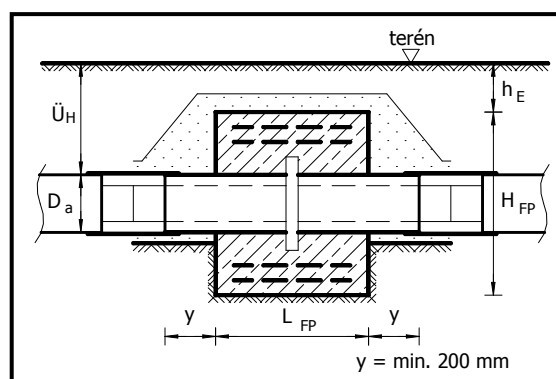
ρ_B = specifická hmotnost betonu $[kN/m^3]$

ρ_E = specifická hmotnost zeminy $[kN/m^3]$

h_E = světlá výška, horní hrana betonového bloku až terén $[m] = (\ddot{U}_H + D_a : 2) - (H_{FP} : 2)$;
 např. $(0,8 + 0,25 : 2) - (1,00 : 2) = 0,425 \text{ m}$

$\ddot{U}_H$ = výška nadloží $[m]$

D_a = vnější průměr PE plášťové trubky $[m]$



$$S'_R = G_{FP} \cdot \tan \varphi \quad [kN/m] \quad (43)$$

$$S'_R = 119,32 \cdot \tan 40 \quad [kN/m] \quad (\text{příkl. 43})$$

výsledek: $S'_R = 100,11 \text{ kN/m}$

φ = úhel tření betonu $[^\circ]$

$$L_{FP} = \frac{F_{FP} : f_{\mu} - F_{FP}}{S'_R} \quad [m] \quad (44)$$

$$L_{FP} = \frac{542,99 : 0,85 - 542,99}{100,11} \quad [m] \quad (\text{příkl. 44})$$

výsledek: $L_{FP} = 0,96 \text{ m}$

Odkrytí trasy KMR

Podpůrná funkce zeminy u trasy dálkového zásobování teplem se dá srovnat s podpůrnou funkcí betonové základové konstrukce budovy, popř. domovního objektu. Při nekontrolovatelném odkrytí KMR trasy proto existuje velké nebezpečí vybočení nebo zvednutí potrubní trasy v oblasti vyhloubení.

V závislosti na provozních údajích sítě je možné odkrýt pouze velmi krátké délky trasy (< 5 m!).

Aby i přesto bylo možné odkrýt delší úseky, musí se postupovat např. v etapách po 5-ti metrech. Nejbezpečnější metodou pro úplné či částečné odkrytí plášťových trubek z plastické hmoty je však snížení provozní teploty na $\leq 70^{\circ}\text{C}$. Zásadně je však třeba dbát na následující body, na kterých by se před zahájením prací měli domluvit všichni účastníci:

- ⇒ Před každým odkrytím, popř. před každou stavební aktivitou probíhající paralelně k trase KMR, musí firma zodpovědná za statiku trubek dát své svolení a provést výpočet maximálně možných délek odkrytí. Tyto výpočty může provést firma **isoplus**.
- ⇒ Všichni účastníci stavby si musejí během prováděcích prací počínat velmi svědomitě. To by mělo být samostatně a průběžně kontrolováno.
- ⇒ Eventuální poškození PEHD plášťové trubky by mělo být okamžitě označeno, nahlášeno a odborně odstraněno.
- ⇒ U paralelní stavební aktivity se štětovými stěnami musí světlá vzdálenost od vnější hrany PEHD plášťové trubky k vnější hraně hrazené stěny činit minimálně 500 mm. Statický důkaz štětové stěny je povinný.
- ⇒ Bez pažení musí vzdálenost KMR k novému stavebnímu výkopu činit alespoň dvojnásobek výšky nadloží potrubí firmy **isoplus**.
- ⇒ Jestliže dojde k částečnému snížení výšky nadloží, dojde i k redukci třecí síly $[F'_R]$. Následkem je větší axiální dilatace v místech kompenzačních ramen. To znamená, že před odkrytím výkopu musí být proveden dodatečný statický výpočet dilatačních ramen. Existující dilatační polštáře se pak musí eventuálně zesílit nebo prodloužit a musí se chránit před poškozením způsobeným výkopovými pracemi.
- ⇒ U techniky ukládání „Tepelné předpětí“ v nezasypaném výkopu nebo pomocí „Systému EKO“ se odkrytí musí provést velmi opatrně, neboť v nepohyblivé oblasti se vyskytuje maximální axiální napětí.
- ⇒ V úseku „Provozního samopředpětí“ je odkrytí velmi kritické, protože minimálně v kritické oblasti, viz stranu **K 2.3**, je překročena mez kluzu $[R_e]$ ocele. **Vybočení nebo zvednutí trubek je možné i bez předchozího varování.**
- ⇒ Neměly by se odkrývat táhlé oblouky nebo elasticky zakřivené úseky trasy, neboť v těchto zónách má zemina dodatečně opěrnou funkci.

Pro výpočet maximální přípustné délky odkrytí je třeba sdělit firmě **isoplus** na základě plánu trasy přesné místo a celkovou plánovanou délku. Dodatečně k všeobecným projektovým údajům jako je teplota, tlak atd. jsou zapotřebí následující parametry:

- ➔ teplota zeminy během původní montáže potrubí
- ➔ skutečná provozní teplota během odkrytí výkopu

PROJEKTOVÁNÍ

Napojení na jiné potrubní systémy

V oblastech se stávajícími komunálními tepelnými sítěmi dochází často k napojení na jiné metody ukládání. Všechny níže uvedené systémy se zásadně odlišují od sdružené konstrukce s plášťovou trubkou z plastické hmoty firmy **isoplus** a proto musejí být v místě spoje podrobeny podrobné statické zkoušce.

- ⇒ zákloповé kanálové systémy
- ⇒ trubky s dvouvrstvou izolací
- ⇒ systémy na vysokou teplotu
- ⇒ nadzemní vedení na betonových patkách nebo na podpěrách

Určujícím faktorem pro projektování je očekávaná dilatace cizího systému. Pro její zjištění je zapotřebí, aby byly k dispozici projekční podklady stávající trasy. V praxi je to však tak, že často není možné obdržet požadované informace. To má za následek to, že u přechodů, které nejsou staticky definované, začíná nová trasa firmy **isoplus** dilatačním ramenem.

Často ale není možné umístit kompenzátor U nebo Z, protože zde na základě místních podmínek není dostatek místa. V takových místech je možné buď naplánovat přechodovou šachtu s axiálním kompenzátořem nebo oddělit obě trasy pomocí konstrukce s pevným bodem.

Níže zobrazené přechody ukazují nejčastěji používané přechodové konstrukce.

