

PROJEKTOVANJE

Uopšteno

Sistem spajanja
Tehnika polaganja
Prednosti i nedostaci

P 1.0
P 1.1
P 1.2

Polaganje u hladnom stanju

Konvencionalno polaganje
Dozvoljena dužina polaganja
Pogonsko samopredaprezanje

P 2.0
P 2.1
P 2.2
P 2.3

Istezanje

Ograničeno istezanje
Kompenzacija istezanja
Faktori korekcije
Dijagram za L-luk
Dijagram za Z-luk
Dijagram za U-luk

P 3.0
P 3.1
P 3.2
P 3.3
P 3.4
P 3.5
P 3.6

Polaganje u topлом stanju

Termičko prednaprezanje
Metode izvođenja i funkcija
Podaci
Kompenzacija istezanja
EKO-sistem

P 4.0
P 4.1
P 4.2
P 4.3
P 4.4
P 4.5

Prednaprezanje kompenzacionih krakova

Mehaničko prednaprezanje
Termičko prednaprezanje

P 5.0
P 5.1

Skretanje trase

Luk sa specijalnim uglom i kosi rezovi
Elastično savijanje
Lučna cev
Proračuni za lučnu cev

P 6.0
P 6.1
P 6.2
P 6.3



PROJEKTOVANJE

Uopšteno

Već desetinama godina se cev obložena polimernim materijalima (KMR) u praksi pokazala pouzdanom i danas se izgradnja trasa toplovođa uglavnom izvodi primenom ove tehnologije. S obzirom na ekonomske, ekološke i tehničke aspekte u poređenju s drugim konvencionalnim postupcima postavljanja, ona nudi niz prednosti.

Kako bi se one iskoristile, potrebno je tačno poznavanje funkcionalnih karakteristika KMR-sistema, budući da je za projektovanje KMR-cevovoda neophodno obimno stručno znanje.



Inženjeru koji vrši projektovanje zato mora biti stavljen na raspolažanje odgovarajuća stručna sredstva za rad kako bi mogao da razvije ekonomično smislene i racionalne toplovodne mreže. U sledećim poglavljima izložena su pojašnjenja i uvod u poznavanje statike. Ona, doduše, ne pokrivaju sve situacije do kojih bi prilikom projektovanja moglo da dođe.

Zato su u svakoj fazi neke građevinske etape – od konkursa do izvođenja i dokumentacije – **Isoplusovi** projektanti spremni da pomognu svim potrebnim informacijama i proračunima kako bi rešili pojedinačne probleme.

Zbog ekonomičnosti toplovođa neophodno je održati što veću ravnotežu kada je reč o granicama statičkih proračuna, a takođe i vrednosti parcijalnih stepena sigurnosti (γ_m) primenjenih materijala. Zato se mora posvetiti naročita pažnja pojedinačnim kriterijumima za polaganje cevi. Samo primenom najmodernijih računarskih programa to može biti omogućeno.

PAŽNJA: radi bolje interpretacije sve formule, od (1) do (77) u ovom poglavlju, od strane **P 2.0** do strane **P 14.1.1**, propraćene su primerom (prm.). Ovde važi: DN 150 ($d_a = 168,3$ mm; $s = 4,0$ mm; $d_i = 160,3$ mm) sa izolacijom PUR-penom i PEHD-obložnom cevi ($D_a = 250,0$ mm; $s_2 = 4,2$ mm; $D_i = 241,6$ mm). Cev za medijum je od crnog čelika (St. 37.0) i napunjena je vodom.

Složen (kompaktan) sistem

PEHD-obložna cev i cev za medijum međusobno su čvrsto povezane putem PUR-tvrde pene te čine jednu celinu (kompaktan sistem). Time se predizolovana cev kao i tehnika polaganja znatno razlikuje od konvencionalnih postupaka.

Ta posebna obeležja potrebno je uvažiti već tokom projektovanja i polaganja kako bi se osigurali pouzdan rad i duga trajnost KMR-trase.



PROJEKTOVANJE

Pri termičkom opterećenju tri komponente - cev za medijum, PUR-pena i PEHD-obložna cev jednako se proširuju, za razliku od ostalih sistema cevi. Stoga se sve spoljašnje sile od opterećenja zemlje i saobraćaja, kao i trenje između obložne cevi i okolnog tla (posteljice od peska), preko PUR-tvrde pene prenose od PEHD-obložne cevi na cev za medijum.

Zajedničkim delovanjem spoljašnjih, ali i unutrašnjih sila, uzrokovanih širenjem toplovoda, nastaje niz napona koje mora prihvati ovakav kompaktni sistem.

Tako nastaju granične vrednosti koje se prilikom planiranja i montaže moraju uvažiti. **isoplus-KMR-sistemi** mogu se koristiti do trajne radne temperature od max. 155° C. Na zahtev se mogu pogledati potvrde ispitivanja Službenog zavoda za ispitivanje materijala (AMPA).

Kod temperaturne koje su veće od 130° C neophodni su detaljni i obuhvatni statički proračuni, budući da visoke temperature uzrokuju ogromna aksijalna istezanja i druge sile. Zato pre početka projektovanja treba precizno proveriti profil opterećenja zato što bi karakteristične vrednosti materijala mogle da pređu dozvoljene granice.

Tehnika polaganja

Principijelna razlika u načinu polaganja cevi je između **polaganja u hladnom stanju i polaganja u topлом stanju**. Ova dva osnovna načina karakteriše pet različitih tehnika. U skladu sa lokalnim podacima, tj. ograničenjima planiranog i podzemno položenog cevovoda, treba izabratи jednu od sledećih pet tehnika:

POLAGANJE U HLADNOM STANJU

- ⇒ **polaganje u hladnom stanju** P 2.0
bez ograničenja dozvoljene dužine polaganja
ali sa ograničenjem temperature na najviše 85° C
- ⇒ **konzervaciono polaganje** P 2.1
sa ograničenjem dozvoljene dužine polaganja
i maksimalnom temperaturom od 155° C
- ⇒ **pogonsko samoprednaprezanje** P 2.3
bez ograničenja dozvoljene dužine polaganja
ali sa ograničenjem temperature na najviše 130° C

POLAGANJE U TOPLOM STANJU

- ⇒ **Termičko prednaprezanje** P 4.0
bez ograničenja dozvoljene dužine polaganja
ali sa prednaprezanjem u **nezagrnutom** rovu i sa ograničenjem
temperature na najviše 155° C (temperatura predzagrevanja = srednja temperatura)
- ⇒ **Jednokratni kompenzator (EKO-sistem)** P 4.4
bez ograničenja dozvoljene dužine polaganja
ali sa prednaprezanjem u zagrnutom rovu i sa ograničenjem
temperature na najviše 140° C (temperatura predzagrevanja barem 80° C)

PROJEKTOVANJE

Prednosti i nedostaci

Tehnika polaganja	Prednost	Nedostatak
POLAGANJE U HLADNOM STANJU	Polaganje u hladnom stanju	<p>Mali aksijalni napon od topotnog istezanja</p> <p>Rov može odmah biti zagrnut</p> <p>Najveća dozvoljena radna temperatura $\leq 85^{\circ}\text{C}$</p>
	Konvencionalno polaganje	<p>Najveći dozvoljeni aksijalni napon ne biva prekoračen</p> <p>Rov može odmah biti zagrnut</p> <p>Treba se pridržavati najveće dozvoljene dužine polaganja postavljanjem neophodnih kompenzacijonih krakova (L,Z,U)</p>
	Pogonsko samoprednaprezanje	<p>Rov može odmah biti zagrnut</p> <p>Ušteda kompenzacijonih krakova</p> <p>Ekstremno veliko aksijalno istezanje</p> <p>Opasnost od izvijanja</p> <p>Aksijalni napon premašuje granicu tečenja čelika</p> <p>Naknadno račvanje cevovoda nije moguće</p>
POLAGANJE U TOPLOM STANJU	Termičko prednaprezanje	<p>Ograničenje aksijalnog napona na $= 155 \text{ N/mm}^2$ - nizak tehnički rizik</p> <p>Malo aksijalno istezanje</p> <p>Ušteda kompenzacijonih krakova</p> <p>Rov mora da ostane otvoren do završetka prednaprezanja</p> <p>U zavisnosti od metode je neophodan radni medijum koji se može regulisati ili priključak za struju od 380 V</p>
	Jednokratni kompenzator (EKO-sistem)	<p>Rov može odmah biti zagrnut izuzev EKO-kompenzatora</p> <p>Ušteda kompenzacijonih krakova</p> <p>Što je veća temperatura, utoliko je više kompenzatora potrebno</p> <p>Otvori za montažu kompenzatora moraju da ostanu otvoreni sve do prednaprezanja</p>

POLAGANJE U HLADNOM STANJU

Primena i definicija

Kod ove tehnike postavljanja pravolinijske KMR-trase mogu se polagati gotovo bez ikakvih ograničenja. O pojmu 'polaganje u hladnom stanju' prisutna su različita stanovišta, odnosno lakovisleno se poistovećuje sa tehnologijom za koju nije poznata precizna definicija. Pri tome se mogu razlikovati tri različite potkategorije polaganja u hladnom stanju, koje će ovde biti opisane.

Polaganje u hladnom stanju do $T_B \leq 85^\circ C$

Prema Hookovom zakonu o materijalima, istezanja su proporcionalna naponima (σ), što znači:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

E = modul elastičnosti (N/mm^2)
 ε = istezanje $\Delta L/L_x$ (-)

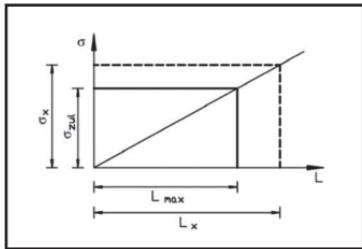
Kod KMR-sistema se istezanje (ε) postiže zagrevanjem cevi za medijum za ΔL . Iz toga sledi:

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

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

α = koeficijent istezanja čelika ($1/K$)

ΔT = temperaturna razlika



Zbog ograničenja radne temperature (T_B) na $\leq 85^\circ C$ aksijalni napon (σ) se ograničava na, prema AGFW FW 401, neophodnu vrednost parcijalnog stepena sigurnosti (γ_M) od R_e : 1,1 (R_e = granica tečenja) zato što temperaturna razlika (ΔT) između temperature zemlje (T_e) i T_B iznosi samo 75 K. Za cevi za medijum St 37.0 na $85^\circ C$ važe za E , α , i R_e konstante navedene na strani P 2.1.

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

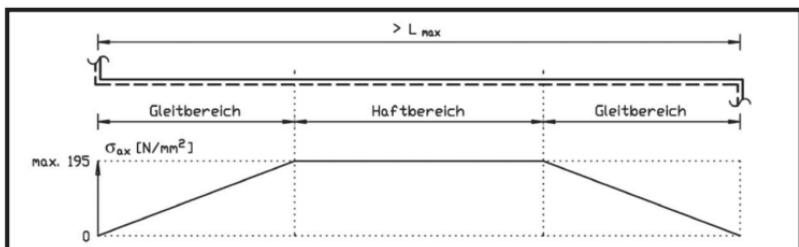
$$\sigma_{zul} = 216,50 : 1,1$$

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

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

$$(\text{prm.3}) \Rightarrow \sigma_{vorh} = 2,0794 \cdot 105 \cdot 1,24 \cdot 10^{-5} \cdot 75 \quad \text{rezultat: } \sigma_{vorh} = 193,4 \text{ N/mm}^2$$

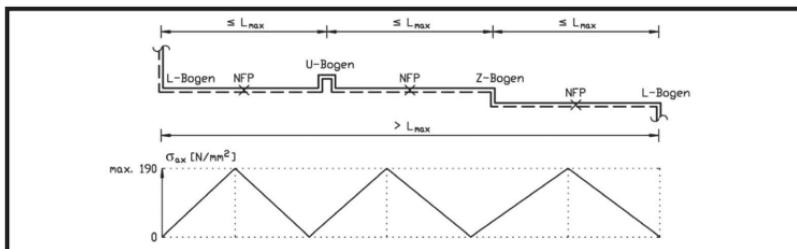
Za KMR-toplovodne trase sa $T_B \leq 85^\circ C$ to znači da može biti projektovano bez ograničenja dužine polaganja. Preko kompenzacijonih krakova i dilatacionih jastuka se mogu kompenzovati relativno mala aksijalna istezanja.



POLAGANJE U HLADNOM STANJU

Konvencionalno polaganje

Ova tehnika polaganja se primenjuje uvek kada je putanja trase obeležena preprekama kao što su na primer građevine, raskrsnice, drveće itd. Međutim, predušov je da se poštuje dozvoljena dužina polaganja (L_{max}). U zavisnosti od debljine nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi proizilaze najveće dozvoljene dužine polaganja navedene na strani **P 2.2.2**. Ukoliko je cela trasa duža od L_{max} , onda se ona mora podeliti u više odsečaka $\leq L_{max}$ postavljanjem Z ili U-lukova.



Parcijalni stepen sigurnosti (γ_M), kao što je već pomenuto, iznosi prema AGFW FW 401 za granicu tečenja radnog materijala na $120^\circ C \Rightarrow 1,10$. Iz toga proističe da je kod temperaturu do maksimalno $140^\circ C$ najveće dozvoljeno aksijalno istezanje (σ_{zuL}) u cevi za medijum $\approx 190 N/mm^2$. Od $T_B > 140^\circ C$ aksijalni napon se smanjuje na maksimalno $\leq 180 N/mm^2$.

Cev za medijum St 37.0 prema DIN 1626 / 1629 \Rightarrow zatezna čvrstoća $Rm = 350 - 480 N/mm^2$

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 = statička temperatura polaganja u $^\circ C$
 α = koeficijent istezanja (10-5) u $1/K$

R_e = granica elastičnosti u N/mm^2
 E = modul elastičnosti u K/mm^2

Drugi podaci o radnim materijalima na specijalan zahtev.

POLAGANJE U HLADNOM STANJU

Dozvoljena dužina polaganja L_{\max}

Sila trenja (F'_R) se povećava sa porastom dužine polaganja (L_x). Sila trenja delimično onemogućuje istezanje. Sila istezanja (F_D), koja preko čitave dužine (L_x) predstavlja konstantu, suprotstavlja se sili trenja. Sve dok je ukupna sila trenja u cevi (F_{Rohr}) manja od sile istezanja pod datom temperaturom (F_T), nastaje klizno područje. Osim toga, sila trenja i sila istezanja su u istom odnosu, tako da nastaje nulta tačka kretanja, odnosno područje prianjanja. Za silu istezanja F_T sledi:

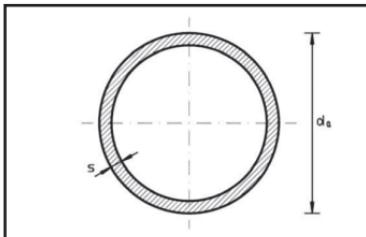
$$\begin{aligned} F_T &= A \cdot \sigma_x \quad [\text{N}] & (5) \\ F_T &= 2,064,66 \cdot 101,562 \quad (\text{N}) & (\text{prm. 5}) \\ \text{Rezultat: } F_T &= 209,691,00 \quad (\text{N}) & (\text{prm. 5}) \end{aligned}$$

$A = \text{presek cevi za medijum } [\text{mm}^2]$

$$\sigma_x = \text{napon zatezanja odnosno pritiska } [\text{N/mm}^2] \Rightarrow (8)$$

Presek cevi (A) je:

$$\begin{aligned} A &= (d_a - s) \cdot \pi \cdot s \quad [\text{mm}] & (6) \\ A &= (168,3 - 4,0) \cdot 3,1416 \cdot 4,0 \quad (\text{mm}^2) & (\text{prm. 6}) \\ \text{Rezultat: } A &= 1,064,66 \quad \text{mm}^2 & (\text{prm. 6}) \end{aligned}$$



d_a = spoljašnji prečnik cevi za medijum [mm]

s = deblijina zida cevi za medijum [mm]

$\pi = 3,1416$ (-)

Budući da su presek cevi za medijum (A) i sila trenja (F'_R) konstantne veličine, strana **P 3.0**, napon (σ_x) direktno je proporcionalan dužini cevi (L_x).

$$\begin{aligned} F_{Rohr} &= F'_R \cdot L_x \quad [\text{N}] & (7) \\ F_{Rohr} &= 4,193,82 \cdot 50 \quad (\text{N}) & (\text{prm. 7}) \\ \text{Rezultat: } F_{Rohr} &= 209,691,00 \quad (\text{N}) & (\text{prm. 7}) \end{aligned}$$

F_{Rohr} = sila u cevi pri L_x [N]

F_R = sila trenja po metru [N/m]

L_x = postojeća dužina cevi [m], npr 50 m

Ukupna sila trenja F_{Rohr} u čeličnoj cevi provodi aksijalni napon:

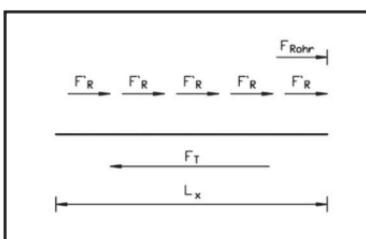
$$\sigma_a = F_{rohr}/A \quad [\text{N/mm}^2] \quad (8)$$

$$\sigma_a = \frac{209,691,00}{2,064,66} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (\text{prm. 8})$$

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

σ_a = aksijalni napon [N/mm²]

A = presek cevi za medijum [mm²]



POLAGANJE U HLADNOM STANJU

Ukoliko je aksijalni napon ograničen na maksimalno dopuštenu vrednost ($\sigma_{zul} = 190 \text{ N/mm}^2$), uvek proizlazi dužina (L_{zul}) kod koje između zbiru sila trenja (F_{Rohr}) i sile istezanja na datoru temperaturi (F_T) (5) nastaje ravnoteža.

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

$$4.193,82 \cdot 93,53892 = FT \quad (\text{prm.9})$$

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

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

$$4.193,83 \cdot 93,53892 = 2.064,66 \cdot 190 \quad (\text{prm.10})$$

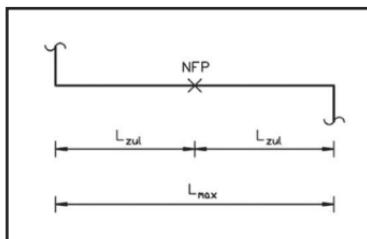
$$\text{Rezultat: } 392.285,40 \text{ N} \quad (\text{prm.10})$$

Iz toga sledi:

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

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

$$\text{Rezultat: } L_{zul} = 93,53892 \approx 93,50 \text{ m} \quad (\text{prm.11})$$



L_{zul} = Dozvoljena dužina montaže od NFP-a do mesta kompenzacije (L, Z ili U-luka)

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

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

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

Dozvoljena dužina polaganja (L_{max}) od kompenzacionog kraka do kompenzacionog kraka zavisi od sledećih parametara:

⇒ debljine nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi (\hat{U}_H)

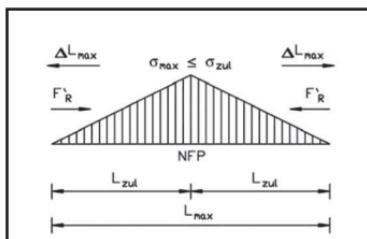
⇒ spoljnog prečnika cevi za medijum (d_a)

⇒ spoljnog prečnika obložne cevi (D_a)

⇒ maksimalno dozvoljenog aksijalnog napona (σ_{zul})

Usled delovanja zbirne sile trenja (F'_R) od krajeva cevi do sredine odsečka nastaje ravnoteža sile. Ta tačka mirovanja naziva se prirodnom čvrstom tačkom (NFP) od koje se vod za ΔL ravnometerno isteže u oba smera.

Na NFP-u time nastaje najveći aksijalni napon (σ_{max}) koji se ograničava na σ_{zul} i prema krajevima cevi se linearno smanjuje.



POLAGANJE U HLADNOM STANJU

Dozvoljena dužina polaganja (L_{max}) u m

Dimenzijsne cevi za medijum	MR- spoljni prečnik D_a (mm)			L_{max} kod debljine nasutog sloja (\bar{U}_H) zemlje iznad gornje površine cevi, gornja površina obložne cevi do gornje površine zemljišta											
	Nomin. vrednost	Spolj.- Ø da mm	Debljina zida s (mm) prema R 2.0	Debljina izolacije			Debljina izolacije			Debljina izolacije			Debljina izolacije		
				S	1x	2x*	S	1x	2x*	S	1x	2x*	S	1x	2x*
20	26,9	2,3	90	110	125	50	41	35	34	28	24	26	21	18	
25	33,7	2,6	90	110	125	72	58	51	49	40	35	37	30	26	
32	42,4	2,6	110	125	140	74	65	57	51	44	39	38	34	30	
40	48,3	2,6	110	125	140	85	74	66	58	51	45	44	39	34	
50	60,3	2,9	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	
175 *	193,7	4,5	280	315	355	212	186	162	151	133	116	117	103	90	
200	219,1	4,5	315	355	400	210	183	159	150	131	115	116	102	90	
225 *	244,5	5,0	355	400	450	225	196	171	162	142	124	126	111	97	
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	700	266	231	214	198	173	160	157	138	128	
450	457,2	6,3	630	670	710	257	238	222	193	179	168	154	144	135	
500	508,0	6,3	670	710	800	262	244	210	198	185	160	159	149	130	
550 *	558,8	6,3	710	800	900	266	229	197	202	175	152	163	142	124	
600	610,0	7,1	800	900	1000	278	240	209	214	185	163	173	151	133	
650 *	660,0	7,1	900	1000	1100	258	225	198	199	175	156	163	144	128	
700	711,0	8,0	900	1000	---	309	270	---	240	211	---	196	173	---	
750 *	762,0	8,0	1000	1100	---	287	253	---	224	200	---	184	165	---	
800	813,0	8,8	1000	1100	---	332	294	---	261	232	---	215	192	---	
850 *	864,0	8,8	1100	1200	---	310	277	---	245	220	---	203	183	---	
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 = standardna debljina izolacije, 1x = 1 x pojačana debljina izolacije, 2x = 2 x pojačana debljina izolacije

PAŽNJA: Kod kursivno ispisanih dimenzija (*) i prečnika obložnih cevi (*) reč je o specijalnim izradama. U slučaju potrebe trebalo bi se odmah raspitati o mogućnostima isporuke.

