

Pipelife Handbok PE tryckrör



- 1.0 Inledning**
 - 1.1 Pipelife Sverige AB
 - 1.2 Handboken
- 2.0 Användningsområden**
 - 2.1 Vätsketransport
 - 2.1.1 Landinstallationer
 - 2.1.2 Undervattensinstallationer
 - 2.1.3 Utfallsledningar
 - 2.2 Transport av slaggprodukter
 - 2.3 Transport av gas
 - 2.4 Relining
 - 2.5 Borrning
- 3.0 Produkter**
 - 3.1 Normer
 - 3.1.1 Kvalitets- och laborietester
 - 3.1.2 System- och produktcertifikat
 - 3.2 Materialegenskaper
 - 3.2.1 Mekaniska egenskaper
 - 3.2.2 Materialegenskaper
 - 3.2.3 Toxicitet
 - 3.2.4 Miljöhänsyn
 - 3.2.5 Kemisk motståndskraft
 - 3.2.6 Mekaniskt slitage
 - 3.3 Produktsortiment
 - 3.3.1 Rör
 - 3.3.2 Monteringsdetaljer - bordringar / lösflänsar
 - 3.3.3 Monteringsdetaljer - böjar med lång eller kort skänkelängd
 - 3.3.4 Monteringsdetaljer T-rör 90°
 - 3.3.5 Monteringsdetaljer - förminskningar, långa eller korta
 - 3.3.6 Styrrör
 - 3.4 Transport, hantering och lagring
 - 3.4.1 Bogsering av lång PE-HD-rör
 - 3.4.2 Hantering och lagri
- 4.0 Dimensioneringsguide**
 - 4.1 Allmänna synpunkter och krav
 - 4.1.1 Krav på livslängd och säkerhet
 - 4.2 Invändigt tryck
 - 4.3 Yttre laster
 - 4.4 Hydraulisk kapacitet
 - 4.4.1 Flödessystem
 - 4.4.2 Beräkningsmodeller
 - 4.4.3 Enskilda tryckförluster
 - 4.5 Tryckslag, tryckgradienter
 - 4.6 Slitage
 - 4.7 Luft och sediment
 - 4.7.1 Lufttransport
 - 4.7.2 Sediment
 - 4.8 Vågor och havsströmmar
 - 4.8.1 Vågkrafter
 - 4.8.2 Strömkrafter
 - 4.8.3 Refraktionsdiagram

- 4.9 Förankring och belastning
 - 4.9.1 Nedsänkingsvikter av betong- PCW
 - 4.9.2 Förankringsvikter av betong- ACW
- 4.10 PE-rör utsatta för ren böjning
- 4.11 Axiell buckling
- 4.12 Radiell buckling
 - 4.12.1 Effekter av inre lufttryck
 - 4.12.2 Betongvikters betydelse
- 4.13 Hydrostatisk buckling under sänkingsprocessen
- 4.14 Sänkning av undervattensrör
 - 4.14.1 Sänkning på grunt vatten
 - 4.14.2 Sänkning på djupt vatten
 - 4.14.3 Teori kontra praktik
 - 4.14.4 Säkerhetsaspekter

- 4.15 Ekonomiska synpunkter

5.0

Installation

- 5.1 Tekniker för sammanfogning
 - 5.1.1 Sammanfogning av PE-rör
 - 5.1.2 Stumsvetsning av PE-rör
 - 5.1.3 Svetsparametrar
 - 5.1.4 Svetskapacitet
- 5.2 Installationer på land
 - 5.2.1 Nergrävda PE-rör - Allmänna föreskrifter
 - 5.2.2 Nergrävda PE-rör - Hög grundvattennivå
- 5.3 Undervattensinstallationer
 - 5.3.1 Allmänt om sänkning av PE-rör
 - 5.3.2 Installationsarbete före sänkning
 - 5.3.3 Sänkning av slutet rörsystem
 - 5.3.4 Sänkning av ett öppet rörsystem
 - 5.3.5 Praktiska detaljer före sänkning
 - 5.3.6 Rörböjning under sänkning
 - 5.3.7 Schaktteknik i mjuk jord under vatten
 - 5.3.8 Schaktning i berg under vatten
- 5.4 Relining
- 5.5 Reparation av skador
 - 5.5.1 Repor
 - 5.5.2 Brott

6.0

Provning på byggplats

- 6.1 Tester av svetsfogar
- 6.2 Tryckprovningar
- 6.3 Provning av kapacitet
- 6.4 Dykinspektion

7.0

Referenser

- 7.1 Tidigare projekt
- 7.2 Litteratur

8.0 Appendix

- 8.1 Dimensioneringsexempel
- 8.2 Bogsering på öppet hav av PE-rör med stor diameter
 - 8.2.1 Introduktion
 - 8.2.2 Tekniska egenskaper
 - 8.2.3 Beräkningar

1.0 Inledning

1.1 Pipelife Sverige AB

Pipelife Sverige AB är det nya namnet efter sammanslagningen av de etablerade plaströrsproducenterna Davinyl AB och Mabo Svenska AB.

Pipelife Sverige AB ägs av Pipelife International med säte i Wien i Österrike. Detta är idag en ledande europeisk plaströrsproducent representerad i 23 länder med 35 fabriker. Produktionen omfattar i huvudsak rörsystem av plasterna PVC (polyvinylklorid), PE (polyeten) och PP (polypropen). Dessa plaster har sedan introduktionen stadigt ökat i användning. Orsakerna är många, bland annat den låga vikten, den stora flexibiliteten och avsaknad av korrosionsproblematiken. Detta ger lång livslängd i kombination med låga installationskostnader.

I Sverige bearbetas cirka 22 000 ton plastråvara (år 2000) vid produktionsenheterna i Ölsremma och Ljung i Västergötland. Båda enheterna är naturligtvis kvalitets- och miljöcertifierade enligt ISO 9 000 respektive ISO 14 001.

Pipelifes verksamhet delas in i tre huvudsakliga områden:

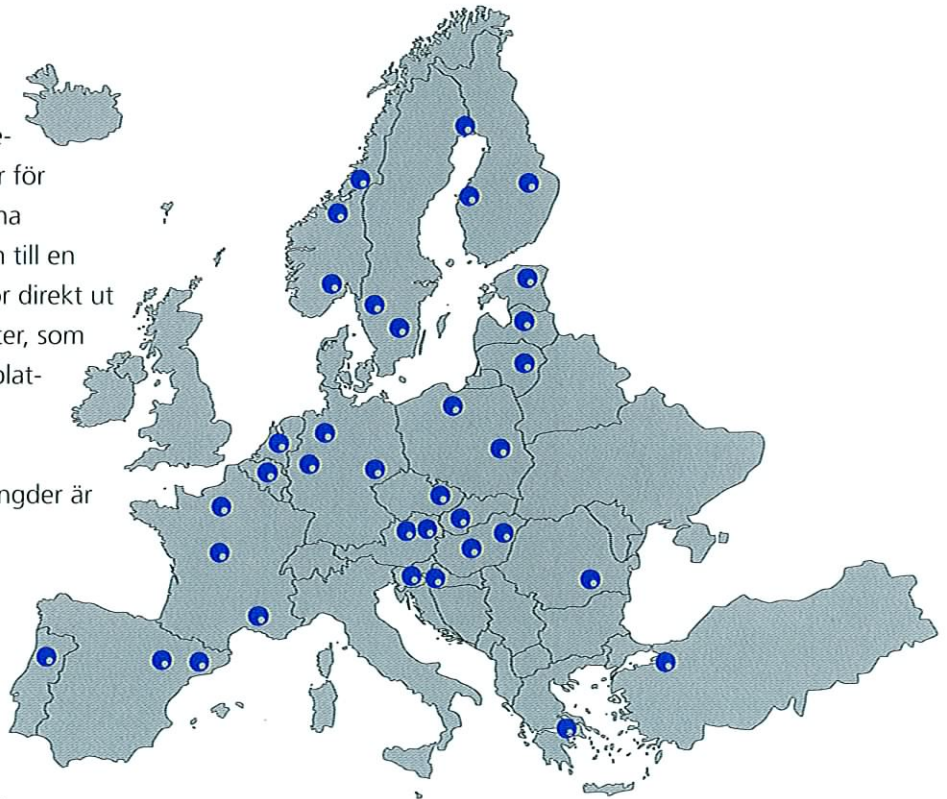
- VA (markavloppssystem, tryckrörssystem, dräneringssystem, infrastruktursystem)
- VVS (inomhusavloppssystem)
- EI/Tele (kabelskyddsörssystem)

En specialitet för Pipelife är möjligheten att producera rör i långa längder för marina applikationer. En av fabrikerna (Stathelle, Norge) ligger vid stranden till en skyddad fjord och där produceras rör direkt ut på vattnet i längder upp till 500 meter, som sedan släpas med släpbåt till arbetsplatsen.

