

Typiske effekter - stålrør - enkelt

4.1

Typiske effekter - stålrør - enkelt						
Medierør		v/100 Pa/m (10 mm VS/m) og medie temp. på 80°C				
		Hastighed	Masseflow	Effekt v/ $\Delta t=30^{\circ}\text{C}$	Effekt v/ $\Delta t=40^{\circ}\text{C}$	Effekt v/ $\Delta t=50^{\circ}\text{C}$
DN	d udv. mm	(m/s)	(m ³ /h)	(kW)	(kW)	(kW)
20	26,3	0,35	0,47	15,8	21,1	26,4
25	33,7	0,41	0,86	29,3	39,1	48,8
32	42,4	0,50	1,97	67,0	89,3	112,0
40	48,3	0,56	2,92	99,2	132,0	165,0
50	60,3	0,65	5,45	185,0	247,0	309,0
65	76,1	0,77	10,70	364,0	485,0	606,0
80	88,9	0,85	16,34	555,0	740,0	925,0
100	114,3	0,97	27,73	1106,0	1475,0	1843,0
125	139,7	1,15	57,00	1937,0	2583,0	3229,0
150	168,3	1,29	94,07	3197,0	4263,0	5329,0

Der henvises til afsnit 1 om dimensionering.

Forudsætninger - varmetab

Ved sammenligning af varmetab er det vigtigt at kende forudsætningerne, som varmetabet er beregnet ud fra.

Der er en række faktorer, som ikke har med det præisolerede rørs egenskaber at gøre, men som har stor betydning for varmetabet.

Følgende forudsætninger skal være ens, før man reelt kan sammenligne varmetabet:

- Dimensioner medie- og kapperør
- Medierørs temperaturer
- Jordens lambdaværdi
- Jordens temperatur
- Overfladeresistans
- Lægningsdybde
- Afstand mellem rør

Da det reelt er isoleringens lambdaværdi, man sammenligner, er det naturligvis også vigtigt, at man her anvender den korrekte lambdaværdi.

På de følgende sider er der angivet tabeller med de præisolerede rørs varmetab. Beregningerne af varmetabet er baseret på følgende forudsætninger.

Lambda _{jord}	1,2000	W/m°C
Lambda kontinuerlig produktion	0,024	W/m°C
Lambda diskontinuerlig produktion	0,027	W/m°C
R ₀	0,0685	m ² °C/W
Lægningsdybde H	800	mm
t _{frem}	80,0	°C
t _{retur}	40,0	°C
t _{jord}	8,0	°C
Afstand mellem rør C	150	mm

Varmeledningsevne - jord / sand

For fugtig jord kan anvendes værdier fra 1,5-2,0 W/m°C
For tørt sand ca. 1,0 W/m°C.

Overflade resistans

I henhold til EUHP's District Heating Handbook, kan denne sædvanligvis sættes til 0,0685 m² °C/W.

Lægningsdybde

Angives i mm fra overkant kapperør til jordoverfladen ved ubefæstet eller underside belægning ved befæstede områder.

Varmetab - stålrør - enkelt

4.2.1

Varmetab - stålrør - enkelt - serie 1						
Stålrør			Kapperør		Varmetab	U-værdi
DN	d udv. mm	Godst. mm	D udv. mm	Godst. mm	W/m Φ_{total}	Φ_{total}
20	26,9	2,6	90	3,0	13,7	0,132
25	33,7	2,6	90	3,0	16,6	0,160
32	42,4	2,6	110	3,0	17,1	0,165
40	48,3	2,6	110	3,0	19,6	0,188
50	60,3	2,9	125	3,0	21,8	0,210
65	76,1	2,9	140	3,0	25,9	0,249
80	88,9	3,2	160	3,0	26,6	0,256
100	114,3	3,6	200	3,2	27,9	0,268
125	139,7	3,6	225	3,5	32,2	0,310
150	168,3	4,0	250	3,9	38,1	0,366
200	219,1	4,5	315	4,9	41,7	0,401
250	273,0	5,0	400	6,3	40,6	0,390
300	323,9	5,6	450	7,0	46,6	0,448
350	355,6	5,6	500	7,8	45,5	0,438
400	406,4	6,3	560	8,8	48,5	0,466
450	457,2	6,3	630	9,8	48,8	0,470
500	508,0	6,3	670	10,5	56,0	0,538
550	558,8	6,3	710	11,1	63,8	0,614
600	610,0	7,1	800	12,5	57,9	0,556

Varmetab er beregnet pr. kanalmeter.
U-værdi er angivet pr. rørmeter.

Varmetab - stålrør - enkelt - serie 2

Stålrør		Kapperør		Varmetab	U-værdi	
DN	d udv. mm	Godst. mm	D udv. mm	Godst. mm	W/m Φ_{total}	Φ_{total}
20	26,9	2,6	110	3,0	11,9	0,114
25	33,7	2,6	110	3,0	14,0	0,135
32	42,4	2,6	125	3,0	15,2	0,146
40	48,3	2,6	125	3,0	17,1	0,165
50	60,3	2,9	140	3,0	19,3	0,185
65	76,1	2,9	160	3,0	21,6	0,208
80	88,9	3,2	180	3,0	22,6	0,217
100	114,3	3,6	225	3,2	23,5	0,226
125	139,7	3,6	250	3,9	27,2	0,261
150	168,3	4,0	280	4,4	30,8	0,296
200	219,1	4,5	355	5,6	32,7	0,315
250	273,0	5,0	450	7,0	32,1	0,309
300	323,9	5,6	500	7,8	36,7	0,353
350	355,6	5,6	560	8,8	35,5	0,341
400	406,4	6,3	630	9,8	36,9	0,354
450	457,2	6,3	670	10,5	41,9	0,403
500	508,0	6,3	710	11,1	47,5	0,457
550	558,8	6,3	800	12,5	44,9	0,432
600	610,0	7,1	900	12,9	41,8	0,402

Varmetab er beregnet pr. kanalmeter.
U-værdi er angivet pr. rørmeter.

Varmetab - stålrør - enkelt

4.2.3

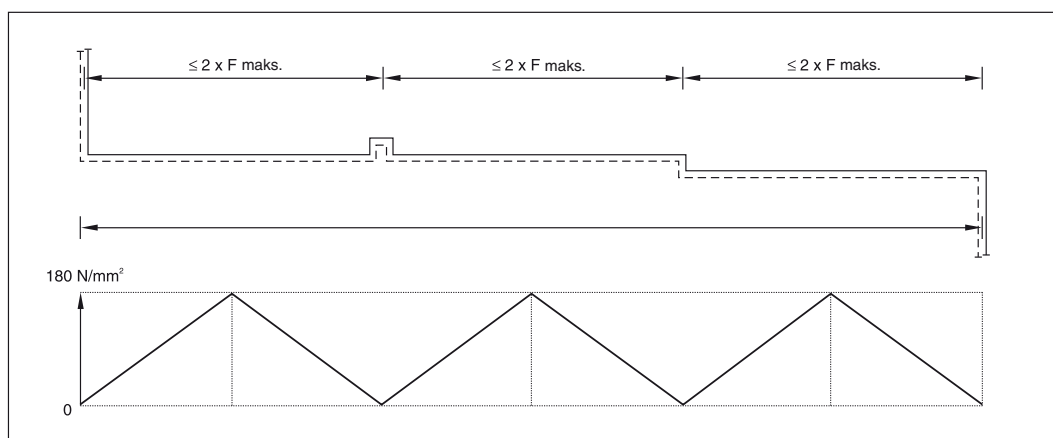
Varmetab - stålrør - enkelt - serie 3						
Stålrør			Kapperør		Varmetab	U-værdi
DN	d udv. mm	Godst. mm	D udv. mm	Godst. mm	W/m Φ_{total}	Φ_{total}
20	26,9	2,6	125	3,0	10,9	0,105
25	33,7	2,6	125	3,0	12,7	0,122
32	42,4	2,6	140	3,0	13,9	0,134
40	48,3	2,6	140	3,0	15,5	0,149
50	60,3	2,9	160	3,0	16,8	0,162
65	76,1	2,9	180	3,0	18,8	0,181
80	88,9	3,2	200	3,2	20,0	0,192
100	114,3	3,6	250	3,9	20,8	0,200
125	139,7	3,6	280	4,4	23,2	0,224
150	168,3	4,0	315	4,9	25,7	0,247
200	219,1	4,5	400	6,3	26,9	0,259
250	273,0	5,0	500	7,8	27,1	0,260
300	323,9	5,6	560	8,8	29,9	0,287
350	355,6	5,6	630	9,8	28,8	0,277
400	406,4	6,3	670	10,5	32,8	0,315
450	457,2	6,3	710	11,1	37,0	0,355
500	508,0	6,3	800	12,5	36,2	0,348
550	558,8	6,3	900	12,9	34,6	0,333
600	610,0	7,1	1000	13,3	33,5	0,322

Varmetab er beregnet pr. kanalmeter.
U-værdi er angivet pr. rørmeter.

Udnyttelsen af "naturlige" ekspansionsmuligheder i forbindelse med rørføringen er en enkel og relativ ukompliceret metode til begrænsning af de aksiale spændinger.

Grundlæggende fordrer denne nedlægningsmetode, at afstanden mellem to ekspansionsmuligheder - f.eks. en L-, Z- eller U-bøjning - aldrig overstiger F_{maks} for en aktuell rørtype og dimension (for F_{maks} se tabel side 4.5).

Dette forhold kan illustreres som følger:



Hvis en given rørstrækning under udnyttelse af de naturlige retningsændringer overstiger F_{maks} , vil det være nødvendigt at tilføje en yderligere ekspansionszone og/eller tilføje en engangskompensator på strækningen.

Lægningsmetode 2 - varmforspænding

4.3.1

Varmeforspænding kan anvendes i de tilfælde, hvor det enten ikke er muligt at udnytte naturlige ekspansionsmuligheder og/eller i tilfælde hvor de højere spændinger og de dermed forbundne begrænsninger i et koldforlagt system, hvor F_{maks} (se side 4.5) overskrides, ikke kan accepteres.

Ved varmforspænding nedlægges og forvarmes rørene **inden** de tildækkes og ligger derefter i praksis uden spændinger ved "forvarmningstemperaturen".

Nedlægningen kan foretages stort set uden indskrænkninger og anvendelse af traditionel ekspansionskompensation via f.eks. bøjninger, kompensatorer el.lign.

Ved begyndelsen og enden af en sektion skal der som hovedregel være en ekspansionszone (L-, Z eller U-bøjning) eller i den ene ende en fastspænding.

Kanalen kan inden forspændingen fyldes/komprimeres med sand til et niveau op til højst midten af kapperøret.

Ved forvarmningen tillades rørene at udvide sig frit (på nær friktionen som resulterer fra rørenes egenvægt) og ligger efter tildækning/komprimering spændingsfrit på den friktionsfikserede strækning. Dette forhold gør, at man ved efterfølgende behov for at foretage parallelle opgravninger, kan gøre dette uden at tage specielle forholdsregler, når driftstemperaturen sænkes til et niveau svarende til forvarmningstemperaturen.

Forvarmningstemperaturen vælges typisk til at ligge mellem nedlægningstemperaturen og den maksimale driftstemperatur, således at de aksiale spændinger i såvel frem- som returløb reduceres mest muligt.

Mulige metoder til varmforspænding

Fjernvarmevand

Denne metode kan umiddelbart anvendes, når ledningsafsnittet, som skal forvarmes, ligger i tilknytning til et eksisterende net i drift, og hvor der ikke inden idrifttagning er behov for at tømme systemet.