U tabeli navedene vrednosti se zasnivaju na osnovu AGFW-smernice FW 401 - 10. deo i odnose se na zemljišta sa specifičnom težinom od 19 KN/m³, maksimalno dozvoljenom naponu smicanja (τ_{pu}) od ≤ 0,04 N/mm² i uglom unutrašnjeg trena (ϕ) od 32,5°. Za crne cevi za medijum, radni materijal St 37,0, W-B ili S (zavarena ili bešvana), br. 1.0254, debljine zida u skladu sa poglavljem R, strana R 2.0, za druge debljine nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi (\bar{U}_H) treba prilagoditi i dodatno umanjiti za ≈ 5%.

Najveći dozvoljeni aksijalni napon (σ_{ax}) kod prave cevi = 190 N/mm² na maksimalnoj radnoj temperaturi (T_b) od 140°C i pri nominalnom pritisku od PN 25. Kod $T_b > 140^{\circ}\text{C}$ se L_{max} mora skratiti za 5%, s obzirom da je σ_{ax} maksimalno 180 N/mm². U zavisnosti od T_b i debljine nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi (\bar{U}_H), dužina polaganja > 120 m može prouzrokovati aksijalno istezanje (ΔL) > 80 mm. To aksijalno istezanje zahteva debljinu dilatacionog jastuka (DP_j) > 120 mm.

Temperatura obložne cevi se prema AGFW FW 401 mora ograničiti na najviše 60° C, što, opet, uslovljava maksimalno dozvoljenu debljinu dilatacionog jastuka od 120 mm. Ako je $\Delta L > 80$ mm, onda kompenzacione krake, osonice treba prednapregnuti, strana P 5.0 i P 1.0.

POLAGANJE U HLADNOM STANJU

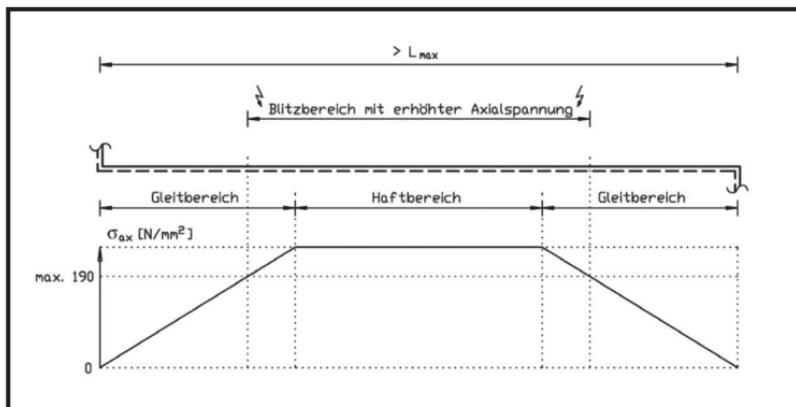
Pogonsko samoprednaprezanje

Pomoću metode pogonskog samoprednaprezanja, polaganje u hladnom stanju pri radnoj temperaturi $> 85^\circ\text{C}$, i uobičajenih debljina nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi, nailazimo na području velikih opterećenja koja raniće u oblasti spajanja KMR-cevovoda nisu bila dozvoljena. Kod ove tehnike polaganja, pravolinijske KMR-trase se mogu polagati gotovo bez ikakvih ograničenja, dakle bez uobičajenih mera za vršenje kompenzacije pomoću U ili Z-lukova.

Za zavarene i bešavne cevi za medijum St 37.0, tehnički uslovi isporuke su u skladu sa DIN 1626/1629, do nominalne veličine DN 300, bez obaziranja na vrednost parcijalnog stepena sigurnosti (γ_m), dozvoljeni aksijalni napon (σ_{ax}) u pravolinijskoj cevi iznosi 300 N/mm^2 ($R_e \cdot 1,5$) na maksimalnoj radnoj temperaturi od 130°C . U skladu sa radnim sertifikatima cevi za medijum St 37.0, stvarna granica elastičnosti (R_e) iznosi oko 300 N/mm^2 . Ova okolnost se koristi za samoprednaprezanje.

Od DN 350 se smanjuje σ_{ax} kod St 37.0. To može dovesti do to da se mora primeniti kvalitetnija cev za medijum, na primer St 52.0. Bez druge vrste čelika bi, uprkos podupiranju i vođenju kroz zemlju, PEHD-omotaču, nastala lokalna nestabilnost u vidu izbočina (= stalni rast lokalnih plastičnih deformacija ukoliko se višeputno upotrebljava prekoračavajući R_e). Zato se za St 37.0 moguća nominalna veličina mora ograničiti na maksimalno DN 300.

Kod izračunatih, odnosno radnih temperatura od 131° do najviše 155° se kao cev za medijum, bez obzira na dimenziju, mora koristiti isključivo radni materijal St 52.0.



'Pogonsko samoprednaprezanje' trase se postiže jednokratnim planiranim prekoračenjem granice istezanja, $R_e \text{ St } 37.0 = 204 \text{ N/mm}^2$ na 130° C u cevi za medijum. Sprečavanjem termičkog istezanja za vreme prvog puštanja u pogon se radni materijal prilikom postizanja R_e u pravolinijskoj cevi jednokratno plastično isteže. Radni materijal u svim ostalim slučajevima preopterećenja ostaje elastičan.

Karakteristike 'pogonskog samoprednaprezanja', strana P 2.3.1

POLAGANJE U HLADNOM STANJU

13 osobina 'pogonskog samoprednaprezanja'

1. Tri do četiri puta veće istezanje u odnosu na termičko prednaprezanje, za što su potrebni dilatacioni oslonci ili čak kompenzacioni elementi. Statički se ne može dokazati da se bez ikakve zamene može odustati od dilatacionih jastuka.
2. U slučaju potrebe treba dodatno izvršiti termičko ili mehaničko prednaprezanje dilatacionih oslonaca ili kompenzacionih krakova.
3. Veći naponi pritiska u PUR-peni na svim lukovima trase i mnogo veće sile kod podzemno postavljenih armatura za zatvaranje cevovodova.
4. Fabrički predizlozovani ogranci uzrokuju, zbog slabljenja poprečnog preseka cevi glavnog voda, dodatne slabe tačke koje mogu biti kompenzovane samo konzolnim pojačanjem ili generalnom primenom T-komada prema DIN 2615.
5. Redukcije cevi za medium moraju biti dimenzionisane prema DIN 2616, 2. deo.
6. Svaki kasniji kućni priključak, tj. odvajanje cevi od glavnog cevovoda kroz izbušeni otvor, mora biti precizno proveren. Bez obzira da li se nalazi u kliznom području ili području prijanjanja, moguće je da se priključak ne može izvesti.
7. Čvrsto definisane karakteristike zemljišta na celom odsečku. Niskogradnja mora precizno da se drži zahteva kvaliteta posteljice od peska i zagrtanja rova. U slučaju potrebe to treba neprestano kontrolisati.
8. Debljine nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi moraju pre početka radova biti precizno definisane, a svaka izmena se mora statički proveriti i odobriti.
9. Podzemno postavljene i konstruktivne čvrste tačke u građevinama se zbog velikih aksijalnih napona ne mogu realizovati.
10. Kosi rezovi, tj savijanja prema AGFW FW 401 nisu dozvoljeni, budući da aksijalni napon (σ_{ax}) premašuje granicu elastičnosti (R_e). **Granica tolerancije prilikom montaže iznosi svega 0,25%!** Instalater mora o tome da bude obavešten i u slučaju potrebe mora da vrši nadziranje.
11. Povećano opterećenje spojnica, za koje je potrebna kvalitetnija konstrukcija spojnice.
12. Po mogućству ne postavljati trasu pored drvoreda, budući da vetar preko korenja može presudno da utiče na statičke karakteristike zemljišta (trenje)!
13. Sve građevinske mere koje bi trebalo da budu izvršene paralelno sa KMR-trasom, a za koje je potrebna niskogradnja, otkopavanje ili postavljanje šahtova, moraju zbog velike opasnosti od ulubljivanja ili izvijanja biti izračunate i odobrene. Odobrenje se mora dobiti od **isoplusa**, kao statički odgovornog. Sa tim moraju biti upoznati svi snabdevači (preduzetnici), odnosno mora postojati centralno koordinantno mesto koje će preuzeti taj zadatak. Proračun maksimalne dozvoljene dužine koja se sme raskopati takođe vrši **isoplus**.

Svi koji su prisutni na gradilištu moraju za vreme obavljanja radova na 'paralelnom gradilištu' da budu izuzetno pažljivi. To se mora nezavisno i kontinuirano kontrolisati. U takozvanim 'oblastima visokog napona' (vidi **Isoplusov** plan trase) kod polaganja u hladnom stanju otvaranje rova je najkritičnije zato što je tu prekoračena granica elastičnosti (R_e) čelične cevi. **Izvijanje ili ulubljivanje cevi je moguće bez prethodnih nagoveštaja!**

isoplus insistira u slučaju služenja tehnologijom 'pogonsko samoprednaprezanje' na pismenoj saglasnosti, tj. potvrđi investitora ili nekog drugog opunomoćenog lica da je po svim tačkama upoznat sa svim nabrojanim ograničenjima, karakteristikama i rizicima i da su oni prihvaćeni kao sastavni deo životnog veka toplovođa.

POLAGANJE U HLADNOM STANJU

Aksijalno istezanje

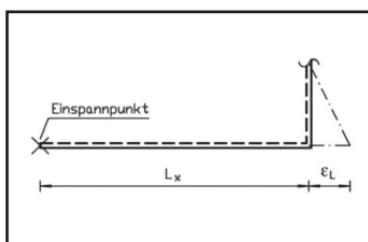
Variranjem temperature svi mediji menjaju zapreminu. Zbog promjenjenih temperatura kod plastične obložene cevi važno je samo aksijalno istezanje. Toj promeni dužine suprotstavljaju se sile trenja između PEHD-obložene cevi i posteljice od peska. Sile prizvode različite napone u sistemu. Zadatak je statike, s obzirom na sigurnost, da obuhvati postojeće sile kako ne bi bile dostignute granične vrednosti komponenata materijala, odnosno prekoračile, i kako bi se promena dužine voda optimalno kompenzovala.

Slobodno istezanje

Pod "slobodnih istezanjem" (ε) smatra se nesmetana promena dužine voda (ε_L) pri povećanju temperature bez obzira na sile trenja i otpore. Veličina koja određuje promenu dužine je koefficijent istezanja (α) cevi za medijum. Slobodno postavljen KMR-vod dužine (L_x) pri povećanju temperature menja dužinu zanemarujući treno ležišta:

$$\begin{aligned}\varepsilon_L &= \alpha \cdot L_x \cdot \Delta T \quad [\text{mm}] \\ \varepsilon_L &= 1,26 \cdot 10^{-5} \cdot 50.000 \cdot 120 \quad (\text{mm}) \quad (\text{prm.13}) \\ \text{Rezultat: } \varepsilon_L &= 75,6 \text{ mm} \quad (\text{prm.13})\end{aligned}$$

L_x = postojeća dužina cevi [mm]
 α = koefficijent istezanja cevi za medijum
 $1/K$, strana **P 2.1**
 ΔT = razlika temperature između temperature okoline i maksimalne radne temperature (T_B), npr. $130 - 10 = 120^\circ \text{C}$



Ograničeno trenje

Kada je prekrivena peskom i napunjena, obložna cev (KMR) je pri povećanju temperature, za razliku od slobodnog istezanja, znatno ograničena na promenu dužine, zato što aksijalnim pomeranjem između PEHD-obložene cevi i okolnog područja zemlje nastaje sila trenja (F'_R). Sila trenja proizlazi iz normalnih sila (ΣF) koje spolja deluju na KMR i koefficijenta trenja. Dakle iz sile pritska zemlje, tj. normalne sile (F'_N) i težine cevovoda napunjenog vodom (F'_G), kao i koefficijenta trenja (μ).

$$\begin{aligned}F'_R &= \mu \cdot (F'_N + F'_G) \quad [\text{N/m}] \\ F'_R &= 0,40 \# (10,076,46 + 408,10) \text{ N/m} \quad (\text{prm.14}) \\ \text{Primer: } F'_R &= 4.193,82 \text{ N/m} \\ \text{ili } F'_R &= 4,194 \text{ kN/m} \quad (\text{prm.14})\end{aligned}$$

μ = koefficijent trenja [-] \Rightarrow (15)

F'_N = normalne sile, tj. sile pritska zemlje [N/m] (18)

F'_G = pogledati poglavlje Montaža, strana **M 11.1**, formule (88) do (92) F'_R (prm.) = 408,10 N/m

ISTEZANJE

Koefficijent trenja μ je tangens ugla trenja (δ) između PEHD-obložne cevi i posteljice od peska.

$$\begin{aligned} \mu &= \tan \cdot \delta (-) & (15) \\ \mu &= \tan \cdot 21,67 (-) & \text{rezultat: } \mu = 0,397 \approx 0,40 & (\text{prm.14}) \end{aligned}$$

Njegova veličina (δ) zavisi od unutrašnjeg ugla trenja (φ) zemljišta. U literaturi je za pesak i mešavinu peska i šljunka pri srednjem postavljanju naveden ugao trenja $\varphi = 32,5^\circ$, kao i specifična težina (ρ) od 19 kN/m^3 kao veličina kojom se vrše proračuni.

$$\begin{aligned} \delta &= (2/3) \cdot \varphi (^\circ) & (16) \\ \delta &= (2/3) \cdot 32,5 (^\circ) & \text{rezultat: } \delta = 21,67^\circ & (\text{prm.16}) \end{aligned}$$

Da bi se mogla izračunati sila pritiska zemlje, tj. normalna sila (F'_N) mora biti poznata vrednost koefficijenta mirovanja pritiska (k_0) ugla unutrašnjeg trenja.

$$\begin{aligned} k_0 &= 1 - \sin \varphi (-) & (17) \\ k_0 &= 1 - \sin 32,5 (-) & \text{rezultat: } k_0 = 1 - 0,537 = 0,463 \approx 0,45 (-) & (\text{prm.17}) \end{aligned}$$

Za normalnu силу (F'_N) важи:

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

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

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

ρ = specifična težina zemljišta (N/m^3)

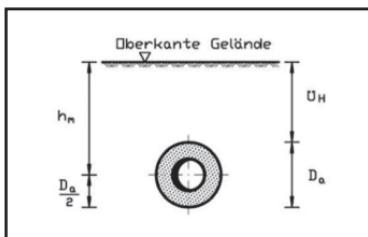
h_m = visina ose cevi do gornje ivice površine zemlje (m)

$$= \bar{U}_H + D_a / 2; \text{npr. } 0,8 + 0,25 / 2 = 0,925$$

\bar{U}_H = debljina nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi (m)

$$\pi = 3,1416 (-)$$

D_a = spoljni prečnik PE-obložne cevi (m)



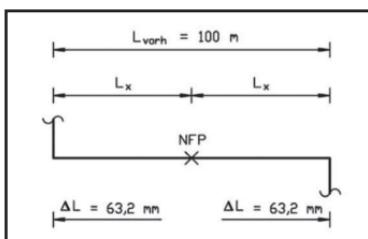
Za određivanje ograničenog istezanja (ΔL), tj. aksijalnog pomeranja (u), od ε_L (13) se mora oduzeti otpor prilikom trenja.

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

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

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

To znači da se 100 m dugačak odsečak (DN 150/250, $T_B = 130^\circ \text{ C}$, $\bar{U}_H = 0,80 \text{ m}$) od sredine (NFP) pomera za $63,2 \text{ mm}$ u pravcu oba kompenzaciona kraja (L,Z,U).

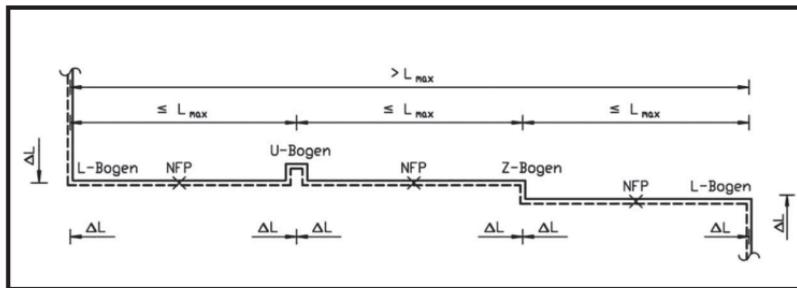


ISTEZANJE

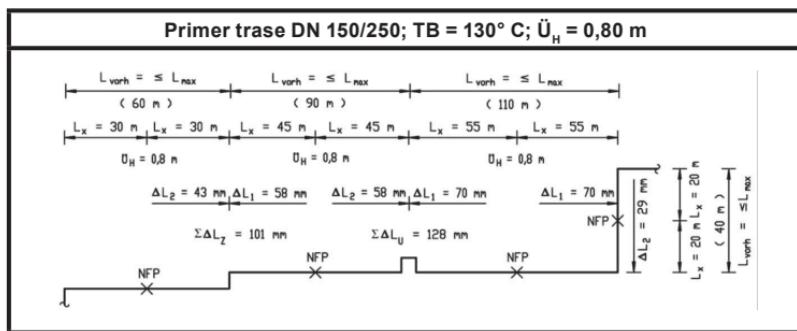
Kompenzacija

Za izračunavanje dužine kompenzacionih krakova kod L, Z i U-lukova kao i za određivanje neophodne debljine dilatacionih oslonaca, mora se znati veličina očekivane dilatacije po dužini (ΔL). Budući da ona zavisi od dužine trase (L_{vorb}), radne temperature (T_B) kao i debljine nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi (\bar{U}_H), mora biti sproveden precizan proračun, strana P 3.0 i P 3.1. U praksi se, međutim, ΔL može dovoljno precizno izračunati na osnovu dijagrama na strani P 3.2.1 i P 3.2.2.

Ovi dijagrami se odnose na nominalne veličine čeličnih cevi do DN 500, sa debljinom nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi od 0,80 m i radnom temperaturom od 130° C. Veće nominalne veličine se zbog složenosti proračuna ne mogu prikazati na dijagramima. U takvim slučajevima se statički proračuni vrše isključivo od strane **isoplusa** pomoću aktuelnih softverskih programa.



Na osnovu stvarne dužine trase (L_{vorb}) između dva kompenzaciona kraka (DS) se određuje polovina dužine (L_x).



Dilatacija po dužini (ΔL) za L_x od DN 20 do DN 200, strana P 3.2.1

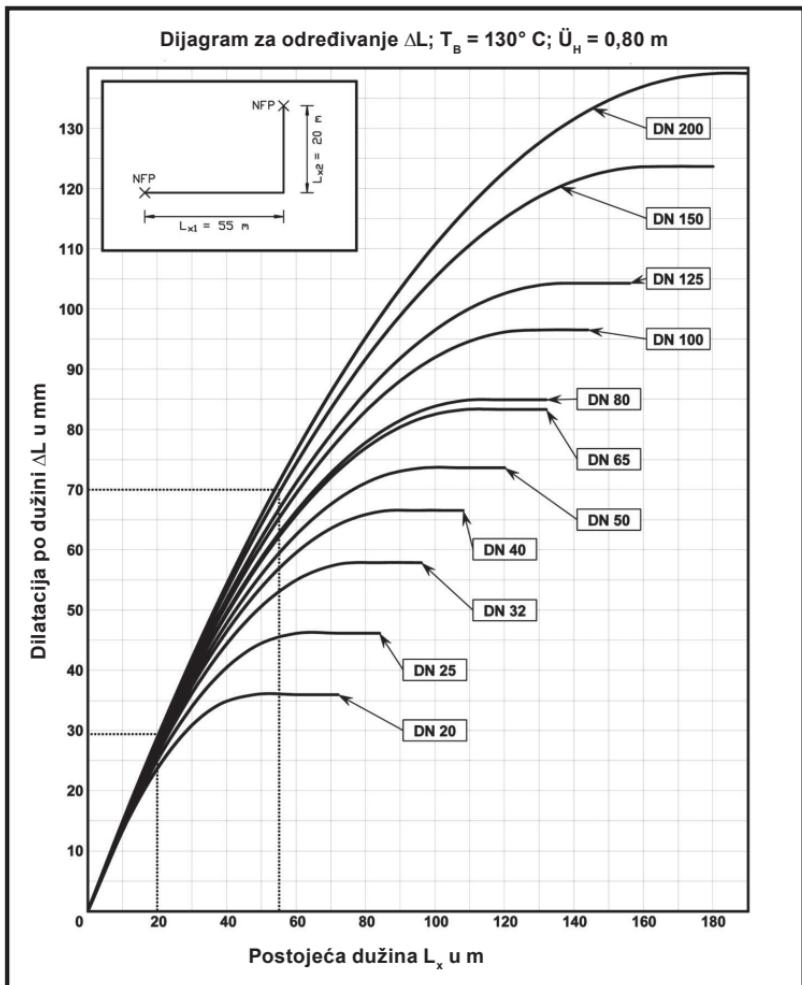
Dilatacija po dužini (ΔL) za L_x od DN 250 do DN 500, strana P 3.2.2

Faktori korekcije za druge \bar{U}_H , uglove i T_B , strana P 3.3 i P 3.3.1

Određivanje neophodne debljine dilatacionih oslonaca (DP_c), strana P 3.3.1

Određivanje dužine krakova (DS_L) L, Z i U-lukova, strana P 3.4 – P 3.6

Dilatacija po dužini ΔL (mm) za DN 20 do DN 200



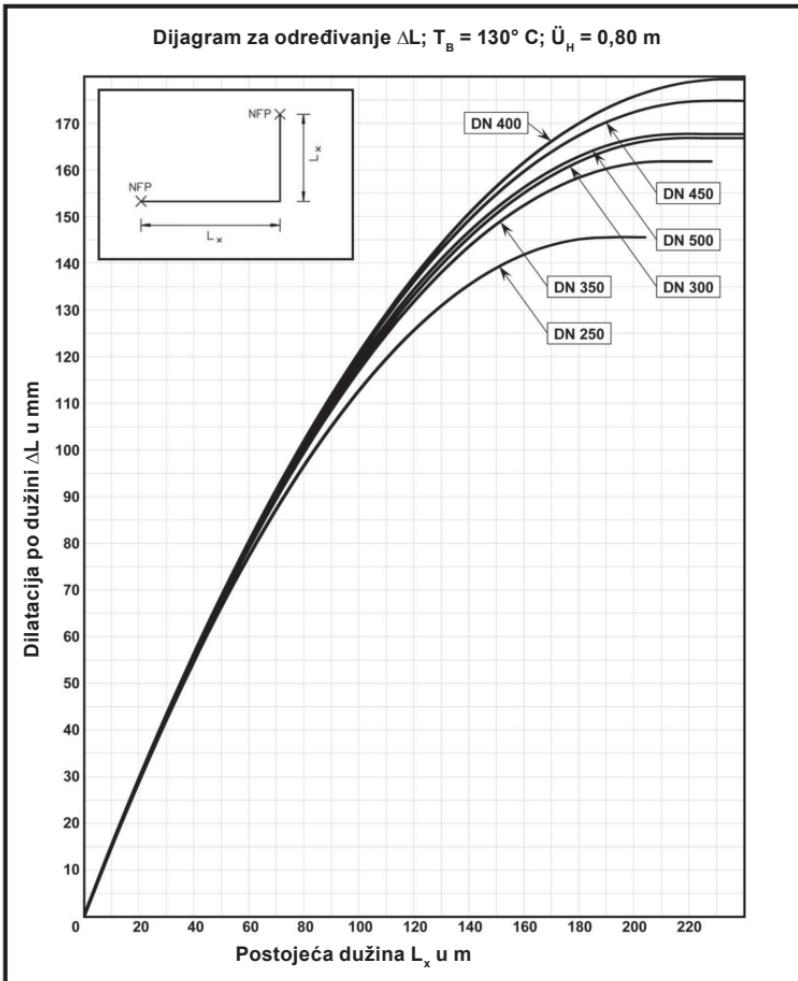
Faktori korekcije za druge \tilde{U}_H uglove i T_B , strana P 3.3 i P 3.3.1

Određivanje neophodne deblijine dilatacionih oslonaca (DP_s), strana P 3.3.1

Određivanje dužine krakova (DS_L) L, Z i U-lukova, strana P 3.4 – P 3.6

ISTEZANJE

Dilatacija po dužini ΔL (mm) za DN 250 do DN 500



Faktori korekcije za druge \hat{U}_H uglove i T_B , strana P 3.3 i P 3.3.1

Određivanje neophodne deblijine dilatacionih oslonaca (DP_s), strana P 3.3.1

Određivanje dužine krakova (DS_L) L, Z i U-lukova, strana P 3.4 – P 3.6

Faktori korekcije za druge debljine nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi (\bar{U}_H)

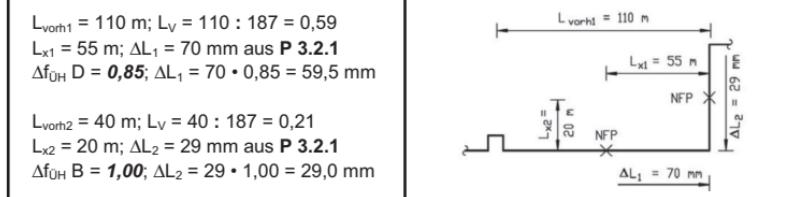
Kod debljine nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi $> 0,80$ m se može umanjiti dilatacija po dužini (ΔL). U zavisnosti od odnosa između stvarne dužine trase (L_{vorh}) između dva kompenzaciona kraka (DS) prema maksimalnoj dozvoljenoj dužini polaganja (L_{max}) dolazi do različitih faktora umanjenja ($\Delta f_{\bar{U}_H}$). Da bi se dobila odgovarajuća vrednost, mora biti poznat odnos (L_v) između L_{vorh} i L_{max} pri debljini nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi od $0,80$ m.