Fördelarna med leverans av långa längder är uppenbara:

- Minimalt behov av svetsning, (endast flänsförbanden) vilket betyder kostnads- och tidsbesparing.
- Betydligt mindre risker för ovalitet på rören.
- Betydligt mindre risker för skador på rören.
- Inget behov av lagringsplats på land eller hantering av rören på land

Dessa fördelar har visat sig vara mycket uppskattade. De som en gång har installerat långa längder önskar följa samma koncept i nästa projekt.



1.2 Handboken

Den här handboken är tänkt som ett redskap för alla som vill veta mer om tryckrör, fördjupa sig i ämnet polyeten, eller till exempel göra beräkningar i samband med ett konkret projekt.

De första kapitlen ger en bra översikt över gällande användningsområden, normer, produkttegenskaper och sortiment. Därefter ges värdefulla beräknings- och installationstips. Handboken beskriver också ett antal referensanläggningar.

Några exempel ur innehållet:

- Detaljer om PE som material, dess möjligheter och begränsningar
- Vägledning för PE-installationer och referenser
- Dimensioneringsguide
- Tekniker i samband med lagging

Kunder, konsulter, kommuner, entreprenörer och andra är vid behov alltid välkomna att kontakta Pipelife Sverige AB vid eventuella frågor när det gäller PE-rör generellt eller vid funderingar inför en sjöledning. Genom åren har vi fått erfarenheter från olika installationer och vi bistår gärna i projektplanering. Dock med beaktande av att vi är en rörleverantör, inte konsult eller entreprenör.

Ljung, Juni 2000
Mats Thorén
Försäljningschef VA

Omslagsbild: PE-rör dimension 1000 lyfts över slussen i Södertälje våren 2000.

2.0 Användningsområden

2.1 Vätsketransport

PE-rör kan användas för transport av färskvatten eller avloppsvatten. De har en utmärkt motståndskraft mot kemikalier, därför kan de också användas för att transportera andra vätskor än vatten. Dess förmåga att motstå olika kemikalier visas i tabellen 3.3.5 i kap. 3.

Rörsystemen delas in i två olika grupper beroende på om de är installerade på land eller i vatten, det senare kallas undervattensledning. I bägge fallen är materialval och systemuppbyggnad nästan identiska.

2.1.1 Landinstallationer

På land används PE-rör i vanliga rörsystem. De är att föredra i system där det förekommer stora yttre krafter och stora krav på täthet. Alla rörskarvar är svetsade, så systemen tål dragspänningar bra. PE-rör är flexibla, så att man kan gräva ner dem, och används ofta i områden med dåliga jordförhållanden, som t ex i sumpmarksområden. Vid utfyllnadsarbeten används PE-rör för att samla ihop och transportera både dräneringsvatten och ytvatten.

Val av rör och utförande beror på var rören skall ligga:

- Rör som läggs i schakt måste tåla tryck ovanifrån.
- När man väljer rör som installeras i grunder över marknivå måste man ta hänsyn till värmeutvidgning och axiella krafter.



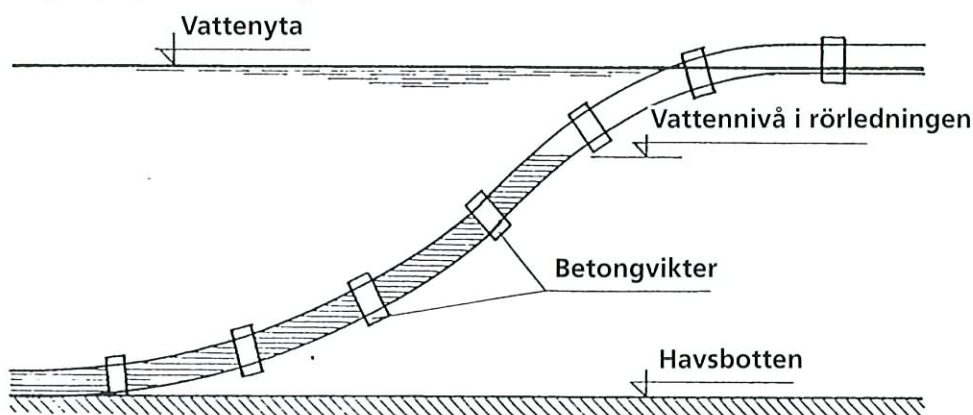
2.1.2 Undervattensinstallationer

PE-rörens flexibilitet har gjort att dessa helt dominerar marknaden för undervattensledning i Skandinavien. Diametern på rörledningarna varierar från 63 mm till 1600 mm, och de ligger på mellan fem och 300 meters djup.

Användningen av undervattensledning för avloppsvatten och färskvatten har ökat markant i Skandinavien sedan tidigt 60-tal, detta på grund av:

- Ökad efterfrågan av bekvämlighet när det gäller dricksvatten och uppsamlande av avloppsvatten.
- En topografi med många floder, sjöar och vikar. Det finns många små ö-samhällen som är beroende av vattenförsörjning från fastlandet.
- Utvecklingen, utformningen och produktionen av polyetenrör har underlättat konstruktionen av undervattensledning jämfört med hur man tidigare använde gjutjärn, asbestcement eller betongrör. Polyeten (PE) har etablerat sig som det dominerande materialet i Skandinavien för undervattensledning. De huvudsakliga anledningarna är:
 1. Polyetenrör (PE-rör) tillverkas i långa längder och bogseras sedan ut till lägningsplatsen. Om rören är i korta längder kan de fogas samman på land med hjälp av svetsfogar som tål dragkrafter. I bägge fallen kan hela rörledningen bogseras flytande i rätt position och sänkas genom att man släpper ut luften i ena änden och fyller vatten i den andra änden, vilket visas i figur 2.1.A. Den här möjligheten gör att polyeten nästan alltid är att föredra framför tyngre och stelare rör, vilka är svårare att hantera. Jämför man den totala kostnaden för anläggningsarbete och inköp av rör blir nästan alltid polyetenrör det billigaste alternativet.

Fig. 2.1.A Sänkning av polyetenrörledning.



2. PE-rör är mer flexibla än konkurrerande rörtyp. De anpassar sig efter en ojämn bottenprofil. Styva rör kan ligga långa sträckor utan bottenkontakt. PE-rör är tillräckligt starka för att kunna motstå jordkrafter och inre och yttre vattentryck, likväl som vågkrafter och strömkrafter.
3. PE-rör påverkas inte av korrosion och har bra motståndskraft mot kemikalier och mekaniskt slitage.

Numera läggs utloppsledning nästan enbart med polyetenrör.

2.1.3 Utfallsledningar

Polyetenrör erbjuder många fördelar som utfallsledning, såsom:

- Okänslighet för aggressiva och salthaltiga miljöer
- Låg vikt och lätta att arbeta med även i långa längder.
- Enkla att lägga skyddat även under vatten genom att använda passande schaktningsmetoder

Tekniken man använder vid utsläpp i havet kräver miljöhänsyn, dvs. att man både undersöker kvalitén på havet och vad avfallet innehåller. Viktiga punkter är:

- Havets förmåga att ta emot avfall.
- Att inte halten av föroreningar, såsom kväve, fosfor, organiskt avfall, metaller och kolibakterier, överstiger gränsvärdet.
- Att se till att avfallet späds ut i havet snarast möjligt.
- Minimera energikostnaderna, speciellt för pumpning.
- Minimera den totala miljöpåverkan till följd av avfallshanteringen. Hanteringen av avloppsvatten från hushåll måste utformas i enlighet med gällande miljöförordningar och -regler. Med andra ord är havets välfärd viktigare än ekonomisk vinst. Polyetenrör tillåter att man konstruerar ett system som både uppfyller miljökraven och är kostnadseffektivt, genom minskad energiåtgång och lägre skötsel- och reparationskostnader. Detta kan uppnås genom att man försäkras sig om att:
 1. Konstruktionen har en rördiameter anpassad till Q_{max} , Q_{min} , Q_{medel}
 2. Avloppsvattnet hamnar tillräckligt långt från land.
 3. Diffusorerna under vatten är byggda så att de förhindrar sedimentation.
 4. Det finns tillräckligt många diffusorer i förhållande till ledningens area och till havsdjupet.
 5. Utspädningen är i balans med vad havet kan ta emot av till exempel syreförbrukande organiskt material.

Vid utsläpp i havet skall systemet vara uppbyggt så att man får rätt balans mellan reningen på land och den rening havet ska utföra. Den viktigaste begränsningen är att havet ska kunna återfå sin ursprungliga kvalitet. Med andra ord måste graden av förorening vara lägre än vad mottagaren maximalt klarar med bibehållen kvalitet.

Den stora utmaningen för konstruktörer av anläggningar för utsläpp av hushållsavloppsvatten i havet är att avgöra om avloppsvattnet ska släppas ut maximalt renat, delvis renat eller orenat. Vad man än väljer är polyetenrör ett viktigt verktyg.