Damp

Da varmforspænding typisk udføres ved temperaturer mellem 60°C og 75°C, er man ved anvendelse af damp til forvarmning nødt til at sænke trykket i rørsystemet fra det atmosfæriske tryk på ca. 1 bar til et undertryk på ca. 0,4 bar, hvor vand bliver til damp ved en temperatur på 75°C.

Damp ved denne temperatur transporterer en varmeeffekt på 756 W/kg og dermed betydelig mere end vand (ca. 15 gange).

Fordelen ved anvendelse af damp er således i særdeleshed det relativt lavere behov for vand i forbindelse med forvarmningen.

Elektricitet

Specielt ved forvarmning af længere rørstrækninger, hvor man ikke har mulighed for at få fjernvarmevand fra en eksisterende varmforsyning, har el-forvarmning sine fordele.

El-forvarmning kræver, at der er tale om identiske dimensioner og karakteristika på de anvendte stålrør over hele den strækning, som forvarmes.

Kombinationen af flere dimensioner, f.eks. en strækning med en eller flere reduktioner, kan ikke el-forvarmes, da de mindre dimensioner ville blive overophedet. I disse tilfælde kræves at man opdeler strækningen i separate sektioner med samme dimension og senere forbinder disse via en engangskompensator og en nødvendige reduktion.

El-forvarmningen kræver adgang til en el-tilslutning med 380V og/eller en generator, som er i stand til at levere den forvarmningen nødvendige effekt.

Lægningsmetode 3 - forspændingselement

4.3.3

Forspændingselementerne kan anvendes i de tilfælde, hvor det enten ikke er muligt at udnytte naturlige ekspansionsmuligheder og/eller i tilfælde, hvor de højere spændinger og dermed forbundne begrænsninger i et koldforlagt system ikke kan accepteres.

Til forskel for varmforspænding i åben grav kan rørene ved anvendelse af forspændingselementer nedlægges, og på nær montagehullerne tildækkes, og overfladen reetableres inden systemet forspændes.

Selve forspændingen sker typisk ved anvendelse af fjernvarmevand fra det eksisterende net eller ved hjælp af et mobilt kedelanlæg.

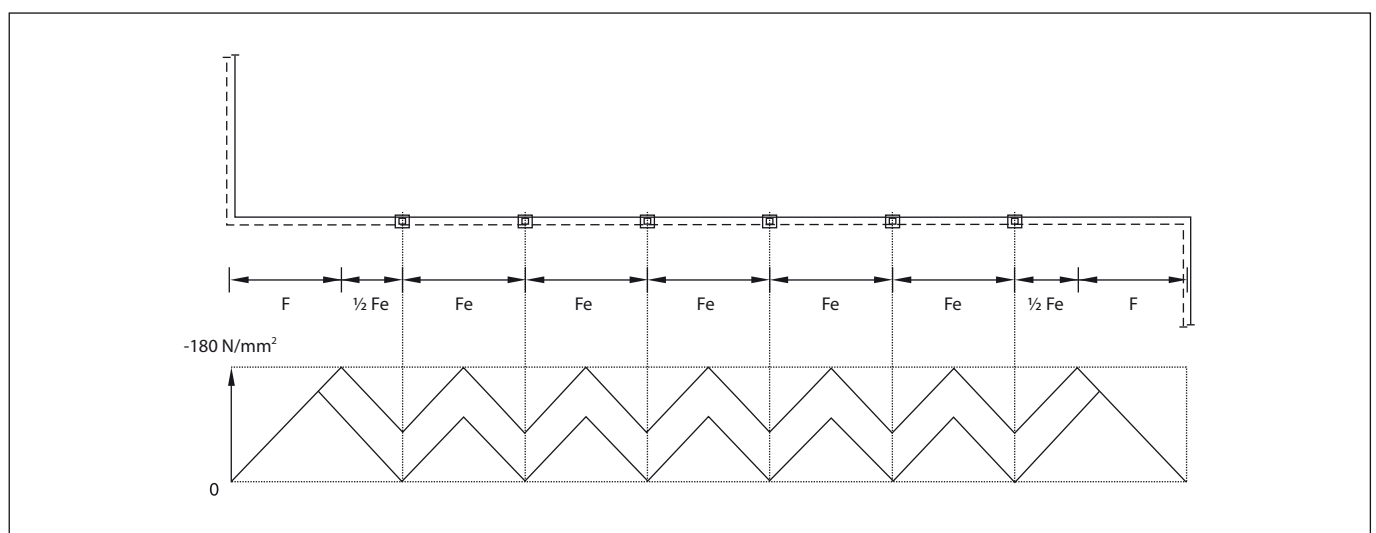
Et forspændingselement er en komponent, som svejses ind i rørsystemet og her fungerer som en "ekspansionsmulighed" i forbindelse med forspændingen.

Forspændingselementet er konstrueret således, at den tillader en styret ekspansion mellem to frie rørender. Når den ønskede ekspansion er opnået, støder de frie rørender i forspændingselementet sammen, hvorefter man "låser" den i denne position med en svejsning.

På denne måde ligger systemet som det varmforspændte system, spændingsfrit ved forspændingstemperaturen og fremtidige temperatursvingninger vil blive optaget som hhv. tryk- og trækspændinger på de friktionsfikserede strækninger.

Ved begyndelsen og enden af den forspændte rørsektion skal der, som ved de andre systemer, som hovedregel være en ekspansionszone (L-, Z eller U-bøjning).

Anvendelsen af forspændingselementerne tillader relativt høje nedlægningshastigheder, da kanalen kan tildækkes løbende. Parallelle opgravninger kan foretages uden specielle forholdsregler på samme måde som et varmforspændt system.



Projekteringsdata

- Maksimalt tilladte driftstemperatur 149°C.
- Forspændingstemperaturen skal være minimum 90% af maks. driftstemperatur.
- Driftstrykket i anlægget må ikke være højere end 16 bar.
I visse tilfælde kan 25 bar også tillades.
- Den maksimalt tilladelige aksialspænding i en friktionsfikseret strækning er 180 N/mm².
- Der skal over hele den forspændte strækning være en ensartet overdækning på rørene.
- Tildækning og komprimering af rørgraven skal være ensartet over hele rørstrækningen.

I tabellen på side 4.5 og 4.5.7 finder man for en lægningsdybde på 0,8 meter og med en maks. tilladt aksialspænding på 180 N/mm² målene for F og Fe.

Lægningsmetode 4 - koldforlægning

4.3.5

Ved koldforlægning kan nedlægning foretages stort set uden indskrænkninger og anvendelse af traditionel ekspansionskompensation via f.eks. bøjninger, kompensatorer eller lign.

Vigtigt:

Manualen begrænser sig til at omfatte koldforlægning af rør i dimensioner op til DN 300 – ved større dimensioner bør du tage kontakt med Isoplus for at få gennemgået og optimeret dit projekt.

Ved koldforlægning tillader man, at de aksiale spændinger overskrider flydespændingen, således at der ved den første opvarmning reelt sker en lille deformation i stålrøret med en efterfølgende spændingsaflastning til følge.

Det lige rør forbliver derefter ved fremtidige lastveksler i det såkaldte elastiske område.

På grund af de højere spændinger og dermed de kræfter som påvirker medierøret, får man ved den første opvarmning en væsentligt større ekspansion af røret ved de frie ender. Dette forhold gør, at man i forbindelse med koldforlægning altid skal benytte enten ekspansionszoner, dvs. bredere og sandfyldte kanaler omkring bøjninger og afgreninger og/eller skumpuder (se side 4.5.17, 4.5.18 og 4.5.20).

Koldforlægning er karakteriseret ved følgende grundlæggende forhold:

- En førstegangs ekspansion der typisk vil være 2 gange større end ved en termisk forspænding.
- Ekspansionszoner/skumpuder skal anvendes ved bøjninger/afgreninger.
- Højere trykspændinger i isoleringsmaterialet ved alle retningsændringer.
- Store aksiale påvirkninger af præisolerede ventiler.
- Afgreninger skal forstærkes p.g.a. de højere påvirkninger.
- Anboringer på et koldforlagt system i drift er ikke ubetinget muligt.
- Opgravninger parallelt med koldforlagte ledninger er som hovedregel ikke muligt, med mindre driftstemperaturen sænkes og/eller røret sikres mod vandret udbøjning via afstivninger el.lign.
- Fastspændinger kan i praksis og på grund af de høje kræfter ikke anvendes.
- Smigskæringer er ikke muligt ved $\Delta T \geq 120$ K.
- Smigskæringer ved $\Delta T \geq 100$ K kun muligt i op til maks. 3° smig.
- Ved reduktioner kan højst tillades et spring.

Der skelnes for en del af disse regler mellem, om placeringen er på friktionsfikserede eller friktionshæmmede strækninger.

Projekteringsgrundlag

Projekterings- og lægningsreglerne beskriver, hvordan de ekspansionsmæssige forhold løses samtidig med, at der sikres en optimal udnyttelse af rørsystemet.

Projekteringshjælp

Isoplus' teknikere står altid til rådighed ved de spørgsmål, der opstår i forbindelse med projektets ekspansions-system, og vi gennemgår således gerne de aktuelle projektegninger.

Systemforudsætninger

Baggrunden for projekterings- og lægningsreglerne er et fastskummet rørsystem, hvor medierør, isolering og kappe virker som en sammenhængende sandwichkonstruktion.

Ved stålrørets bevægelse, som følge af varierende temperaturer, vil hele sandwichkonstruktionen følge stålrørets bevægelse, således at den egentlige bevægelse sker mellem kapperør og det omkringliggende fyldmateriale.

Lægningsmetoder

Under afsnittet findes en beskrivelse af fire forskellige lægningsmetoder:

Metode 1 - Ekspansionsbøjninger

Metode 2 - Varmeforspænding

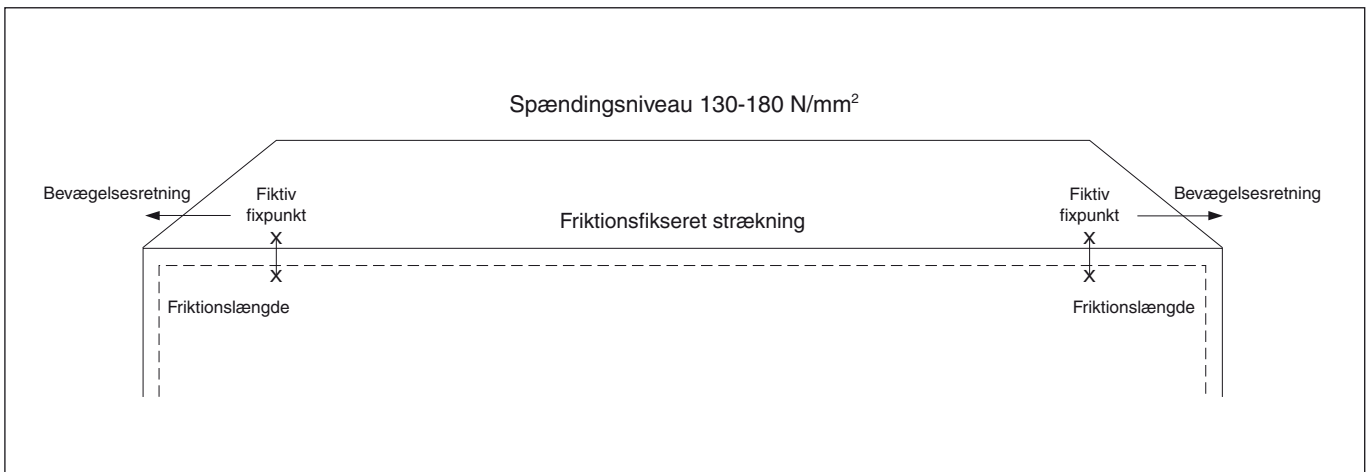
Metode 3 - Forspændingselementer

Metode 4 - Koldforlægning

Ved projektering opereres der med fiktive forankringer, friktionshæmmede og friktionsfikserede strækninger.