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

Za faktore umanjenja ($\Delta f_{\bar{U}_H}$) važi:

Faktor umanjena	Odnos dužine L_v pri $\bar{U}_H = 0,80$ m	$\bar{U}_H = 0,80$ m	$\bar{U}_H = 1,00$ m	$\bar{U}_H = 1,20$ m	$\bar{U}_H = 1,60$ m	Dužine koje služe kao primer DN 150/250, $L_{vorh} = 187,00$ m (strana P 2.2)
$\Delta f_{\bar{U}_H}$ A	$< 0,15$	1,00	1,00	1,00	1,00	$< 28,05$ m
$\Delta f_{\bar{U}_H}$ B	$0,15 - < 0,30$	1,00	1,00	1,00	0,90	$28,05$ m - $< 56,10$ m
$\Delta f_{\bar{U}_H}$ C	$0,30 - < 0,45$	1,00	1,00	0,90	0,80	$56,10$ m - $< 84,15$ m
$\Delta f_{\bar{U}_H}$ D	$> 0,45$	1,00	0,90	0,85	0,70	$> 84,15$ m

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

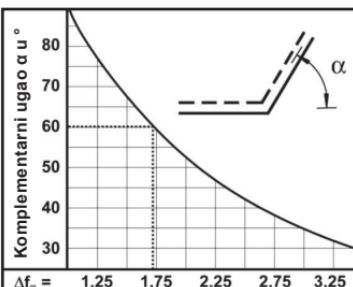


Faktori korekcije za komplementarni ugao ($\alpha < 90^\circ$)

Za komplementarne uglove ($\alpha < 90^\circ$) treba preko proračunskih faktora (Δf_α) u skladu sa dijagramom izračunati poprečno pomeranje (ΔL_α) koje proističe iz aksijalnog istezanja (ΔL_u).

Primer, ΔL_u , $\alpha = 60^\circ$:
 $70 \cdot 0,085 \cdot 1,73 = 103$ mm

$\Delta L_u \geq 80$ mm zahteva debljinu dilatacionih oslonaca > 120 mm. Da se prema AGFW FW 401 ne bi prekorčila dozvoljena temperatura PEHD-omotača od $60^\circ C$, treba termički ili mehanički prednapregnuti kompenzacione krakove sa $DP_s > 120$ mm. Strana P 5-0 i P 5.1.



Određivanje neophodne debljine dilatacionih oslonaca (DP_s), strana P 3.3.1

Određivanje dužine krakova (DS_U) Z i U-lukova, strana P 3.4 – P 3.6

ISTEZANJE

Faktori korekcije za drugu radnu temperaturu (T_B)

Maksimalna radna temperatura (T_B) presudno utiče na stvarno kretanje prilikom istezanja. Zato se prema podacima na stranama P 3.2.1 ili P 3.2.2 izračunata dilatacija po dužini koriguje sledećim faktorima (Δf_{TB}):

Radna temperatura T_B u °C	155	140	130	120	110
Faktor korekcije Δf_{TB}	1,29	1,10	1,00	0,92	0,84

Radna temperatura T_B u °C	100	90	80	70	60
Faktor korekcije Δf_{TB}	0,75	0,67	0,59	0,50	0,42

Primer, $T_B = 90^\circ\text{C}$ ($\Delta L_1 \cdot \Delta f_{0H} + \Delta f_a + \Delta f_{TB}$):
 $\Rightarrow 70 \cdot 0,85 + 1,73 \cdot \mathbf{0,67} = 69,00 \text{ mm}$ (21) $\Rightarrow DP_s = 120 \text{ mm}$

Najmanja debljina dilatacionih oslonaca ($DP_{S \min}$)

Nakon što smo pomoću faktora korekcije ($\Delta f_{0H} + \Delta f_a + \Delta f_{TB}$) izračunali efektivno kretanje prilikom istezanja (ΔL_{eff}), treba na sledeći način odrediti minimalnu debljinu dilatacionih jastuka (DP_s):

$$DP_s \min = \Delta L_{\text{eff}} \cdot 1,50 \text{ (mm)} \quad (21)$$

U zavisnosti od kretanja prilikom istezanja (ΔL_{eff}) se zato moraju razlikovati sledeće debljine dilatacionih jastuka (DP_s):

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

Kod $\Delta L > 80 \text{ mm}$ dilatacioni oslonci se moraju za 50% termički ili mehanički prednapregnuti, strana P 5.0 i P 5.1, a to znači:

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

Efektivno istezanje ($\Delta L_{\text{eff}} > 160 \text{ mm}$) ne može pomoći dilatacionih oslonaca biti kompenzovano. Za to treba predviđeti kompenzacione elemente ili aksijalne kompenzatore u šahtovima.

Primer za kompenzacioni element	Primer za kompenzacioni šaht
 DR = zaptivni prsten (strana Z 6.0)	 EK = završna kapa (strana Z 5.0)

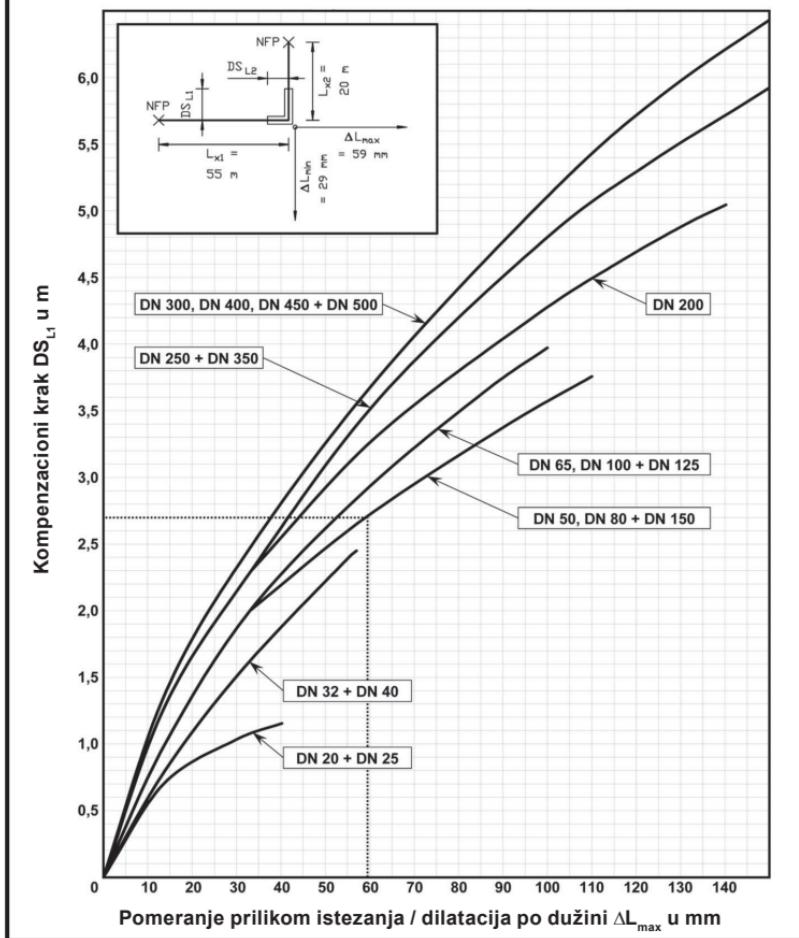
Primeri za raspoređivanje dilatacionih oslonaca, strane P 3.4.1 + P 3.7

Određivanje dužine krakova (DS_L) L, Z i U-lukova, strana P 3.4 – P 3.6

KOMPENZACIONI KRAKOVI (KRAKOVI ZA KOMPENZACIJU ISTEZANJA)

Dužina kompenzacionog kraka DS_{L_1} (m) za L-lukove za ΔL_{max}

Dijagram za određivanje DS_{L_1}



Određivanje neophodne debljine dilatacionih oslonaca (DP_S), strana P 3.3.1

Određivanje dužine krakova (DS_L) za L-lukove, strana P 3.4.1

KOMPENZACIONI KRAKOVI (KRAKOVI ZA KOMPENZACIJU ISTEZANJA)

Pomoću dijagrama na strani P 3.4 se može odrediti duži krak (DS_{L_1}) L-luka, koji proističe iz maksimalnog pomeranja prilikom istezanja (ΔL_{\max}). Da bi se dobio kraći krak, mora biti poznat odnos (ΔV_n) između ΔL_{\min} i ΔL_{\max} .

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

Preko tog broja koji proističe iz odnosa (ΔV_n) se dobija faktor kompenzacionog kraka (DS_{L_2}).

Primer DN 150/250 sa strane P 3.3	Dijagram, faktor $DS_{L_2}f$
<p>$L_{vorb1} = 110 \text{ m}; L_{x1} = 55 \text{ m}$ $\Delta L_1 = 70 \text{ mm} \quad \mathbf{P 3.2.1}$ $\Delta f_{0H} D = 0,85; \Delta L_1 = 70 \cdot 0,85 = 59,5 \text{ mm}$ $\Delta L_1 = 59,5 \text{ mm} = \Delta L_{\max}$</p> <p>$L_{vorb2} = 40 \text{ m}; L_{x2} = 20 \text{ m}$ $\Delta L_2 = 29 \text{ mm} \quad \mathbf{P 3.2.1}$ $\Delta f_{0H} B = 1,00; \Delta L_2 = 29 \cdot 1,00 = 29,0 \text{ mm}$ $\Delta L_2 = 29,0 \text{ mm} = \Delta L_{\min}$</p> <p>$DS_{L_1} \text{ za } \Delta L_{\max} = 2,70 \text{ m} \quad \mathbf{P 3.4}$ $\Delta V_n = 29,0 : 59,50 = 0,49$</p> <p>$DS_{L_2}f = 0,74 \quad \text{Dijagram} \quad \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$</p> <p>$DS_{L_2} = DS_{L_1} \cdot DS_{L_2}f \quad [\text{m}] \quad (24)$</p> <p>$DS_{L_2} = 2,70 \cdot 0,74 = 2,00 \text{ m}$</p>	<p style="text-align: center;">Dijagram, faktor $DS_{L_2}f$</p>

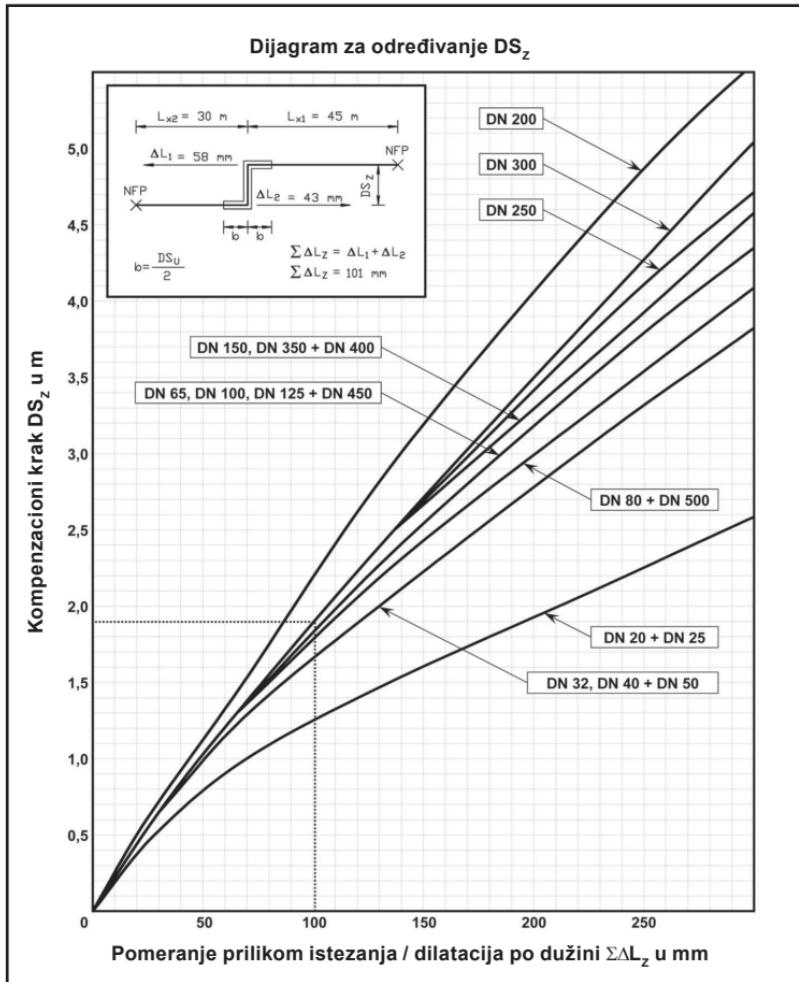
Primer za raspored dilatacionih jastuka kod L-luka
<p>$\Delta L_1 = 59,50 \text{ mm}$ (22) $\Rightarrow DP_s \text{ min} = \Delta L \cdot 1,50 \text{ (mm)}$ $DP_s \text{ min} = 59,50 \cdot 1,50 = 89,25 \text{ mm}$ $DP_s \text{ izbor} = 120 \text{ mm}$ $DS_{L_1} = 2,70 \text{ m} \text{ sa strane P 3.4}$ Dužina dilatacionog jastuka DP_L zaokružena = 3,00 m</p> <p>$\Delta L_2 = 29,00 \text{ mm}$ $DP_s \text{ min} = 29,00 \cdot 1,50 = 43,50 \text{ mm}$ $DP_s \text{ izbor} = 80 \text{ mm}$ $DS_{L_2} = 2,00 \text{ m} \text{ iz primera (24)}$ Dužina dilatacionog jastuka $DP_L = 2,00 \text{ m}$</p>

Određivanje neophodne deblijine dilatacionih oslonaca (DP_s), strana P 3.3.1

Određivanje dužine krakova (DS_L) L-lukove sa ΔL_{\max} , strana P 3.4

KOMPENZACIONI KRAKOVI (KRAKOVI ZA KOMPENZACIJU ISTEZANJA)

Dužina kompenzacionog kraka DS_z (m) za Z-lukove za $\Sigma\Delta L_{1+2}$

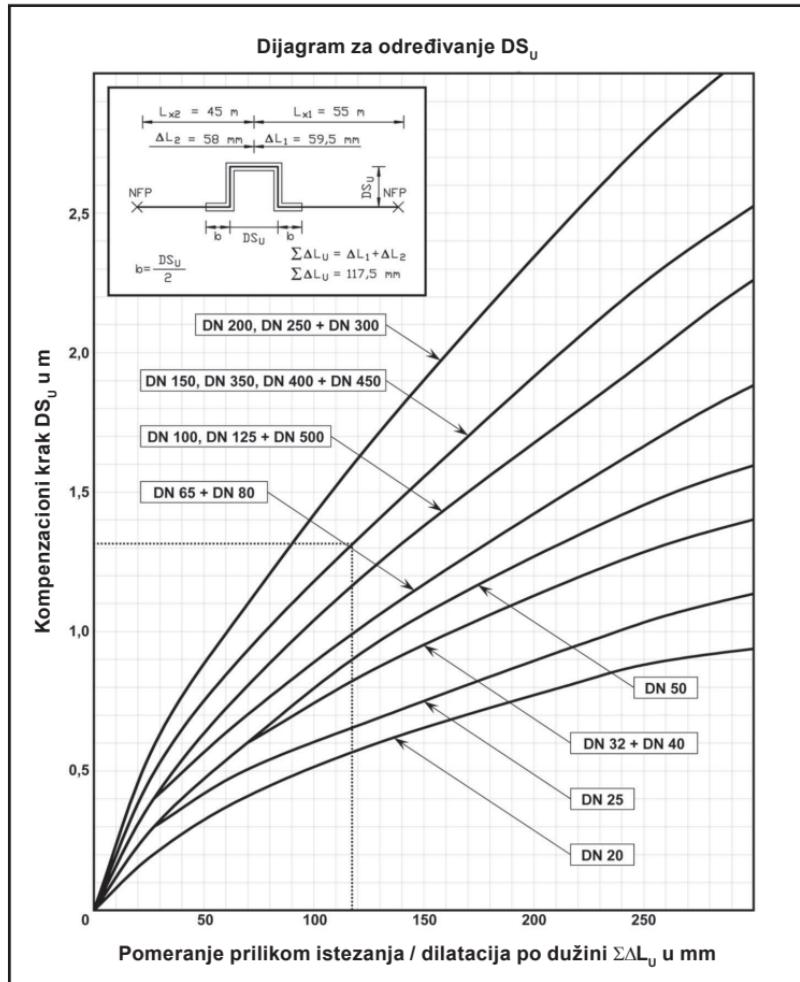


Primer za raspored dilatacionih jastuka Z-luka, strana P 3.7

Određivanje neophodne debljine dilatacionih oslonaca (DPs), strana P 3.3.1

KOMPENZACIONI KRAKOVI (KRAKOVI ZA KOMPENZACIJU ISTEZANJA)

Dužina kompenzacionog kraka DS_u (m) za U-lukove za $\sum \Delta L_{i+2}$

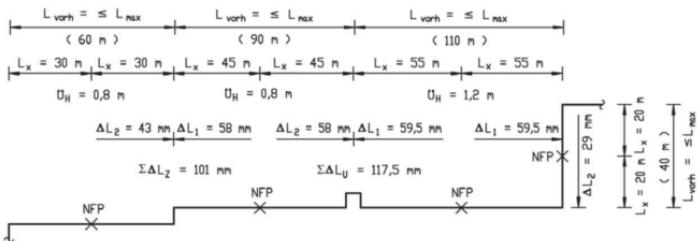


Primer za raspored dilatacionih jastuka U-luka, strana P 3.7

Određivanje neophodne debljine dilatacionih oslonaca (DP_s), strana P 3.3.1

KOMPENZACIONI KRAKOVI (KRAKOVI ZA KOMPENZACIJU ISTEZANJA)

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



Primer za raspored dilatacionalih oslonaca kod Z-luka

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

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

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

$$DP_s \text{ izbor} = 120 \text{ mm}$$

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

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

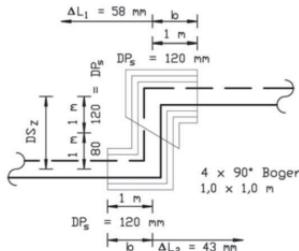
$$DP_s \text{ izbor} = 80 \text{ mm}$$

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

$$DS_z = 1,90 \text{ m sa strane P 3.5}$$

$$DS_z \text{ izbor} = 2,00 \text{ m} \Rightarrow 2 \text{ luka } 1 \times 1 \text{ m}$$

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



Primer za raspored dilatacionalih oslonaca kod U -luka

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

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

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

$$DP_s \text{ izbor} = 120 \text{ mm}$$

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

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

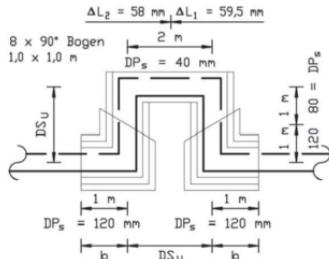
$$DP_s \text{ izbor} = 120 \text{ mm}$$

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

$$DS_u = 1,32 \text{ m sa strane P 3.6}$$

$$DS_u \text{ izbor} = 2,00 \text{ m} \Rightarrow 2 \text{ luka } 1 \times 1 \text{ m}$$

$$B = DS_u : 2 = 0,66 \text{ m}; DS_L \text{ izbor} = 1,00 \text{ m}$$



Određivanje neophodne debljine dilatacionalih oslonaca (DP_s), strana P 3.3.1

Određivanje dužine krakova (DS_L) Z i U-lukova sa $\Sigma \Delta_{L1+2}$, strana P 3.4

POLAGANJE U TOPLOM STANJU

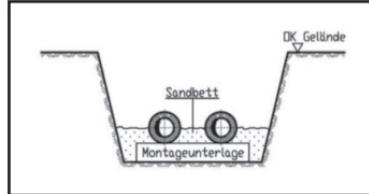
Termičko prednaprezanje

Tehnika prednaprezanja služi za predzagrevanje **isoplusove** cevododne trase pre zagradnja rova. U praksi se termičko prednaprezanje obavlja odgovarajuće regulisanim i postojećim medijumom, međutim, može se izvršiti i pomoću mobilnog parnog ili elektro-termičkog agregata.