Nadzemní vedení ⇒ KMR	Kanál ⇒ KMR s par. T-kusem	Detail Kanál ⇒ KMR
Cizí vedení ⇒ KMR s U ohybem	Cizí vedení ⇒ KMR se šachtou	Cizí vedení ⇒ KMR s pevným bodem

PE chránička pro vstup do kanálu viz kapitolu Příslušenství, strana **P 9.0**

Dimenzování

Přenášený výkon [kW] v podstatě určuje dimenzování trubek. Zadaná tlaková ztráta $[\Delta p]$, souhrn specifických součinitelů odporu $[\zeta]$, zamontovaných prvků jako např. odboček a ohybů, provozní teplota $[T_B]$, nebo u potrubních sítí s přívodním a vratným potrubím rozdíl teplot $[\Delta T]$, jsou dalšími dodatečnými parametry. Tabulka ukazuje objem $[v]$ rozdílných rozměrů trubek (d_a = vnější průměr; s = tloušťka stěny).

druh trubky	jmenovitá světlost v		rozměry teplonosné trubky		objem
	DN	coul	d _a	s	v v l/m
			v mm	v mm	
Teplonosná trubka černá s tl. stěně dle kapitoly Trubky, strana T 2.0	20	³ / ₄ "	26,9	2,6	0,391
	25	1"	33,7	3,2	0,638
	32	1 ¹ / ₄ "	42,4	3,2	1,087
	40	1 ¹ / ₂ "	48,3	3,2	1,459
	50	2"	60,3	3,2	2,333
	65	2 ¹ / ₂ "	76,1	3,2	3,882
	80	3"	88,9	3,2	5,346
	100	4"	114,3	3,6	9,009
	125	5"	139,7	3,6	13,789
	150	6"	168,3	4,0	20,182
	200	8"	219,1	4,5	34,669
	250	10"	273,0	5,0	54,325
	300	12"	323,9	5,6	76,797
	350	14"	355,6	5,6	93,157
	400	16"	406,4	6,3	121,798
	450	18"	457,2	6,3	155,249
	500	20"	508,0	6,3	192,753
	550	22"	558,8	6,3	234,311
	600	24"	610,0	7,1	278,799
	650	26"	660,0	7,1	327,556
	700	28"	711,0	8,0	379,367
800	32"	813,0	8,8	496,891	
900	36"	914,0	10,0	627,718	
1000	40"	1016,0	10,0	779,128	
ocel St 33.2 dle DIN 2440	20	³ / ₄ "	26,9	2,65	0,366
	25	1"	33,7	3,25	0,581
	32	1 ¹ / ₄ "	42,4	3,25	1,012
	40	1 ¹ / ₂ "	48,3	3,25	1,372
	50	2"	60,3	3,65	2,206
	65	2 ¹ / ₂ "	76,1	3,65	3,718
	80	3"	88,9	4,05	5,128
	100	4"	114,3	4,50	8,709
	125	5"	139,7	4,85	13,273
	150	6"	165,1	4,85	18,967

druh trubky	jmenovitá světlost v		rozměry teplonosné trubky		objem
	DN	coul	d _a	s	v v l/m
			v mm	v mm	
měď a ušlechtilá ocel dle DIN 1754 / 2462 / 2463	10	3/8"	15,0	1,0	0,133
	15	1/2"	18,0	1,0	0,201
	20	3/4"	22,0	1,0	0,314
	20	3/4"	22,0	1,2	0,302
	25	1"	28,0	1,2	0,515
	25	1"	28,0	1,5	0,491
	25	1"	28,0	2,0	0,452
	32	1 1/4"	35,0	1,5	0,804
	40	1 1/2"	42,0	1,5	1,195
	50	2"	54,0	1,5	2,043
	50	2"	54,0	2,0	1,963
	65	2 1/2"	70,0	2,0	3,421
	65	2 1/2"	76,1	2,0	4,083
	80	3"	88,9	2,0	5,661
	100	4"	108,0	2,0	8,495
	100	4"	108,0	2,5	8,332
125	5"	133,0	3,0	12,668	
150	6"	159,0	3,0	18,385	
PE-Xa dle DIN 16893	15	1/2"	20,0	2,0	0,201
	15	1/2"	20,0	2,8	0,163
	20	3/4"	25,0	2,3	0,327
	20	3/4"	25,0	3,5	0,254
	25	1"	32,0	2,9	0,539
	25	1"	32,0	4,4	0,423
	32	1 1/4"	40,0	3,7	0,835
	32	1 1/4"	40,0	5,5	0,661
	40	1 1/2"	50,0	4,6	1,307
	40	1 1/2"	50,0	6,9	1,029
	50	2"	63,0	5,8	2,075
	50	2"	63,0	8,7	1,633
	65	2 1/2"	75,0	6,8	2,961
	80	3"	90,0	8,2	4,254
	100	4"	110,0	10,0	6,362

Pro neuvedené dimenze se **objem** $[v]$ vypočítá následovně:

$$v = \left(\frac{d_a - 2 \cdot s}{2} \right)^2 \cdot \pi : 1000 \text{ [l/m]} \quad (45) \quad \Rightarrow \quad v = \left(\frac{168,3 - 2 \cdot 4,0}{2} \right)^2 \cdot 3,1416 : 1000 \text{ [l/m]}$$

Výsledek příklad (45): $v = 20,182 \text{ l/m}$ nebo: $v = 20,182 : 1000 = 0,020182 \text{ m}^3/\text{m}$

PROJEKTOVÁNÍ

Dimenzování

Pomocí objemu $[V]$ v m^3/m , udané průtočné rychlosti $[w]$ v m/s a času $[t]$ v s/h lze velice jednoduše vypočítat **objemový tok** $[V']$:

$$V' = v \cdot w \cdot t \quad [m^3/h] \quad (46)$$

$$V' = 0,020182 \cdot 1,7 \cdot 360 \quad [m^3/h] \quad (\text{příkl. 46})$$

$$\text{výsledek: } V' = 123,514 \quad m^3/h \quad (\text{příkl. 46})$$

Pomocí objemu $[V]$ v m^3/m a udané průtočné rychlosti $[w]$ v m/s je také možné určit **přenášený výkon** $[P_{\dot{U}}]$.

$$P_{\dot{U}} = v \cdot w \cdot c_m \cdot \Delta_T \quad [kW] \quad (47)$$

$$P_{\dot{U}} = 0,020182 \cdot 1,7 \cdot 4187 \cdot 40 \quad [kW] \quad (\text{příkl. 47})$$

$$\text{výsledek: } P_{\dot{U}} = 5.746,14 \quad kW \quad (\text{příkl. 47})$$

c_m = specifická tepelná kapacita protékající teplotnosné látky $[J/(kg \cdot K)]$;
např. voda = $4.187 \quad J/(kg \cdot K)$

Δ_T = teplotní rozdíl $[K]$;

příklad topení $\Rightarrow$ teplota přívodního potrubí $[T_{VL}] = 110 \quad ^\circ C$
teplota vratného potrubí $[T_{RL}] = 70 \quad ^\circ C$

$$\text{rozdíl } [\Delta_T] = 40 \quad K$$

Přenášený výkon $[P_{\dot{U}}]$ se musí srovnat s **potřebným výkonem** $[P_b]$. Potřebný výkon $[P_b]$ se skládá z následujících jednotlivých hodnot:

$$P_b = q + (A_w \cdot S_D) \quad [kW] \quad (48)$$

q = energetická ztráta $[kW]$, viz stranu **K 11.4**

A_w = přípojná hodnota $[kW]$, dle zadání

S_D = součinitel bezpečnosti $[-]$, dle zadání

Součinitel bezpečnosti $[S_D]$ by měl kompenzovat ztráty třením, závislé na drsnosti potrubí $[k]$ a na Reynoldsovu číslu $[Re]$, a statickou, jakož i dynamickou tlakovou ztrátu $[\Delta p]$, vyplývající z výškového rozdílu. Dodatečné tlakové ztráty vzniklé na základě prvků zamontovaných do trasy jako jsou ohyby, odbočky, armatury atd. musí být také zohledněny podle součinitelů odporu $[\zeta]$. Zároveň je třeba brát zřetel na to, že na potrubní síť budou napojeni pozdější odběratelé a proto je u existujících domovních přípojek třeba počítat s kolísajícím potřebným výkonem.

Pro přibližné určení průměru trubky může, aniž by vznikl nárok na záruku, být dimenze vypočítána dle vzorců (45) až (48). K přesnému zjištění jmenovitých světlostí dojde prostřednictvím iteračních výpočtů, které zohledňují všechny potřebné parametry a které zpravidla provede projektová kancelář pověřená projektováním nebo investor, provozovatel sítě, popř. přímo průmyslový odběratel.