Den friktionshæmmede længde, også kaldet friktionslængden, er den længde, der for en given dimension er fra en ekspansion i form af en bøjning til en fiktiv forankring, ved en spænding på 130-180 N/mm².

Ved koldforlægning vil spændingsniveauet teoretisk overstige 300 N/mm².



Beregninger forudsætter, at rørsystemet er etableret i sand i henhold til afsnit 3 med en jorddækning på maks. 0,8 m og med driftsforudsætninger på maks. 16 bar og Δt maks. 120°C.

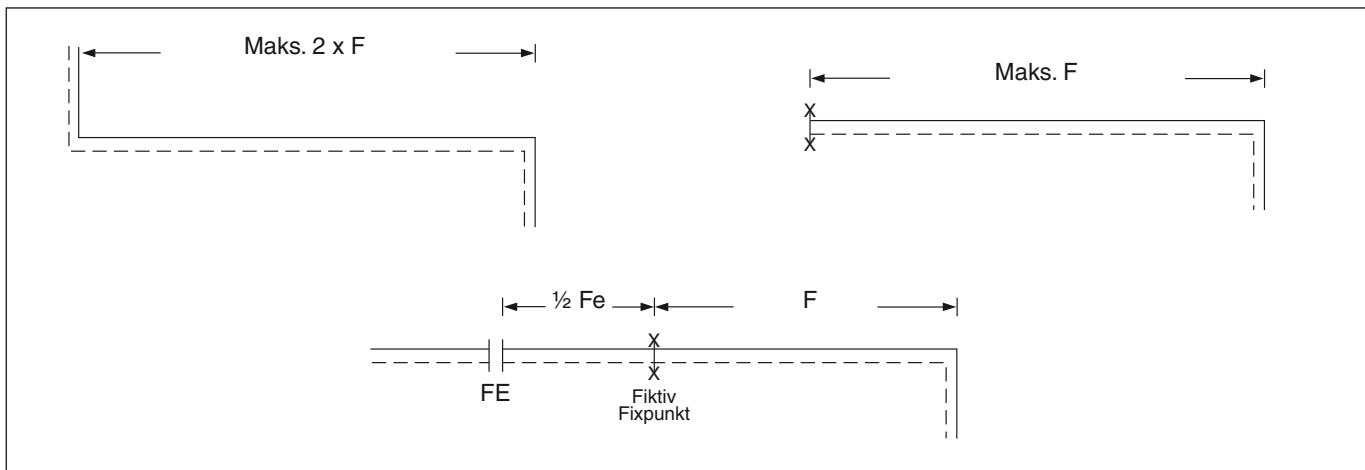
Friktionslængden er afstanden fra en fysisk eller en fiktiv forankring til en ekspansion i form af en bøjning, hvor der kan optages tilstrækkelig bevægelse, uden at det tilladelige spændingsniveau overskrides.

Friktionslængden anvendes dels til beregning af den maksimale afstand mellem to bøjninger, hvor den maksimale afstand uden anvendelse af ekspansionslementer er $2 \times F$, dels til beregning af hvornår der skal indbygges ekspansionslement på en given strækning.

På nedenstående illustrationer er vist eksempler på anvendelsen af friktionslængder (F_{maks}).

De opgivne friktionslængder er gennemsnitsværdier med de forudsætninger, der er nævnt under afsnittet projekteringsgrundlag.

De angivne F_{maks} er forudsat, at vinkler på ekspansionsbøjninger er mellem $80^\circ - 90^\circ$.



Serie 1		Serie 2		Serie 3	
Dim	F (m)	Dim	F (m)	Dim	F (m)
26,9/90	24	26,9/110	19	26,9/125	17
33,7/90	30	33,7/110	25	33,7/125	21
42,4/110	31	42,4/125	27	42,4/140	24
48,3/110	36	48,3/125	31	48,3/140	28
60,3/125	44	60,3/140	39	60,3/160	34
76,1/140	49	76,1/160	43	76,1/180	38
88,9/160	55	88,9/180	48	88,9/200	43
114,3/200	62	114,3/225	55	114,3/250	49
139,7/225	67	139,7/250	60	139,7/280	53
168,3/250	79	168,3/280	70	168,3/315	61
219,1/315	89	219,1/355	78	219,1/400	68
273,0/400	93	273,0/450	81	273,0/500	72
323,9/450	106	323,9/500	94	323,9/560	82
355,6/500	103	355,6/560	90	355,6/630	78
406,4/560	114	406,4/630	99	406,4/670	92
457,2/630	111	457,2/670	102	457,2/710	95
508,0/670	113	508,0/710	105	508,0/800	91

Ekspansionsbøjning

4.5.1

Ved dimensionering af ekspansionsbøjninger skelnes mellem bøjninger på 80° - 90° og bøjninger < 80°.

Den bevægelse en bøjning udsættes for, er dels afhængig af lægningsmetode og dels forskellen mellem anlæggets minimums- og maksimumtemperatur (Δt).

Derfor er der i det følgende angivet den nødvendige benlængde for henholdsvis Δt 80°C og Δt 120° iht. den anvendte lægningsmetode.

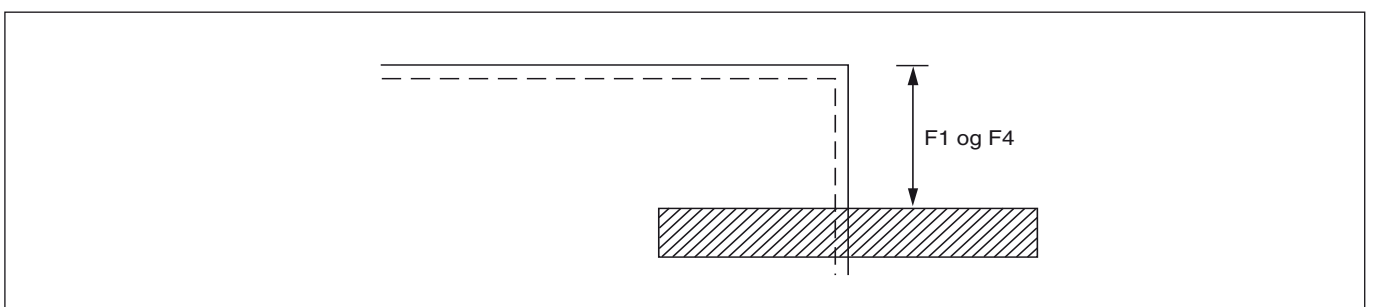
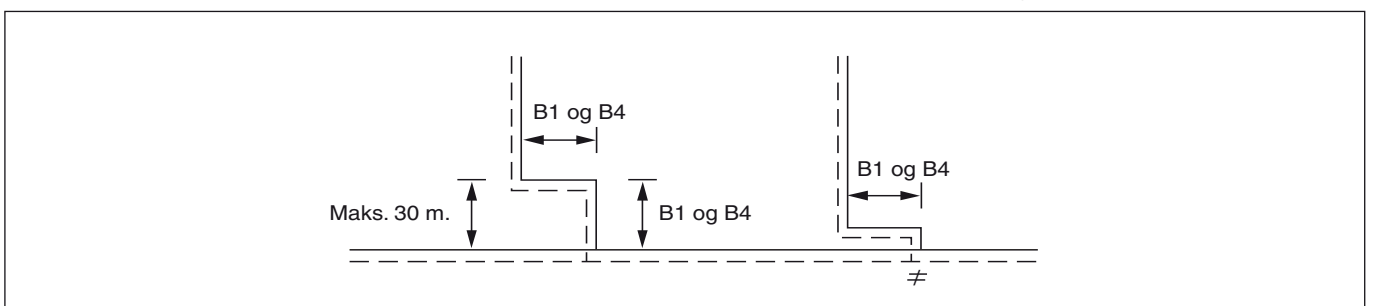
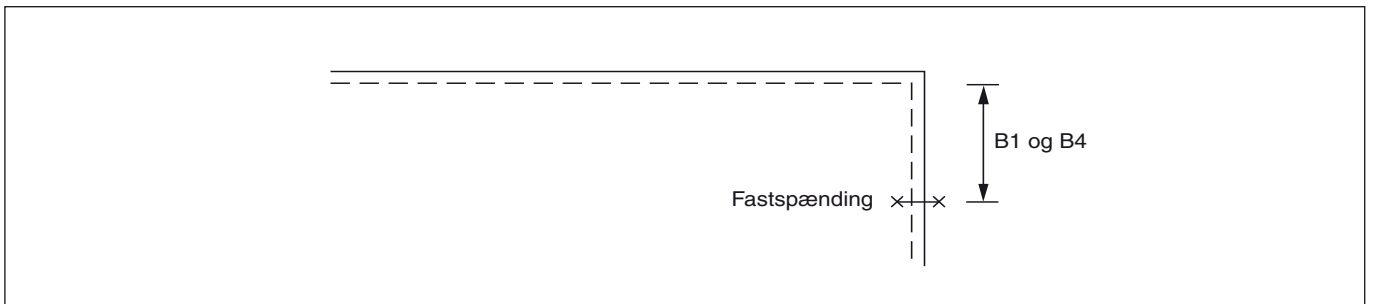
L – Bøjninger 80° - 90°

L-bøjninger er ekspansionsbøjninger som, i modsætning til Z-bøjninger, reelt kun belastes fra én side.

De angivne mål er minimumsmål for bøjninger anvendt iht. lægningsregel 1, 2 og 3 (B1 og F1) og bøjninger anvendt iht. lægningsregel 4 (B4 og F4)

Minimumsmålet F1 og F4 skal sikre, at der ved murgennemføringer ikke opstår for store sidekræfter.

Lægningsregel 4 skal anvendes, hvis der er mere en 2 x friktionslængden mellem 2 ekspansionsbøjninger eller mere end 1 x friktionslængden mellem en ekspansionsbøjning og en støbt forankring.



Ved lægningsmetode 1, 2 og 3 anvendes B1 og F1.

Ved lægningsmetode 4 anvendes B4 og F4.