Ukoliko se ne mogu realizovati prirodni kraci istezanja, koristi se tehnika termičkog prednaprezanja. Ona se koristi uvek kada je prekoračena L_{max} planiranog dela trase. Na početku i kraju dela trase za prednaprezanja trebalo bi da postoji L-, Z- ili U-luk, odnosno s jedne strane se može postaviti čvrsta tačka.

U delu prednaprezanja rovovi moraju biti napunjeni i zatvoreni peskom samo do polovine obložne cevi. Pesak služi za vođenje cevi. Kod prednaprezanja u otvorenim kanalima za cevi pojavljuje se nesmetana promena dužine koja se mora uvesti u protokol.

Preostalo istezanje, koje proizlazi iz kliznih područja, mora se kompenzovati pomoću kompenzacijonih jastuka. Dužina područja prianjanja ne utiče na aksialno istezanje na krajevima kliznih područja. Termičkim prednaprezanjem osigurava se postavljanje različito dugih deonica bez prekoračenja dopuštenog aksialnog napona.



U odsečcima trase manjim od dopuštene dužine postavljanja termičko prednaprezanje je u otvorenim kanalima za cevi praktično nedelotvorno jer ne nastaje područje prianjanja. Ipak, prednost prednaprezanja takvih odsečaka je minimiziranje količine kompenzacijonih jastuka. Taj postupak se tada naziva termičko prednaprezanje kompenzacijonih krakova, vidi str. **P 5.0**.

Termičko prednaprezanje prepostavlja upotrebu **isoplus**-standardnih KMR-komponenta. Ako se ono vrši pomoću mobilnog parnog ili elektro-termičkog agregata, onda se dodatno moraju ispoštovati propisi proizvođača agregata.

Metode prednaprezanja

1. Termičko prednaprezanje pogonskim medijumom

Ova metoda koristi se uvek kada je odsečak prednaprezanja direktno priključen na postojeću mrežu i kada pre stavljanja u pogon više nije potrebno pražnjenje trase. Dodatni preduslov je da je temperatura razvoda i povrata podešena na neophodnu temperaturu za prednaprezanje.

Zbog velike toplotne provodljivosti pogonskog medijuma vreme koje je potrebno za prednaprezanje do nominalne veličine DN 250 je relativno kratko.

Ukoliko je nakon izvođenja neophodno pražnjenje dela trase na kome je izvršeno prednaprezanje, onda se mora obratiti pažnja na dozvoljenu temperaturu medijuma kada se ispušta u lokalnu kanalizaciju.

POLAGANJE U TOPLOM STANJU

2. Termičko prednaprezanje parom

Pri atmosferskom pritisku vazduha voda ključa na 100°C i nastaje para od 100°C. Za prednaprezanje je potrebna para od 60°C do 75°C. Ako se pritisak vazduha vakuumskom pumpom smanji na 0,4 bara, voda ključa već pri 75°C i nastaje para s istom temperaturom. Para prenosi toplotu od 756 W/kg.

S obzirom na prenos topline, koji se stvarno može iskoristiti, para prenosi oko 15 puta više topline nego voda. Velika prednost ovog postupka je što je potrebno malo vode, a i što je vreme potrebno za zagrevanje mnogo kraće u odnosu na metodu (1.). Moraju se poštovati specijalni propisi proizvođača agregata.

3. Termičko prednaprezanje električnom strujom

Ovom metodom moguće je u skladu s napretkom izvođenja građevinskih radova bez problema prednapregnuti pojedine odsečke. Blinde, odnosno cevne kape nisu potrebne, a kratka veza (bypass) kao povezanost potisnog i povratnog voda zbog opasnosti od kratkog spoja ne sme se montirati. Osim toga, ovaj oblik prednaprezanja može se sprovesti samo kod jednakih dimenzija cevi.

Prednaprezanje preko više dimenzija nije moguće jer u manjim dimenzijama dolazi do pregrevanja. Za vreme prednaprezanja treba obezbediti sigurnost osoba i uređaja od nastalih elektromagnetskih zračenja. Kao dodatni nedostatak može se pojaviti potrebljivo dovođenje napajanja od 380 V na mestu ugradnje. Potrebno je uvažiti posebne propise isporučioča elektro-terminičkog agregata.

Uputstva za montažu i tok izvođenja, strane **M 10.0** do **M 10.3**

Funkcija

Ako se prekorače dozvoljene dužine polaganja (L_{max}), onda se proporcionalno povećava i aksijalni napon premašujući maksimalno dozvoljenu vrednost (σ_{zu}). Kako aksijalni napon uprkos dužini trase koja premašuje L_{max} ne bi bio bio prekoračen, termičko prednaprezanje u otvorenom rovu služi kao mogućnost da se ti naponi ograniče.

Kao što je već definisano, prema Hookovom zakonu, istezanja su proporcionalna naponu, uporediti sa stranom **P 2.0**, formula (1) do (3). Tako se može preploviljivanjem temperaturne razlike ograničiti aksijalni napon na veličinu koja je ispod najvećeg dozvoljenog aksijalnog napona.

Primer:

Maksimalna radna temperatura (T_b) jednog KMR-cevovoda iznosi 130° C, temperatura zemljišta (T_e) 10° C, a iz toga sledi ΔT od 120 K, dužina odsečka je $> L_{max}$. Kod cevi za medijum St 37.0 važe na temperaturi od 130° C za E, α i R_e na strani **P 2.1** izložene konstante $\Rightarrow E = 2.046 \cdot 105$ i $\alpha = 1,26 \cdot 10^{-5}$.

$$(3) \Rightarrow \sigma_{vorb} = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \text{ (N/mm}^2\text{)}$$
$$(\text{prm.3}) \Rightarrow \sigma_{vorb} = 2.046 \cdot 105 \cdot 1,26 \cdot 10^{-5} \cdot 120 \text{ rezultat: } \sigma_{vorb} = 309,4 \text{ N/mm}^2$$

E = modul elastičnosti (N/mm²)

α = koeficijent istezanja čelika (1/K)

ΔT = temperaturna razlika (K)

POLAGANJE U TOPLOM STANJU

Dozvoljeni aksijalni napon (σ_{zul}) od 190 N/mm^2 biva prekoračen! Ako se vod na 70° C termički prednje, dolazi do prepolovljavanja temperaturne razlike i nastalog napona.

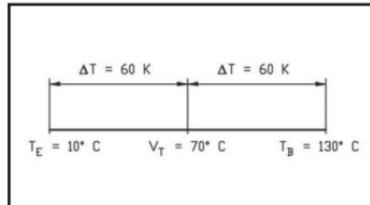
$$\Delta T = \frac{T_B - T_E}{2} \quad [\text{K}] \quad (25)$$

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

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

$$(\text{prm.3}) \Rightarrow \sigma_{\text{vorb}} = 2,046 \cdot 105 \cdot 1,26 \cdot 10^{-5} \cdot 60$$

Rezultat: $\sigma_{\text{vorb}} = 154,7 \text{ N/mm}^2$



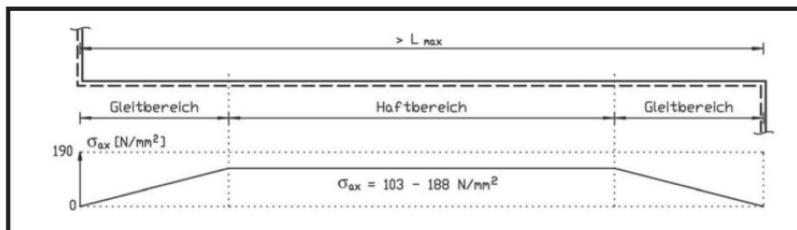
Ako se to primeni u praksi i trasa se pre zasipanja peskom i zagrtanja rova zagreje na srednju temperaturu, odnosno temperaturu prednaprezanja (V_T), mogu se polagati proizvoljno dugački cevovodi. Budući da temperaturna razlika (ΔT) između V_T i T_B , kao i V_T i T_E uvek mora da bude isto velika, iz toga proštiće da je kod $T_B = 130^\circ \text{ C}$ aksijalni napon $\approx 155 \text{ N/mm}^2$.

Niske radne temperature (T_B) proizvode manje napone, a visoke veće. Predušlov za ovo je zasipanje peskom i zagrtanje rova pri konstantnoj i, pre svega, identičnoj temperaturi predzagrevanja (V_T).

$$V_T = \Delta T + T_E \quad (\text{C}) \quad \Delta T \Rightarrow (25)$$

Srednji odsečak trase na kojoj se vrši prednaprezanje se ne isteže zbog ravnoteže sila, tako da samim tim nastaju veliki aksijalni naponi. Ova međuduzina se naziva područje prianjanja u kome su sva kretnja potisnuta. Na oba kraja odsečka na kome se vrši predzagrevanje opada napon i tako nastaje aksijalno istezanje. Zato se ta dva područja nazivaju klizna područja.

Primeri maksimalnog aksijalnog napona (σ_a) u zavisnosti od ΔT :



$$T_B = 155^\circ \text{ C} \quad \Delta T \Rightarrow (25) = 72,5 \text{ K} \quad V_T \approx 83^\circ \text{ C}$$

$$(3) \Rightarrow \sigma_{\text{vorb}} = 2,0260 \cdot 105 \cdot 1,28 \cdot 10^{-5} \cdot 72,5 = 188,0 \text{ N/mm}^2$$

$$T_B = 110^\circ \text{ C} \quad \Delta T \Rightarrow (25) = 50 \text{ K} \quad V_T = 60^\circ \text{ C}$$

$$(3) \Rightarrow \sigma_{\text{vorb}} = 2,0260 \cdot 105 \cdot 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot 50 = 128,9 \text{ N/mm}^2$$

$$T_B = 90^\circ \text{ C} \quad \Delta T \Rightarrow (25) = 40 \text{ K} \quad V_T = 50^\circ \text{ C}$$

$$(3) \Rightarrow \sigma_{\text{vorb}} = 2,0260 \cdot 105 \cdot 1,24 \cdot 10^{-5} \cdot 40 = 103,0 \text{ N/mm}^2$$

POLAGANJE U TOPLOM STANJU

Statički podaci

- ⇒ radna temperatura (T_b) maksimalno **155° C**
- ⇒ temperatura prednaprezanja u oba voda najmanje **50° C** a najviše **83° C**
- ⇒ identična temperaturna razlika (K) između temperature zemlje i temperature prednaprezanja, odnosno između maksimalne radne temperature i temperature prednaprezanja
- ⇒ pritisak maksimalno PN 25
- ⇒ maksimalno dozvoljeni akcijalni napon u pravolinijskoj cevi = **190 N/mm²**
- ⇒ ista debljina nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi duž celog odsečka na kome se vrši prednaprezanje
- ⇒ jedinstvena sila trenja (F'_R) kod obložne cevi zbog ravnomernog sabijanja posteljice od peska i zagrnutje zemlje duž celog odsečka na kome se vrši prednaprezanje

Ako se ove vrednosti negativno promene, mogu u stanju pogona da nastanu aksijalni naponi koji u ekstremnom slučaju mogu da dosegnu razmere tehnike polaganja 'pogonsko samoprednaprezanje'. Posledica toga bi mogla da bude da dođe do ukidanja garancije.

Cevno statički proračun sledi nakon stvarnih, projektu svojstvenih parametara koji moraju biti navedeni. Dužine kliznog područja se pri tome koriste za određivanje kompenzacionih krakova, a puna temperaturna razlika za izračunavanje potrebnih dilataционih oslonaca.

Ogranci u području prianjanja se zbog slabljenja poprečnog preseka čelika u glavnom vodu principijelno moraju prethodno precizno proračunati. Redukcije preko većeg broja dimenzija principijelno nisu dozvoljene u području prianjanja. To je moguće samo za jednu nominalnu veličinu zbog brzog izjednačavanja pikova napona.

Izvijanje prilikom paralelnog iskopavanja rova se kod prednapregnutih trasa može izbjeći ukoliko se pogon cevovoda vrši na temperaturi prednaprezanja. Međutim, pre iskopavanja se **principijelno** mora dobiti odobrenje od strane Isoplusa, strana P 9.0.

Predavanjem plana trase i koncepta prednaprezanja, Isoplus garantuje cevno statično ispitivanje i odobrenje, tj. odobrenje za puštanje u pogon projektovane KMR-trase. **Potvrda statike u vidu obimnog, odštampanog dokumenta je isključena!**

Koncept prednaprezanja

Kako bi se osigurao besprekoran tok prednaprezanja, potrebno je izraditi detaljnu koncepciju i opsežan vremenski plan. Potrebitno je odrediti i uskladiti sledeće tačke:

- ⇒ metoda izvođenja prednaprezanja
- ⇒ podela pojedinih odsečaka i njihove dužine
- ⇒ smer nagiba (najmanje 3%) odsečaka
- ⇒ mogućnost priklučka za snabdevanje vodom ili strujom za svaki odsečak
- ⇒ mesto agregata, odnosno mesto napajanja po odsečku
- ⇒ položaj peščane podlage, mernih uređaja i podešenih delova na svakom odsečku
- ⇒ redosled i vreme prednaprezanja pojedinih odsečaka
- ⇒ da li ogranci cevovoda treba zagrnuti ili ne?
- ⇒ koji prolazi kroz zid još ne smeju da budu fiksirani, odnosno zabetonirani?
- ⇒ važno: proračunati vreme punjenja kanala (!) i uskladiti sa građevinskim radovima

POLAGANJE U TOPLOM STANJU

Kompenzacija istezanja

Za proračunavanje dužine kompenzacionih krakova (DS_L) unutar prednapregnutih delova trase, mora biti poznato očekivano zaostalo istezanje ΔL_r . Ono zavisi od sledećih faktora:

- ⇒ poprečne sile (F'_{\parallel})
- ⇒ radnog pritiska (p_B)
- ⇒ sile trenja (F'_{μ})
- ⇒ poprečne kontrakcije (v)
- ⇒ temperatura prednaprezanja (V_T)
- ⇒ debljine nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi (\tilde{U}_H)
- ⇒ uzdužna sila unutrašnjeg pritiska (F'_p)
- ⇒ dužina kliznog područja (GB_L) (l_0)

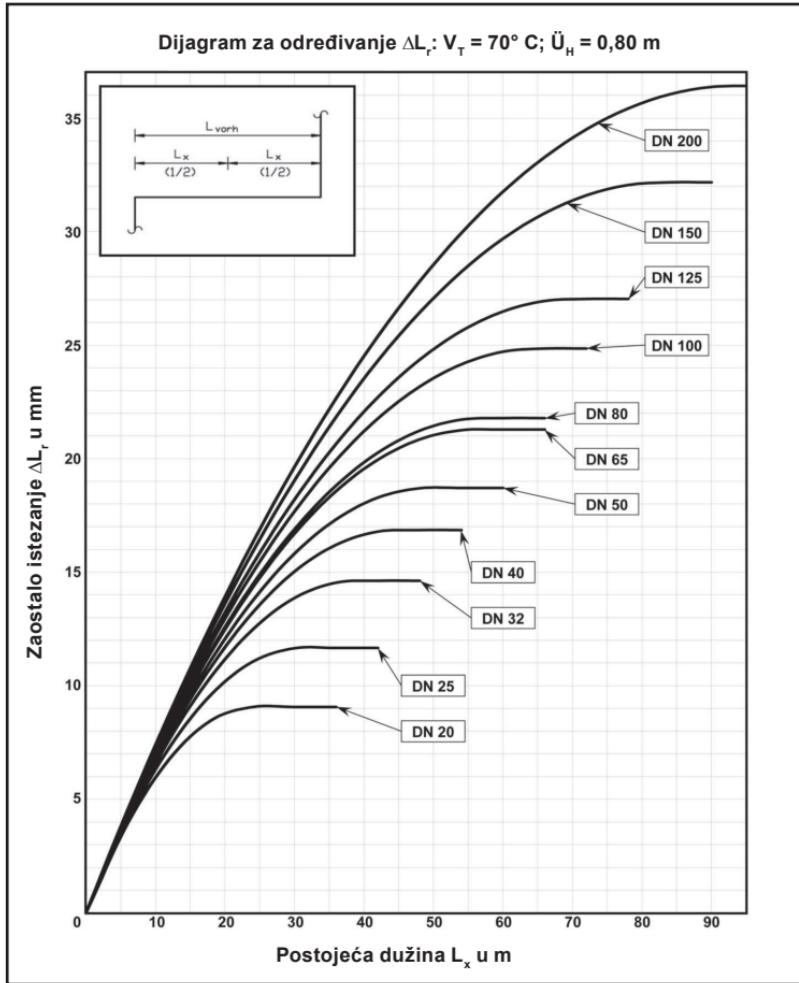
Zbog velikog broja uticaja se mora izvršiti precizan i složen proračun. Međutim, u praksi se na osnovu dijagrama može odrediti ΔL_r , strana **P 4.3.1** i **P 4.3.2**. Osnova ovih dijagrama je AGFW-smernica FW 401, 10. deo, gde su takođe prikazane i egzaktne formule i računske mogućnosti pronalaženja rešenja.

Kod kombinovanih sistema – sa ili bez prednaprezanja – je za određivanje DS_L -a merodavna dilatacija po dužini (ΔL) neprednapregnutog odsečka.

POLAGANJE U TOPLOM STANJU

Zaostalo istezanje ΔL_r (mm) za dimenzije DN 20 do DN 200

Dijagram za određivanje ΔL_r : $V_T = 70^\circ C$; $\dot{U}_H = 0,80 \text{ m}$



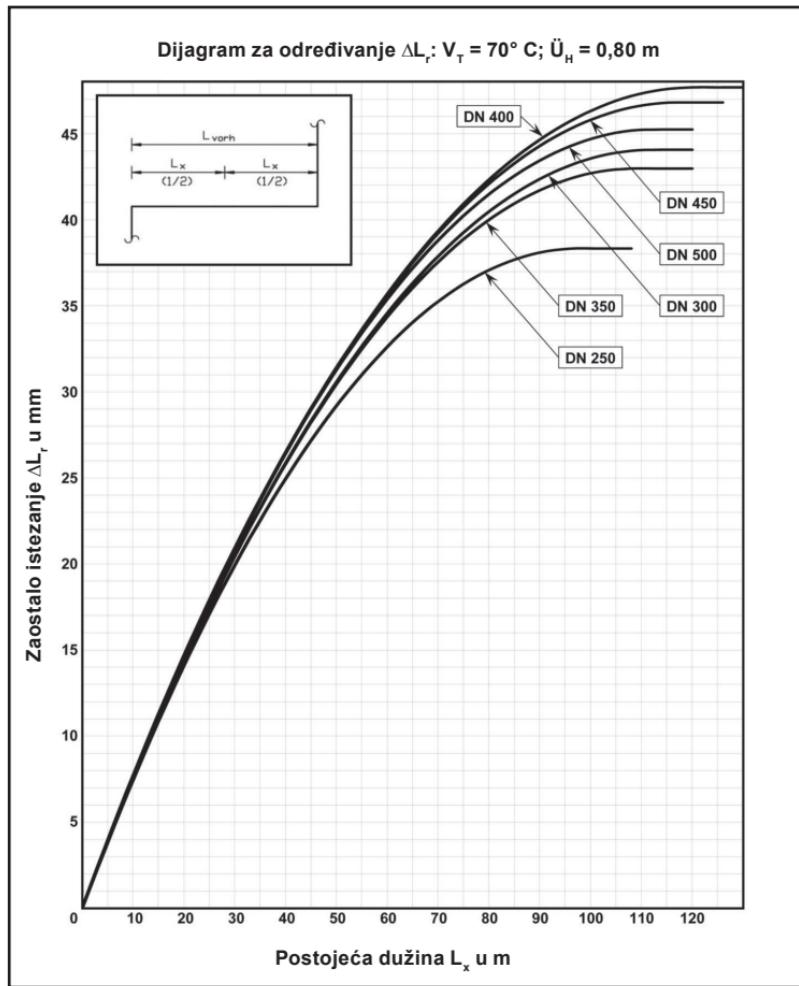
Faktori korekcije za druge \dot{U}_H i uglove, strana P 3.3

Određivanje neophodne debljine dilatacionih oslonaca (DP_s), strana P 3.3.1

Određivanje dužine krakova (DS_L) za L, Z i U-lukove, strane P 3.4. – P 3.6

POLAGANJE U TOPLOM STANJU

Zaostalo istezanje ΔL_r (mm) za dimenzije DN 250 do DN 500



Faktori korekcije za druge \bar{U}_H i uglove, strana P 3.3

Određivanje neophodne debljine dilatacionih oslonaca (DP_s), strana P 3.3.1

Određivanje dužine krakova (DS_L) za L, Z i U-lukove, strane P 3.4. – P 3.6

POLAGANJE U TOPLOM STANJU

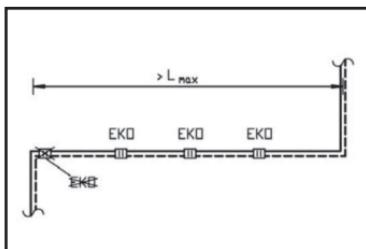
Jednokratni kompenzator, EKO-sistem

EKO (**E**inmal**KO**mpensator) – sistem služi za termičko prednaprezanje **isoplus**-cevovoda kod već napunjениh kanala za cevi. Pojedine deonice između EKO sistema mogu biti napunjene, jedino potrebbni deo kanala za montažu EKO-a ostaje otvoren. Po pravilu se termičko prednaprezanje odvija s postojećim pogonskim medijem, ali može se sprovesti i sa mobilnim agregatima za grejanje.