Vedení tepla

Pod vedením tepla se rozumí transport energie uvnitř jedné látky nebo několika látek od teplejšího média ke studenějšímu. Každé z těchto látek se musí dle jejich chemicko-fyzikálních vlastností přiřadit individuální tepelná vodivost $[\lambda]$. Pro materiál používaný firmou **isoplus** byla tepelná vodivost $[\lambda]$ experimentálně vypočtena.

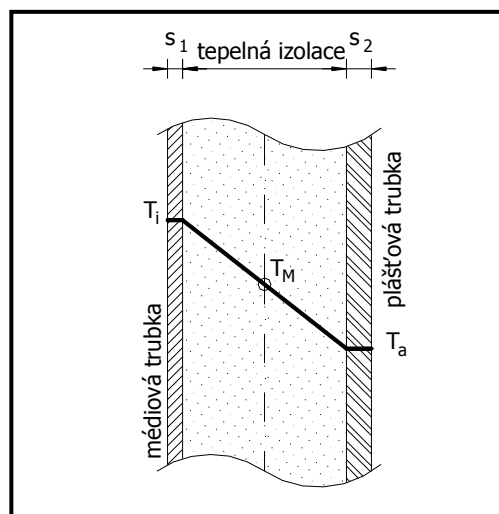
T_M = střední teplota $[^{\circ}\text{C}]$

T_a = vnější teplota $[^{\circ}\text{C}]$

T_i = vnitřní teplota $[^{\circ}\text{C}]$

s_1 = tloušťka stěny teplonosné trubky [mm]

s_2 = tloušťka stěny plášťové trubky [mm]



POZOR: Pro lepší interpretaci jsou vedle následujících vzorců (49) až (68) na stranách **K 11.1** až **K 11.5.1** paralelně uvedeny příklady (příkl.). Opět pro ně platí jmenovitá světlost teplonosné trubky DN 150. Jako výška nadloží $[\ddot{U}_H]$ bylo zvoleno 800 mm a jako střední montážní vzdálenost $[M]$ 200 mm. Z toho vyplývá výška osy $[h_m]$ 925 mm a vzdálenost os $[a]$ 450 mm.

Tepelná vodivost trubky

Při vedení tepla v předizolovaných trubkách protéká tepelný proud látkami s rozdílnou tepelnou vodivostí: teplonosnou trubkou, izolačním materiálem a plášťovou trubkou. Na základě vysoké tepelné vodivosti $[\lambda]$, jakož i malých tlouštěk stěn teplonosné a plášťové trubky je pro prostup tepla v podstatě rozhodující izolační látka. Energetické ztráty se však musí vypočítat s hodnotami, popř. tloušťkami stěn všech materiálů. Pro tepelnou vodivost látek vyskytujících se ve výpočtovém příkladě platí:

⇒ teplonosná látka ocel St 37.0:

$$\lambda_{ST} = 52,3300 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

⇒ PUR izolace:

$$\lambda_{PUR} = 0,0275 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

⇒ PEHD plášťová trubka:

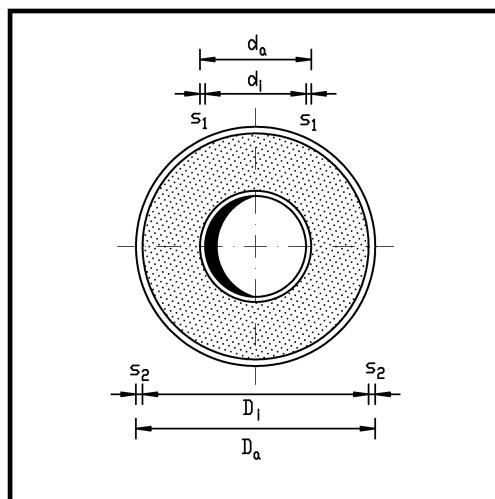
$$\lambda_{PE80} = 0,4000 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

D_a = vnější $\varnothing$ PEHD plášťové trubky [mm]

D_i = vnitřní $\varnothing$ PEHD plášťové trubky [mm]

d_a = vnější $\varnothing$ teplonosné ocelové trubky [mm]

d_i = vnitřní $\varnothing$ teplonosné ocelové trubky [mm]



ENERGETICKÁ ZTRÁTA

Prostupový tepelný odpor pro jednu trubku [$1/\Lambda_R$] se vypočítá podle rovnice pro vícevrstvé trubky následovně:

$$1/\Lambda_R = \frac{1}{\lambda_{ST}} \cdot \ln \frac{d_a}{d_i} + \frac{1}{\lambda_{PUR}} \cdot \ln \frac{D_i}{d_a} + \frac{1}{\lambda_{PE80}} \cdot \ln \frac{D_a}{D_i} \quad [\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (49)$$

$$1/\Lambda_R = \frac{1}{52,330} \cdot \ln \frac{168,3}{160,3} + \frac{1}{0,0275} \cdot \ln \frac{241,6}{168,3} + \frac{1}{0,400} \cdot \ln \frac{250,0}{241,6} \quad [\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (\text{příkl. 49})$$

$$\text{výsledek: } 1/\Lambda_R = 13,2331 \text{ m} \cdot \text{K}/\text{W} \quad (\text{příkl. 49})$$

$\ln$ = přirozený logaritmus [-]

D_a = vnější Ø PEHD plášťové trubky [mm]

D_i = vnitřní Ø PEHD plášťové trubky [mm]

d_a = vnější Ø teplotonosné ocelové trubky [mm]

d_i = vnitřní Ø teplotonosné ocelové trubky [mm]

Pro **tepelný odpor** [R_Λ] platí:

$$R_\Lambda = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot 1/\Lambda_R \quad [\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (50)$$

$$R_\Lambda = \frac{1}{2 \cdot 3,1416} \cdot 13,2331 \quad [\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (\text{příkl. 50})$$

$$\text{výsledek: } R_\Lambda = 2,1061 \text{ m} \cdot \text{K}/\text{W} \quad (\text{příkl. 50})$$

$$\pi = 3,1416 [-]$$

Součinitel prostupu tepla [k_R] trubky je reciproká hodnota: $\Rightarrow \Rightarrow$ (50)

$$k_R = \frac{1}{R_\Lambda} \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \quad (51) \quad \text{nebo platí: } k_R = \frac{2 \cdot \pi}{1/\Lambda_R} \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \quad (52)$$

$$k_R = \frac{1}{2,1061} \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \quad (\text{příkl. 51}) \quad \text{nebo platí: } k_R = \frac{2 \cdot 3,1416}{13,2331} \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \quad (\text{příkl. 52})$$

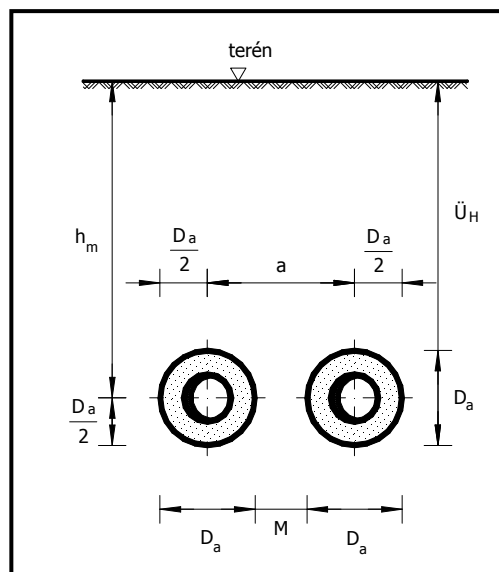
$$\text{výsledek: } k_R = 0,4748 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Tepelná vodivost zeminy

Aby bylo možné provést přesně definovaný výpočet tepelné ztráty, je třeba dodatečně brát v úvahu tepelnou vodivost a "tloušťku izolace" zeminy, jakož i ohřátí zeminy mezi přívodním a vratným vedením.