Ekspansionsbøjning

4.5.2

Stålrør	Lægningsmetode 1, 2 og 3 Δt 120°C		Lægningsmetode 4 Δt 120°C	
	B1	F1	B4	F4
d udv. mm	m	m	m	m
26,9	1,0	1,0	1,1	1,1
33,7	1,2	1,2	1,4	1,4
42,4	1,3	1,4	1,5	1,7
48,3	1,5	1,7	1,8	2,0
60,3	1,8	2,0	2,1	2,3
76,1	2,1	2,8	2,4	3,3
88,9	2,3	3,3	2,6	3,7
114,3	2,6	4,2	3,1	4,7
139,7	3,1	5,0	3,5	5,7
168,3	3,5	5,9	4,1	6,9
219,1	4,0	6,9	4,6	7,9
273,0	4,6	7,9	5,4	9,1
323,9	5,1	9,4	5,9	10,7
355,6	5,7	9,4	5,9	10,7
406,4	6,2	11,4	7,2	12,9
457,2	6,8	12,3	7,9	14,3
508,0	7,3	12,9	8,4	14,9
558,8	7,6	13,3	8,8	15,8
610,0	8,4	14,9	9,7	17,3

Stålrør	Lægningsmetode 1, 2 og 3 Δt 80°C		Lægningsmetode 4 Δt 80°C	
	B1	F1	B4	F4
d udv. mm	m	m	m	m
26,9	0,7	0,8	0,7	0,9
33,7	0,8	1,0	1,0	1,2
42,4	0,9	1,2	1,0	1,3
48,3	1,0	1,3	1,2	1,6
60,3	1,2	1,6	1,4	1,9
76,1	1,4	2,2	1,6	2,7
88,9	1,5	2,7	1,8	3,1
114,3	1,8	3,4	2,1	3,9
139,7	2,1	4,0	2,3	4,7
168,3	2,3	4,8	2,7	5,7
219,1	2,6	5,7	3,1	6,5
273,0	3,1	6,5	3,6	7,5
323,9	3,4	7,6	4,0	8,7
355,6	3,8	8,1	4,4	9,3
406,4	4,1	9,3	4,8	10,5
457,2	4,5	10,1	5,3	11,7
508,0	4,8	10,5	5,6	12,1
558,8	5,1	10,9	5,9	12,9
610,0	5,6	12,1	6,5	14,1

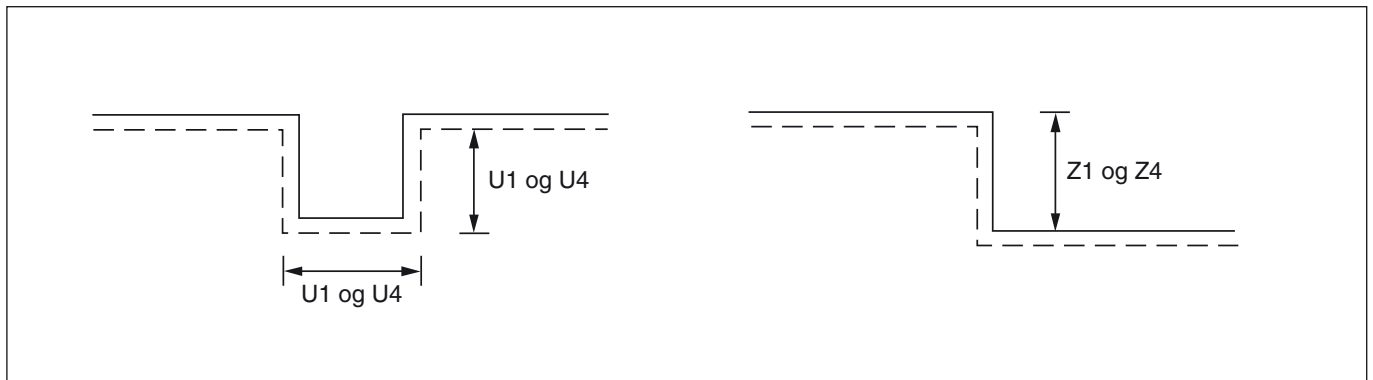
Z og U – Bøjninger 80° - 90°

Z-bøjninger kan på grund af konstruktionens store fleksibilitet optage større bevægelser end L-bøjninger.

U-bøjninger belastes kun fra en side, minimumsbenlængden kan derfor reduceres i forhold til Z- bøjningerne.

De angivne mål er minimumsmål for bøjninger anvendt iht. lægningsregel 1, 2 og 3 (Z1, U1) og bøjninger anvendt iht. lægningsregel 4 (Z4, U4).

Lægningsregel 4 skal anvendes, hvis der er mere en 2 x friktionslængden mellem 2 ekspansionsbøjninger eller mere end 1 x friktionslængden mellem en ekspansionsbøjning og en støbt forankring.



Ved lægningsmetode 1, 2 og 3 anvendes U1 og Z1.
Ved lægningsmetode 4 anvendes U4 og Z4.

Ekspansionsbøjning

4.5.4

Stålrør	Lægningsmetode 1, 2 og 3 Δt 120°C		Lægningsmetode 4 Δt 120°C	
	Z1	U1	Z4	U4
d udv. mm	m	m	m	m
26,9	1,2	0,8	1,4	0,9
33,7	1,5	1,0	1,8	1,1
42,4	1,7	1,1	1,9	1,2
48,3	1,9	1,2	2,2	1,4
60,3	2,2	1,4	2,6	1,7
76,1	2,6	1,7	3,0	1,9
88,9	2,9	1,8	3,3	2,1
114,3	3,3	2,1	3,9	2,5
139,7	3,9	2,5	4,4	2,8
168,3	4,4	2,8	5,1	3,3
219,1	5,0	3,2	5,8	3,7
273,0	5,8	3,7	6,7	4,3
323,9	6,3	4,0	7,4	4,8
355,6	7,2	4,6	8,3	5,3
406,4	7,7	4,9	8,9	5,7
457,2	8,5	5,5	9,9	6,3
508,0	9,1	5,8	10,5	6,7
558,8	9,5	6,1	11,0	7,0
610,0	10,5	6,7	12,1	7,7

Stålrør	Lægningsmetode 1, 2 og 3 Δt 80°C		Lægningsmetode 4 Δt 80°C	
	Z1	U1	Z4	U4
d udv. mm	m	m	m	m
26,9	0,9	0,6	1,0	0,7
33,7	1,1	0,7	1,4	0,9
42,4	1,3	0,8	1,5	0,9
48,3	1,5	0,9	1,7	1,1
60,3	1,7	1,1	2,0	1,3
76,1	2,0	1,3	2,3	1,5
88,9	2,2	1,4	2,5	1,6
114,3	2,5	1,6	2,9	1,9
139,7	2,9	1,9	3,3	2,1
168,3	3,3	2,0	3,9	2,5
219,1	3,8	2,4	4,4	2,8
273,0	4,4	2,8	5,1	3,3
323,9	4,8	3,1	5,6	3,6
355,6	5,4	3,5	6,3	4,0
406,4	5,8	3,7	6,8	4,3
457,2	6,5	4,1	7,5	4,8
508,0	6,9	4,4	7,9	5,1
558,8	7,2	4,6	8,3	5,3
610,0	7,9	5,1	9,2	5,9

Ekspansionsbøjning

4.5.5

Bøjninger < 80°

Lægningsreglerne for ekspansionsbøjninger er gældende for bøjninger mellem 80° og 90°.

Ved retningsændringer < en 80°, findes L_{maks} af nedenstående tabel.

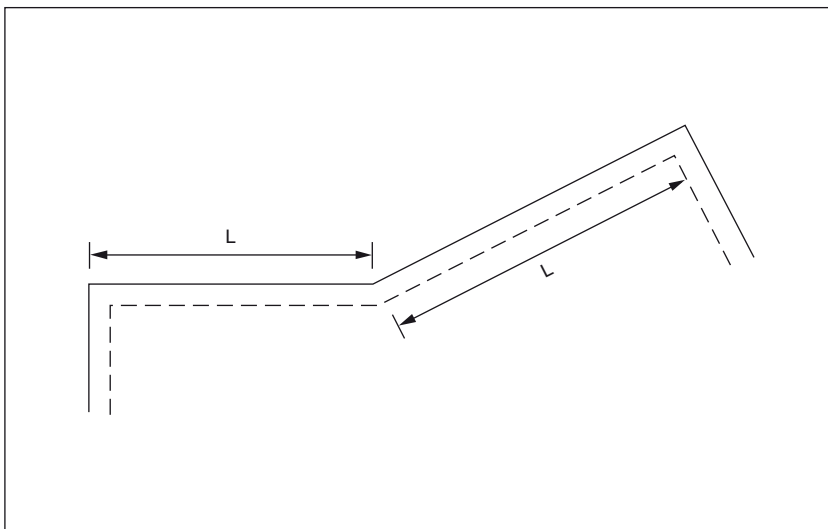
Hvis de øvrige forhold på byggepladsen tillader det, vil anvendelsen af buerør ofte være den bedste løsning.

Buerør

Se side 4.5.11.

Specielle bøjninger

L-mål = maks. afstand fra en speciel bøjning mellem 10° og 80° til en ekspansionsbøjning.



α	Maks. L-mål i % af F
≤ 5	1 x F
15°	40%
25°	30%
35°	30%
45°	35%
55°	50%
65°	65%
75°	85%
$\geq 80^\circ$	2 x F

F mål findes af tabel side 4.5.

Ved anvendelse af forspændingselementer – nedlægningsmetode 3, optages de aksiale spændinger i systemet i princippet ved hjælp af en termisk forspænding.

Forspændingselementet er en engangskompensator som forindstilles inden montage. Efter idriftsættelse af systemet fastlåses kompensatoren og fremtidige temperatursvingninger optages i stål-røret som tilladelige aksialspændinger.

Når systemet er sat i drift og forspændingselementet er fastlåst, vil der kun være bevægelse på friktionshæmmede strækninger, de øvrige strækninger er fikseret af jordfriktionen og har et spændingsniveau på maks. +/- 180 N/mm².

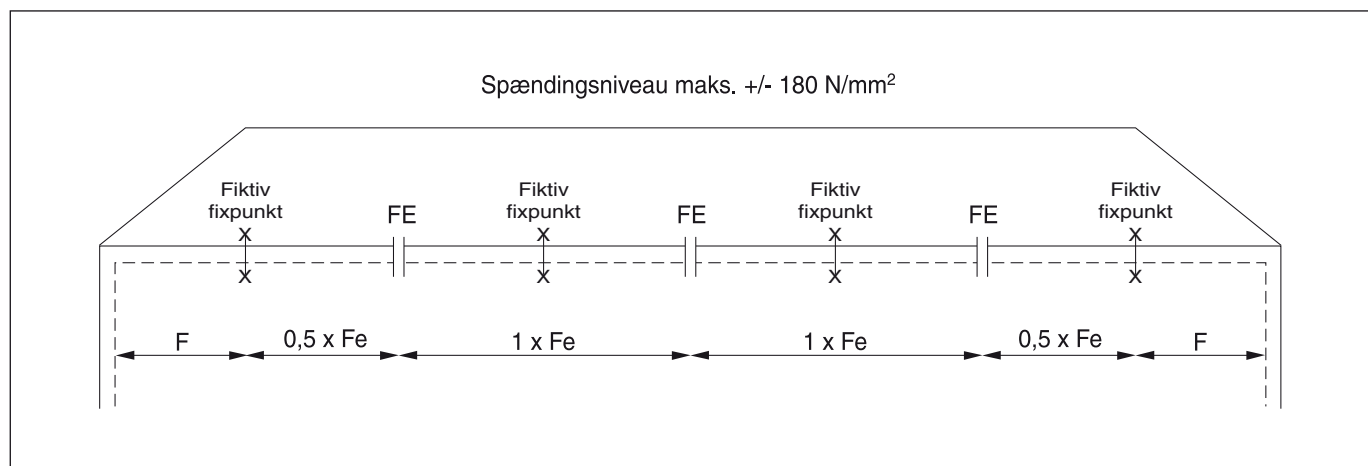
Projektering med forspændingselementer

Forspændingselementer placeres altid mellem to fixpunkter.

Fixpunktet kan være fysisk eller fiktiv (friktionslængden F fra en bøjning), dette er uden betydning for den videre projektering.

Afstanden fra et fixpunkt til et forspændingselement må maks. være $0,5 \times Fe$, mens afstanden mellem to forspændingselementer maks. må være Fe .

Vedr. F og Fe , beregnet for en jorddækning på maks. 0,8 m. se tabel side 4.5.7.