EKO je sastavni element koji se zavaruje u KMR-trasu. Prilikom zagrevanja cevi dolazi do promene dužine koje EKO-sistem sigurno prihvata. Zavarivanjem EKO-a nakon prihvatanja izduženja postiže se prednaprezanje trase.

Jednokratni kompenzatori koriste se za trase čije se maksimalno dopuštene dužine polaganja prekoračuju, a prirodnii elementi istezanja zbog prirode terena nisu predviđeni. Ipak se na početku i kraju EKO-odsečka mora nalaziti kompenzacioni krak, odnosno s jedne se strane može postaviti čvrsta tačka.

EKO nije predviđen za prihvatanje istezanja na početku ili kraju odsečka. Da bi se postiglo prednaprezanje, odnosno ograničavaće aksijalnog napona kod zagrnutog rova, EKO se mora nalaziti u području prianjanja. U odsečcima trase manjim od dopuštene dužine postavljanja EKO je nedelotvorno.



Funkcija

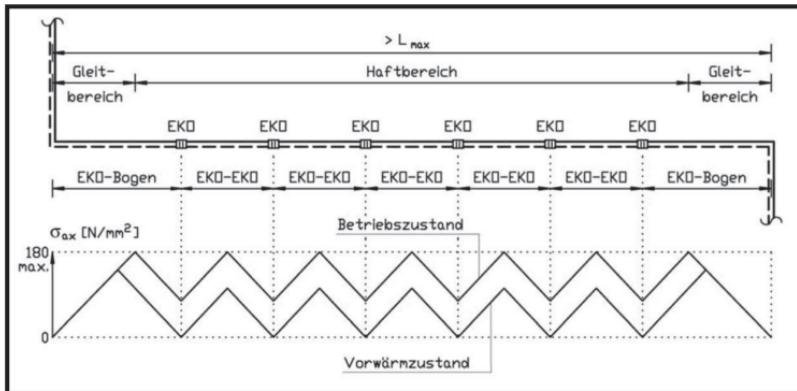
EKO se koristi kako bi se u projektovanim ravnim odsečcima trase ograničili aksijalni naponi. U odsečcima s jednokratnim kompenzatorima pojavljuju se veći aksijalni naponi nego kod termički prednapregnutih sistema u otvorenim kanalima za cevi.

Termički naponi se pri zagrevanju putem EKO-sistema pretvaraju u dopuštene pritisne napone, odnosno pri hlađenju u dopuštene napone istezanja. Nakon više termičkih promena opterećenja izjednačuju se pikovi napona.

EKO je postigao krajnji položaj kada se unutar elementa i vodeće cevi međusobno sudare dva kraja cevi. Krajnji položaj može se prepoznati po tome što je spoljašnja vodeća cev došla do kružnog zareza na unutrašnjoj vodećoj cevi. U tom položaju se obe vodeće cevi zavare ugaonim varom.

Time je trasa fiksirana i čvrsto povezana s obzirom na materijal i sile tako da se u području prianjanja odsečka više ne pojavljuju pomeranja od istezanja čeličnih cevi. Zato se moraju ispoštovati projektovani razmaci koji su rezultat statičkih proračuna.

POLAGANJE U TOPLOM STANJU



Podaci za statički proračun

- ⇒ temperatura rada maksimalno **140° C**
- ⇒ početna temperatura, odnosno temperatura prednaprezanja, u potisnom i povratnom vodu najmanje **80° C**
- ⇒ visina nominalnog pritiska PN 25
- ⇒ dopušten aksijalni napon u pravoj cevi iznosi **180 N/mm²**
- ⇒ jednaka visina prekrivanja na celokupnom delu EKO-sistema
- ⇒ jednaka sila trenja (F_t) na obložnoj cevi putem konstantnog stepena sabijenosti peščane podlage i zemljišta na EKO-delu

Ako se ove vrednosti negativno menjaju, tokom rada se mogu pojaviti aksijalni naponi koji u ekstremnom slučaju postižu red veličina tehnike postavljanja 'pogonsko samoprednaprezanje'.

Na radnoj temperaturi od **130° C** proizlaze u tablici, strana **P 4.4.2**, navedeni maksimalno dopušteni razmaci između dva jednokratna kompenzatora, kao i između jednog EKO-a i prirodog kraka kompenzacije poput L-, Z- ili U-luka.

Ove vrednosti se odnose na zemljišta sa specifičnom težinom od 19 kN/m³, na ugao unutrašnjeg trena (φ) od 32,5°, kao i na zavarene ili bešavne čelične cevi prema DIN 1626/1629, radni materijal St 37.0, Nr. 1.0254, debljine zida u skladu sa podacima na strani **R 2.0**. Za druge debljine nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi treba prilagoditi razmake i dodatno skratiti za ≈ 5%.

Kompenzacija istezanja

Za postavljanje kompenzacionih krakova (DS_x) unutar EKO-odsečka trase, mora biti poznato očekivano istezanje (ΔL) dužine 'EKO-luka'. S obzirom da ona zavisi od većeg broja parametara, mora se sprovesti precizan i složen proračun, uporediti sa stranom **P 4.3**. U praksi se ΔL , doduše, može odrediti na osnovu dijagrama na stranama **P 3.2.1** i **P 3.2.2**. Pri tome se za dužinu (L_x) koristi dužina 'EKO-luka'.

Jednokratni kompenzator, strana **Z 2.0** i **Z 2.1**

Smernice za montažu i izvođenje, strane **M 5.0** do **M 5.2**

PROJEKTOVANJE

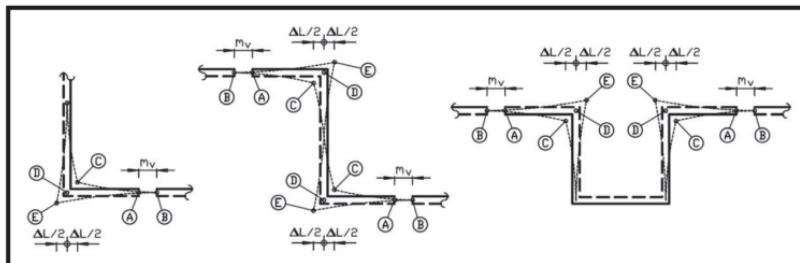
Prednaprezanje kraka za kompenzaciju istezanja

Reduciranje dužina L-, Z- ili U-lukova, kao i reduciranje debljina dilatacionih oslonaca putem prednaprezanja, u izvođenju toplovoda je priznata tehnika koja se posebno primjenjuje u područjima većih dimenzija i u postavljanju sa primenom tehnologije 'pogonsko samoprednaprezanje', strana **P 2.3.**

Ona se primjenjuje tamo gde se moraju prihvati velike promene dužina ili kada zbog ograničenog prostora krak istezanja ne može postići izračunatu dužinu. U praksi se to smanjivanje može postići metodom mehaničkog ili termičkog prednaprezanja. Pritom prvo istezanje cevi ne sme prihvati 'jastuk', on kompenzuje samo preostala kretanja tj. izduženja.

Redukciona tehnika mehaničkog prednaprezanja

1. Kompenzacioni jastuci se montiraju na L-, Z- ili U-luk u položaju u kome nisu napregnuti, zatim se to područje prekriva peskom, puni i sabija.
2. Ispred iiza kraka istezanja postavlja se kanal za montažu, a preostali kanal za cevi se takođe puni.



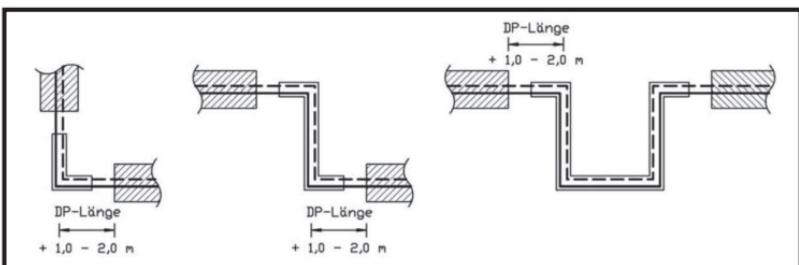
3. Potrebno je pri postavljanju toplovoda obezbediti razmak između dve nezavarene cevi ili izrezati čelični prsten čija dužina odgovara $\Delta L/2$. Tu mehaničku vrednost prednaprezanja (m_v) možete naći u **isoplus**- planovima trasa.
4. Dizalicom se tačka **A** približava tački **B**, zavaruje cevovod, spojnica za povezivanje se izoluje, a kanal za montažu se prekriva peskom, puni i zatvara.
5. Time je krak istezanja prednapregnut za 50%, odnosno kompenzacioni jastuk se nalazi u ekscentričnom položaju.
6. Pri zagrevanju na staticku srednju temperaturu od na primer 70°C ($T_B = 130^\circ\text{C}$) tačka **C** se pomera na tačku **A**. U tom položaju se nalazi krak u nenapetom stanju jer je nastupila samo promena dužine od $\Delta L/2$.
7. Naknadno povećanje temperature na maksimalnu radnu temperaturu (T_B) od na primer 130°C deluje tako da tačka **C** dolazi na tačku **B**, što opet odgovara pomeranju $\Delta L/2$.

PROJEKTOVANJE

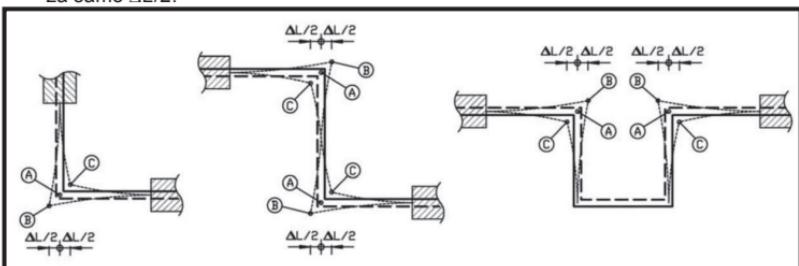
Redukciona tehnika termičkog prednaprezanja

Nasuprot termičkom prednaprezanju u otvorenom rovu, kod prednaprezanja kompenzacionih krakova, odnosno 'jastuka', nije potreban zapisnik. Način izvođenja radova se može pronaći na stranama **M 10.0** do **M 10.3**. Ukriveni komadi cevi u ovom slučaju nisu potrebni. Zatim treba izvesti sledeće korake:

1. Kompenzacioni jastuci se postavljaju pri hladnom stanju trase i montiraju na L-, Z- ili U-luk u položaju u kome nisu napregnute i to se područje, za razliku od mehaničkog prednaprezanja, ne prekriva peskom, puni ili zatvara.
2. Na oko 1-2 m ispred dilatacionog oslonca se mora kompletan KMR-trasa prekriti peskom, napuniti i zatvoriti u skladu sa stranama **M 2.3** i **M 2.4**. Otvorena područja nači će u **isoplus**-planu trase i predgrevanja.



3. Zatim se mreža pokreće ili se pomoću agregata za prednaprezanje zagревa na temperaturu predzagevanja (V_T) od npr. 75°C ($T_B = 140^\circ\text{C}$).
4. Kada se postigne temperatura prednaprezanja (V_T), treba napraviti posteljice od peska na još otvorenim delovima na kojima se nalaze 'jastuci', da bi se zatim napunili i da bi se izvršilo sabijanje. Pri tome se **mora** konstantno održavati temperatura prednaprezanja. Kompenzacioni krak se nalazi u nenapetom stanju.
5. Prvo istezanje ne sme kompenzovati dilatacioni oslonac, time je krak prednapregnut za 50%.
6. Pri zagrevanju na maksimalnu radnu temperaturu (T_B) od na primer 140°C , tačka **A** se pomera na tačku **B** za $\Delta L/2$, odnosno pri hlađenju na 10°C na tačku **C**, takođe za samo $\Delta L/2$.



PROJEKTOVANJE

Skretanje trase

Uprkos pažljivom planiranju načelno se trasa toplovoda ne može realizovati s idealnim pravcima i skretanjima od 90°. Često se tokom faze izvođenja radova nailazi na prepreke koje uzrokuju odstupanja od projekta i prouzrokuju pojavu uglova koji nisu predviđeni projektom, te je stoga neophodno pronaći tehnički ispravno i finansijski prihvatljivo rešenje. Poprečno pomeranje, koje je rezultat malih uglova, može biti samo vrlo ograničeno kompenzovano dilatacionim osloncima. U zavisnosti od veličine komplementarnog ugla α postoje različita rešenja.

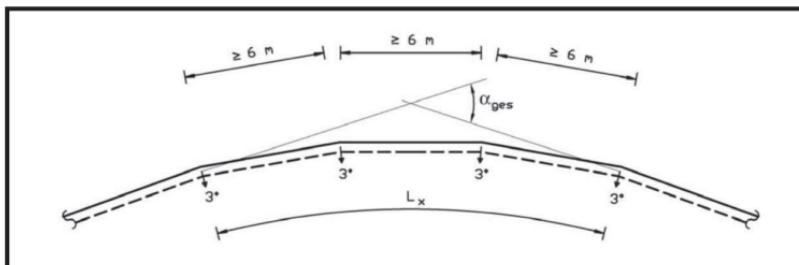
Luk sa specijalnim uglom

Takvi lukovi se koriste samo ograničeno, budući da na primer luk od 60° 1,75-struko, a luk od 45° 2,3-struko povećava vrednost aksijalne promene dužine, uporediti sa stranom P 3.3. Uglovi ≤ 30° su stoga samo ograničeno prikladni za kompenzaciju istezanja. Principijelno se svi lukovi sa specijalnim uglom moraju od strane **isoplusovih** inženjera statički proveriti i odobriti. Mogu se proizvesti svi lukovi između 5° i 100° komplementarnog ugla (α).



Kosi rezovi

Uglovi u zavarenom šavu su neograničeni, dopušteni bez statičkog ispitivanja, za sve varijante postavljanja osim postavljanja primenom tehnologije 'pogonsko samoprednarezanje', pogledati stranu P 2.3, do 3° i u minimalnom razmaku od 6 m dužine cevi. U području prianjanja deonica, koja je termički prednapregnuta u otvorenom kanalu za cevi, uglovi se mogu izvesti do 5°. U pregibima se vrh sile sasvim koncentriše na zavareni šav, stoga isti predstavljaju element s krajnje visokim opterećenjem.

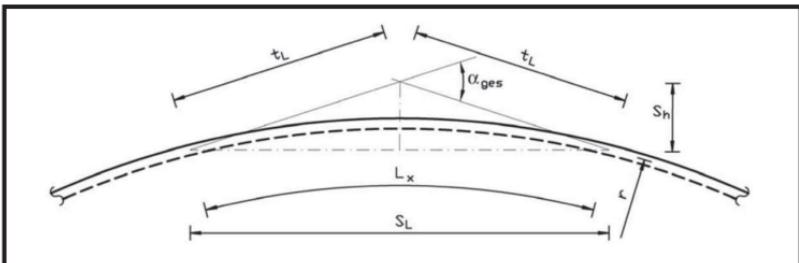


Maksimalno dopušteni ugao skretanja se dodatno ograničava korišćenom PEHD-spojnicom. U standardnim pokretnim spojnicama ne mogu se prihvati na primer veći od 3°. Broj potrebnih cevi dužine 6 m, odnosno dužina (L_x) zavisi od ugla skretanja (α_{ges}).

$$L_x = \frac{\alpha_{ges}}{3} \cdot 6 \quad [m] \quad (27)$$

Elastično savijanje

Ova tehnika je neograničena i dopuštena je bez statičkog ispitivanja. Elastično istegnuta područja statički se posmatraju kao ravne šipke cevi. U području promene smera, šipke cevi se vare izvan kanala. Zatim se taj odsečak spušta, odnosno uvlači, u kanal za cev i pri tom elastično preoblikuje. Zbog različitih momenata otpora minimalni radijusi savijanja (r) zavise od prečnika čelične cevi (d_a). Stoga navedeni radijusi ne smiju pokazivati manje vrednosti.



Dopušteni radijusi savijanja (r) i uglovi savijanja (α) u zavisnosti od prečnika čelične cevi (d_a):

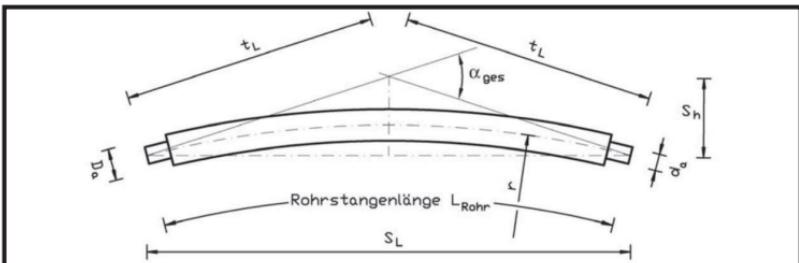
Dimenzije cevi za medijum	Nomin. veličina DN	Najveći dozvoljeni ugao savijanja		Najmanji radijus savijanja r (m)	Kružni segment kod r_{min} i 12,00 m		
		Spolj.- \varnothing mm	Po 6,00 m dugačkoj cevnoj šipki α u °		Dužina sekante s_c (m)	Visina segmenta s_h (m)	Dužina tangente t_L (m)
20	26,9	19	nicht lieferbar	18,09	5,97 (6 m)	0,25 (6 m)	3,03 (6 m)
25	33,7	15	n.L.	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	n.L.	4	171,89	12,00	0,11	6,00
350	355,6	n.L.	3	229,18	12,00	0,08	6,00
400	406,4	n.L.	3	229,18	12,00	0,08	6,00
450	457,2	n.L.	3	229,18	12,00	0,08	6,00
500	508,0	n.L.	3	229,18	12,00	0,08	6,00

Izračunati broj šipki (n), radijus savijanja (r), ugao skretanja (α) po šipki, kao i dimenzije kružnog segmenta (L_x), (s_L), (s_h) i (t_L) nalaze se na stranici **P 6.3**.

PROJEKTOVANJE

Lučna cev

Fabrički proizvedene lučne cevi prikladne su za sve varijante postavljanja. Savijanjem se mogu individualno prilagoditi svakoj trasi, bez obzira da li se radi o obliku L-, Z- ili U-luka, da li postoji nagib ili uspon. Budući da se sa stanovišta statike u lučnim cevima gotovo i ne pojavljuju veći naponi nego u ravnim cevima, one su idealni sastavni element za skretanja trasa. Kako bi se izbegli ugibi, u području lučne cevi zemlja služi kao potpora, odnosno oslonac, zbog čega u slučaju da kasnije postoji otvoreni paralelni kanal, na te cevi treba obratiti posebnu pažnju, strana **P 9.0**.



Dopušteni radijusi savijanja (r) i uglovi savijanja (α) u zavisnosti od prečnika čelične cevi (d_a):

Dimenzijs cevi za medijum	Najveći dozvoljeni ugao savijanja		Najmanji radius savijanja r (m)	Kružni segment kod r_{min} i 12,00 m		
	Spolj.- d_a mm	Po 6,00 m dugačkoj cevnoj šipki α u °		Dužina sekante s_L (m)	Visina segmenta s_h (m)	Dužina tangente t_L (m)
20	26,9	41	nicht lieferbar	8,39	5,87 (6 m)	0,53 (6 m)
25	33,7	27	n.L.	12,73	5,95 (6 m)	0,35 (6 m)
32	42,4	26	52	13,22	11,59	1,34
40	48,3	22	44	15,63	11,71	1,14
50	60,3	20	40	17,19	11,76	1,04
65	76,1	18	36	19,10	11,80	0,94
80	88,9	17	34	20,22	11,83	0,88
100	114,3	16	32	21,49	11,85	0,83
125	139,7	13	26	26,44	11,90	0,68
150	168,3	11	22	31,25	11,93	0,57
200	219,1	9	18	38,20	11,95	0,47
250	273,0	9	18	38,20	11,95	0,47
300	323,9	n.L.	15	45,84	11,97	0,39
350	355,6	n.L.	15	45,84	11,97	0,39
400	406,4	n.L.	8	85,95	11,99	0,21
450	457,2	n.L.	8	85,95	11,99	0,21
500	508,0	n.L.	8	85,95	11,99	0,21

Za proizvodnju se moraju navesti ugao (α), radius (r) i pravac savijanja na levu ili desnu stranu (u zavisnosti od protezanja kontrole mreže). Izračunati broj šipki (n), radius savijanja (r), ugao savijanja (α) po šipki, kao i dimenzije kružnog segmenta (L_x), (s_L), (s_h) i (t_L) nalaze se na stranici **P 6.3**.