Poté se plášťové trubky z plastické hmoty obsypou pískem dle montážních pokynů firmy **isoplus**, přitom se vychází z toho, že čistý písek má vlhkost 8 obj.% a tepelná vodivost zeminy [λ_E] je 1,20 W/(m•K). Při ukládání v oblastech s podzemní vodou se změní i vodivost zeminy.

Bude-li se trasa přesto ukládat do jiných půdních poměrů, je třeba zvolit λ_E dle následující tabulky:



druh, popř. typ zeminy	měrná hmotnost půdy ρ in kg/m ³	podíl vlhkosti v obj.%	nejčastější vlhkost v obj.%	tepelná vodivost při nejčastější vlhkosti λ_E v W/(m•K)
čistý písek	1500	4	8	1,04
	↓	↓		1,20
	1800	14		1,70
hlinitá půda	1500	23	28	1,50
	↓	↓		↓
	2000	28		2,60

Prostupový tepelný odpor zeminy [$1/\Lambda_E$] se zjistí následovně:

$$1/\Lambda_E = \frac{1}{\lambda_E} \cdot \ln \frac{4 \cdot h_m}{D_a} \quad [\text{m} \cdot \text{K/W}] \quad (53)$$

$$1/\Lambda_E = \frac{1}{1,20} \cdot \ln \frac{4 \cdot 925}{250} \quad [\text{m} \cdot \text{K/W}] \quad (\text{příkl. 53})$$

$$\text{výsledek: } 1/\Lambda_E = 2,2455 \text{ m} \cdot \text{K/W} \quad (\text{příkl. 53})$$

$\ln$ = přirozený logaritmus [-]

D_a = vnější Ø PEHD plášťové trubky [mm]

U_H = výška nadloží [mm]

M = montážní vzdálenost, viz kapitolu Montáž, strana **M 2.2** [mm]

a = vzdálenost osy od středu trubky, přívodní potrubí $\Rightarrow$ vratné potrubí = $M + D_a$ [mm]

h_m = výška osy od středu trubky k terénu = $U_H + D_a : 2$ [mm]

ENERGETICKÁ ZTRÁTA

Vzájemný vliv $[1/\Lambda_{RR}]$ mezi dvěma trubkami, popř. mezi přívodním a vratným potrubím se vypočítá podle následující rovnice:

$$1/\Lambda_{RR} = \frac{1}{\lambda_E \cdot 2} \cdot \ln \left[1 + \frac{(2 \cdot h_m)^2}{a^2} \right] \quad [\text{m} \cdot \text{K/W}] \quad (54)$$

$$1/\Lambda_{RR} = \frac{1}{1,2 \cdot 2} \cdot \ln \left[1 + \frac{(2 \cdot 925)^2}{450^2} \right] \quad [\text{m} \cdot \text{K/W}] \quad (\text{příkl. 54})$$

$$\text{výsledek: } 1/\Lambda_{RR} = 1,2020 \text{ m} \cdot \text{K/W} \quad (\text{příkl. 54})$$

$\ln$ = přirozený logaritmus [-]

D_a = vnější $\varnothing$ PEHD plášťové trubky [mm]

$\ddot{U}_H$ = výška nadloží [mm]

M = montážní vzdálenost, viz kapitulu Montáž, strana **M 2.2** [mm]

a = vzdálenost osy od středu trubky, přívodní potrubí $\Rightarrow$ vratné potrubí = $M + D_a$ [mm]

h_m = výška osy od středu trubky k horní hraně terénu = $\ddot{U}_H + D_a : 2$ [mm]

Souhrn všech prostupových tepelných odporů $[1/\Lambda_\Sigma]$ obdržíme jednoduchým součtem:

$$1/\Lambda_\Sigma = 1/\Lambda_R + 1/\Lambda_E + 1/\Lambda_{RR} \quad [\text{m} \cdot \text{K/W}] \quad (49) + (53) + (54) = (55)$$

$$1/\Lambda_\Sigma = 13,2331 + 2,2455 + 1,2020 \quad [\text{m} \cdot \text{K/W}] \quad (\text{příkl. 55})$$

$$\text{výsledek: } 1/\Lambda_\Sigma = 16,6806 \text{ m} \cdot \text{K/W} \quad (\text{příkl. 55})$$

Pro **celkový tepelný odpor** předizolované trubky uložené v zemi $[R_{\Sigma ER}]$ platí:

$$R_{\Sigma ER} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot 1/\Lambda_\Sigma \quad [\text{m} \cdot \text{K/W}] \quad (56)$$

$$R_{\Sigma ER} = \frac{1}{2 \cdot 3,1416} \cdot 16,6806 \quad [\text{m} \cdot \text{K/W}] \quad (\text{příkl. 56})$$

$$\text{výsledek: } R_{\Sigma ER} = 2,6548 \text{ m} \cdot \text{K/W} \quad (\text{příkl. 56})$$

$$\pi = 3,1416 \quad [-]$$

ENERGETICKÁ ZTRÁTA

Součinitelem prostupu tepla [k_{ER}], dle ISO 7345 [U], trubky uložené v zemi je zase reciproká hodnota: $\Rightarrow \Rightarrow$ (56)

$$k_{ER} = \frac{1}{R_{\Sigma_{ER}}} \text{ [W/(m}\cdot\text{K)]} \quad (57) \quad \text{nebo platí: } k_{ER} = \frac{2 \cdot \pi}{1/\Lambda_{\Sigma}} \text{ [W/(m}\cdot\text{K)]} \quad (58)$$

$$k_{ER} = \frac{1}{2,6548} \text{ [W/(m}\cdot\text{K)]} \quad (\text{příkl. 57}) \quad \text{nebo platí: } k_{ER} = \frac{2 \cdot 3,1416}{16,6806} \text{ [W/(m}\cdot\text{K)]} \quad (\text{příkl. 58})$$

výsledek: $k_{ER} = 0,3767 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

Tepelná ztráta

Pro určení skutečné tepelné ztráty [q] musí být znám **střední teplotní rozdíl** [T_M]. Ten je dán rozdílem střední provozní teploty, mezi přívodním a vratným potrubím [T_{VL} a T_{RL}], vůči teplotě zeminy [T_E].

$$T_M = \frac{T_{VL} + T_{RL}}{2} - T_E \text{ [K]} \quad (59) \quad \text{příklad } T_M: \frac{130^\circ + 90^\circ}{2} - 10^\circ = 100 \text{ K}$$

Tepelná ztráta [q] na jeden **metr potrubí** [m] se vypočítá následovně:

$$q = \frac{T_M}{R_{\Sigma_{ER}}} \text{ [W/m]} \quad (60) \quad \text{příklad } q: \frac{100}{2,6548} = 37,6676 \text{ W/m}$$

Pro zjištění odpovídající **absolutní ztráty tepelné energie** [Q'] **trasy**, musí být zadána délka potrubí a časové období.

$$Q' = \frac{q \cdot L \cdot t}{1000} \text{ [kW}\cdot\text{h]} \quad (61) \quad \text{nebo platí: } Q' = \frac{k_{ER} \cdot T_M \cdot L \cdot t}{1000} \text{ [kW}\cdot\text{h]} \quad (62)$$

příklad (61) (62):

$$Q' = \frac{37,6676 \cdot 500 \cdot 720}{1000} \text{ [kW}\cdot\text{h]} \quad \text{nebo platí: } Q' = \frac{0,3767 \cdot 100 \cdot 500 \cdot 720}{1000} \text{ [kW}\cdot\text{h]}$$

výsledek: $Q' = 13.561 \text{ kW}\cdot\text{h}$

nebo $13.561 : 720 = 18,83 \text{ kW}$

L = délka přívodního a zpětného potrubí [m], např. 500 m odpovídá 250 m trasy
 t = období [h], např. 720 hodin odpovídá době 30-ti dnů, popř. jednoho měsíce

Součinitele prostupu tepla [k_{ER}] a tepelné ztráty [q] trubek firmy **isoplus** jsou uvedeny v kapitolách Trubky (ocel **T 2.2**, měď **T 3.2**) nebo Ohebné trubky Flex (ocel **F 2.0**, měď **F 3.0**, PEX **F 4.2** a **F 4.3**).