Forspændingselement

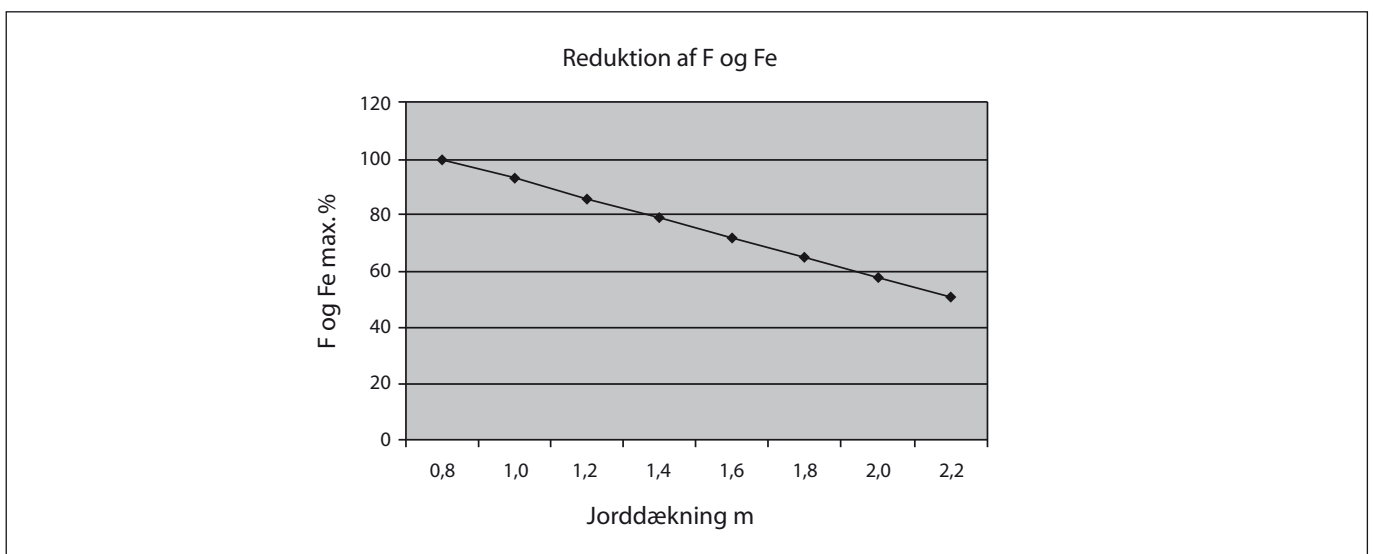
4.5.7

	Serie 1		Serie 2		Serie 3	
Stålrør	Fe	F	Fe	F	Fe	F
d udv. mm	m	m	m	m	m	m
26,9		24		19		17
33,7	61	30	49	25	43	21
42,4	63	31	55	27	48	24
48,3	72	36	63	31	56	28
60,3	83	44	78	39	67	34
76,1	99	49	86	43	75	38
88,9	110	55	97	48	86	43
114,3	125	62	110	55	98	49
139,7	133	67	119	60	105	53
168,3	159	79	140	70	123	61
219,1	178	89	156	78	136	68
273,0	186	93	162	81	143	72
323,9	213	106	188	94	165	82
355,6	206	103	180	90	156	78
406,4	228	114	198	99	184	92
457,2	221	111	205	102	191	95
508,0	226	113	211	105	182	91

Skema for F og Fe

Reduktion af F og Fe

De angivne F og Fe mål er baseret på en jorddækning på 0,8 m.
Nedlægges en ledning med jorddækning >0,8 m reduceres målene i henhold til skema.



Forindstilling af forspændingselement

Inden forspændingselementet indsvejses mellem de to rørender indstilles elementet til forspændingsmålet F_m .

Til beregning af F_m anvendes følgende faktorer:

- T_d = Systemets driftstemperatur $^{\circ}\text{C}$ (Ved idriftsættelse af systemet kan det være nødvendigt, at opnå en temperatur svarende til ca. 90% af maks. driftstemperatur, for at opnå den nødvendige ekspansion.)
- T_i = Systemets installationstemperatur
- F_e = Det aktuelle F_e angivet ud fra den faktiske afstand mellem de projekterede forspændingselementer

Ovennævnte faktorer indsættes i formlen: $F_m \text{ mm} = (T_d - T_i) \times F_e \times 0,005$

Faktoren 0,005 er en konstant hvori bl.a. jordfriktion, stålrørets udvidelseskoefficient og tilladelige aksialspændinger indgår.

Projekteringseksempel

Dimension = $\text{ø}114,3/200$ (Serie 1)

Længde = 484 m

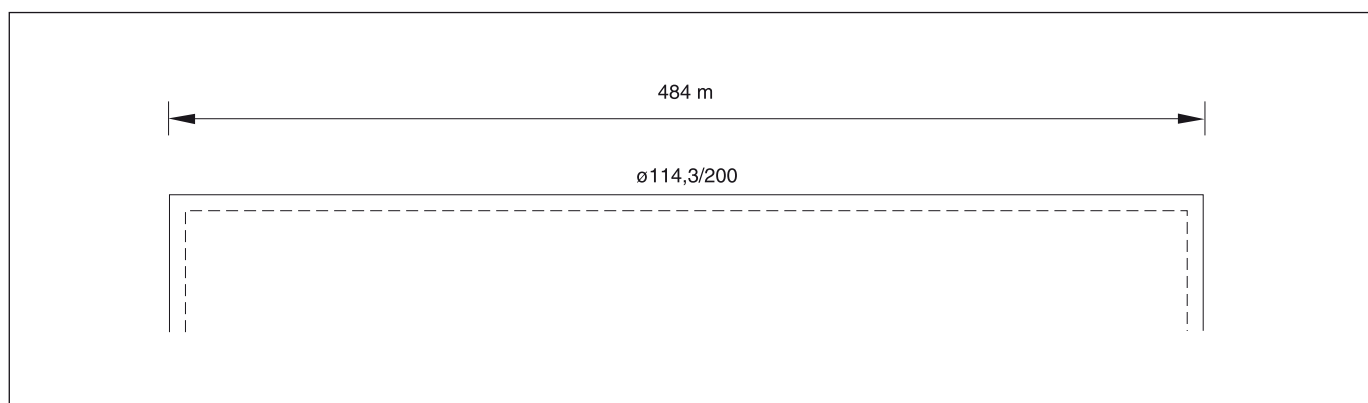
Jorrdækning = 0,8 m

Driftstemperatur = 90°C

Installationstemperatur = 10°C

$F = 62$ m (se tabel side 4.5.7)

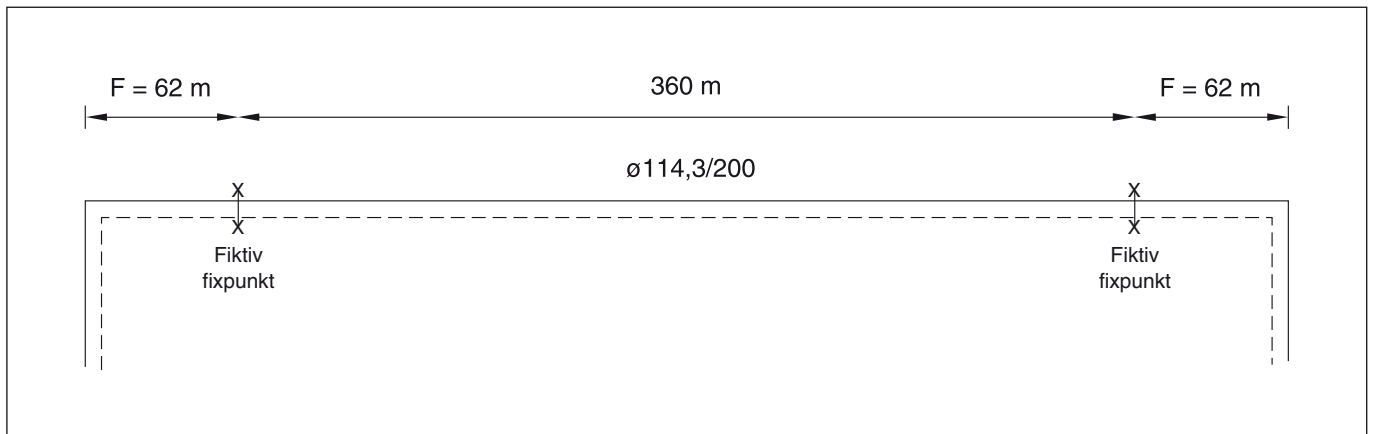
$F_e = 125$ m (se tabel side 4.5.7)



Forspændingselement

4.5.9

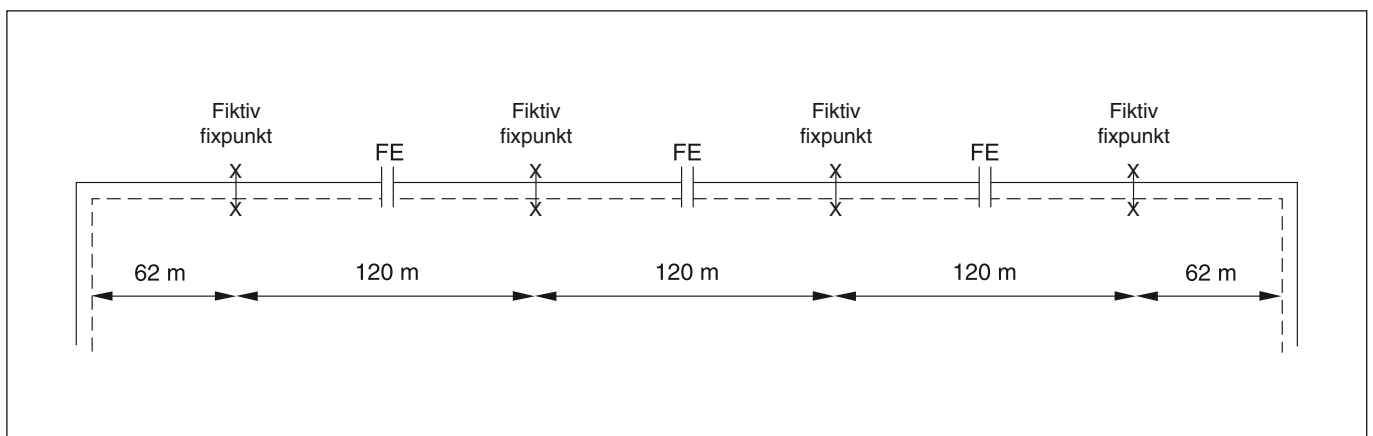
Fra bøjning og ind på strækningen (indtil det fiktive fixpunkt) afsættes $F = 62$ m



For at finde antallet af forspændingselementer deles den resterende strækning med F_e fra tabel side 4.5.7.

$$\text{Antal forspændingselementer} = \frac{360}{125} = 2,88$$

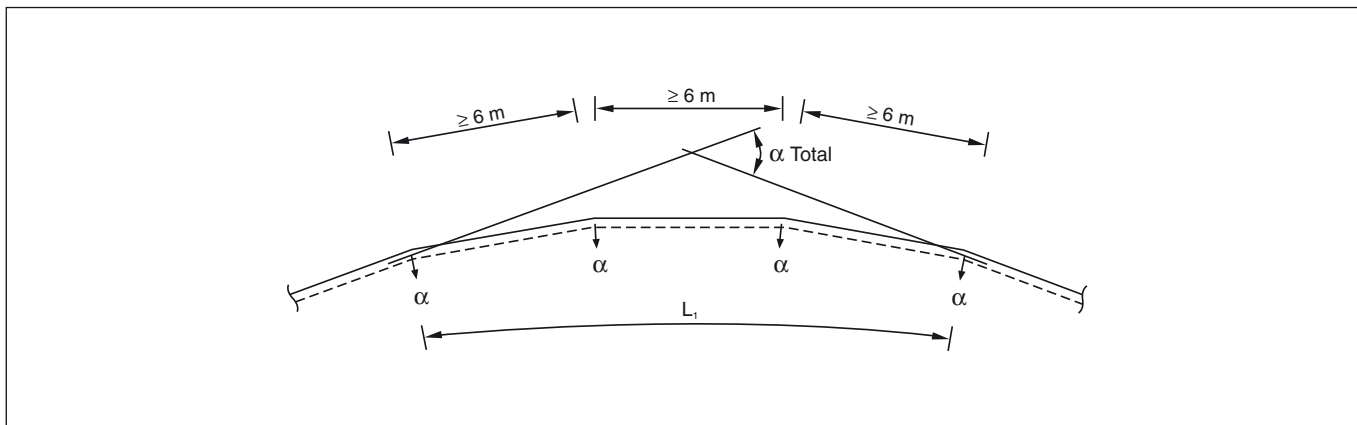
$$\text{Antallet rundes op til 3 stk. således at det reele } F_e = \frac{360}{3} = 120 \text{ m}$$



$$\text{Forspændingsmålet } F_m = (90 - 10) \times 120 \times 0,005 = 48 \text{ mm}$$

Et forspændingselement indsættes altid mellem to lige længder rør uden smigskæringer.