Möjligheterna med polyetenrörledningar visas bäst med några exempel på projekt genomförda med våra rörprodukter i Skandinavien, där klimat, topografi och breddgrad försvårar arbetet med olika röranläggningar.

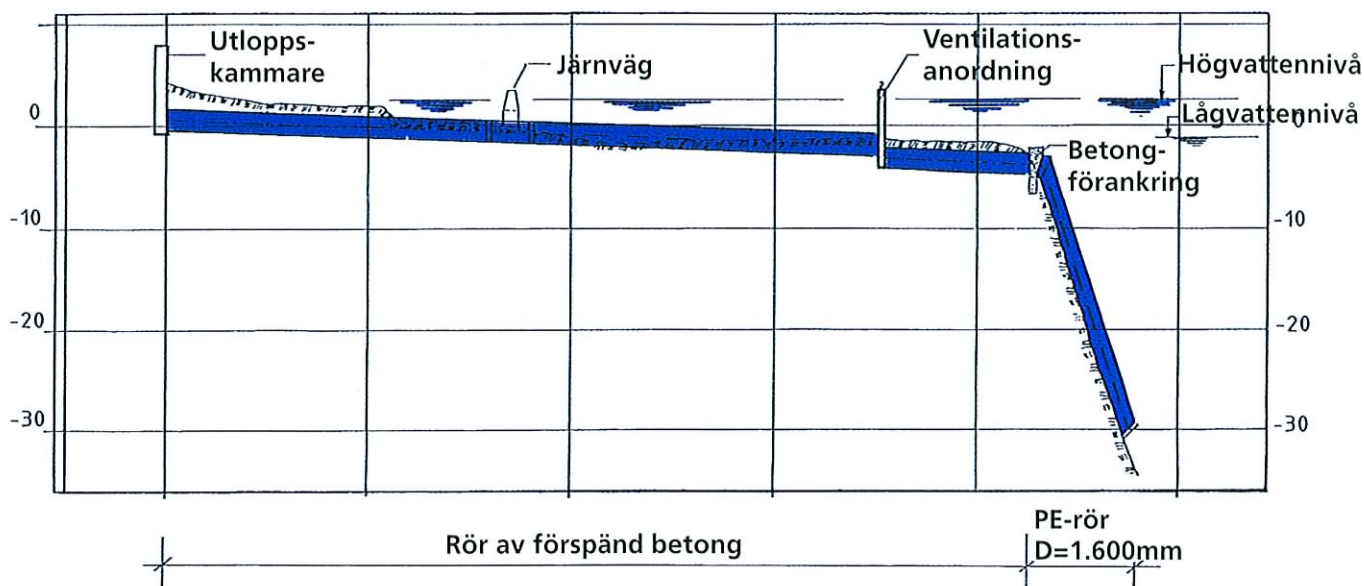
Exempel 1 Industriledning

Fig. 2.1.B visar ett avloppssystem som mynnar i havet från ett stålverk i norra Norge. De viktigaste delarna i avloppsanläggningen är:

- 430 meter rör av förspänd betong med 1800mm diameter, begravda på fyra meters djup. I ändan av betongröret finns förankringsblock av betong. På land är ledningen ansluten till en avloppskammare.
- 90 meter PE-rör med en diameter av 1600 mm på den branta sjöbotten från förankringsblocket till 30 meters djup.

PE-röret tillverkades, transporterades 120 mil på järnväg och monterades i ett stycke. PE valdes framför andra rörmaterial på grund av dess flexibilitet och att det fordrades väldigt lite undervattensarbete vid montering.

Fig. 2.1.B System för utlopp i havet från ett stålverk.



Exempel 2 - Ledning som korsar vatten

Fig. 2.1.C visar i profil en avloppsledning av PE-rör som korsar Glomma, den längsta floden i Norge. Rörledningen har en diameter av 600 mm och dess vägg tjocklek är 55 mm (PN10). Längden på ledningen är 450 meter. En fem meter djup rörgrav på flodbotten krävdes för att undvika skador på ledningen från båtankare. PE-röret valdes på grund av dess flexibilitet, vilket gjorde det möjligt att tillverka hela längden i ett stycke på fabriken, genom att man bogserar det på plats och sänker det i rörgraven på flodbotten. Efter att röret sänkts på plats fylls rörgraven med grus.

Fig. 2.1.C.

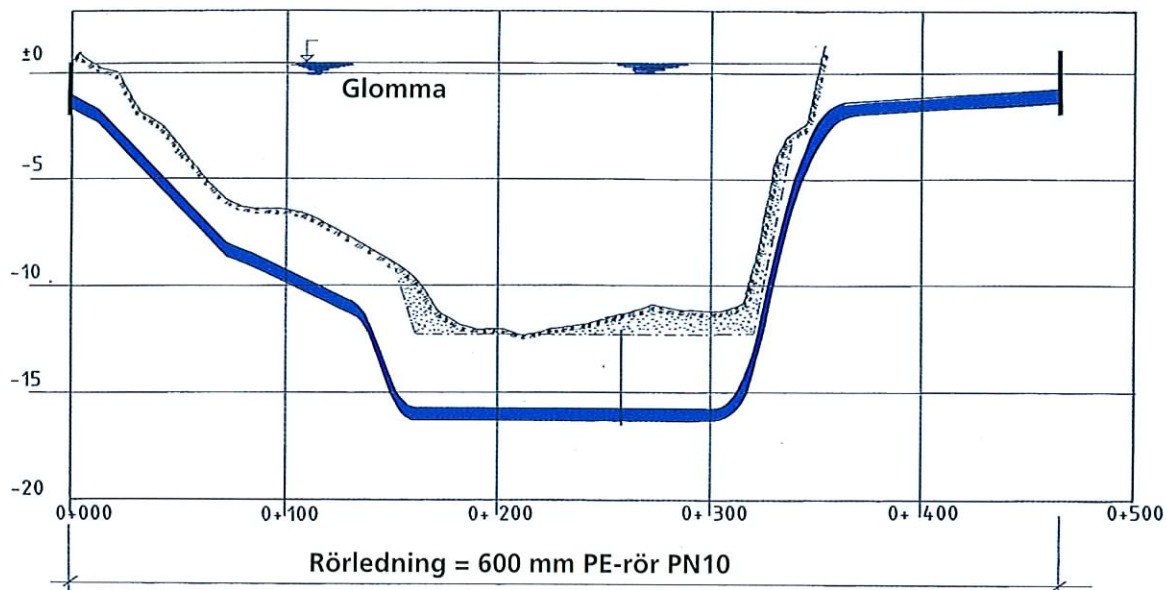
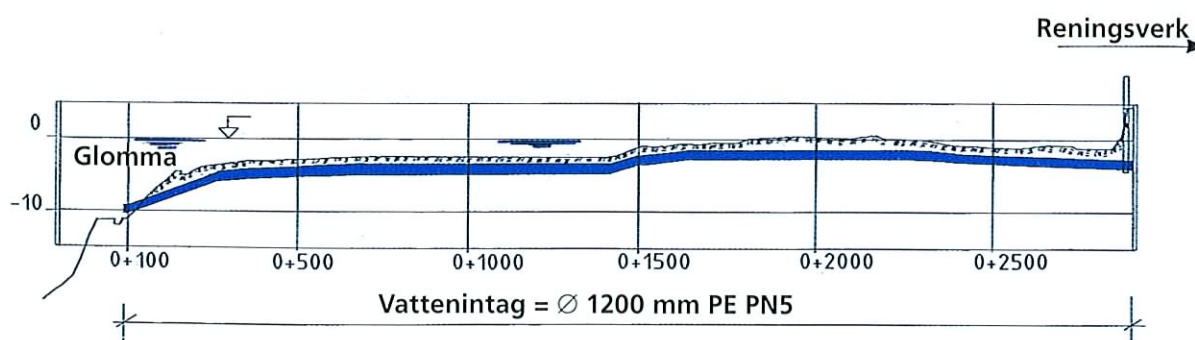
**Exempel 3 - Färskvattenledning**

Fig. 2.1.D visar ett vattenintag i Glomma. Den tre kilometer långa ledningen är 1200 mm. Materialet som används i röret är PE PN5. Flödeskapaciteten är 1,5 m³/sekund. Hela rörledningen ligger i ett dike på mellan två och tre meters djup, för att skyddas mot strömmar, erosion, is och flytande timmerstockar. PE-rör valdes på grund av dess flexibilitet, styrka och den enkla installationen.

Fig. 2.1.D.



2.2 Transport av slaggprodukter

Jämfört med andra material, har PE en utmärkt motståndskraft mot mekaniskt slitage, se 3.2.6.

Därför kan PE-rör användas för att transportera slam från en gruva. Exempel 4 är ett utloppssystem till havet, medan Exempel 5 behandlar deponi på land.