ENERGETICKÁ ZTRÁTA

Nadzemní vedení

U šroubovicových plášťových trubek SPIRO firmy **isoplus** v nadzemním uložení se tepelná ztráta zakládá na součiniteli přestupu tepla $[\alpha]$. A protože je tato hodnota závislá na velkém množství vnějších faktorů, jako např. na směru a rychlosti větru, jsou na základě směrnice VDI 2055 určeny následující orientační hodnoty.

Střední venkovní hodnota	$\Rightarrow \alpha = 25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Spodní venkovní hodnota při bezvětrí	$\Rightarrow \alpha = 15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Střední hodnota v uzavřených prostorách	$\Rightarrow \alpha = 8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Maximální hodnota v uzavřených prostorách	$\Rightarrow \alpha = 25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Na základě α se určí **tepelný tok** $[Q_R]$ z vnějšího prostředí na povrch plášťové trubky:

$$Q_R = \pi \cdot D_a \cdot \alpha \text{ [W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \quad (63) \quad \text{příklad } Q_R: 3,1416 \cdot 0,25 \cdot 25 = 19,6350 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$\pi = 3,1416 [-]$$

$$D_a = \text{vnější } \varnothing \text{ šroubovicové plášťové trubky SPIRO [m]}$$

Přechodový tepelný odpor $[R_\alpha]$ z vnějšího prostředí na povrch pláště je reciproká hodnota:
 $\Rightarrow \Rightarrow (63)$

$$R_\alpha = \frac{1}{Q_R} \text{ [m} \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (64) \quad \text{příklad } R_\alpha: \frac{1}{19,6350} = 0,0509 \text{ m} \cdot \text{K}/\text{W}$$

Prostupový tepelný odpor jedné trubky $[1/\Lambda_R]$, jakož i **tepelný odpor** $[R_\Lambda]$ se vypočítá podle již známých vzorců (49) a (50), viz stranu **K 11.1**. Přitom je třeba brát zřetel na změřené rozměry šroubovicové plášťové trubky SPIRO a na její tepelnou vodivost $[\lambda]$.

$$1/\Lambda_R = \frac{1}{52,33} \cdot \ln \frac{168,3}{160,3} + \frac{1}{0,0275} \cdot \ln \frac{248,8}{168,3} + \frac{1}{52,33} \cdot \ln \frac{250,0}{248,8} \text{ [m} \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (\text{příkl. 49})$$

$$\text{výsledek: } 1/\Lambda_R = 14,2156 \text{ m} \cdot \text{K}/\text{W} \quad (\text{příkl. 49})$$

$$R_\Lambda = \frac{1}{2 \cdot 3,1416} \cdot 14,2156 \text{ [m} \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (\text{příkl. 50})$$

$$\text{výsledek: } R_\Lambda = 2,2625 \text{ m} \cdot \text{K}/\text{W} \quad (\text{příkl. 50})$$

Jednoduchým součtem se vypočítá **celkový tepelný odpor** $[R_{\Sigma FR}]$.

$$R_{\Sigma FR} = R_\alpha + R_\Lambda \text{ [m} \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (65) \quad \text{příklad } R_{\Sigma FR}: 0,0509 + 2,2625 = 2,3134 \text{ m} \cdot \text{K}/\text{W}$$

Součinitelem prostupu tepla $[k_{FR}]$, dle ISO 7345 $[U]$, trubky uložené mimo budovu je dle (57), viz stranu **K 11.4**, reciproká hodnota:
 $\Rightarrow \Rightarrow (65)$

$$k_{FR} = \frac{1}{R_{\Sigma FR}} \text{ [W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \quad (66) \quad \text{příklad } k_{FR}: \frac{1}{2,3134} = 0,4323 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Pro určení **tepelné ztráty** $[q]$ na **jednom metru potrubí** a **ztráty tepelné energie** $[Q']$ trasy platí známé vzorce (59) až (62) dle strany **K 11.4**.

Hospodárnost tloušťky izolace

Zda budou použity dílensky vyrobené trubky **isoplus** se standardní, 1x zesílenou nebo 2x zesílenou tloušťkou izolace, velmi závisí na ekonomickém výpočtu. Zde je metoda čisté současné hodnoty velmi dobrým základem pro výpočet. Přitom se součet investičních nákladů $[\Sigma_{ik}]$ a současná hodnota energetických ztrát $[Q_{BW}]$, jakož i doba amortizace, popř. provozní životnost $[n]$ úročí k době vzniku investice pomocí anuitního faktoru $[A_F]$, viz stranu **K 12.1**.

To znamená, že např. při kalkulačním úroku $[i_Z]$ o hodnotě 0,10 a době amortizace $[n]$ 5-ti let nebude současná hodnota běžných energetických ztrát $[Q_{BW}]$ během příštích 5-ti let s např. 1.000,- €/rok činit 5.000,- €, nýbrž na základě anuitního faktoru $[A_F]$ bude k dnešnímu dni činit pouhých 3.791,- €.

K investičním nákladům potrubního vedení za materiál, výkopové nebo/a povrchové práce, jakož i montáž trubek, je třeba připočítat kapitálové náklady za energetické ztráty. **Energetická ztráta** $[q]$ na jednom metru potrubí se vypočítá dle (49) až (66), viz stranu **K 11.1** až **K 11.5**.

Nyní se porovnají všechny tři varianty tloušťky izolace. Pro srovnávací výpočet platí pro jmenovité světlosti uložené v zemi DN 150 průměry PEHD plášťových trubek 250, 280 a 315 mm, jakož i dle (59), strana **K 11.4**, účinná střední teplota $[T_M]$ 100 K. Výsledek tepelné ztráty je následující:

$$\Rightarrow \text{DN 150/250 : } q = 37,6676 \text{ W/m}$$

$$\Rightarrow \text{DN 150/280 : } q = 30,2678 \text{ W/m}$$

$$\Rightarrow \text{DN 150/315 : } q = 25,2039 \text{ W/m}$$

Parametry potrubního výkopu dle strany **K 11.0**

Pro zjištění hospodárnosti se porovnají čisté současné hodnoty jednotlivých variant provedení. K tomu se nejdříve vypočítá **kalkulační úrok** $[i_Z]$.

$$i_Z = \frac{Z_k - R_i - P_e}{100} \left[\frac{\%}{100} \right] \quad (69) \quad \text{příklad } i_Z: \frac{10 - 2,5 - 4,0}{100} = 0,035 \frac{\%}{100}$$

Z_k = úrok z úvěru [%/a]

R_i = míra inflace [%/a]

P_e = vzestup energetických cen [%/a]

Po stanovení doby amortizace, popř. provozní životnosti $[n]$ a kalkulačního úroku $[i_Z]$ se určí **anuitní faktor** $[A_F]$ na základě následujícího vzorce nebo dle tabulky na straně **K 12.1**.