Smigskæring må efter lægningsmetode 1, 2 og 3 udføres med en retningsændring på maks. 5° (2,5 + 2,5) pr. samling, med en min. afstand på 6 meter mellem hver smigskæring.



Vigtigt:

Den maksimalt tilladelige smigskæring kan begrænses af den anvendte muffetype.

Elastiske buer

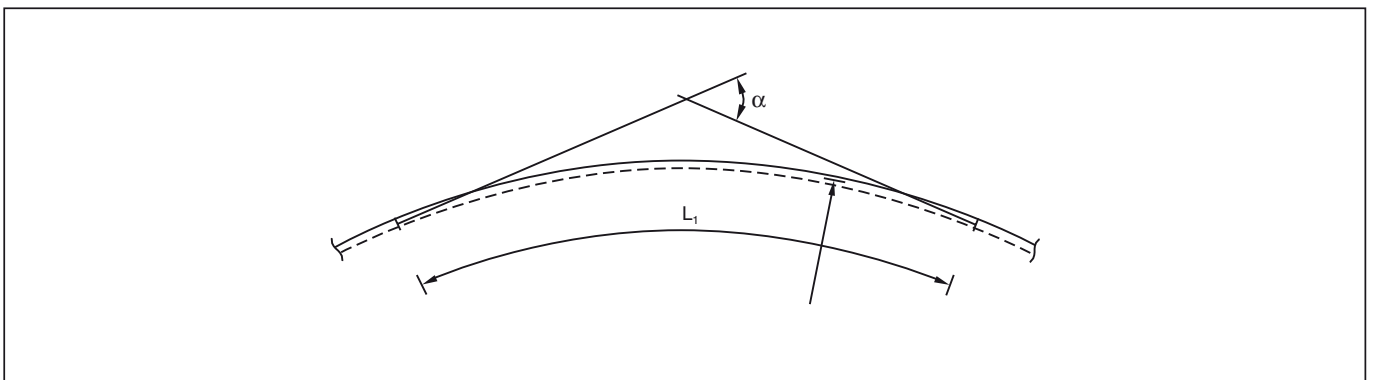
4.5.11

Begrebet "elastiske buer" dækker over bukingen af en given rørstrækning uden at denne udsættes for en belastning, der giver flydninger i materialer og dermed blivende deformationer.

Ud fra en rørstatisk betragtning kan elastiske buer betragtes som et lige rør.

I praksis udføres elastiske buer ved at en rørstreng sammensvejses/muffes over den udgravede kanal, hvorefter den færdige rørstreng sænkes ned i kanalen og trækkes på plads.

På baggrund af forskellige bøjningsmomenter er den mindst tilladelige elastiske bukeradius (dvs. største bukevinkel) afhængig af den aktuelle dimension.



Tilladelig bukeradius (min) og bukevinkel (maks) i forhold til dimensionen.

Stålrør d udv. mm	Min. elastisk bukeradius	Maks. elastisk bukevinkel	Rørlængde
	m	pr. lgd. i grader	
26,9	18	19	6 m
33,7	22	15	
42,4	25	26	12 m
48,3	30	22	
60,3	35	20	
76,1	42	16	
88,9	50	14	
114,3	69	10	
139,7	78	8	
168,3	102	6	
219,1	128	5	
273,0	158	4,5	
323,9	189	3,5	
355,6	207	3,0	
406,4	229	2,8	
457,2	256	2,6	
508,0	292	2,4	

Begrebet "buerør" dækker over rør, som enten leveres bukkede fra Isoplus eller rør som ved hjælp af et bukkeværktøj bukket til den ønskede vinkel direkte på stedet.

Ud fra en rørstatisk betragtning kan buerør på samme måde som de elastiske buer betragtes som lige rør og egner sig derfor til anvendelse i forbindelse med alle lægningsmetoder.

Ved anvendelse af buerør kan antallet af nødvendige præisolerede bøjninger reduceres og omkostningerne til såvel materialer, gravearbejde og senere reetablering reduceres.

Den maksimale bukevinkel for de forskellige dimensioner er, afhængigt af rørlængde og dimension angivet nedenfor:

Stålrør		Mindste bukkeradius	Maks. bukevinkel for 12 m rør	
DN	d udv. mm	m	grader	
20	26,9	8,4	82	Bukkes på stedet
25	33,7	12,8	54	
32	42,4	13,4	52	
40	48,3	15,4	44	
50	60,3	17,2	40	
65	76,1	19,6	36	
80	88,9	20,2	34	
100	114,3	20,9	33	Præbuer
125	139,7	25,7	27	
150	168,3	31,0	22	
200	219,1	36,1	19	
250	273,0	39,5	17	
300	323,9	46,7	15	
350	355,6	46,2	15	
400	406,4	85,9	8	
450	457,2	85,9	8	
500	508,0	85,9	8	

Når et buerør bestilles, skal følgende angives:

- Bukkevinkel (eller tilhørende bukkeradius)
- Ved rør med alarm skal endvidere angives om røret er højre-, venstre-, op- eller neddrejet

Hvis ikke den ønskede bukevinkel kan opnås med ét rør, kan man kombinere to eller flere rør og således opnå den ønskede vinkel.

Eksempel 1:

Dimension $\varnothing 114$

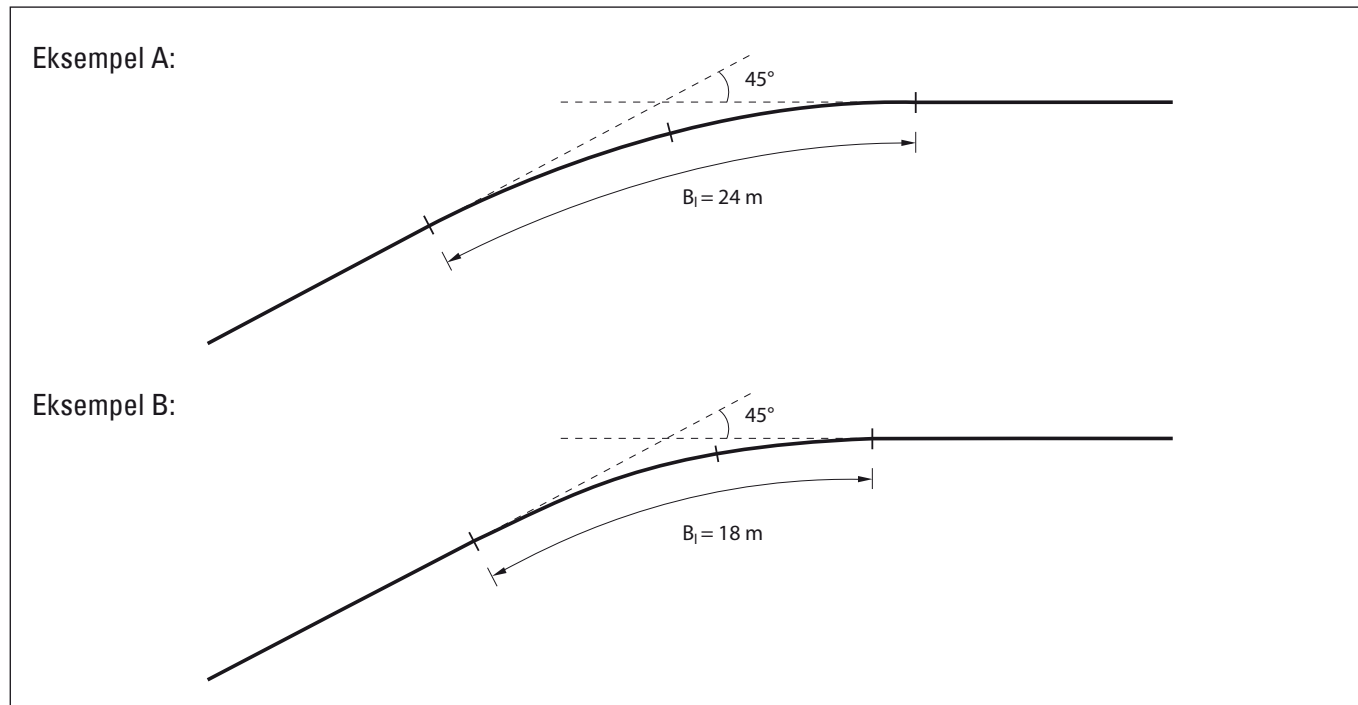
Den maksimalt opnåelige bukkevinkel for $\varnothing 114$ findes af foregående tabel til 33° .

Med ønsket om at opnå en samlet vinkeldrejning på 45° er man nødt til at anvende flere buerør – dette kan f.eks. gøres på én af følgende måder:

A: 2 stk. 12 m á $22,5^\circ$

B: 1 stk. 12 m á 33° + 1 stk. 6 meter á 12°

Normalt anvendes løsning A, da anvendelse af længst mulige længder også betyder, at antallet af nødvendige samlinger reduceres.



Ved beregningen af det nødvendige antal buerør og det for afsætningen af kanalen nødvendige mål benyttes følgende formelsæt:

Nødvendigt antal buerør (n):

$$n = \frac{\alpha_{\text{akt}}}{\alpha_{\text{maks}}}$$

Hvor α_{akt} er den ønskede (samlede) vinkeldrejning og α_{maks} er den maksimalt tilladte vinkel på det / de anvendte rør.