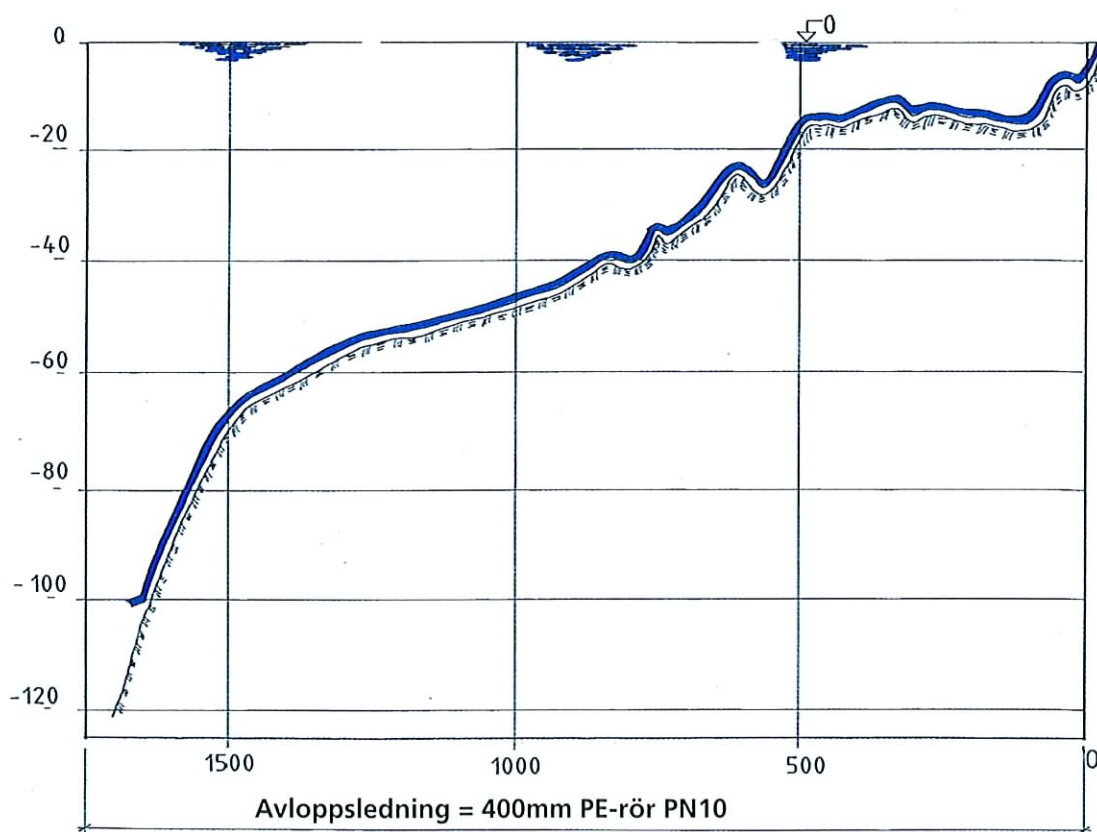
Exempel 4 - Dumpning av slaggprodukter

Fig. 2.2A visar avloppssystemet från en gruva i södra Norge. En 1,7 km lång PE-ledning av typen PN10, med en diameter på 400 mm, användes i en avloppsledning som mynnade på 100 meters djup.

Tillsammans med utloppsledningen som visas i 2.2.A är den totala längden på avloppssystemet 3.7 km.

Avloppssystemet är av typen PN4 och ligger från havsnivån upp till gruvan vars läge är 230 meter över havet.

Terrängen är ojämn och stenig. Flexibiliteten hos PE-röret var här extra värdefull. Framkomligheten i området var dålig, så därför gjordes rörledningen på plats med hjälp av en mobil maskin. Man försökte att tillverka rören i långa längder för att minimera antalet svetsade fogar, vilka kunde åstadkomma turbulens i flödet och därigenom öka det mekaniska slitaget. Inget annat rörmaterial var tänkbart för det här projektet eftersom PE erbjöd den önskvärda flexibiliteten, motståndet mot mekaniskt slitage, ett minimum av skarvar och låg kostnad.



2.2.A. Avloppssystem till havet från en gruva.

Exempel 5 - Transport av slaggprodukter för deponi på land

Avloppssystemet i Exempel 4 användes från 1984 fram till 1994, när skärpta miljöregler krävde att den stängdes. Ett nytt system för att transportera det överblivna materialet till en deponi på land byggdes. Det har varit i drift sedan januari 1994. Dess viktigaste delar är:

Två pumpstationer (för att pumpa slam)

Total kapacitet är 1000 m³/h

Effekt (350+100) kW.

800 meter PE-rör, diameter 280 mm, vägg tjocklek 46,5 mm

1100 m PE-rör, diameter 250 mm, vägg tjocklek 31,5 mm

1700 m PE-rör, diameter 225 mm, vägg tjocklek 9,0 mm

2200 m PE-rör, diameter 450 mm, vägg tjocklek 66 mm

950 m PE-rör, diameter 400 mm, vägg tjocklek 41 mm

För att förhindra sedimentation i rören, flyter vätskan med en hastighet av 2,5 – 3,5 m/s.

Ledningen placerades delvis i en öppen bädd med makadam och delvis i en tunnel. Precis som i Exempel 2 var det nödvändigt att förhindra ojämnheter vid svetskarvarna, detta för att förhindra turbulens som kan orsaka mekaniskt slitage. Två metoder användes för att åstadkomma släta innerväggar.

1. Ett specialgjort verktyg för att ta bort överflödigt material som uppkommit vid svetsning.
2. 90 - 140 meter långa sektioner lyftes med helikopter från havsnivån och transporterades på plats i bergen. De här sektionerna lyftes direkt ner på bädden och sammanfogades med flänskopplingar.

Enbart PE-rör var aktuella för detta projekt.

2.3 Transport av gas

PE är nu det vanligaste rörmaterialet vid gasdistribution vid lågt tryck (upp till 4 bar). Villkoren och säkerhetsföreskrifterna för gasdistribution skiljer sig från de som gäller för vattenledning.

I praktiken är en PN4 bars gasledning likvärdig med en PN10 bars vattenledning. Beroende på deras tjocka väggar är PE-rör för gastransport begränsade till en ytterdiameter på 400 mm. Det finns normer speciellt för PE-rör som används för gastransport, t ex SS3470 och DS213.2. Gasrör av PE är vanligen gula eller svarta med gula linjer. Svetsning av PE-gasrör kräver speciell utbildning och certifiering.

2.4 Relining

Över hela världen läcker många kommunala vatten- och avloppsledningar. Dessa åldrande rörsystem av järn, asbestcement eller betong blir allt svårare att reparera. Ledningarna kan bytas ut genom att man gräver upp och byter rör, vilket är kostsamt, stör trafiken och leder till klagomål från affärsidkare och allmänhet.

Att renovera befintligt rörsystem genom att föra in PE-rör inuti befintliga ledningar är mycket billigare än att gräva och stör inte stadslivet alls lika mycket.



Bild 2.4.A Relining med PE-rör

Bild 2.4.A visar hur man för in PE-rör i en befintlig ledning. Böjradien måste vara större än $30 \times D_0$ för att inte röret ska skadas. Dragkraften måste vara tillräckligt stor för att övervinna friktionen.

Det yttre vattentrycket på det tomma röret ger den största påfrestningen på röret efter montering, eftersom det då inte helt stöds av den gamla omgivande ledningen.

PE-rör i standardlängder svetsas vanligen samman till långa längder innan arbetet börjar. Men om arbetsytan är begränsad, kan man också svetsa ihop rören efterhand, under förutsättning att varje svets skarv hinner kallna tillräckligt länge för att tåla indragningen. Ojämnheterna som uppkommer inuti rören vid svetsning tas bort med ett specialverktyg, detta för att flödeskapaciteten skall vara maximal.

En annan metod för relining har utvecklats i England. För att passa bättre i den gamla ledningen sträcker man ut PE-röret, vilket gör att det får mindre diameter. När det sen har kommit på plats släpper man sträckspänningen och då återfår röret sin ursprungliga diameter och passar perfekt i den gamla ledningen.

2.5 Borrning

I vissa fall går det inte att lägga en ledning med vanliga metoder eller så blir det alldeles för dyrt, till exempel om en ledning ska passera en hårt trafikerad flod. Vid sådana tillfällen kan ledningen läggas i ett horisontalborrat hål under flodbotten.

Många borrhöretag har dessa borrhöretag. Det är lätt att borra hål i lera eller berg medan övriga jordarter kan medföra svårigheter. Hålens riktning kan vara rak eller svängd. I de flesta fall medför borrhöretag att ledningen blir kortare jämfört med om man skulle grävt ner den.

Markförhållandena måste undersökas innan borrhöretag startar. Det som styr valet av hål och rörtyp är :

- böjradie
- friktionskrafter
- utvidgning
- termisk påverkan
- arbetstryck

Borrmotoden har använts vid många lyckade projekt. Alla PE-rör är anpassade för denna typ av användning.