$$A_F = \frac{(1 + i_Z)^n - 1}{i_Z \cdot (1 + i_Z)^n} \quad [-] \quad (70) \quad \text{příklad } A_F: \frac{(1 + 0,035)^{30} - 1}{0,035 \cdot (1 + 0,035)^{30}} = 18,392$$

n = doba amortizace [rok], dle EN 253 minimálně 30 let provozní životnosti

PROJEKTOVÁNÍ

Anuitní faktor A_F

i_z v % 100	Doba amortizace / provozní životnost [n]					
	5 a	10 a	15 a	20 a	25 a	30 a
0,015	4,783	9,222	13,343	17,169	20,720	24,016
0,020	4,713	8,983	12,849	16,351	19,523	22,396
0,025	4,646	8,752	12,381	15,589	18,424	20,930
0,030	4,580	8,530	11,938	14,877	17,413	19,600
0,035	4,515	8,317	11,517	14,212	16,482	18,392
0,040	4,452	8,111	11,118	13,590	15,622	17,292
0,045	4,390	7,913	10,740	13,008	14,828	16,289
0,050	4,329	7,722	10,380	12,462	14,094	15,372
0,055	4,270	7,538	10,038	11,950	13,414	14,534
0,060	4,212	7,360	9,712	11,470	12,783	13,765
0,065	4,156	7,189	9,403	11,019	12,198	13,059
0,070	4,100	7,024	9,108	10,594	11,654	12,409
0,075	4,046	6,864	8,827	10,194	11,147	11,810
0,080	3,993	6,710	8,559	9,818	10,675	11,258

i_z v % 100	Doba amortizace / provozní životnost [n]					
	5 a	10 a	15 a	20 a	25 a	30 a
0,085	3,941	6,561	8,304	9,463	10,234	10,747
0,090	3,890	6,418	8,061	9,129	9,823	10,274
0,095	3,840	6,279	7,828	8,812	9,438	9,835
0,100	3,791	6,145	7,606	8,514	9,077	9,427
0,105	3,743	6,015	7,394	8,231	8,739	9,047
0,110	3,696	5,889	7,191	7,963	8,422	8,694
0,115	3,650	5,768	6,997	7,710	8,124	8,364
0,120	3,605	5,650	6,811	7,469	7,843	8,055
0,125	3,561	5,536	6,633	7,241	7,579	7,766
0,130	3,517	5,426	6,462	7,025	7,330	7,496
0,135	3,475	5,320	6,299	6,819	7,095	7,242
0,140	3,433	5,216	6,142	6,623	6,873	7,003
0,145	3,392	5,116	5,992	6,437	6,663	6,778
0,150	3,352	5,019	5,847	6,259	6,464	6,566

Pomocí stanoveného anuitního faktoru $[A_F]$ a energetické ztráty $[q]$ se vypočítá absolutní **současná hodnota energetické ztráty $[Q_{Bw}]$** a porovná se.

$$Q_{Bw} = \frac{q \cdot Q_{Pk} \cdot t}{1000} \cdot A_F \cdot L \quad [€] \quad (71)$$

$$Q_{Bw} = \frac{37,6676 \cdot 0,04 \cdot 8760}{1000} \cdot 18,392 \cdot 500 = 121.375,49 \quad € \quad (\text{příkl. 71 - DN 150/250})$$

Rozdíl $[Q_{Bw}]$: standardní – 1x zesílená izolace = 23.844,21 € nebo 19,64 %

$$Q_{Bw} = \frac{30,2678 \cdot 0,04 \cdot 8760}{1000} \cdot 18,392 \cdot 500 = 97.531,28 \quad € \quad (\text{příkl. 71 - DN 150/280})$$

Rozdíl $[Q_{Bw}]$: 1x zesílená – 2x zesílená izolace = 16.317,30 € nebo 16,73 %

$$Q_{Bw} = \frac{25,2039 \cdot 0,04 \cdot 8760}{1000} \cdot 18,392 \cdot 500 = 81.213,98 \quad € \quad (\text{příkl. 71 - DN 150/315})$$

Q_{Pk} = výrobní náklady $[€/kW \cdot h]$; např. cena tepla dálkového vytápění $\approx 0,04 \text{ €/kW} \cdot h$

t = časový faktor $[h/rok]$ = 8760 h

L = délka potrubí $[m]$; např. 500 m

Jinak řečeno, činí v daném příkladě při provozní životnosti 30-ti let a délce potrubí 500 m, při použití 1 x zesílené tloušťky tepelné izolace oproti standardní tloušťce tepelné izolace, už jenom **současná hodnota úspory energetických ztrát $\gg 19,64 \%$** .

Čistá současná hodnota $[K]$ se nakonec vypočítá jednoduchým součtem:

$$K = Q_{Bw} + \sum_{ik} \quad [€] \quad (72)$$

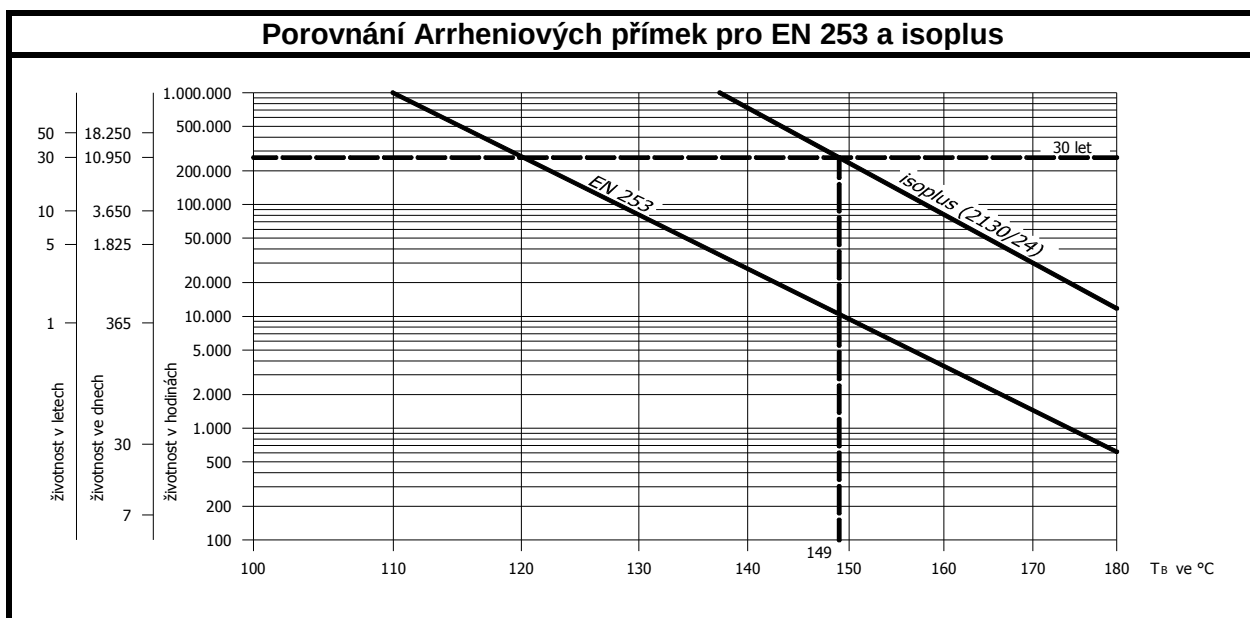
$\sum_{ik}$ = souhrn investičních nákladů $[€/m]$ $\Rightarrow$ náklady za montáž trubek; dle zadání
 + náklady na materiál pro trubky; dle zadání
 + povrchové nebo/a výkopové práce; dle zadání