Bukkeradius (r):

$$r = \frac{B_l}{\pi \times \alpha_{\text{akt}}} \times 180 \text{ (m)}$$

B_l = den samlede buelængde

Tangentmål (T):

$$T = \frac{57,3 \times B_l}{\alpha_{\text{akt}}} \times \tan \frac{\alpha_{\text{akt}}}{2} \text{ (m)}$$

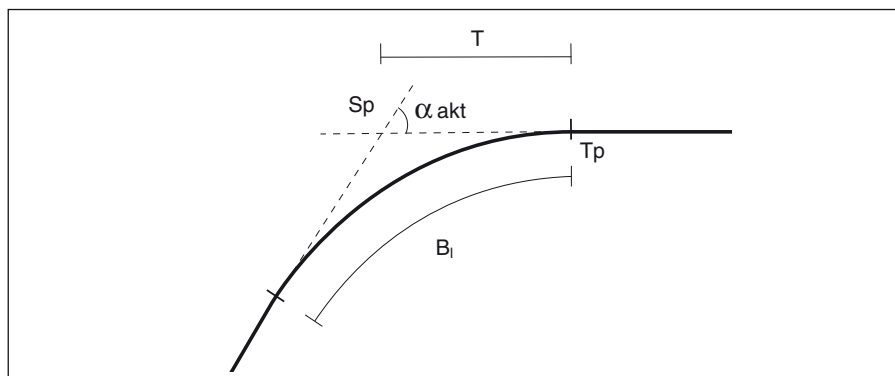
Forskydningsmål (Fs):

$$Fs = \frac{D + C \times \alpha_{\text{akt}}}{90}$$

D = Kappediameter i mm

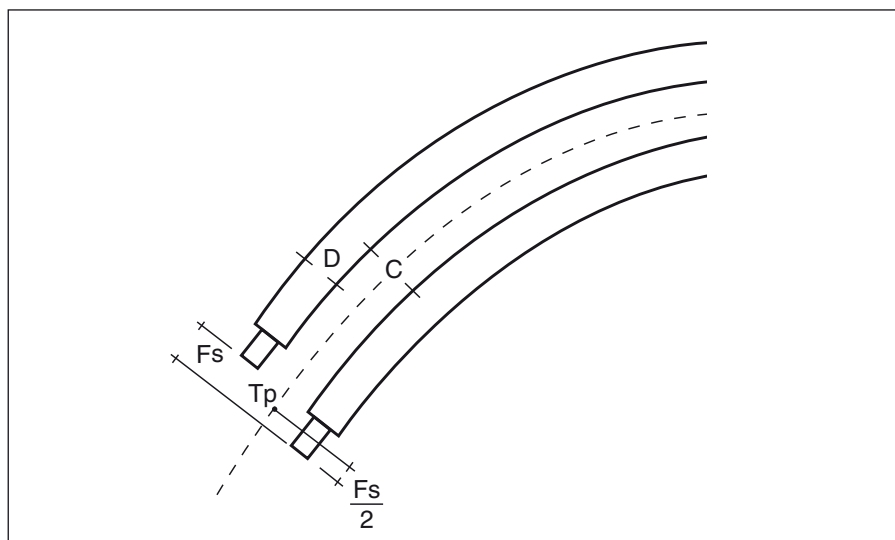
C = Afstand mellem rør i mm

Eksempel 2: Ved afsætning af buerørets tracé afsættes de lige rørstrækningers skæringspunkt (Sp). Ud fra Sp afsættes tangentpunkt (Tp).



Skæringspunkt og tangentpunkt er altid i forhold til tracéns centerlinie.

Ved nedlægning af buerør vil der være en forskydning af de 2 buerørs startpunkt i forhold til tangentpunktet (Tp).



Forskydningsmålet beregnes som:

$$F_s = \frac{D + C \times \alpha_{akt}}{90}$$

Ekspansionszoner af sand

For at hindre at det isolerende skum deformerer på grund af de laterale ekspansionsbevægelser ved afgreninger og bøjninger, er det nødvendigt at etablere ekspansionszoner af sand omkring bøjninger og de afgreninger, som er placeret på friktionslængden.

Krav til komprimering og materialer

Da det passive jordtryk ikke må overstige polyuretanskummets langtidsstyrke, er det vigtigt at komprimeringen af ekspansionszonerne ikke overstiger følgende værdier:

- P_{maks} :
- Standardproctor maks. 98% ved uensformighed < 4
 - Standardproctor maks. 94% ved uensformighed < 8

$$\text{Uensformighed} = \frac{\text{Kornstørrelse ved 60\% gennemfald}}{\text{Kornstørrelse ved 10\% gennemfald}}$$

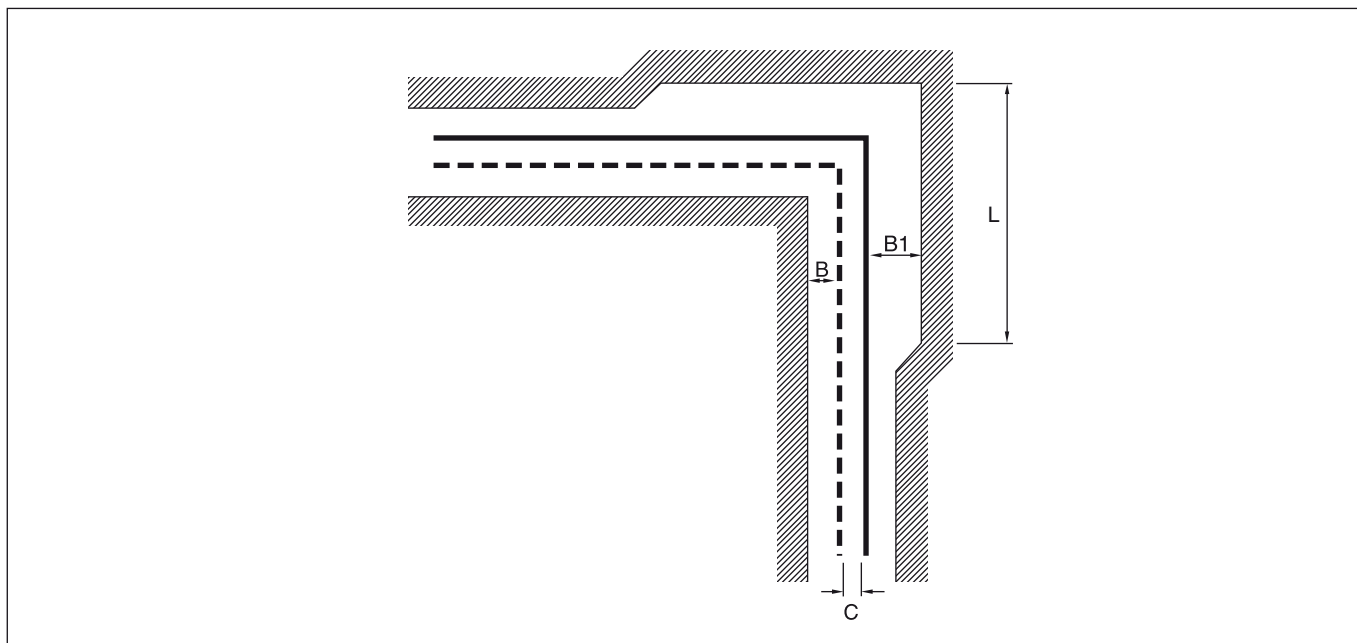
- Materialet skal være sand, fri for ler og sten med skarpe kanter.

Ved nedlægningsmetode 1, 3, og 4 udvides kanalen omkring bøjninger og afgreninger som angivet i tabellen på side 4.5.18.

Ved afgreninger skal målet C afsættes til den side, som afgrening vil bevæge sig imod.

Ved nedlægningsmetode 2 udvides kanalen omkring bøjninger og afgreninger som angivet i tabellen på side 4.5.19.

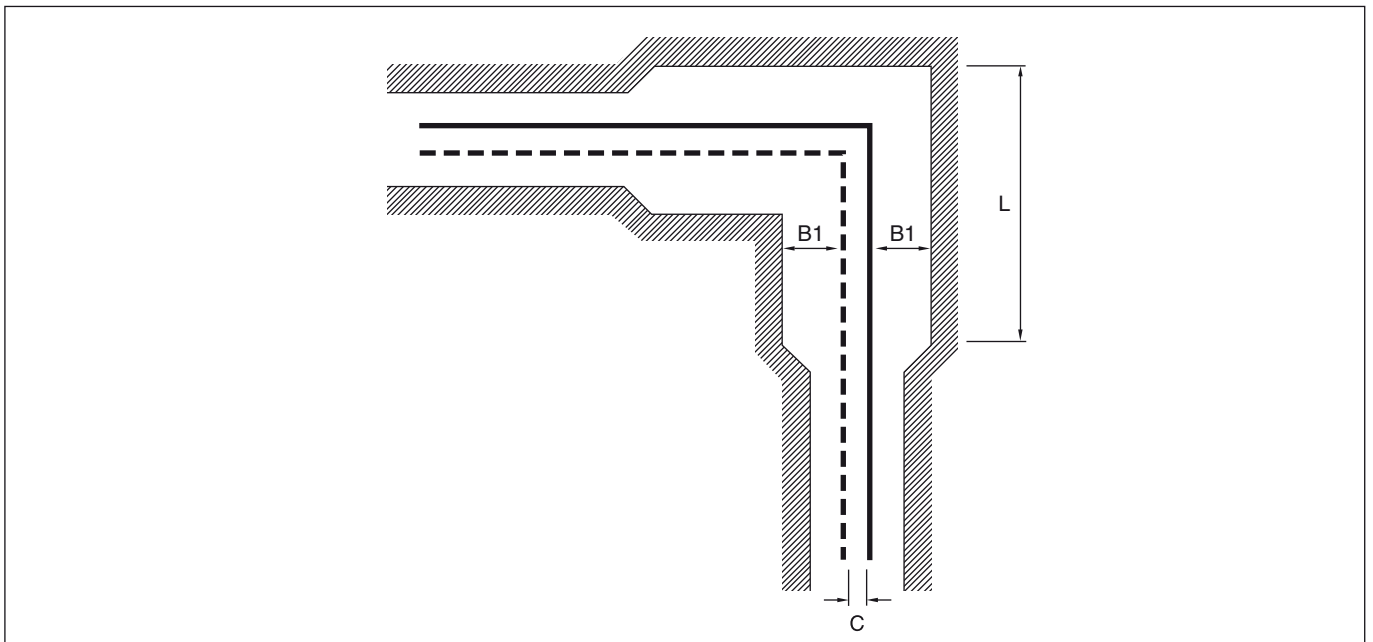
Udformning af ekspansionszoner, nedlægningsmetode 1, 3 og 4



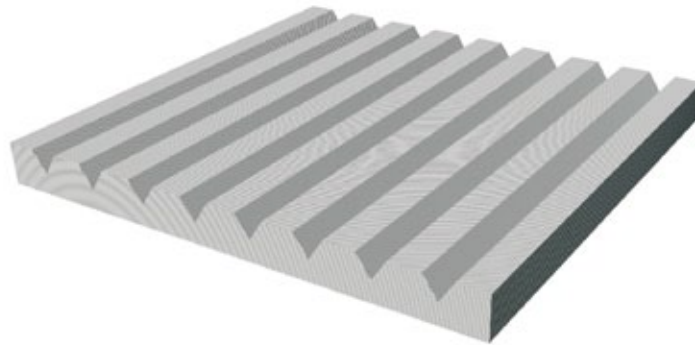
Stålrør	Tykkelse af sandlag i ekspansionszoner			Længde ekspansionszoner
	Kapperør til kanalvæg		Mellem kapperør	L m
d udv. mm	B mm	B1 mm	C mm	
26,9	100	140	150	0,8
33,7	100	140	150	0,8
42,4	100	140	150	1,0
48,3	100	190	150	1,0
60,3	140	190	150	1,1
76,1	140	190	150	1,2
88,9	140	240	150	1,4
114,3	140	285	150	1,7
139,7	190	330	200	1,9
168,3	190	330	200	2,1
219,1	240	430	250	2,6
273,0	285	525	285	2,9
323,9	330	570	335	3,3
355,6	380	620	335	3,4
406,4	380	665	380	4,1
457,2	430	760	430	4,5
508,0	475	810	475	4,8
558,8	570	905	475	4,9
609,6	620	1000	570	5,7

Udformning af ekspansionszoner, nedlægningsmetode 2

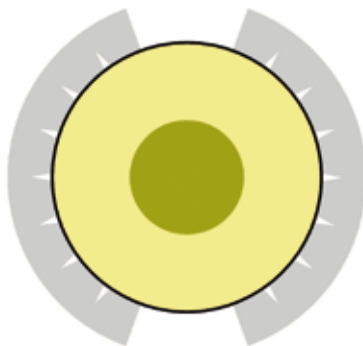
Ved nedlægningsmetode 2 udvides kanalen omkring bøjninger og afgreninger som angivet i tabellen nedenfor.