PROJEKTOVANJE

Proračuni za lučne cevi i elastično savijena područja

Preko komplementarnog ugla (α_{ges}) izračunava se dužina luka (L_x). Ugao (α_{ges}) po pravilu je vidljiv iz projektne dokumentacije. Broj cevi (n) određuje se prema:

Primer: DN 125, L=12 m.

$$n = \frac{\alpha_{ges}}{\alpha_{max}} \quad [-] \quad (28) \quad n = \frac{70}{27} = 2,59 \approx 3 \text{ Stangen}$$

dužina luka (L_x) prema

$$L_x = n \cdot L_{Rohr} \quad [m] \quad (29) \quad L_x = 3 \cdot 12 \text{ m} = 36 \text{ m}$$

iли

$$L_x = \frac{\alpha_{ges} \cdot \pi \cdot r}{180} \quad [m] \quad (30) \quad L_x = \frac{70 \cdot \pi \cdot 29,48}{180} = 36 \text{ m}$$

radijus savijanja (r) prema

$$r = \frac{L_x \cdot 180}{\pi \cdot \alpha_{ges}} \quad [m] \quad (31) \quad r = \frac{36 \cdot 180}{\pi \cdot 70} = 29,47 \text{ m}$$

dužina tangente (t_L) prema

$$t_L = \frac{L_x \cdot 57,3}{\alpha_{ges}} \cdot \tan \frac{\alpha_{ges}}{2} \quad [m] \quad (32) \quad t_L = \frac{36 \cdot 57,3}{70} \cdot \tan \frac{70}{2} = 20,63 \text{ m}$$

kao i ugao savijanja (α) po šipki cevi prema

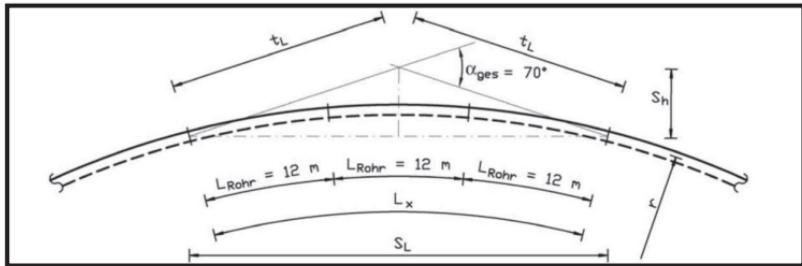
$$\alpha_{Stange} = \frac{\alpha_{ges}}{n} \quad [°] \quad (33) \quad \alpha_{Stange} = \frac{70}{3} = 23,33° \text{ pro Stange}$$

dužina sekante (s_L) prema

$$s_L = 2 \cdot r \cdot \sin \frac{\alpha_{ges}}{2} \quad [m] \quad (34) \quad s_L = 2 \cdot 29,47 \cdot \sin \frac{70}{2} = 33,80 \text{ m}$$

kao i visina segmenta (s_h) prema

$$s_h = r - \sqrt{r^2 - \frac{s_L^2}{4}} \quad [m] \quad (35) \quad s_h = 29,47 - \sqrt{(29,47^2 - \frac{33,80^2}{4})} = 5,33 \text{ m}$$



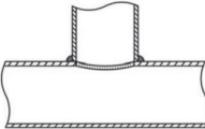
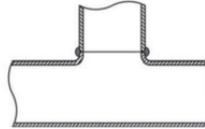
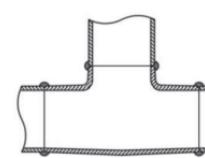
PROJEKTOVANJE

Ogranci

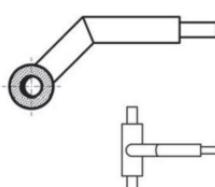
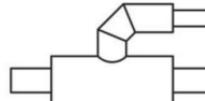
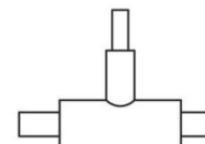
Za izvođenje priključaka za građevine ili račvanje trase koriste se T-komadi, odnosno račve i oni se ugrađuju u glavni vod. U zavisnosti od karakteristike zemljišta i neophodnog ventila za odmulj ili odzrak, ogranci se mogu montirati tako da se odvajaju prema gore ili dole. Pritom je potrebno uvažiti da se dubina kanala, a time i visina prekrivanja, menja prema str. **M 2.1.1.**

Budući da ogranci predstavljaju sastavne delove KMR-sistema povezivanja koji su jako opterećeni, potrebno je oblik ogranka odabrati prema dužini odvajanja. Načelno se za svaki 45°-T ili paralelni priključak (ogranak) mora pomoći najmodernijih softverskih programa izvršiti statički proračun i to se mora odgovarajuće potvrditi. Kod ogranaka iste nominalne veličine, kao kod glavnog voda ili za jednu dimenziju manjih, može biti neophodno da se T-račve primenjuju u skladu sa DIN 2615.

Kod fabrički predizolovanih priključaka mogu se razlikovati tri vrste:

Zavareni model	Model sa izvučenim grlom	DIN 2615
 <p>Grana se ugaonim šavom zavaruje za glavnu cev</p>	 <p>Na glavnoj cevi se izvlači grlo i ograncak se zavaruje sučeonim šavom</p>	 <p>T-račva otkvak se kao gotov deo ugrađuje zavarovanjem prema DIN 2615</p>

Istovremeno se mogu razlikovati tri modela:

45° T-priklučak	Paralelni priključak	Vertikalni priključak
 <p>Grana se paralelno odvaja pod uglom od 90° sa vratom pod 45°</p>	 <p>Grana se paralelno odvaja pod uglom od 90°</p>	 <p>Odvaja se vertikalno od glavnog voda</p>

PROJEKTOVANJE

Kod svih **isoplusovih** ogranaka čeličnih cevi principijelno se izvlači grlo glavnog voda. Ogranci istih dimenzija, kao i za jednu nominalnu veličinu manji, u principu se izrađuju prema DIN 2615 T 1 sa T-komadima za zavarivanje, u zavisnosti od debljine zida cevi na koju se nadovezuju, u skladu sa stupcem 2 ili 3.

Ogranci sa izvučenim grlom ili sa T-račvom prema DIN pružaju jasne sigurnosne rezerve kada je reč o statici. Prema AGFW FW 401, 10. deo, za te tri vrste važe sledeći faktori povećanja napona (i):

i	Zavareni model		Model sa proširenim grlom		DIN 2615	
	Glavni vod	Grana	Glavni vod	Grana	Glavni vod	Grana
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_o	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,6$	$k \cdot 0,4$
i_ϑ	$k \cdot 1,3$	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 0,9$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,775$	$k \cdot 0,4$
i_{Σ}	2,300		1,600		1,175	
%Diff.	100 %		- 30,5 %		- 49 %	

N = normalna sila

\emptyset = prečnik

M = momenat savijanja

$\emptyset\Sigma$ = zbir glavnog voda i grane

M_x = momenat torzija

%Diff. = procentualno poboljšanje

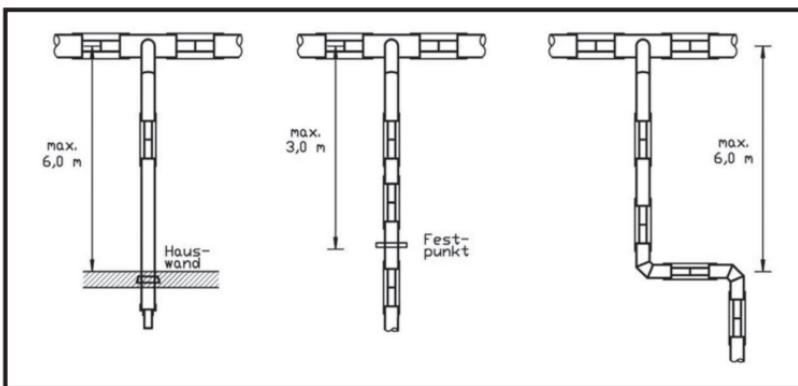
Q = poprečna sila

k = koeficijent zamora prema AGFW

Izraženo rečima, to znači da se T-komad sa izvučenim grlom mora proceniti kao staticki povoljniji za 30%, a DIN 2615 za 49% u odnosu na zavareni T-komad.

45° T-ogranak

Oni predstavljaju najjednostavniju i najjeftiniju varijantu za uključivanje priključaka za građevine, u zavisnosti od odnosa glavnog voda i grane, do maksimalno 6,00 m dužine. Zbog nepostojanja mogućnosti kompenzacije kod 45° T-ogranka, odnosno luka, potrebno je, nezavisno od radne temperature, kod većih dužina odvajanja nakon maksimalno 3,00 m postaviti čvrstu tačku ili nakon 6,00 m Z-luk. Mere ugradnje 45° T-ogranka vidi stranu **B 3.1**.

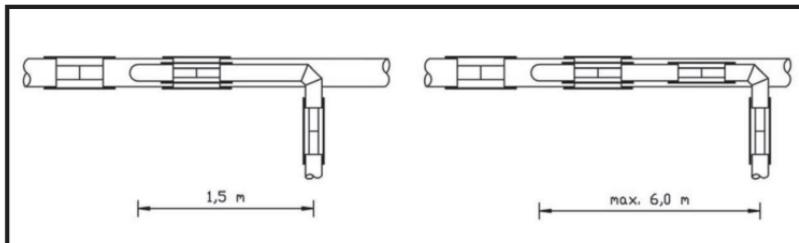


PROJEKTOVANJE

Ako su kućni priključci duži ili se bočni krak odvaja od glavne trase, potrebno je ugraditi paralelne ogranke jer se kod njih automatski stvara L-luk koji T-komad štiti od kretanja istezanja i sile voda odvajanja. Paralelne deonice u većini slučajeva ne smeju biti duže od oko 1,50 m. Ako u "postavljanju velikih cevi" paralelna dužina mora biti veća, potrebno je, u zavisnosti od odnosa dimenzija između glavnog voda i grane, ograničiti je na maksimalno 6,00 m.

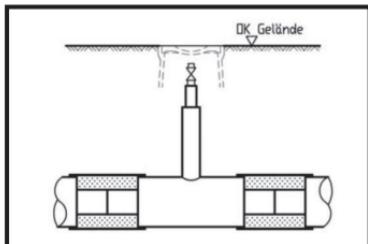
U praksi se pokazalo ispravnim realizovati paralelni krak dužine 1,50 m sa 90°-završnim lukom dužine 1,00 m x 1,00 m. Prednost toga je što u paralelnoj deonici treba predvideti samo jedan zavareni šav i jednu spojnicu za povezivanje, spojnicu se zbog kraka luka dužine 1,00 m može direktno navući.

Mere ugradnje za paralelni ogrank, strana **B 3.2**.



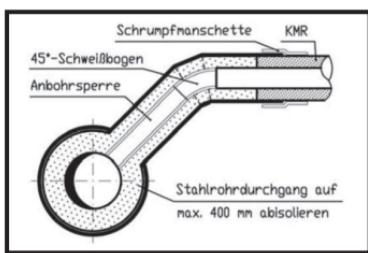
Vertikalni ogrank

Ogranci sa vertikalnom granom se koriste kako T-račve za ventile za odzrak i/ili odmrlj. Zbog nedostatka voda koji se grana, oni se mogu cevno staticki zanemariti. Nije dozvoljeno samo ugradivanje u području krakova L, Z ili U-lukova zbog postojećih napona pri savijanju.



Odvajanje cevi od glavnog cevovoda kroz izbušeni otvor

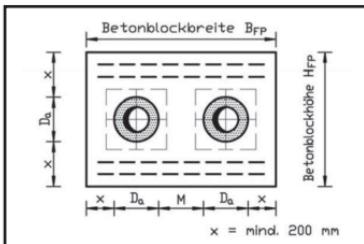
Mnogi kućni priključci se danas dodatno uključuju u glavne trase koje su u pogonu. To omogućuje tehniku bušenja pod pritiskom. Oblik odvajanja se odabira analogno prema 45° T- ili paralelnom ogranku. Statički se tehniku bušenja mora posmatrati kao zavareni T-komad. Izolacija ovih montažnih delova odvija se pomoću PEHD-montažnog ogranka.



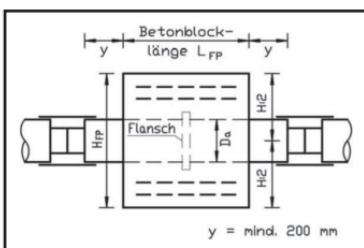
Cevni priključak, strana **Z 2.0** / montaža, strana **M 6.0**

Čvrsta tačka (nepokretna tačka)

Zbog prirodnih nepokretnih (čvrstih) tačaka, koje se same od sebe pojavljuju u KMR-sistemu, vidi stranu **P 2.2**, konstruktivne čvrste tačke su po pravilu suvišne. Ispravnim planiranjem se nepokretnе tačke skoro uvek mogu izbeći. Budući da je kod nepokretnih tačaka obložna cev prekinuta, može se reći da te tačke spadaju među najosetljivije tačke jednog cevovoda.



Prilikom projektovanja čvrste tačke redukuje se dozvoljena dužina polaganja (L_{\max}) na L_{zul} , odnosno L_{\max} . Budući da su čvrste tačke izložene velikim silama, načelno bi ih trebalo izbegavati. Čvrste tačke od DN 350, u povezanosti sa tehnologijom polaganja 'pogonsko samoprednaprezanje', se zbog natproporcionalno velikih sila retko mogu praktično savladati.



U slučaju sledećih vanrednih situacija se ipak mogu predvideti čvrste tačke:

- ⇒ za određivanje smera istezanja, na primer pre kratkih krakova istezanja ili na lukovima $< 30^\circ$ komplementarnog ugla α .
- ⇒ za obezbeđivanje prolaza kroz zid koji bi bili izloženi prevelikom aksijalnom naponu. Zidovi građevine ili kuće nisu pogodni kao čvrsta tačka. Zato se mora ispoštovati minimalno rastojanje od 2,00 m.
- ⇒ kod težih uslova zemljишta, na primer ekstremnih padina kako bi se sprečilo klizanje trase. Ovde treba dodatno uzeti u obzir nagib i težinu cevovoda, što znači da se te sile moraju dodati na F_{FP} .
- ⇒ za fiksiranje parovoda u sredini pojedinih odsečka i ispred ulaza u građevine kako bi se sprečilo kretanje cevovoda zbog naglih promena temperature
- ⇒ na prelazima različitih korišćenih tehnika postavljanja, na primer od termičkog prednaprezanja u otvorenim kanalima za cevi do EKO-sistema, strana **P 9.1**

Ako se s obzirom na postojeće sile na čeonoj površini betonskog bloka ne postavljuju opterećenja, potrebno je primeniti minimalne mere. Minimalna širina (B_{\min}) se izračunava na sledeći način:

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

$$(prm.36) \quad B_{\min} = 2 \cdot 0,25 \cdot 2 \cdot 0,20 + (2 - 1) \cdot 0,20 \quad (\text{m}) \text{ rezultat: } B_{\min} = 1,10 \text{ m}$$

D_a = prečnik obložne cevi

n_R = broj cevovoda (-)

x = minimalni rub od betona

M = najmanji razmak prilikom montaže, strana **M 2.2**

PROJEKTOVANJE

Za izračunavanje minimalne visine (H_{min}) se obavlja sledeće jednostavno sabiranje, a kod različitih prečnika obložne cevi (D_a) treba uzeti veći:

$$\begin{aligned} H_{min} &= D_a + 2 \cdot x \text{ (m)} & (37) \\ (\text{prm.37}) \quad H_{min} &= 0,25 + 2 \cdot 0,20 \text{ (m)} & \text{rezultat: } H_{min} = 0,65 \text{ m} \end{aligned}$$

U primerima (36) i (37) izračunate mere za minimalnu veličinu betonskog bloka se uvek moraju ispoštovati bez obzira na specifične podatke projekta. Za dužinu betonskog bloka (L_{min}) važe u tabeli navedene minimalne dimenzije. Ova tabela se odnosi na dve cevi sa prečnikom obložne cevi (D_a) standardne debljine izolacije.

Cev za medijum	Spojni Ø obložne cevi D_a (mm)	Najmanji razmak prilikom montaže M (mm)	Minimalne dimenzije betonskog bloka				Čelik za armiranje		
			Širina B_{min} (mm)	Visina H_{min} (mm)	Dužina L_{min} (mm)	Čeona površina A_{FPmin} (mm)	Broj n_{Fe} u kom.	Ø _{Fe} (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

Čvrsta tačka, strana **B 4.0** / montaža, strana **M 3.6**

Sila čvrste tačke prilikom polaganja u hladnom stanju

Kod tri tehnike polaganja u hladnom stanju (polaganje u hladnom stanju, konvencionalno polaganje i pogonsko samoprednaprezanje), uporediti sa stranom **P 1.1**, stvarna sila čvrste tačke (F_{FPKV}) zavisi od dužine odsečka trase (L_x) i sile trenja (F'_R), strana **P 3.0** \Rightarrow (14).

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

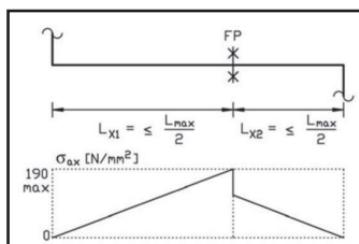
$$F_{FPKV} = 50 \cdot 4,194 \cdot 2 \cdot 0,85 \text{ (kN)} \quad (\text{prm.38})$$

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

n_R = broj cevovoda (-)

f_μ = faktor umanjuvanja (0,85) za vrednost trenja (μ) između betona i zemlje uzimajući u obzir težinu betonskog bloka

Kod središnjih čvrstih tačaka, proračun se vrši pomoću razlike između L_{x1} i L_{x2} . Sila trenja (F'_R) zavisi od \bar{U}_H , strana **P 8.2**



Sila trenja F'_R u kN/m

Dimenzije cevi za medijum			MR- spoljni prečnik D_a (mm)			F'_R pri debljini nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi (\bar{U}_H), gornja površina obložne cevi do gornje površine zemljišta								
Nomin. veličina	Spolj.- Ø da mm	Spoljni Ø obložne cevi D _a (mm)				$\bar{U}H = 0,80 \text{ m}$			$\bar{U}H = 1,20 \text{ m}$			$\bar{U}H = 1,60 \text{ m}$		
			Debljina izolacije	Debljina izolacije	Debljina izolacije	Debljina izolacije	Debljina izolacije	Debljina izolacije	Debljina izolacije	Debljina izolacije	Debljina izolacije	Debljina izolacije	Debljina izolacije	Debljina izolacije
S	1x	2x*	S	1x	2x*	S	1x	2x*	S	1x	2x*	S	1x	2x*
20	26,9	2,3	90	110	125	1,33	1,64	1,88	1,95	2,41	2,75	2,58	3,17	3,62
25	33,7	2,6	90	110	125	1,33	1,65	1,89	1,96	2,41	2,75	2,58	3,17	3,62
32	42,4	2,6	110	125	140	1,65	1,89	2,14	2,41	2,76	3,11	3,18	3,63	4,08
40	48,3	2,6	110	125	140	1,65	1,89	2,14	2,42	2,76	3,11	3,18	3,63	4,08
50	60,3	2,9	125	140	160	1,90	2,15	2,48	2,77	3,12	3,59	3,64	4,09	4,70
65	76,1	2,9	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 = standardna debljina izolacije, 1x = 1 x pojačana debljina izolacije, 2x = 2 x pojačana debljina izolacije

PAŽNJA: Kod kursivno ispisanih prečnika obložnih cevi (*) reč je o specijalnim izradama. U slučaju potrebe trebalo bi se odmah raspitati o mogućnostima isporuke.

U tabeli navedene vrednosti se zasnivaju na osnovu AGFW-smernice FW 401 - 10. deo i odnose se na zemljišta sa specifičnom težinom od 19 kN/m^2 , maksimalno dozvoljenom naponu smicanja (τ_{pu}) od $\leq 0,04 \text{ N/mm}^2$ i uglovim unutrašnjeg trena (φ) od $32,5^\circ$. Za crne cevi za medijum, radni materijal St 37,0, W-B ili S (zavarena ili bešavna), br. 1.0254, debljine zida u skladu sa poglavljem R, strana **R 2.0**. Za druge debljine nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi (\bar{U}_H) treba prilagoditi F'_R ili proračun prepustiti **soplusu**.

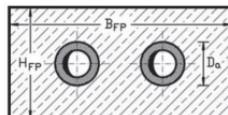
Čeona površina betonskog bloka

Sila čvrste tačke (F_{FPKV}) se mora preneti preko čeone površine (A_{FP}) betonskog bloka na zemlju, odnosno posteljicu od peska. Za sabijeni, nevezujući srednji do grubi pesak (klasa NS 0/2 prema DIN4226) dozvoljena pritisna čvrstoća (σ_E) iznosi 150 kN/m^2 . Čeona površina (A_{FP}) se zato, uzimajući u obzir površinu obložne cevi, izračunava na sledeći način:

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

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

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



$$D_a = \text{prečnik obložne cevi (m)}$$

$$\pi = 3,1416 \quad (-) n_R = \text{broj cevovoda (-)}$$

Širina (B) i visina (H) betonskog bloka se određuju uzimajući u obzir minimalne dimenzije, strana **P 8.1**.

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

$$(\text{Prm. 40}) \Rightarrow B_{FP} = 2,48 : 0,65 \quad (\text{m})$$

$$\text{ili: } \Rightarrow B \cdot H = \text{npr. } 2,50 \cdot 1,00 \text{ m}$$

$$\text{rezultat: } B_{FP} = 3,82 \text{ m}$$

PROJEKTOVANJE

Sila čvrste tačke prilikom polaganja u toploem stanju

Za čvrstu tačku na termički prednapregnutim odsečima, dakle prilikom polaganja u toploem stanju (termičko prednaprezaanje + EKO-sistem), uporedi stranu P 1.1, sila čvrste tačke se određuje prema:

$$F_{FPKV} = A \cdot \sigma_{vom} \cdot n_R \cdot f_{\mu} \quad (\text{N}) \quad (41)$$

$$F_{FPKV} = 2,064,66 \cdot 154,7 \cdot 2 \cdot 0,85 \quad (\text{N}) \quad (\text{prm.41})$$

Rezultat: $F_{FPKV} = 542,99 \text{ N}$ ili $542,99 \text{ kN}$

A = površinski presek (mm^2) cevi za medijum

\Rightarrow (6), strana P 2.2

σ_{vom} = postojeći aksijalni napon (N/mm^2)

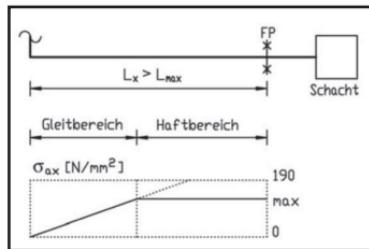
\Rightarrow (3), strana P 4.4.1

prm. sa $T_E = 130^\circ \text{C}$ + $V_1 = 70^\circ \text{C}$

n_R = broj cevodova (-)

f_{μ} = faktor umanjivanja (0,85) za vrednost trenja

(μ) između betona i zemlje uzimajući u obzir težinu betonskog bloka



Čeona površina betonskog bloka (A_{FP}) se izračunava prema \Rightarrow (39)

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

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

Dužina betonskog bloka

Za utvrđivanje neophodne dužine (L_{FP}) betonskog bloka trenje o tlo (S'_R) mora biti poznato. Ono se izračunava na osnovu celokupne težine (G_{FP}) betonskog bloka i zemlje kojom je zagnut.