Životnost

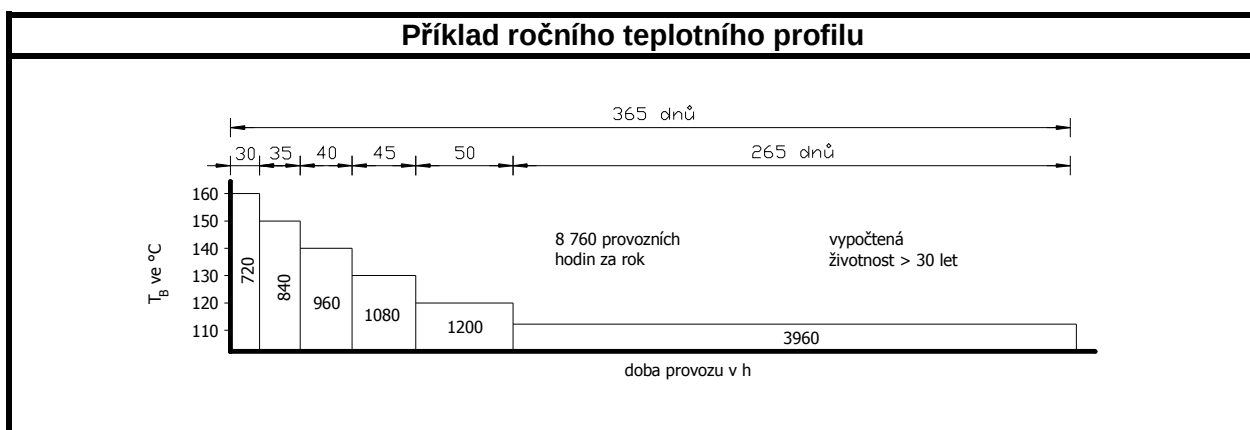
Odhad očekávané životnosti konstrukce KMR při celoročním provozu a za rozdílných provozních teplot závisí především na odolnosti polyuretanové pěny vůči trvalé teplotě. Při tepelném přetížení by sdružená konstrukce mezi plášťovou trubicí a teplotnosnou trubicí selhala. Proto se používaná polyuretanová pěna musí podrobit zkoušce odolnosti proti stárnutí dle evropské normy EN 253.

Výsledek zkoušky se pak logaritmicky pomocí převrácených hodnoty působení teploty znázorní v diagramu podle Arrheniova zákona (přímka životnosti), přičemž má každý druh pěny svou vlastní specifickou životnost a aktivační energii [kJ/(mol·K)]. Z diagramu je pak možné zjistit ke každé libovolné provozní teplotě [T_B] odpovídající životnost.

Životnost celého systému nesmí být kratší než 30 let. Toho se dosáhne omezením teploty nepřetržitého provozu na maximálně 149°C. Krátká a nepatrná překročení jsou možná. Dlouhodobá teplotní přetížení vedou k neúměrně silnému snížení tepelné životnosti.



Pro exaktní určení očekávané životnosti musí být firmě **isoplus** dán k dispozici roční teplotní profil.



DŮKAZ NAPĚTÍ

Rovná trubka

Dilatační síla a vnitřní tlak způsobují v rovné trubce následující napětí:

1. Podélné napětí [$\sigma_{F_T x}$]

$$\sigma_{F_T x} = \frac{F_T}{A} = \sigma_a \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (73)$$

$$\sigma_{F_T x} = \frac{209.691,00}{2.064,66} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (\text{příkl. 73})$$

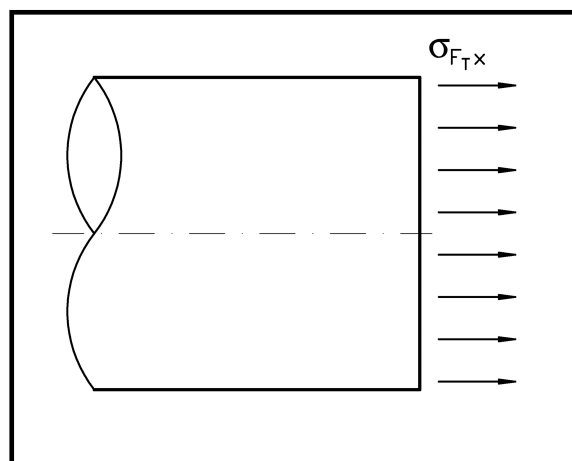
$$\text{výsledek: } \sigma_{F_T x} = 101,562 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{příkl. 73})$$

$$F_T = \text{tepelně dilatační síla [N]} \Rightarrow (5)$$

$$A = \text{průřez teplotnosné trubky [mm}^2\text{]} \Rightarrow (6)$$

$$\sigma_a = \text{axiální napětí [N/mm}^2\text{]} \Rightarrow (8)$$

(5) (6) (8) viz stranu **K 2.2**



2. Obvodové napětí [σ_{py}]

$$\sigma_{py} = \frac{p_i \cdot d_i}{2 \cdot s} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (74)$$

$$\sigma_{py} = \frac{1,631 \cdot 160,3}{2 \cdot 4,0} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (\text{příkl. 74})$$

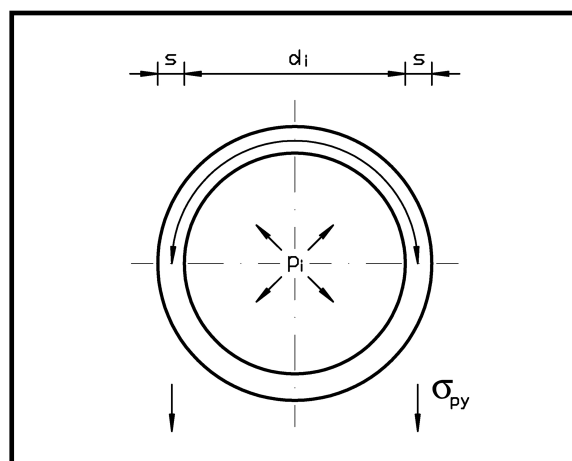
$$\text{výsledek: } \sigma_{py} = 32,68 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{příkl. 74})$$

$$s = \text{tloušťka stěny teplotnosné trubky [mm]}$$

$$d_i = \text{vnitřní průměr teplotnosné trubky [mm]}$$

$$p_i = \text{vnitřní tlak [N/mm}^2\text{]}, \text{ např. 16 barů}$$

$$1 \text{ N/mm}^2 = 9,81 \text{ barů}$$



Polyuretanová tvrdá pěna a PEHD plášťová trubka

1. Tlakové napětí

Jak můžeme vidět v praxi, jsou délkové změny všech třech složek konstrukce KMR $\Rightarrow$ teplosná trubka – PUR pěna – plášťová trubka $\Leftarrow$ při tepelném zatížení prakticky stejně velké. Zvýšením teploty vzniká v konstrukci KMR na základě vyskytujícího se tření tlakové napětí.

$$(3) \Rightarrow \sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad [\text{N/mm}^2]$$

α = součinitel roztažnosti ocele [1/K]

ΔT = teplotní rozdíl [K]

Velikost napětí $[\sigma]$ vyplývá z modulu pružnosti $[E]$ příslušné složky konstrukce KMR. Napětí a E-moduly jsou navzájem proporcionální.

$$\frac{\sigma_{\text{Stahl}}}{E_{\text{Stahl}}} : \frac{\sigma_{\text{PUR}}}{E_{\text{PUR}}} : \frac{\sigma_{\text{PE}}}{E_{\text{PE}}} \quad (75)$$