3.0 Produkter

3.1 Normer

Våra polyetenrör produceras i enlighet med de flesta Europeiska normerna, vilket visas i tabell 3.1.1. SDR är förhållandet mellan rörets ytterdiameter och dess vägg tjocklek.

$$SDR = \frac{D_0}{e}$$

Där D_0 är ytterdiametern och e är vägg tjockleken, bägge uttryckta i mm.

Tabell 3.1.1 Internationella och nationella normer för trycksatta polyetenrör (både dricksvatten- och avloppsrör)

Norm	Dim. spänning & σ [Mpa]	MRS klass [MPa]	Typ av PE-material	SDR kontra PN-värde [bar]										
				41	33	26	22	21	17,6	17	13,6	11	9	7,4
NS3622	5	8	MD/HD	2.5	3.2	4	-	-	6	6.3	-	10	12.5	16
NBRF191/97	6.3	10	HPPE								10		16	20
SIS3362	5	8	MD/HD	2.5	3.2	4	-	-	6	6.3	-	10	12.5	16
DS2119	5	8	MD/HD	2.5	3.2	4	-	-	6	6.3	-	10	12.5	16
SBC218	5	10	HPPE			6,3			10			16		
SFS2336-37	5	8	MD/HD	2.5	3.2	4	-	-	6	6,3	-	10	12,5	16
SFS4231E	6.3	8	MD/HD	3.2	4	-	6	6.3	-	-	10	12.5	16	20
WIS 4-32-03 Do ≤ 180 mm	6.3	8	MD	3.2	4	-	-	-	7.5	-	-	12	16	20
Do ≥ 250 mm	5	8	MD	2.5	3.2	4	-	-	6	6.3	-	10	12.5	16
WIS 4-32-09 Do ≤ 180 mm	6.3	8	MD	3.2	4	-	-	-	7.5	-	-	12	16	20
Do ≥ 250 mm	5	8	MD	2.5	3.2	4	-	-	6	6.3	-	10	12.5	16
WIS 4-32-13	8	10	HPPE	4	5	6.3	-	-	10	10	12.5	16	20	25
EN 12201/2	5	6.3	MD/HD	2.5	3.2	4	-	5	6	6,3	8	10	12,5	16
	5	8	MD/HD	2.2	3,2	5	-	5	6	6,3	8	10	12,5	16
	6,3	8	MD/HD	3.2	4	5	6	6,3	-	8	10	12,5	16	20
	6,3	10	HPPE	3.2	4	5	6	6,3	-	8	10	12,5	16	20
	8	10	HPPE	4	5	6,3	-	8	10	10	12,5	16	20	25
KP-rådet	8	10	HPPE	-	-	-	-	-	-	10	12.5	16	-	-
DIN 8074-75	5	8	HD	2.5	3.2	4	-	-	6	6.3	-	10	12.5	16
Ö-NORM	5	8	HD											
B 5172				2.5	3.2	4	-	-	6	6.3	-	10	12.5	16
UNE	5	8	MD/HD			4				6		10		16
53-131-90														
ISO4427	5	6.3	MD/HD	2.5	3.2	4	-	5	6	6,3	8	10	12.5	16
	5	8	MD/HD	2,5	3,2	4	-	5	6	6,3	8	10	12,5	16
	6,3	8	MD/DH	3.2	4	5	6	6,3	-	8	10	12.5	16	20
	6,3	10	HPPE	3,2	4	5	6	6,3	-	8	10	12,5	16	20
	8	10	HPPE	4	5	6.3	-	8	10	10	12.5	16	20	25

Dim. Tryck

Dimensionerande spänning (alla rör enl. ISO R 16111)

MRS klass

Långtidshållfasthet enligt ISO 9080-2 (Minimum Required Strength)

Typ av PE

Polyeten av medium/ hög densitet eller extra stark polyeten

SDR-klass

Rörets ytterdiameter dividerat med dess vägg tjocklek

PN-värde

Tillåtet arbetstryck

PN XX

PN-värden som är skrivna kursivt är inte en del av den angivna nationella standarden men de här rören kan tillverkas i överrensstämmelse med den angivna nationella standarden.

PN XX

PN-värden där värdet är en del av den nationella normen.

3.1.1 Kvalitets- och laborietester

Vi kontrollerar och testar alla rör som vi tillverkar. Testerna utförs i enlighet med ett testprogram och en kvalitetsplan som överrensstämmer med olika nationella normer, för vilka vi är certifierade.

Kontroll- och testrapporter är tillgängliga för den som är intresserad, dessa är gratis för kunden. Tester utöver de som ingår i testprogrammet och kvalitetsplanen kan utföras i vårt laboratorium, detta inkluderar tester av:

- Fysiska dimensioner
- Densitet
- MFI
- Värmestabilitet (OIT)
- UV-stabilisering
- Inre spänningar
- Formstabilitet
- Tryckmotstånd
- Svetsarnas dragbrottgräns

Vi samarbetar med flertalet stora opartiska testlaboratorier i Europa som kan erbjuda ytterligare tester och kontroller.

3.1.2 System- och produktcertifikat

Pipelife i Norden har för tillfället produktcertifikat i Norge, Sverige, Danmark och Finland för polyetenrör avsedda för dricks- och avloppsvatten. Därutöver arbetar Pipelife konstant med Europeiska normer och kan uppfylla dessa för polyetenrör avsedda för dricksvatten.

Pipelife är kvalitetscertifierade enligt ISO 9 000 och miljöcertifierade enligt ISO 14 001.

Pipelifes laboratorier erbjuder också opartisk certifiering av svetsmaskiner enligt DS/INF 70 (INSTA 2072), och företaget kan bistå med:

- Certifiering av svetsmaskiner
- Certifierade svetsmaskiner för uthyrning
- Certifierad svetspersonal

Även om det certifierade svetssystemet är baserat på DS/INF 70 (INSTA 2072), är Pipelifes svetsare vana vid och kan svetsa enligt andra europeiska normer såsom DVS eller WIS.

3.2 Materialegenskaper

Ett rör är utsatt för spänning och tryck under både ett kortsiktigt och ett långsiktigt perspektiv. Den kortsiktiga påfrestningen är till exempel speciellt viktig när man sänker en undervattensledning.

- Kortsiktigt är lika med anslutning och sänkning av undervattensledning, upp till en timme.
- Långsiktigt, som när ledningen är i funktion, från en timme till 100 år.

3.2.1 Mekaniska egenskaper

De grundläggande mekaniska egenskaper beskrivs med följande storheter:

E_O	=	Elasticitetsmodul (Youngs modul) vid tiden noll.
E_C	=	Krypmodul, $t > 0$, $s < 0$ och konstant.
E_R	=	Relaxationsmodul, $t > 0$, $e > 0$ och konstant
σ_y	=	Sträckgräns
σ_O	=	Spänning vid tid = noll
σ_C	=	Krypmotstånd vid tid $>$ noll
ν	=	Kontraktionstal (Poissons konstant)

Långtidsvärdet av σ_C följer det vanliga regressionsdiagrammet, som visar krypmotstånd jämfört med den påförda spänningen till brott.

Notera: I praktiken antas att relaxationsmodulen, E_R , är lika med krypmodulen, E_C

$$E_R = E_C$$

Mekaniska egenskaper vid 20°C och kortsiktigt perspektiv:

HPPE

<i>High-performance polyeten</i>	MRS = 10 MPa
	$E_O = 1050 \text{ N/mm}^2$
	$E_R \approx E_O \text{ (N/mm}^2\text{)}$
	$\sigma_y = 23 - 25 \text{ N/mm}^2$
	$\sigma_O \geq 16 \text{ N/mm}^2$
	$\nu = 0.4 - 0.5$

PE-HD

<i>High-density polyethylene</i>	MRS = 8 MPa
	$E_O = 800 - 1050 \text{ N/mm}^2$
	$E_R \approx E_O \text{ (N/mm}^2\text{)}$
	$\sigma_y = 21 - 24 \text{ N/mm}^2$
	$\sigma_O \geq 16 \text{ N/mm}^2$
	$\nu = 0.4 - 0.5$