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

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

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

ρ_B = specifična težina betona (kN/m^3)

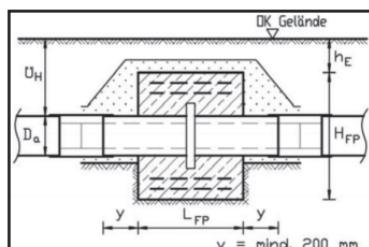
ρ_E = specifična težina zemlje (kN/m^3)

h_E = visina između gornje ivice zemlje i gornje ivice betonskog bloka (m)

$$= (U_H + D_a : 2) - (H_{FP} : 2); \text{npr. } (0,8 + 0,25 : 2) - (1,00 : 2) = 0,425 \text{ m}$$

U_H = debeljina nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi (m)

D_a = spoljni prečnik PE-obložne cevi (m)



$$S'_R = G_{FP} : \tan \varphi \quad (\text{kN/m}) \quad (43)$$

$$S'_R = 119,32 : \tan 40 \quad (\text{kN/m}) \quad (\text{prm.43}) \quad \text{rezultat: } S_R = 100,11 \text{ kN/m}$$

φ = ugao trenja betona ($^\circ$)

$$L_{FP} = \frac{F_{FP} : f_{\mu}}{S'_R} \quad [\text{m}] \quad (44) \quad L_{FP} = \frac{542,99 : 0,85 - 542,99}{100,11} \quad [\text{m}] \quad (\text{prm. 44})$$

Rezultat: $L_{FP} = 0,96 \text{ m}$

Otkopavanje KMR-trase

Zemljište ima kod KMR-trase uporedivu potpornu funkciju betonskog temelja neke građevine, odnosno kuće. Zato u slučaju nekontrolisanog otkopavanja KMR-trase postoji velika opasnost od izvajanja u području šahtova. U zavisnosti od tehničkih podataka mreže je moguće da se smeju otkopavati samo kratke dužine (< 5 m) u okviru trase.

Da bi ipak bilo moguće otkopati duže odsečke, mora se raditi u etapama od po 5 m. Najsigurniji metod da se plastične obložne cevi potpuno ili delimično otkopaju se sastoji u tome da se radna temperatura smanji na $\leq 70^{\circ}\text{C}$. Sledеće tačke bi ipak trebalo principijelno ispoštovati i bilo bi dobro kada bi se u vezi sa njima konsultovali svi učesnici:

- ⇒ Pre svakog otkopavanja, odnosno građevinskih radova koji idu paralelno sa KMR-trasom, mora **isoplus** kao instanca odgovorna za statiku cevi da izda odobrenje. **isoplus** vrši proračune maksimalno dozvoljenih dužina.
 - ⇒ Svi učesnici u građevinskim radovima moraju za vreme izvođenja radova da postupaju izuzetno pažljivo. To se mora nezavisno i kontinuirano kontrolisati.
 - ⇒ Eventualna oštećenja PEHD-obložne cevi se moraju odmah označiti, prijaviti i stručno otkloniti.
 - ⇒ Kod paralelnih građevinskih radova sa potpornim-zidovima, rastojanje od spoljne ivice obložne cevi do spoljne ivice zida drugog poduprtog kanala mora iznositi barem 500 mm. Statički proračun za potporni zid je obavezan.
 - ⇒ Ukoliko kanal nije podprt, rastojanje između KMR-trase i novog rova mora da iznosi barem dvostruku debljinu nasutog sloja zemlje iznad gornje površine **isoplus**-cevi.
 - ⇒ Ako želimo delimično da skinemo debljinu nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi, smanjuje se sila trenja (F'). Posledica je da dolazi do većeg aksijalnog istezanja na kompenzacijonim krakovima. To znači da se pre otkopavanja moraju izvršiti statički proračuni vezani za kompenzacione krakove.
Postojeći dilatacioni oslonci moraju eventualno da budu pojačani i produženi i moraju se zaštiti od oštećenja za vreme izvođenja radova.
 - ⇒ Kod tehnike polaganja 'termičko prednaprezanje' u otvorenom rovu ili posredstvom EKO-sistema treba vršiti otkopavanje izuzetno pažljivo, budući da u području prianjanja dolazi do maksimalnog aksijalnog napona.
 - ⇒ Kada je reč o 'pogonskom samoprednaprezanju', otkopavanje je najkritičnije, budući da je barem u području visokog napona, strana **P 2.3**, prekoračena granica tečenja čelika.
Izvijanje ili ulubljivanje cevi je moguće bez prethodnog upozorenja.
 - ⇒ Trebao bi izbegavati otkopavanje lučnih cevi ili elastično zategnutih delova trase, budući da u tim zonomama zemlja preuzima ulogu oslonca.
- Za izračunavanje maksimalno dozvoljene dužine otkopavanja, **isoplus** se na osnovu plana trase mora obavestiti o tačnom mestu i planiranoj dužini. Uz to su uz opšte podatke kao što su temperatura, pritisak itd. potrebni i sledeći parametri:
- temperatura zemljišta za vreme prvobitne montaže cevi
 - radna temperatura za vreme vršenja otkopavanja

PROJEKTOVANJE

Priklučivanje za druge cevne sisteme

U oblastima u kojima postoje komunalne toplovođne mreže, često treba obaviti priključivanje za druge cevovodne sisteme. Svi sistemi koji će biti navedeni se principijelno razlikuju od **isoplusovih**-predizolovanih cevi i zato se na mestu povezivanja mora izvršiti detaljno statičko ispitivanje.

- ⇒ sistemi u betonskim kanalima sa poklopcom
- ⇒ dvoslojno izolovane cevi
- ⇒ visokotemperaturni sistemi
- ⇒ vazdušno postavljeni cevovodi
- ⇒ zaliveni cevovodi u bitumenu ili cementu

Presudni faktor prilikom projektovanja je očekivano istezanje drugog sistema. Da bi se ono ustanovilo, neophodno je da postoji projektna dokumentacija postojeće trase. Međutim, u praksi se ispostavlja da često nije moguće dobiti željene informacije. Zato se na statički nedefinisanim prelazima nova **isoplus**-trasa započinje kompenzacijom krakom.

Međutim, često se zbog nedostatka mesta ili drugih lokalnih okolnosti ne može postaviti U ili Z-luk. Na takvim prelaznim tačkama se može predviđeti prelazni šahrt s aksijalnom kompenzacijom ili se te dve trase moraju razdvojiti konstruisanjem čvrste tačke.

Prikazani prelazi prikazuju najčešće primenjene prelazne konstrukcije.

Nadzemni cevodod ⇒ KMR	Kanal ⇒ KMR sa paralelnim-T	Specijalni kanal ⇒ KMR
Drugi cevododi ⇒ KMR sa U-lukom	Drugi cevododi ⇒ KMR sa šahrom	Drugi cevododi ⇒ KMR sa čvrstom tačkom

Priklučna cev, strana Z 9.0

Dimenzionisanje

Kapacitet (kW) koji treba preneti u znatnijoj meri određuje dimenzionisanje cevi. Zadati gubitak pritiska (Δp), zbir lokalnih otpora (ζ), na primer ogrankaka i lukova, radna temperatura (T_b), kao i temperaturna razlika (ΔT) kod cevovoda sa potisnim i povratnim vodom, dodatni su parametri koji se moraju uvažiti. Tabela pokazuje zapreminske sadržaje (v) raznih dimenzija za cevi za medijum (d_a = spoljni prečnik, s = debljina zida).

Vrsta cevi	Nominalna veličina		Dimenzijs cevi za medijum		Zapreminski sadržaj v (l/m)
	DN	Zoll	d _a (mm)	s (mm)	
Mediumrohr schwarz mit Wandstärken nach Kapitel Rohre, Seite R 2.0	20	3/4"	26,9	2,3	0,391
	25	1"	33,7	2,6	0,638
	32	1 1/4"	42,4	2,6	1,087
	40	1 1/2"	48,3	2,6	1,459
	50	2"	60,3	2,9	2,333
	65	2 1/2"	76,1	2,9	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
St 33.2 nach DIN 24240	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

Vrsta cevi	Nominalna veličina		Dimenzijs cevi za medijum		Zapreminski sadržaj v (l/m)
	DN	Zoll	a (mm)	s (mm)	
Kupfer und Edelstahl nach DIN 1754 / 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
	15	1 1/2"	20,0	2,0	0,201
	15	1 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

Za navedene dimenzije se **zapreminske sadržaje (v)** izračunava na sledeći način:

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

rezultat primera (45): $v = 20,182 \text{ l/m}$ ili $v = 20,182 : 1000 = 0,020182 \text{ m}^3/\text{m}$

PROJEKTOVANJE

Dimenzionisanje

Preko zapreminskeg sadržaja (v) u m^3/m , brzine protoka (w) u m/s koju treba utvrditi i vremena (t) u s/h , može se vrlo jednostavno izračunati **zapreminski protok** (V').

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

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

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

Preko zapreminskeg sadržaja (v) u m^3/m i brzine protoka (w) u m/s koju treba utvrditi se može odrediti i **prenosivi kapacitet** (P_o).

$$P_o = v \cdot w \cdot c_m \cdot \Delta T \quad (kW) \quad (47)$$

$$P_o = 0,020182 \cdot 1,7 \cdot 4187 \cdot 40 \quad (kW) \quad (\text{prm.47})$$

$$\text{Rezultat: } P_o = 5.746,14 \quad kW \quad (\text{prm.47})$$

c_m = specifični toplotni kapacitet medijuma koji protiče [$J/(kg \cdot K)$];

npr. voda = $4.187 \quad J/(kg \cdot K)$

ΔT = temperaturna razlika (K);

Primer toplovoda \Rightarrow temperatura potisnog voda (T_{VL}) = $110^\circ C$

temperatura povratnog voda (T_{BL}) = $70^\circ C$

t. razlika (ΔT) = $40^\circ C$

Prenosivi kapacitet (P_o) treba postaviti u odnos sa **potrebnim kapacitetom** (P_b).

Potreban kapacitet (P_b) se sastoji od sledećih pojedinačnih vrednosti:

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

q = gubitak energije (kW), strana **P 11.4**

A_w = priključna vrednost (kW), prema zadatoj

S_D = vrednost stepena sigurnosti (-), prema zadatoj

Vrednost stepena sigurnosti (S_D) bi trebalo da kompenzuje gubitke prilikom trenja koji zavise od hrapavosti zida (k) i/ili Rejholdovog broja (R_e) i gubitak statičkog pritiska kao posledice visinske razlike, kao i gubitak dinamičkog pritiska (Δp). Dodatni gubici pritiska zbog delova ugrađenih u trasu kao što su na primer lukovi, ogranci, armature itd. se mogu takođe izračunati na osnovu specifičnog otpora (ζ). Istovremeno treba uzeti u obzir da će kasnije novi potrošači biti priključeni za cevovod i da će potreban konzum varirati jer zavisi od postojećih kućnih priključaka.

Za određivanja prečnika cevi se može, bez garancije, dimenzionisati prema formulama (45) do (48). Egzaktno utvrđivanje nominalnih veličina se vrši na osnovu iterativnih proračuna koji uzimaju u obzir sve neophodne parametre i po pravilu ga obavlja Inženjerski biro za grejanje i klimatizaciju, koji je zadužen za projektovanje, ili direktno investitor, odnosno korisnik mreže.

Provodenje topote

Pod provodenjem topote podrazumeva se prenos energije preko jednog ili više materijala od toplijeg prema hladnjem mediju. Svakom od tih materijala treba, u zavisnosti od njegovog hemijsko-fizickog svojstva, dodeliti individualni koeficijent provodljivosti topote (λ). Za materijale koji se koriste u **isoplusovom** KMR-sistemu, eksperimentalno je određen koeficijent provodljivosti topote (λ).

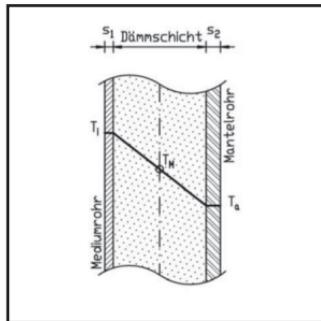
T_m = srednja temperatura (°C)

T_a = spoljašnja temperatura (°C)

T_i = unutrašnja temperatura (°C)

s_1 = debljina zida cevi za medijum (mm)

s_2 = debljina zida obložne cevi (mm)



PAŽNJA: Radi boljeg tumačenja sledeći primeri (49) do (68), strane **P 11.1 do P 11.5.1** navedeni su paralelno sa primerom (prm.) sa strane **P 1.0**. Ovde je merodavna nominalna veličina cevi za medijum DN 150. Debljina nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi iznosi 800 mm, a srednje montažno rastojanje (M) je 200 m. Kada se uzme u obzir koeficijent provodljivosti topote zemljišta, to znači da je visina ose (h_m) 925 mm, a razmak između osa (a) 450 mm.

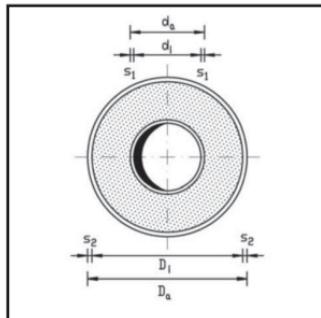
Sposobnost provodljivosti topote cevi

Prilikom provodenja topote u predizlovanim cevima, topota protiče kroz materijale koji različito provode topotu: cev za medijum, izolacioni materijal i obložnu cev. Na osnovu velike sposobnosti provodljivosti topote (λ) kao i malih debljin zida cevi za medijum i obložne cevi, za protok topote je najmerodavniji izolacioni materijal. Gubitak energije treba izračunati pomoću vrednosti, odnosno debljina zidova svih materijala. Za koeficijente provodljivosti topote materijala koji su navedeni u primeru važi:

⇒ cev za medijum St. 37.0: $\lambda_{ST} = 52,3300 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

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

⇒ PEHD-obložna cev: $\lambda_{PE80} = 0,4000 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$



D_a = spoljni prečnik PEHD-obložne cevi (mm)

D_i = unutrašnji prečnik PEHD-obložne cevi (mm)

d_a = spoljni prečnik čelične cevi (mm)

d_i = unutrašnji prečnik čelične cevi (mm)

GUBITAK ENERGIJE

Otpor provodljivosti toplotne cevi ($1/\Lambda_R$) se računa prema jednačini za višeslojne cevi na sledeći način:

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

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

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

\ln = prirodni logaritam (-)

D_a = spoljni prečnik PEHD-obložne cevi (mm)

D_i = unutrašnji prečnik PEHD-obložne cevi (mm)

d_a = spoljni prečnik čelične cevi (mm)

d_i = unutrašnji prečnik čelične cevi (mm)

Za **toplotni otpor (R_A)** važi:

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

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

$$\text{rezultat: } R_A = 2,1061 \text{ m}\cdot\text{K}/\text{W} \quad (\text{prm. 50})$$

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

Koeficijent prolaza toplotne cevi (k_R) je recipročna vrednost od: $\Rightarrow \Rightarrow \quad (50)$

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

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

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

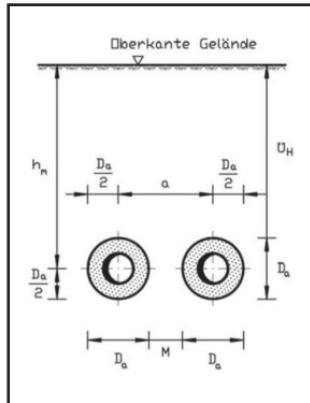
GUBITAK ENERGIJE

Sposobnost provođenja toplote zemlje

Kako bi se tačno izračunao gubitak toplote, potrebno je dodatno uvažiti sposobnost provođenja toplote i "debljinu izolacije" zemlje kao i zagrevanje zemlje između potisnog i povratnog voda.

Nakon što su cevi, prema **isoplus**-uputstvima za montažu, postavljene u pesak, za to se kako je izračunato koristiti čisti pesak sa 8 vol.% vlage i koefficijentom provođenja toplote zemlje (λ_E) od 1,20 W/(m·K). Ukoliko se KMR-trasa montira u području podzemne vode, onda se sposobnost provodljivosti zemlje menja u skladu sa tim.

Ako se trasa ipak montira na drugačijim uslovima zemljišta, onda λ_E treba odrediti u skladu sa tabelom:



Vrsta zemljišta	Gustina tla ρ (kg/m ³)	Udeo vlage u %	Najčešća vлага u %	Sposobnost provodljivosti toplote pri najčećoj vlagi λ_E u W/(m·K)
Čist pesak	1500	4		1,04
	↓	↓	8	1,20
Glinasta zemlja	1800	14		1,70
	1500	23		1,50
	2000	28		2,60

Otpor provođenja toplote zemlje ($1/\lambda_E$) se izračunava na sledeći način:

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

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

$$\text{rezultat: } 1/\lambda_E = 2,2455 \text{ m} \cdot \text{K/W} \quad (\text{prm. 53})$$

In = prirodn logaritam (-)

D_a = spoljni prečnik PEHD-obložne cevi (mm)

Ü_H = debljina nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi (mm)

M = rastojanje prilikom montaže, strana **M 2.2** (mm)

a = razmak osa potisne i povratne cevi = M + D_a (mm)

h_m = visina ose od sredine cevi do gornje ivice tla = Ü_H + D_a : 2 (mm)

GUBITAK ENERGIJE

Međusobni uticaj (1/Λ_{RR}) jedne cevi na drugu, odnosno potisnog voda na povratni vod se izračunava prema sledećoj jednačini:

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

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

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

In = prirodn logaritam (-)

D_a = spoljni prečnik PEHD-obložene cevi (mm)

Ü_H = debljina nasutog sloja zemlje iznad gornje površine cevi (mm)

M = rastojanje prilikom montaže, strana **M 2.2** (mm)

a = razmak oosa potisne i povratne cevi = M + D_a (mm)

h_m = visina ose od sredine cevi do gornje ivice tla = Ü_H + D_a : 2 (mm)

Zbir svih otpora provodljivosti toplice (1/Λ_Σ) se dobija jednostavnim sabiranjem:

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

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

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

Za ukupni topotni otpor cevi položene pod zemljom (R_{Σ_{ER}}) važi:

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

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

$$\text{rezultat: } R\Sigma_{ER} = 2,6548 \text{ m} \cdot \text{K/W} \quad (\text{prm. 56})$$

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

GUBITAK ENERGIJE

Koeficijent prolaza toplove (k_{ER}), prema ISO 7345 (U), cevi položene pod zemljom je recipročna vrednost od: $\Rightarrow \frac{1}{k_{ER}}$ (56)

$$k_{ER} = \frac{1}{R \sum_{ER}} \quad [W/(m \cdot K)] \quad (57) \quad \text{ili:} \quad k_{ER} = \frac{2 \cdot \pi}{1/\Lambda_{\Sigma}} \quad [W/(m \cdot K)] \quad (58)$$

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

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

Gubitak toplove

Za određivanje gubitka toplove (q) mora biti poznata delotvorna **srednja temperatura (T_m)** između radnih temperatura potisnog i povratnog voda ($T_{VL} + T_{RL}$) i temperature zemlje (T_E):

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

Izračunavanje **gubitka toplove (q)** po **metru cevi (m)** se vrši na sledeći način:

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

Da bi se izračunao absolutni **gubitak toploene energije (Q')** duž cele **trase**, mora biti data dužina cevi i vremenski period za koji se vrši proračun.

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

primer (61) (62):

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

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

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

L = dužina cevi potisnog i povratnog voda (m), npr. 500 m odgovara trasi od 250 m
t = vremenski period za koji se vrši proračun (h), npr. 720 časova odgovara 30 dana ili jednom mesecu.

Koeficijenti protoka toplove (k_{ER}) i gubitaka toplove (q) **isoplus**-cevi se nalaze u poglavljima *Cevi*, *Fleksibilne cevi* i *Duple cevi*.

GUBITAK ENERGIJE

Samo kod nadzemno postavljenih **isoplus**-cevi sa spirofalc-omotačem na gubitak toplote presudno utiče vrednost koeficijenta prelaza (α). Budući da ta vrednosti zavisi od mnogih spoljnih faktora kao što su pravac i brzina veta, VDI-smernicama 2055 su utvrđene sledeće orientacione vrednosti:

$$\text{Srednja vrednost napolju} \Rightarrow \alpha = 25 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

$$\text{Donja vrednost napolju kada ne duva vetar} \Rightarrow \alpha = 15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

$$\text{Srednja vrednost u zatvorenim prostorijama} \Rightarrow \alpha = 8 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

$$\text{Donja vrednost u zatvorenim prostorijama} \Rightarrow \alpha = 25 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

Na osnovu α se određuje **toplotski protok** (Q_R) na površini obložne cevi:

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

$$\pi = 3,1416 \quad (-)$$

$$D_a = \text{spoljni prečnik spirofalc-obložne cevi (m)}$$

Otpor prelaza topline (R_α) površine obložne cevi je recipročna vrednost od: $\Rightarrow \Rightarrow$ (63)

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

Otpor provodljivosti topline cevi ($1/\Lambda_R$) i **toplotski otpor** (R_Λ) se izračunavaju prema već poznatim formulama (49) i (50), strana **P 11.1**. Pri tome treba uzeti u obzir promenjenu dimenziju obložne cevi i sposobnost provodljivosti topline (λ) spirofalca.

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

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

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

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

Jednostavnim sabiranjem se može izračunati **ukupni toplotski otpor** ($R_{\Sigma FR}$).

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

Koeficijent prolaza (k_{FR}), prema ISO 7345 (U), nadzemno položene cevi je u skladu sa (57), strana **P 11.4**, recipročna vrednost od: $\Rightarrow \Rightarrow$ (65)

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

Za izračunavanje **gubitka topline (q)** po **metru cevi (m)** i **gubitka toplotne energije (Q')** važe poznate formule (59) do (62) u skladu sa stranom **P 11.4**.

GUBITAK ENERGIJE

Nadzemni cevovod u skladu sa HeizAnIV i EnEV

U skladu sa propisima o grejnim postrojenjima (HeizAnIV) i uštedi energije (EnEV), potrebne minimalne dimenzije za debljinu izolacije (s_d) se odnose na specifičnu provodljivost topote (λ) izolacionog materijala od $\lambda_{DA20} = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Pri tome je zadata temperatura od 20° C.

Minimalne dimenzije prema HeizAnIV i EnEV							
Cev za medijum		Izolacija		Cev za medijum		Izolacija	
Nominalna veličina DN	Spoljni prečnik d_a (mm)	Izolacioni sloj s_d (mm)	Spoljni prečnik D_{ax} (mm)	R4.1.1 isoplus dimenzije strana	Nominalna veličina DN	Spoljni prečnik d_a (mm)	Izolacioni sloj s_d (mm)
20	26,9	20	67		125	139,7	100
25	33,7	30	94		150	168,3	100
32	42,4	30	103		200	219,1	100
40	48,3	40	129		250	273,0	100
50	60,3	50	161		300	323,9	100
65	76,1	65	207		350	355,6	100
80	88,9	80	249		400	406,4	100
100	114,3	100	315		450	457,2	100

PUR-pena koju koristi **isoplus** na zadatoj temperaturi od 50° C ima sposobnost provodljivosti topote od $\lambda_{PUR} = 0,0275 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Na 50° C uporediva vrednost koeficijenta prolaza izolacionog materijala prema HeizAnIV i EnEV iznosi:

$$\Rightarrow \lambda_{DA50} = 0,037 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Zato je neophodno izračunati ekvivalentne prečnike obložnih cevi (D_a) **isoplus**-cevi pomoću Ojlerove vrednosti (e):

$$D_a = d_a \cdot e^x \text{ (mm)} \quad (67) \text{ primer } D_a: 168,3 \cdot e^{0,5835} = 301,64 \text{ mm}$$

e = Ojlerova konstanta (-)

d_a = spoljni prečnik obložne cevi (mm)

Prečnik sledeće veće isporučive dimenzije obložne cevi iznosi 315 mm. Zato se kao **isoplus**-cev u ovom primeru uzima nominalna veličina DN 150/315.