Jestliže je přípustné napětí ocele omezeno na hodnotu $\sigma_{\text{Stahl}} = 190 \text{ N/mm}^2$ a budou-li použity následující moduly pružnosti,

$$E_{\text{Stahl}} = 204.600 \text{ N/mm}^2 \text{ při } T_B = 130^\circ\text{C}$$

$$E_{\text{PUR}} = 15 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{PEHD}} = 940 \text{ N/mm}^2 \text{ dle firmy isoplus}$$

$$800 \text{ N/mm}^2 \text{ dle AGFW FW 401}$$

pak vznikající podélná napětí činí:

$$\sigma_{\text{PUR}} = 190 \cdot \frac{15}{204\,600} \sim 0,014 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{PEHD}} = 190 \cdot \frac{940}{204\,600} \sim 0,873 \text{ N/mm}^2 \text{ dle firmy isoplus}$$

$$\sigma_{\text{PEHD}} = 190 \cdot \frac{800}{204\,600} \sim 0,743 \text{ N/mm}^2 \text{ dle AGFW}$$

Porovnáme-li zde maximální přípustná napětí dle strany **K 14.1.1** se vznikajícími napětími, pak obdržíme následující součinitele bezpečnosti $[S_D]$:

krátkodobě				dlouhodobě			
σ_{PUR}	=	$\frac{0,30}{0,014}$	$\approx 21,4$	$\Leftarrow$ dle isoplusu $\Rightarrow$	σ_{PUR}	=	$\frac{0,15}{0,014} \approx 10,7$
σ_{PEHD}	=	$\frac{12,0}{0,873}$	$\approx 13,7$		σ_{PEHD}	=	$\frac{5,0}{0,873} \approx 5,7$
σ_{PEHD}	=	$\frac{12,0}{0,743}$	$\approx 16,1$		σ_{PEHD}	=	$\frac{5,0}{0,743} \approx 6,7$
				$\Leftarrow$ dle AGFW $\Rightarrow$			

DŮKAZ NAPĚTÍ

2. Smykové napětí

Smyková napětí $[\tau]$ vyplývají z třecí síly $[F'_R]$, vznikající při změně délky potrubního vedení. Pevnost ve smyku se skládá ze dvou mezních oblastí, přičemž na základě menšího obvodu vznikají na teplotosné trubce větší smyková napětí. $\tau = \leq 0,04 \text{ N/mm}^2$ platí jako maximálně přípustné smykové napětí.

plášťová trubka a tvrdá PUR pěna

$$\tau_a = \frac{F'_R}{D_i \cdot \pi} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (76)$$

$$\tau_a = \frac{4,1938}{241,6 \cdot 3,1416} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (\text{příkl. 76})$$

$$\text{výsledek: } \tau_a = 0,0055 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{příkl. 76})$$

teplotosná trubka a tvrdá PUR pěna

$$\tau_i = \frac{F'_R}{d_a \cdot \pi} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (77)$$

$$\tau_i = \frac{4,1938}{168,3 \cdot 3,1416} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (\text{příkl. 77})$$

$$\text{výsledek: } \tau_i = 0,0079 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{příkl. 77})$$

$$\pi = 3,1416 \quad [-]$$

$$s_2 = \text{tloušťka stěny teplotosné trubky} \quad [\text{mm}]$$

$$D_a = \text{vnější průměr plášťové trubky} \quad [\text{mm}]$$

$$d_a = \text{vnější průměr teplotosné trubky} \quad [\text{mm}]$$

$$D_i = \text{vnitřní průměr plášťové trubky} \quad [\text{mm}] = D_a - 2 \cdot s_2$$

$$F'_R \Rightarrow (14), \text{ viz stranu K 3.0} = 4.193,82 \text{ N/m} = 4,1938 \text{ N/mm}$$

Vlastnosti materiálu

Polyuretanová tvrdá pěna, PEHD plášťová trubka a trubka sdružené konstrukce, KMR dle AGFW FW 401 - část 10 a Evropská norma EN 253

vlastnost		značka	jednotka	PUR	PEHD
Přípustné podélné napětí	dlouhodobě	σ_{zul}	N/mm^2	0,15	5
Přípustné podélné napětí	krátkodobě	σ_{zul}	N/mm^2	0,30	12
Součinitel roztažnosti		α	$1/\text{K}$	$\approx 5-8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Modul pružnosti	dlouhodobě	E	N/mm^2	15	150
Modul pružnosti	krátkodobě	E	N/mm^2	15	800
Minimální objemová hmotnost		ρ	kg/m^3	60	935
Mez kluzu v tahu při dilataci 10 %	krátkodobě	R_e	N/mm^2	---	30
Smykové napětí v rovné KMR		τ	N/mm^2	$\leq 0,04$	
Axiální pevnost ve smyku KMR	při 23°C	τ_{ax}	N/mm^2	$\geq 0,12$	
Axiální pevnost ve smyku KMR	při 140°C	τ_{ax}	N/mm^2	$\geq 0,08$	
Tangenciální pevnost ve smyku KMR	při 23°C	τ_{tan}	N/mm^2	$\geq 0,20$	
Tangenciální pevnost ve smyku KMR	při 140°C	τ_{tan}	N/mm^2	$\leq 0,13$	

DŮKAZ NAPĚTÍ

Únavový lom

Tento způsob důkazu zaručuje během celé provozní životnosti trasy pro dálkový rozvod tepla s plášťovou trubicí z plastické hmoty, že je možné vyloučit poškození na základě únavy materiálu opakovaným zatížením. Na základě únavově bezpečného stanovení dilatačních ramen a dilatačních polštářů se podařilo zredukovat rozkmit napětí tak, že tuhost uložení v zemině nemá za následek žádný únavový lom materiálů v místě upevnění.

Během provozní doby působí na potrubní síť proměnlivá namáhání, přičemž dochází ke vzniku primárních a sekundárních napětí.

Primární silová napětí vznikají na základě

- ⇒ vnitřního tlaku; žádné nebezpečí únavy, rozkmit napětí z tlakových výkyvů $< R_e$ (mez kluzu v tahu)
- ⇒ vlastní hmotnosti potrubního vedení
- ⇒ hmotnosti teplonosné látky
- ⇒ vnějšího tlaku zeminy, popř. dopravním zatížením

a vytvářejí rovnováhu s vnějšími silovými veličinami, např. vnitřní tlak $\Leftrightarrow$ tlak zeminy. Rozlišuje se membránové napětí a napětí v ohybu.

Sekundární dilatační napětí vznikají na základě

- ⇒ změny teplot
- ⇒ tepelného předpětí

a na základě různých modulů pružnosti materiálů. Jsou lineárně rozdělena po průřezu a při překročení meze kluzu způsobují plastické deformace.

Počet plných cyklů zatížení N dle AGFW FW 401 - část 10			
Druh vedení	N	γ_{fat}	NS_D
Hlavní transportní vedení	100	10	1000
Rozdělovací vedení	250	6,67	≈ 1670
Domovní přípojka	1000	5	5000

γ_{fat} = součinitel bezpečnosti zatěžovacích cyklů

NS_D = počet cyklů zatížení včetně součinitele bezpečnosti [S_D]

Koncentrace napětí

Koncentrace napětí překrývají souhrn odpovídajících primárních, jakož i sekundárních napětí a proto jsou pro únavu významné. Koncentrace napětí však nemají za následek viditelné, popř. nepřipustné deformace.

Únava ocele, PEHD pláště a polyuretanové tvrdé pěny

Podle informačního listu TÜV AD S2 „výpočet z vibračního namáhání“ se v oblasti LCF (únava na základě nízkého počtu cyklů dynamického zatížení) počítá s 10^4 cykly dynamického zatížení. Pro únavové křivky proto platí AGFW FW 401 - část 10, bod 3.2.3.