Stålrør	Tykkelse af sandlag i ekspansionszoner		Længde ekspansionszoner
	Kapperør til kanalvæg	Mellem kapperør	
d udv. mm	B1 mm	C mm	L m
26,9	100	150	0,8
33,7	100	150	0,8
42,4	100	150	1,0
48,3	100	150	1,0
60,3	140	150	1,1
76,1	140	150	1,2
88,9	190	150	1,4
114,3	190	150	1,7
139,7	240	150	1,9
168,3	240	150	2,1
219,1	285	150	2,6
273,0	380	200	2,9
323,9	430	250	3,3
355,6	475	250	3,4
406,4	475	250	4,1
457,2	525	285	4,5
508,0	570	285	4,8
558,8	665	335	4,9
609,6	760	380	5,7

**Skumpude**

Skumpude til ekspansionsoptagelse anvendes kun i begrænset omfang, hvor kravene til sand og ekspansionszoner ikke overholdes.



Reduktioner - lægningsmetode 1, 2 og 3

4.5.21

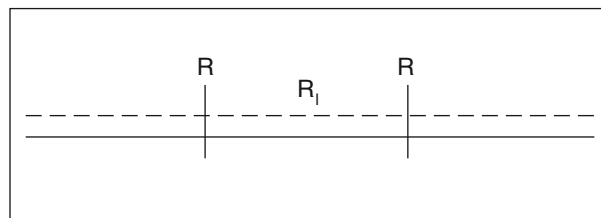
Reduktioner kan udføres med maks. 2 dimensionsspring uden særlige foranstaltninger.

Der kan dog tillades større dimensionsspring, hvor strækningen ligger stort set fri for spænding og bevægelse.

Der bør dog altid tilstræbes, at det er den største dimension, der er bestemmende for hovedtracens forløb (se ill.).



Hvis der er behov for mere end 2 dimensionsspring, skal følgende mindste „reduktionslængde“ (R_i) mellem de 2 reduktioner overholdes.



DIMENSION	R_i
ø26,9 - ø60,3	6
ø76,1 - ø168,3	12
ø219,1 - ø406,4	18

R_i målene skal ses som afstanden mellem 2 reduktioner på den friktionsfikserede strækning, hvor aksialspændingen er størst.

Reduktionslængder placeret på friktionslængder kan derfor reduceres.

Hvor reduktionen er placeret umiddelbart ved en ekspansionsbøjning, kan R_i -målet reduceret til $R_i \times 0,5$

Ved beregning af R_i interpoleres der mellem R_i og $R_i \times 0,5$.

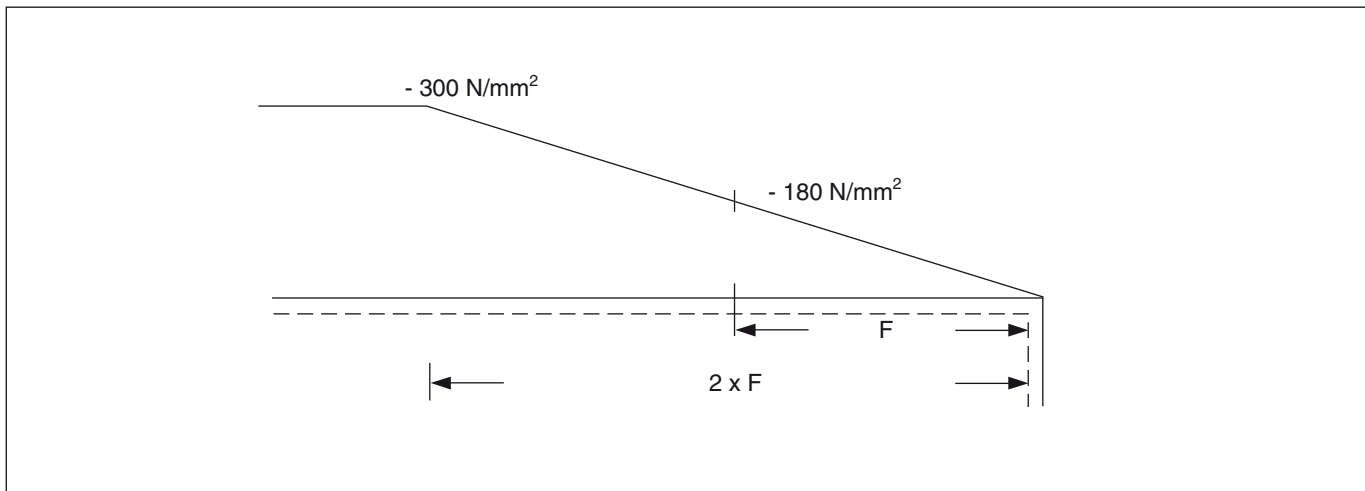
Ved koldforlægning af rørsystemet er der en række restriktioner i forhold til de generelle lægningsregler for nedlægning efter metode 1, 2 og 3.

Restriktionerne beskrevet i dette afsnit er under forudsætning af Δt 120°C.

Da langt de fleste anlæg har driftstemperaturer, som giver en Δt , som ligger i størrelsen 60-80°C, vil restriktionerne her være væsentlig lempeligere. Reelt forholder det sig ofte således, at temperaturparametrene gør, at koldforlægning kan etableres uden hensyntagen til restriktionerne under koldforlægning.

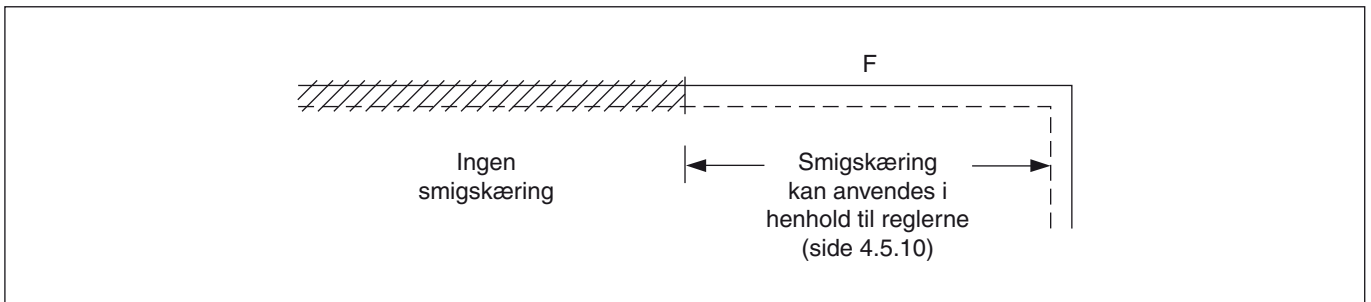
På side 1.6.3 findes der en principbeskrivelse med fordele og ulemper ved anvendelse af koldforlagte systemer.

Ved koldforlægning vil førstegangs friktionslængden være $2 \times F$ (friktionslængde). Ved efterfølgende temperaturvariationer vil der kun ske bevægelse på F .



Smigskæringer

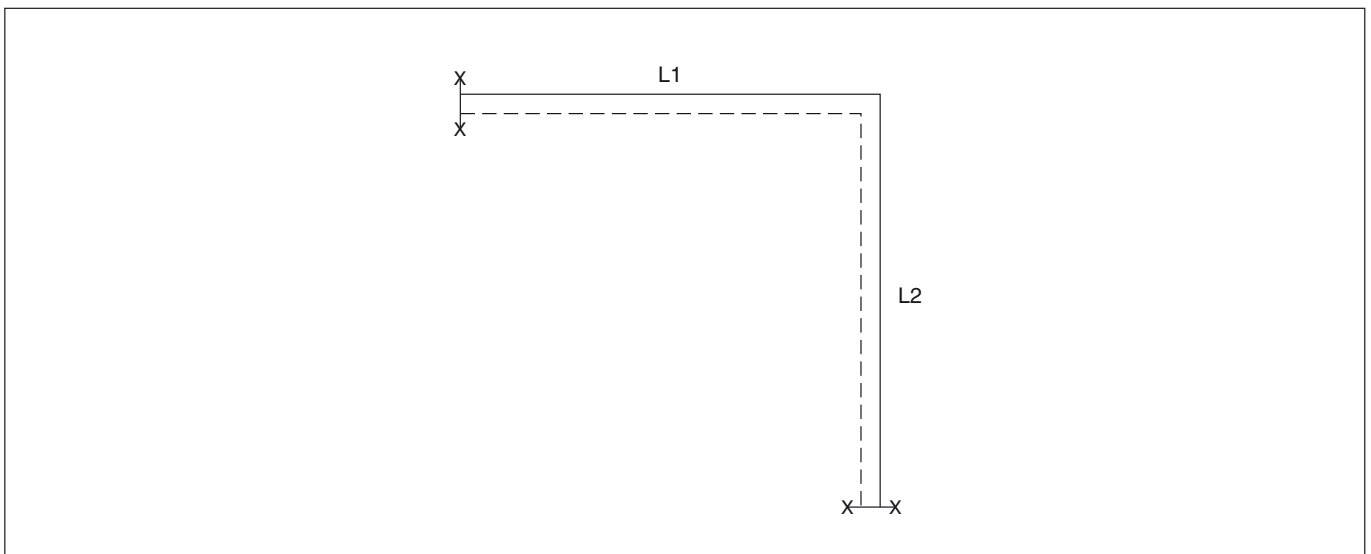
Der må ikke anvendes smigskæringer på de friktionsfikserede strækninger.



Bøjninger

Der må kun anvendes bøjninger mellem 80° og 90° .

Ved tosidigt fuldt belastede bøjninger skal der anvendes 5D-bøjninger.

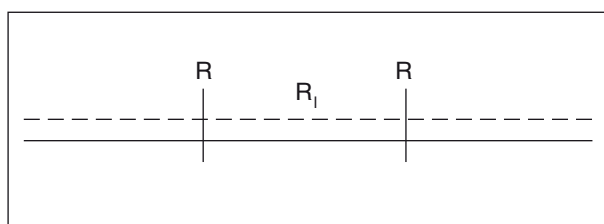


Hvor $L1 + L2$ er større end $F \times 1,5$ anvendes 5D-bøjninger.
 Øvrige bøjninger kan være 3D-bøjninger (standardbøjninger).

Reduktioner

På koldforlagte strækninger må der på den friktionsfikserede strækning, kun etableres reduktioner med et dimensionsspring.

Afstanden mellem de enkelte reduktioner „reduktionslængder“ R_r ses af illustrationen.



DIMENSION	R_r
ø26,9 - ø60,3	12
ø76,1 - ø168,3	24
ø219,1 - ø406,4	48

Reduktionslængder på friktionslængden er i henhold til reglerne under lægningsmetode 1, 2 og 3.

Der må ved koldforlægning ikke placeres afgreninger inden for en afstand af $R_r \times 0,5$ fra en reduktion.