PE-MD

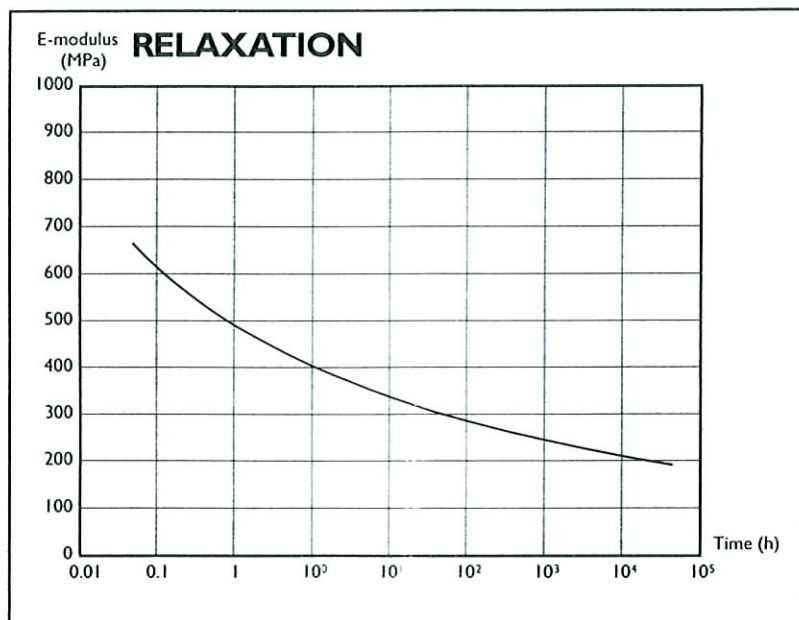
<i>Medium-density polyethylene</i>	MRS = 8 MPa
	$E_O = 750 - 850 \text{ N/mm}^2$
	$E_R \approx E_O \text{ (N/mm}^2\text{)}$
	$\sigma_y = 19 - 22 \text{ N/mm}^2$
	$\sigma_O \geq 15 \text{ N/mm}^2$
	$\nu = 0.4 - 0.5$

Krypmodulen, E_C , definieras som :

$E_C = \sigma/\epsilon$ vid konstant σ och relaxationsmodulen, E_R definieras som $E_R = \sigma/\epsilon$ vid konstant ϵ

Fler detaljer se, referenslistan [1],[2] och [4] i kapitel 7.

Relaxationen visas som en funktion av tiden i figur 3.2.A.



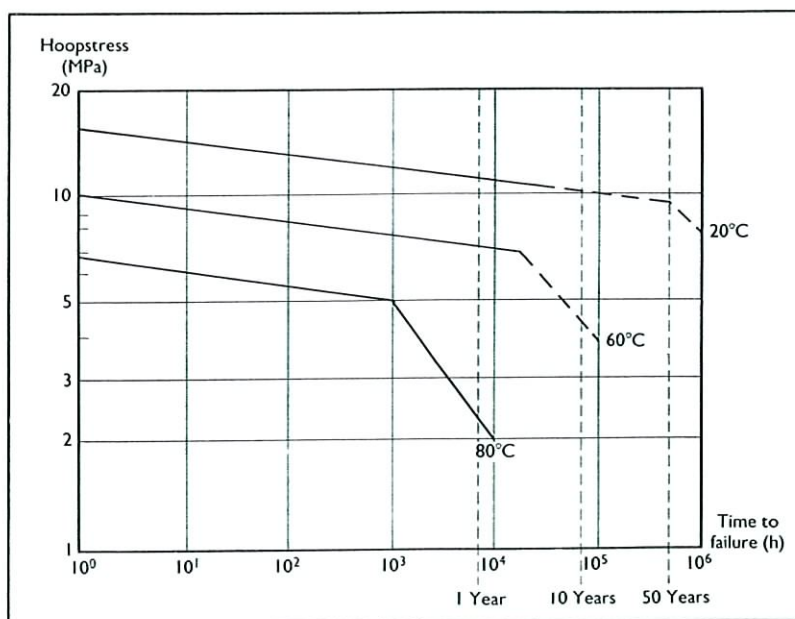
E-modulus acc. to SS 3519 Strain 1.2%

Fig. 3.2.A Relaxationsdiagram

En typisk regressionskurva för ett PE-HD-rör visar krypmotståndet, σ_C , som funktion av tiden som röret varit utsatt för spänning (till brott), med temperaturen T som en parameter. Fig. 3.2.B.

Obs. Figur 3.2.B är en av de mest betydelsefulla hjälpmedlen när man dimensionerar polyetenrör, både på kort och lång sikt.

Fig. 3.2.B Regressionskurvor



När man dimensionerar PE-rör, spelar kvoten

$$SDR = \frac{D_0}{e}$$

där D_0 är ytterdiametern och e är godstjockleken, en viktig roll. Detta värde beror på ett rörs SDR-klass eller dess tillåtna arbetstryck, PN och den dimensionerande spänningen, σ .

För den första generationen av polyetenrör fastslogs att den dimensionerande spänningen skulle vara $\sigma = 5,0$ N/mm² (ISO R161). När det gäller den andra generationen PE-rör ökades spänningen till $\sigma = 6,3$ N/mm² för att mer överensstämma med förbättringen av rormaterialet. För den tredje generationen av PE-rör har spänningen ökat till $\sigma = 8,0$ N/mm². 50-årsfaktorn har också reducerats efterhand, dock inte fullt så mycket som förhållandet 5: 6,3 : 8, beroende på förbättringen av krypmotståndet, σ_C .

D_0/e och e/D_0 värdena visas i tabell 3.2.1.

Tabell 3.2.1. värdet D_0/e och e/D_0 av standard PE-rör i relation till SDR och PN.

	Standard polyetenrör					
Tryckklass	SDR26 PN4	SDR17.6 PN6	SDR17 PN6.3	SDR11 PN10	SDR11 PN16	SDR11 PN20
Förhållande	Dimensionerande spänning $\sigma_{5,0}$					
SDR= D_0/e	26	17.5	–	11	7.3	–
e/D_0	0.038	0.06	–	0.09	0.0137	–
Förhållande	Dimensionerande spänning $\sigma_{6,3}$					
SDR= D_0/e	–	–	21	13.6	9	7.3
e/D_0	–	–	0.048	0.074	0.111	0.137
Förhållande	Dimensionerande spänning $\sigma_{8,0}$					
SDR= D_0/e	–	–	–	17	11	9
e/D_0	–	–	–	0.06	0.09	0.111

3.2.2 Materialegenskaper

De polyetenrör som används kan delas in i olika grupper beroende på deras MRS-klass. Idag finns det två olika grupper med material, PE-80 (MRS 8) och PE-100 (MRS10). PE-100 kallas vanligtvis HPPE (High Performance Polyethylene). PE-80-materialen delas in i två undergrupper, benämnda PE-MD (Medium Density Polyethylene) och PE-HD (High Density Polyethylene). Dessa bägge PE-80 material har samma styrka men något annorlunda egenskaper. Egenskaperna hos dessa material visas i tabell 3.2.2.

Tabell 3.2.2. Plastens egenskaper

EGENSKAP	ENHET	TESTMETOD	VANLIGA VÄRDEN		
			PE-80	PE-80 PE-MD	PE-100 PE-HD
		HPPE			
Densitet	kg/m ³	ISO 1872/1183	948	953	961
Smältindex	g/10 min	ISO 1133 (190°C/5kg)	0.8	0.5	0.4
Sträckgräns	N/mm ²	ISO 6259	19	21	23
Förlängning vid sträckgräns	%	ISO 6259	9	9	8
Förlängning vid brott	%	ISO 6259	>600	>600	>600
Charpy slaghållfasthet	kJ/m ²	ISO 179 (Unnotched)	Inget brott	Inget brott	Inget brott
Böjkrypmodul	N/mm ²	ISO 6259	600	800	1050
Hårdhet shore D		ISO R 868	60	61	61
Miljöpåverkan					
Sprickmotstånd	h	ASTM D 1693 (Condition A)	5000	1000	
Vicat mjukningspunkt	°C	ISO R 306	124	121	119
Medelvärde av termisk utvidgning	mm/m°C	ASTM 696	0.2	0.2	0.2
Termisk stabilitet	Min	ISO/TR-10837(210°C)	>15	>15	>15

Egenskaperna hos materialet vid produktionen kan skilja sig från värdena som finns i tabell 3.2.2. Kontakta Pipelife om Ni är intresserad av de specifika värdena för en speciell typ eller upplaga av rör.

3.2.3 Toxicitet

Pipelifes rör innehåller inga vattenlösliga medel som överför smak, lukt eller gifter. PE-rör rekommenderas därför för dricksvattensförsörjning. Hälsodeklarationer utgivna av de flesta europeiska länder finns tillgängliga vid förfrågan. Testrapporter angående toxicitet utförda av neutrala institutioner finns också tillgängliga vid förfrågan.

3.2.4 Miljöhänsyn

Polyeten är klassat som ett miljövänligt material. Det överför ingen smak, lukt eller gift till omgivningarna. Polyeten är återanvändningsbart, så det finns inget behov av specialbehandling eller förvaring av gamla / skrotade rör. Via ett samarbete i NPG:s (Nordiska Plaströrgruppens) regi tar Pipelife emot skrotpolyeten för återanvändning. Detta gäller även övriga rörplaster.

3.2.5 Kemisk motståndskraft

Polyetenrör är inte bara användbara för att transportera dricks- eller avloppsvatten, de är också rekommenderade för transport av en stor mängd kemikalier och vatten som innehåller kemikalier. PE-rörens användbarhet beror på kemikalien i fråga, detta visas i tabell 3.2.5.

Användbarheten delas in i fyra grupper beroende på utvidgning, viktminskning och minskad tøjbarhet (ökad sprödhet).