Za x važi formula (67):

$$x = \frac{\lambda_{PUR}}{\lambda_{DA50}} \cdot \ln \frac{D_{ax}}{d_a} \text{ [-]} \quad (68)$$

$$x = \frac{0,0275}{0,0370} \cdot \ln \frac{369,0}{168,3} \text{ [-]} \quad (\text{prm. 68})$$

$$\text{rezultat: } x = 0,5835 \quad (\text{prm. 68})$$

In = prirodni logaritam (-)

D_{ax} = spoljni prečnik obložne cevi prema HeizAnIV i EnEV (mm)

λ_{PUR} = koeficijent provodljivosti PUR-**isoplus**-izolacije [W/(m·K)]

λ_{DA50} = topotni koeficijent prema HeizAnIV i EnEV [W/(m·K)]

PROJEKTOVANJE

Ekonomičnost debljine izolacije

Da li će biti primjenjene fabrički predizolovane **isoplus**-cevi sa standardnom, 1 x pojačanom ili 2 x pojačanom debljinom izolacije, u velikoj meri zavisi od odluke o ekonomičnosti. Da bi se donela ta odluka, odgovarajuća osnova za vršenje proračuna je metod kapitalne vrednosti. Pri tome se uzimaju u obzir investicioni troškovi (Σ_k) i gotovinska vrednost gubitka energije (Q_{Bw}), kao i vremenski period tokom kog je moguće otpisivanje, tj. vreme korišćenja (n) pomoću faktora anuiteta (A_F), strana **P 12.1**, u odnosu na trenutak nastajanja.

To znači da sa proračunatom kamatom (i_z) od 0,10 i periodom tokom koga je moguće otpisivanje (n) od 5 godina, gotovinska vrednost tekućih gubitaka energije (Q_{Bw}) za sledećih 5 godina sa npr. 1000 €/a ne iznosi 5.000 €, već na osnovu faktora anuiteta (A_F) iznosi na današnji dan samo 3.791 €.

U investicione troškove cevovoda za materijal, niskogradnju ili nadzemno postavljanje, kao i izradu cevovoda treba uračunati i izdatke za gubitak energije. Proračun **gubitka energije** (q) po metru cevi se vrši u skladu sa primerima (49) do (66), strana **P 11.1** do **P 11.5**.

Zatim treba uporediti tri moguće varijante debljine izolacije. Za ovo upoređivajne važe za podzemno postavljeni nominalnu veličinu DN 150 prečnici za PEHD-obložne cevi od 150, 280 i 315 mm, kao i prema primeru (59), strana **P 11.4**, delotvorna srednja temperatura (T_m) od 100 K. Kao rezultat gubitaka energije se dobija:

$$\begin{aligned}\Rightarrow \text{DN } 150/250: & \quad q = 37,6676 \text{ W/m} \\ \Rightarrow \text{DN } 150/280: & \quad q = 30,2678 \text{ W/m} \\ \Rightarrow \text{DN } 150/315: & \quad q = 25,2039 \text{ W/m}\end{aligned}$$

Parametri cevododnog kanala su u skladu sa stranom **P 11.0**.

Za izračunavanje ekonomičnosti upoređuje se kapitalna vrednost varijanti izvođenja. Prvo se mora izračunati **kalkulaciona kamata** (i_z).

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

Z_k = kreditna kamata (%/a)

R_i = inflaciona rata (%/a)

P_e = porast cene zbog energije (%/a)

Nakon utvrđivanja vremenskog perioda u kome je moguće otpisivanje, odnosno vremena korišćenja (n) i kalkulacione kamate (i_z), određuje se **faktor anuiteta** (A_F) pomoću sledeće formule ili se određuje na osnovu tabele na strani **P 12.1**.

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

n = period u kome je moguće otpisivanje (a), prema EN 253 barem 30 godina vreme korišćenja

Faktor anuiteta A_F

iz u % 100	Period u kome je moguće otpisivanje / vreme korišćenja (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

iz u % 100	Period u kome je moguće otpisivanje / vreme korišćenja (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	7,822	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

Preko izračunatog faktora anuiteta (A_F) i gubitka energije (q) se izračunava **gotovinska vrednost gubitka energije (Q_{Bw})** tako da se može izvršiti poređenje.

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

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

Razlika između gotovinske vrednosti gubitka energije (Q_{Bw}) i DN 150/280 = 23.844,21 € ili 19,64%

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

Razlika između gotovinske vrednosti gubitka energije (Q_{Bw}) i DN 150/280 = 16.317,30 € ili 16,73%

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

Q_{Pk} = proizvodni troškovi (€/kW·h); npr.cena izrade toplovoda ≈ 0,04 €/kW·h
 t = vremenski faktor (h/a) = 8760 h L = dužina cevi (m); npr 500 m

Drugačije izraženo, u datom primeru na vreme korišćenja od 30 godina, sa dužinom cevi od 500 m, primenom 1 x pojačane deblijine izolacije nasuprot standardnoj debljini izolacije, gotovinska vrednost uštede na gubitku energije iznosi **19,64 %**.

Kapitalna vrednost (K) se dobija jednostavnom računicom:

$$K = Q_{Bw} + \Sigma_{Ik} \quad (\text{€}) \quad (72)$$

Σ_{Ik} = zbir investicionih troškova (€/m) ⇒ troškovi izrade cevovoda; prema zadatim podacima + materijalni troškovi za cevi; prema zadatim podacima + troškovi za niskogradnju ili nadzemno postavljanje; prema zadatim podacima

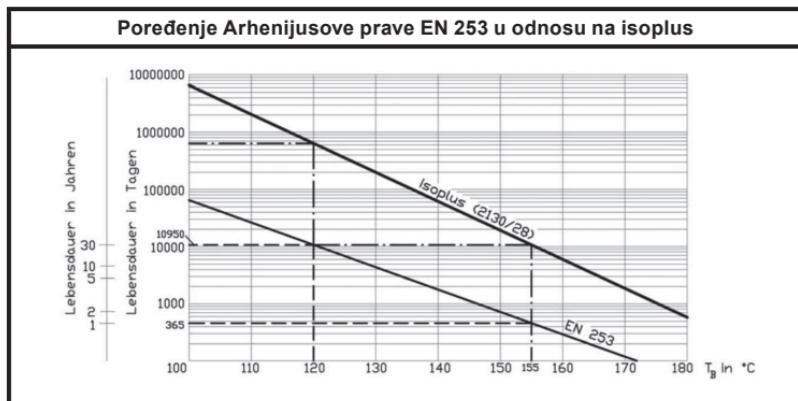
PROJEKTOVANJE

Vek trajanja

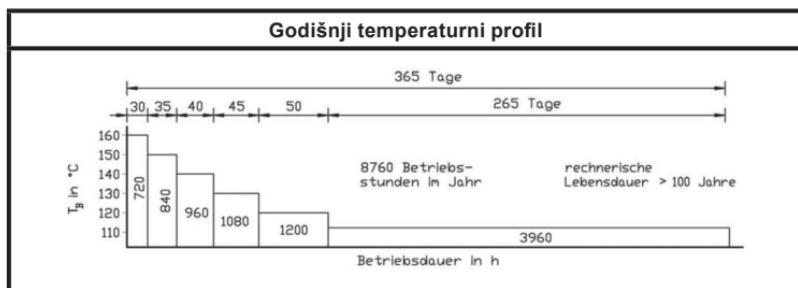
Procena očekivanog trajanja KMR-sistema pri celogodišnjem radu s različitim temperaturama uglavnom zavisi od otpornosti PUR-pene na trajnu temperaturu. Pri termičkom preopterećenju zakazaće povezanost obložne cevi i cevi s medijem. Stoga je prema EN 253 potrebno ispitati stabilnos starenja korišćene PUR-pene.

Rezultat ispitivanja se prema Arhenijusovoj jednačini prikazuje u logaritamskom dijagramu preko recipročne vrednosti delotvorne temperature, pri čemu svaki tip pene ima sopstvenu specifičnu trajnost i energiju aktiviranja [kJ/(mol•K)]. Iz dijagrama se za svaku temperaturu (T_B) može očitati odgovarajući vek trajanja.

Vek trajanja celokupnog sistema ne sme biti manji od 30 godina. To se postiže ograničavanjem trajne radne temperature na max. 155°C. Kratka i mala prekorakačenja su moguća. Prevelika temperaturna preopterećenja vode ka natproporcionalnom opadanju termičkog veka trajanja.



Da bi se precizno odredio vek trajanja, **isoplusu** se mora staviti na raspolaganje godišnji temperaturni profil.



Naponska stanja u pravoj cevi

Zbog sile istezanja i unutrašnjeg pritiska u pravoj cevi nastaju sledeća naponska stanja:

1. Aksijalni napon ($\sigma_{F_{Tx}}$)

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

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

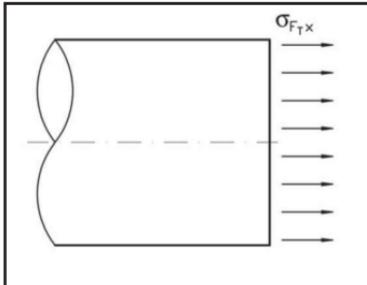
$$\text{rezultat: } \sigma_{F_{Tx}} = 101,562 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{prm. 73})$$

$$F_T = \text{sila istezanja (N)} \quad \Rightarrow \quad (5)$$

$$A = \text{poprečni presek cevi za medijum (mm}^2\text{)} \Rightarrow \quad (6)$$

$$\sigma_a = \text{aksijalni napon (N/mm}^2\text{)} \Rightarrow \quad (8)$$

(5) (6) (8), strana P 2.2



2. Tangencijalni napon (σ_{py})

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

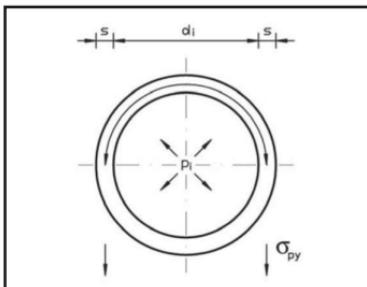
$$\sigma_{py} = \frac{1,631 \cdot 160,3}{2 \cdot 4,0} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (\text{prm. 74})$$

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

$$s = \text{debljina zida cevi za medijum (mm)}$$

$$d_i = \text{unutrašnji prečnik cevi za medijum (mm)}$$

$$p_i = \text{unutrašnji pritisak (N/mm}^2\text{), npr. 16 bara}$$



DOKAZ NAPONA

PUR-tvrda-pena i PEHD-obložna cev

1. Aksijalni napon

Kako se u praksi pokazalo, promene dužine tri komponente KMR-sistema – cevi za medijum, PUR-pene i obložne cevi – su, kada je reč o termičkom opterećenju, praktično jednake. Povećavanjem temperature u KMR-sistemu zbog trenja nastaje aksijalni napon.

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

α = koeficijent istezanja čelika (1/K)

ΔT = temperaturna razlika (K)

Veličine napona (σ) proizlaze iz E-modula (E) dotične komponente KMR-sistema. Naponi i E-moduli elastičnosti međusobno su proporcionalni.

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

Ukoliko je dopušten napon za čelik ograničen na (σ_{Stahl}) = 190 N/mm² i ako se koriste sledeći moduli elastičnosti,

$$\begin{aligned} E_{\text{Stahl}} &= 204.000 \text{ N/mm}^2 \text{ pri } T_b = 130^\circ \text{ C} \\ E_{\text{PUR}} &= 15 \text{ N/mm}^2 \\ E_{\text{PEHD}} &= 940 \text{ N/mm}^2 \text{ prema isoplusu} \\ &\quad 800 \text{ N/mm}^2 \text{ prema AGFW FW 401} \end{aligned}$$

onda naponi po dužini koji se javljaju iznose:

$$\sigma_{\text{PUR}} = 190 \cdot \frac{15}{204.600} \approx 0,014 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{PEHD}} = 190 \cdot \frac{940}{204.600} \approx 0,873 \text{ N/mm}^2 \text{ prema isoplusu}$$

$$\sigma_{\text{PEHD}} = 190 \cdot \frac{800}{204.600} \approx 0,743 \text{ N/mm}^2 \text{ prema AGFW}$$

Ako se sa tim uporede dozvoljeni naponi u skladu sa stranom P 14.3, onda iz toga proizilaze sledeće vrednosti stepena sigurnosti (S_d):

Kratkotočno		
σ_{PUR}	=	$\frac{0,30}{0,014} \approx 21,4$
σ_{PEHD}	=	$\frac{12,0}{0,873} \approx 13,7$
σ_{PEHD}	=	$\frac{12,0}{0,743} \approx 16,1$

⇐ prema isoplusu ⇒

⇐ prema AGFW ⇒

Dugoročno		
σ_{PUR}	=	$\frac{0,15}{0,014} \approx 10,7$
σ_{PEHD}	=	$\frac{5,0}{0,873} \approx 5,7$
σ_{PEHD}	=	$\frac{5,0}{0,743} \approx 6,7$

Priznato pravilo i nivo tehnike zahtevaju da se traži vrednost stepena sigurnosti (S_d) do ≤ 4!

2. Tangencijalni napon (napon smicanja)

Postojeći tangencijalni naponi (τ) proizlaze iz sile trenja (F'_R) pri promeni dužine cevovoda. Za smicajnu čvrstoću postoje dve granične oblasti, pri čemu zbog manjeg obima cevi za medijum nastaju veći naponi smicanja. Maksimalno dozvoljeni napon $\tau = \leq 0,04$ N/mm².

Obložna cev i PUR-pena

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

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

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

Cev za medijum i PUR-pena

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

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

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

$$\pi = 3,1416 \quad (-)$$

$$s_2 = \text{debljina zida obložne cevi (mm)}$$

$$D_a = \text{spoljni prečnik obložne cevi (mm)}$$

$$d_a = \text{spoljni prečnik cevi za medijum (mm)}$$

$$D_i = \text{unutrašnji prečnik obložne cevi (mm)} = D_a - 2 \cdot s_2$$

$$F'_R = (14), \text{ strana P 3.0} = 4,193,82 \text{ N/m} = 4,1938 \text{ N/mm}$$

Parametri materijala

PUR-pena, PEHD-predizolovana cev, KMR prema
AGFW FW 401 – 10. deo i evropskoj normi EN 253

Karakteristika	Oznaka	Jedinica	PUR	PEHD
Dozvoljeni aksijalni (uzdužni) napon dugoročno	σ_{zul}	N/mm ²	0,15	5
Dozvoljeni aksijalni (uzdužni) napon kratkoročno	σ_{zul}	N/mm ²	0,30	12
Koefficijent istezanja	α	1/K	$= 5 \cdot 8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Modul elastičnosti dugoročno	E	N/mm ²	15	150
Modul elastičnosti kratkoročno	E	N/mm ²	15	800
Minimalna gustina cevi	ρ	kg/m ³	60	935
Granica istezanja na 10% smicanja	R_s	N/mm ²	---	30
Napon smicanja u pravom KMR-u	τ	N/mm ²	$\leq 0,04$	
Aksijalna čvrstoća smicanja KMR-a na 23° C	τ_{ax}	N/mm ²	$\geq 0,12$	
Aksijalna čvrstoća smicanja KMR-a na 140° C	τ_{ax}	N/mm ²	$\geq 0,08$	
Tangencijalna čvrstoća smicanja na 23° C	τ_{tan}	N/mm ²	$\geq 0,20$	
Tangencijalna čvrstoća smicanja na 140° C	τ_{tan}	N/mm ²	$\leq 0,13$	

DOKAZ NAPONA

Lom usled zamora

Ova vrsta dokaza garantuje tokom celog trajanja primene KMR-toplovodnog cevovoda da štete koje nastaju usled zamora radnog materijala zbog cikličnog opterećenja mogu biti isključene. Kroz dimenzije kompenzacionih krakova i oslonaca koji su otporni na zamor, oscilacije napona se mogu toliko redukovati da otpor ležišta zemlje ne dovodi do zamora radnih materijala na mestu pritezanja.

Cevovodi za vreme funkcionisanja podležu promjenjivim opterećenjima. Pritom se pojavljaju primarni i sekundarni naponi.

Primarni naponi

- ⇒ unutrašnjeg pritiska; ne postoji opasnost od zamora
 - ⇒ težina cevovoda
 - ⇒ težina medijuma
 - ⇒ spoljni pritisak zemlje, odnosno opterećenje od saobraćaja
- i uspostavljaju ravnotežu sa spoljnim silama, na primer unutrašnji pritisak ⇔ pritisak nasute zemlje. Mogu se razlikovati kao membranski napon i napon savijanja.

Sekundarni naponi

- ⇒ promene temperature
- ⇒ termičkog prednaprezzanja

i nastaju od različitih modula elastičnosti radnih materijala. Oni su linearno raspodeljeni po poprečnom preseku i u slučaju prekoračenja granice tečenja dolazi do plastičnog deformisanja.

Brojevi promena opterećenja N prema AGFW FW 401 – 10. deo			
Vrsta voda	N	γ_{fat}	N_{S_D}
Glavni transport	100	10	1000
Raspodela	250	6,67	≈ 1670
Kučni priključak	1000	5	5000

γ_{fat} = vremenska sigurnost od zamora

N_{S_D} = broj promene opterećenja uključujući vrednost stepena sigurnosti (S_D)

Pikovi napona

Oni premašuju zbir odgovarajućih primarnih i sekundarnih napona i zato su značajni kada je reč o zamoru. Doduše, primetne, tj. nedozvoljene deformacije nikada ne nastaju kao posledica pikova napona.

Zamor čelične cevi, PEHD-omotača i PUR-pene

Prema TÜV-uputstvu AD S2 'Proračun od naizmeničnog promenljivog naprezanja', LCF-područje (low-load alterations-fatigue) se uzima u obzir sa 10^4 promena. Zato za krive zamora važi AGFW FW 401 – 10. deo, tačka 3.2.3.

PARAMETAR PROJEKTA

Da bi toplovodne mreže mogle detaljno da se planiraju sa **isoplus**-cevnim sistemima ⇒ plastičnom obložnom cevi – fleksibilnom cevi – duplom cevi ← neophodno je pre početka planiranja navesti sve neophodne parametre. Sledеći formular može da posluži kao pomoć. U slučaju potrebe on se može kopirati i faksom poslati **isoplusu**.

Projekat:			Datum:		
Ulica:			Zemlja:		
Pšt. Broj:			Republika:		
Firma:					
Ulica:			Pšt. Broj:		
Referent:			Telefon:		
e-mail:					
Tip cevi:	pojedinačna cev <input type="checkbox"/>	dupla cev <input type="checkbox"/>	pojed. fleksibilna cev <input type="checkbox"/>	dupla fleksibilna cev <input type="checkbox"/>	
Cev za medijum:	čelik, crni <input type="checkbox"/>	pocinkovani čelik <input type="checkbox"/>	bakar <input type="checkbox"/>	Pex-a <input type="checkbox"/>	
Obložna cev:	Polyethylen <input type="checkbox"/>	Spirofalc <input type="checkbox"/>	Alufalc <input type="checkbox"/>	podzemno položena <input type="checkbox"/>	
Debljina izolacije:	Standardna <input type="checkbox"/>	1 x pojaćana <input type="checkbox"/>	2 x pojaćana <input type="checkbox"/>	nadzemno položena <input type="checkbox"/>	
Dužina cevne šipke:	5 m / 6 m <input type="checkbox"/>	12 m od DN 32 <input type="checkbox"/>	16 m od DN 200 <input type="checkbox"/>	postavljanje u objektu <input type="checkbox"/>	
Kontrola mreže:	bez <input type="checkbox"/>	IPS-Cu® <input type="checkbox"/>	IPS-NiCr® <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Uređaj:	mobilni <input type="checkbox"/>	stacionarni <input type="checkbox"/>	analogni <input type="checkbox"/>	IPS-Digital® <input type="checkbox"/>	
Dilatacioni oslonci:	Standardni <input type="checkbox"/>	delimično oblažuci <input type="checkbox"/>	potpuno oblažuci <input type="checkbox"/>		
Zaptivni prsten:	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>	bez vode pod pritiskom <input type="checkbox"/>	voda pod pritiskom <input type="checkbox"/>		
Endkappe:	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>	PU-reza <input type="checkbox"/>	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>	traka opomenica: da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>	
Armaturen:	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>	odmuli: <input type="checkbox"/>	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>	odzrak: <input type="checkbox"/>	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>
Spojnice:	<input type="checkbox"/> neumrežena termoskupljuća spajnica <input type="checkbox"/> isojoint II® <input type="checkbox"/> elektro-postupkom zavarena spajnica <input type="checkbox"/> isocompact – spajnica <input type="checkbox"/> PE-spojnica sa cevnom čaurom <input type="checkbox"/> Alu. tj. spirofalc-spojnica				
Temperatura prilikom polaganja:	_____	B Temp. potisni vod:	_____	B Temp. Povratni vod:	_____
Debljina nasutog sloja:	_____	radni pritisak:	_____	stopen nominalnog pritiska:	_____
Da li postoji podrum ispod objekta	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>	da li je moguće prihvatanje istezanja	da <input type="checkbox"/> ne <input type="checkbox"/>		
Tehnologija polaganja:	konvencionalna <input type="checkbox"/>	EKO-Sistem <input type="checkbox"/>	termičko prednaprezanje <input type="checkbox"/>		
Postavljeni zadaci:	<input type="checkbox"/> statička provera trase		<input type="checkbox"/> izračunavanje mase		
	<input type="checkbox"/> ponuda	rok predaje / submisija:			
	<input type="checkbox"/> nalog	željeni rok isporuke:			
Napomene:	_____				