T = Tillfredsställande.	Svällning <3% Viktminskning < 0.5% Ingen märkbar skillnad i tøjbarhet.
B = Begränsad	Svällning >3% <8% Viktminskning >0.5% <5% Tøjbarheten reducerad med <50%
EA = Ej Användbar	Svällning >8% Viktminskning >5% Tøjbarheten reducerad med >50 %.
M = Sprickpropageringsämne	

Data till tabellen är hämtad från ett flertal olika publikationer. Den här informationen är endast en vägledning och visar polyetens egenskaper i en opåverkad miljö endast utsatt för de inblandade kemikalierna.

Ämne	Konc. %	20°C	60°C	Ämne	Konc. %	20°C	60°C
Aceton	100	T	T	Fluorkiselsyra	9	T	T
Acetaldehyd	100	T	B	Fluorvätesyra	40-70	T	T/B
Acetylen	Gas	T	T	Formaldehyd	40	T	T
Acrylnitril	100	T	T	Fosfater	lösning	T	T
Akryl polymerer		T/M	T/M	Fosforsyra	<50	T	T
Alkohol	96	T	T	Fosforsyra	98	T	B/EA
Aluminium salter	lösning	T	T	Fotogen		T/B	B
Ammoniak	gas, vätska	T	T	Ftalsyra	50	T	T
Ammonium salter	lösning	T	T	Furfuryl alkohol	100	T	B
Amylacetat	100	T	B				
Anilin	100	B	B	Gallsyra		T/M	T/M
Antimontriklorid	100	T	T	Garvsyra		T/M	T/M
				Glycerin		T	T/B
Barium salter	lösning	T	T	Glycin		T	T
Bensin		T/M	T/B	Glykolsyra	30	T/M	T/M
Benzaldehyd	100	T	T				
Benzen	100	T	EA	Heptan	100	T	EA
Benzensuphonic	100	T/M	T/M	Hexaklorbenzen	100	T	T
Bly salter	lösning	T	T	Hypoklorit	lösning	T	T
Brine (saltlösning)	lösning	T	T				
Bromin	vätska	EA	EA	Isooktan	100	T	B
Bromin	ånga	EA	EA	Isopropanol	100	T	T
Butadien	100	EA	EA				
Butan	gas	T	T	Jod		T	T
Butanol	100	T	T	Järn II salter	lösning	T	T
Butylacetat	100	B	EA	Järn III salter	lösning	T	T
Butylglykol	100	T	T	Jäst	flytande	T	T
Bärnstensyra	lösning	T	T				
				Kalcium salter	lösning	T	T
Citronsyra		T/M	T/M	Kalilut		T	T
Cyanväte	10	T	T	Kalium salter	lösning	T	T
Cyklohexan	100	B	B	Karbonatsyra	100	T	T
Cyklohexan	100	B	B	Ketoner		T	T/B
				Kiselsyra		T	T
Decahydronaftalen	B	EA	Klor	våt lösn	B	EA	
Dietylglykol	100	T/M	T/M	Klor	torr gas	B	EA
Diklorbenzen		B	EA	Klor	vätska	EA	EA
Dikloreten	100	B	B	Klorobenzen	100	B	EA
Dikloreten	100	EA	EA	Kloroform	100	EA	EA
Diklorättiksyra	100	T	B	Klorättiksyra	100	T	T
Diklorättiksyra	50	T	T	Koldioxid	100	T	T
Dinatriumvätefosfat	100	T	T	Koldisulfid	100	B	
				Kolmonoxid	100	T	T
Emulgeringsmedel	T/M	T/M		Koltetraklorid	100	EA	EA
Epoxy plaster	100	T	T	Koppar salter	lösning	T	T
Estrar		T	T/B	Kresol	100	T	T
Eter	100	T/M	B	Krom salter	lösning	T	T
Etyl alkohol	100	T/M	T/M	Kromsyra	lösning	T	T
Etylacetat		B	B	Kungsvatten	100	EA	EA
Etylglykol	100	T/M	T/M	Kvicksilver	100	T	T
Etyleter	100	B	B	Kvicksilver salter	lösning	T	T
Fenol		T	T	Linolja	100	T	T
Fettsyror	>C6	T/M	T/M				
Fluor	100	EA	EA	Magnesium salter	lösning	T	T

Ämne	Konc. %	20°C	60°C	Ämne	Konc. %	20°C	60°C
Maleinsyra	50	T	T	Terpentin	100	B	EA
Mangan salter	lösning	T	T	Tetrabromoeten	100	EA	EA
Metanol		T/M	T/M	Tetrahydrofuran	100	B	EA
Metylbromid		B	EA	Tetralin	100	T	B
Metylglykol		T	T	Tiofen	100	B	B
Mineralolja		B	B	Tioglykolsyra	100	T	T
Mjölksyra	100	T/M	T/M	Toluen	100	B	EA
Monoklorättiksyra		T	T	Trietanolamin		B	B
Myrsyra		T/M	T/M	Triklorättiksyra	<50	T	T
Nafta		T	B	Urea		T/M	T/M
Naftalin	100	T		Urin		T	T
Natrium salter	lösning	T	T	Vatten		T	T
Naturgas		T	T	Vin	100	T	T
Nickel salter	lösning	T		Vinsyra	lösning	T	T
Nitrobenzen	100	EA	EA	Vinäger		T	T
Oxalsyra	50	T/M	T/M	Väte	100	T	T
Oleum		EA	EA	Vätebromid	<50	T	T
Oljesyra	100	T/M	T/M	Väteperoxid	70	T	
Ozon	gas	EA	EA	Väteperoxid	30	T	T
Ozon	lösning	T	T	Vätesulfid		T	
Paraffinolja		T	B	Xylen	100	B	EA
Perklorsyra	70	T	B	Zink salter	lösning	T	T
Perklorsyra	20-50	T	T	Äppelsyra		T	T
Perklorsyra	<20	T	T	Ättiksyra	01-10	T/M	T/M
Polyglykoleter		T	T	Ättiksyra	100	T/M	T/M
Propan	100	T	T	Öl		T	T
Propansyra	100	T	B				
Propansyra	50	T	T				
Propylenglykol		T/M	T/M				
Pyridin	100	T	EA				
Rengöringsmedel		T/M	T/M				
Råolja		T	T/B				
Salpetersyra	25	T	T				
Salpetersyra	50	B	EA				
Salpetersyra	98	EA	EA				
Saltsyra		T	T				
Silversalter	lösning	T	T				
Smörsyra	100	T	B				
Stearinsyra	100	T/M	T/M				
Stärkelse		T	T				
Svaveldioxid	våt	T	T				
Svaveldioxid	torr	T	T				
Svavelhaltig syra	30	T	T				
Svavelsyra	50-80	T	B				
Svavelsyra	95	B	EA				
Svavelsyra	<50	T	T				
Svaveltrioxid		EA	EA				
Tenn II salter	lösning	T	T				
Tenn IV salter	lösning	T	T				

3.2.6 Mekaniskt slitage

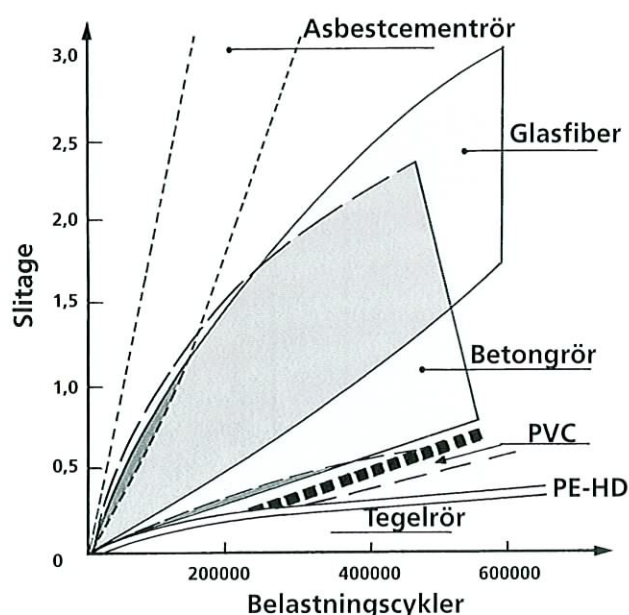
Det har visat sig att PE-rör är mycket motståndskraftiga mot nötning och korrosion, dessutom är tryckfallet lågt vid transport av material som åstadkommer stort slitage, såsom är fallet vid till exempel muddringsarbeten eller transport av slam i samband med malmhantering (fig.3.2.C), och i rör för pumpbetong eller slaggprodukter i gruvor.

Fig.3.2.C Rörledning för transport av slam.



Fig. 3.2.D visar medelvärdet av nötningen (avskavningen) a_m för olika material vid tester utförda med den så kallade våta metoden som har utvecklats vid Tekniska Högskolan i Darmstadt. Provstycket består av en 1 meter lång halvrund rördel med diameter 300, som sakta vaggas från sida till sida med en frekvens av 0,18Hz. Testmaterialet som används för att bestämma nötningen består av kvartssand/grus /vatten, blandningen innehåller cirka 46% sand/grus med en partikelstorlek från 0- 30 mm. Med en avskavning på 0,3 mm efter 400 000 testcykler är PE-röret mycket motståndskraftigare mot mekaniskt slitage än andra rörtyper. (Betong 0,7 - 2,3 mm, Glasfiberrör 1,6 - 3,0 mm)

Fig.3.2.D Medelslitage a_m för olika material vid tester utförda med den så kallade våta metoden som har utvecklats vid Tekniska Högskolan i Darmstadt.



Slitaget på PE-ledningens väggar beror också på slammets hastighet. Erfarenheter från slaggtransporter visar att strömningshastigheter över 5 m/s inte är att rekommendera.

3.3 Produktsortiment

3.3.1 Rör

Pipelifes polyetenrör tillverkas i enlighet med existerande nationella standarder och normer i Europa. Följande tabell visar Pipelifes produktbredd. Se tabell 3.1.1 för en komplett lista med nationella standarder tillsammans med SDR-klass och tillåtna tryck.

Fig.3.3.1 Beteckningar på olika polyetenrör.

Beteckning	σ [Mpa]	MRS [MPa]	C	SDR vs PN [bar]									
				41	33	27.6	26	22	17.6	17	13.6	11	9
PE-80	5	8	1.6	PN2.5	PN3.2		PN4		PN6	PN6.3		PN10	PN12.5
PE-80	6.3	8	1.25	PN3.2	PN4			PN6				PN10	PN12.5
PE-100	6.3	10	1.6	PN3.2	PN4			PN6				PN10	PN12.5
PE-100	8	10	1.25	PN4		PN6	PN6.3			PN10	PN12.5	PN16	PN20

Beteckning: Typ av PE-material (PE-80 kan vara både PE-MD och PE-HD)
 σ : Dimensionerande spänning
 MRS: Långtidshållfasthet enligt ISO 9080-2
 C: Säkerhetsfaktor
 SDR-klass: Utvändigt rördiameter dividerat med godstjocklek
 PN: Tillåtet arbetstryck

Fig.3.3.1.a Ytterdiameter, väggjocklek och vikt i olika SDR-klasser

D _o [mm]	SDR 41		SDR 33		SDR 27,6		SDR 26		SDR 22	
	e[mm]	kg/m	e[mm]	kg/m	e[mm]	kg/m	e[mm]	kg/m	e[mm]	kg/m
20										
25										
32										
40									2.0	0.251
50					2.0	0.317	2.0	0.317	2.3	0.356
63			2.0	0.395	2.3	0.455	2.5	0.482	2.9	0.561
75			2.3	0.555	2.7	0.640	2.9	0.682	3.4	0.791
90	2.3	0.633	2.8	0.800	3.3	0.917	3.5	0.987	4.1	1.14
110	2.7	0.850	3.4	1.17	4.0	1.36	4.2	1.45	5.0	1.69
125	3.1	1.23	3.9	1.53	4.5	1.75	4.8	1.86	5.7	2.18
140	3.5	1.50	4.3	1.88	5.1	2.19	5.4	2.35	6.4	2.73
160	4.0	1.86	4.9	2.50	5.8	2.86	6.2	3.08	7.3	3.55
180	4.4	2.50	5.5	3.15	6.5	3.61	6.9	3.83	8.2	4.49
200	4.9	3.08	6.2	3.85	7.2	4.46	7.7	4.74	9.1	5.54
225	5.5	3.90	6.9	4.89	8.1	5.63	8.6	5.96	10.2	7.00
250	6.2	4.77	7.7	6.09	9.0	6.95	9.6	7.38	11.4	8.64
280	6.9	5.96	8.6	7.55	10.1	8.71	10.7	9.20	12.7	10.8
315	7.7	7.60	9.7	9.7	11.4	11.0	12.1	11.7	14.3	13.7
355	8.7	9.60	10.9	12.1	12.8	14.0	13.6	14.8	16.1	17.4
400	9.8	12.5	12.3	15.7	14.5	18.1	15.3	19.1	18.2	22.5
450	11.0	15.8	13.8	19.9	16.3	22.9	17.2	24.2	20.5	28.5
500	12.3	19.4	15.3	24.4	18.1	28.3	19.1	29.9	22.7	35.2
560	13.7	24.4	17.2	30.7	20.2	35.5	21.4	37.5	25.5	44.1
600	14.7	27.8	18.7	35.2	21.7	40.7	23.1	43.3	27.3	50.6
630	15.4	30.8	19.3	38.7	22.8	44.9	24.1	47.4	28.6	55.8
710	17.4	39.0	21.8	49.2	25.7	57.0	27.2	60.2	32.3	70.9
800	19.6	49.5	24.5	62.4	28.9	72.3	30.6	76.3	36.4	89.9
900	22.0	62.8	27.6	79.0	32.5	91.5	34.7	97.4	40.9	113.8
1000	24.5	77.0	30.6	98.0	36.1	112.9	38.5	120.0	45.5	140.4
1100	26,8	93,5	34,1	117,9	39,8	136,6	42,3	145,0	50,0	169,9
1200	29.4	111.0	36.7	140.0	43.4	162.5	46.2	173.0	54.5	202.2
1400	34.3	151.3	43.4	190.9	50.6	221.1	53.8	234.7	63,6	275,2
1600	39.2	198.0	49.0	249.0	57.8	288.8	61.2	306.0		

D_o = Ytterdiameter e = Minsta väggjocklek Vikt i kg/m

Fig.3.3.1.b Ytterdiameter, väggjocklek och vikt i olika SDR-klasser

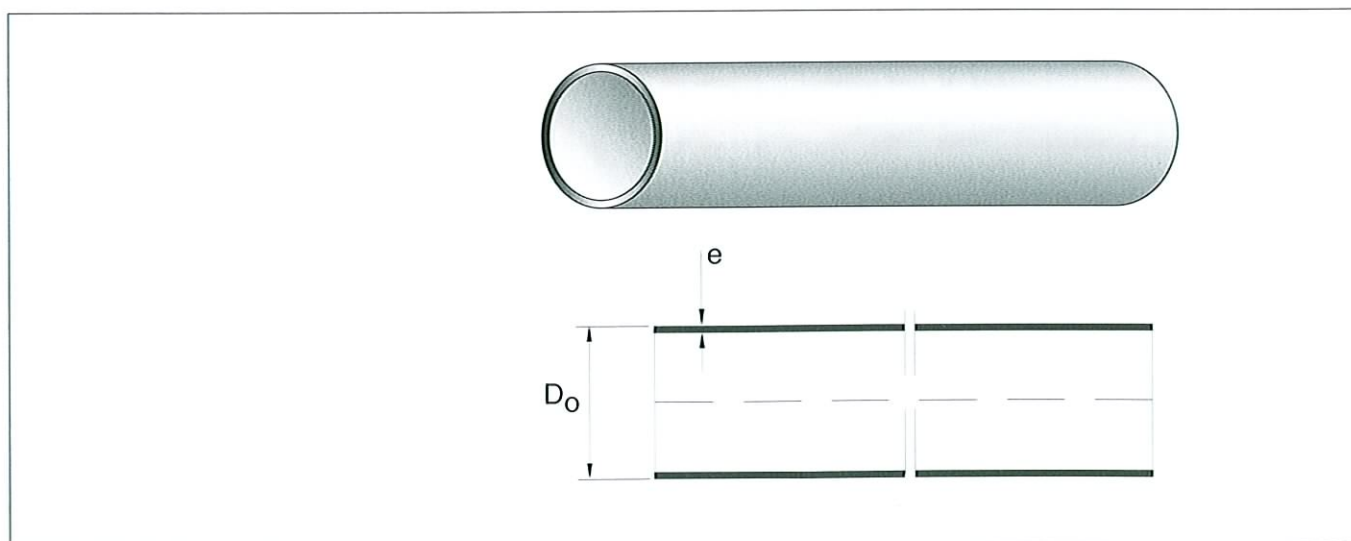
D _o [mm]	SDR 17.6 S		SDR 17 S		SDR 13.6		SDR 11		SDR 9	
	e[mm]	kg/m	e[mm]	kg/m	e[mm]	kg/m	e[mm]	kg/m	e[mm]	kg/m
20							2.0	0.118	2.3	0.133
25					2.0	0.151	2.3	0.168	3.0	0.213
32	2.0	0.197	2.0	0.200	2.4	0.228	3.0	0.273	3.6	0.326
40	2.3	0.288	2.4	0.290	2.9	0.354	3.7	0.424	4.4	0.507
50	2.9	0.445	3.0	0.460	3.7	0.550	4.6	0.659	5.6	0.789
63	3.6	0.695	3.8	0.730	4.6	0.869	5.8	1.04	7.0	1.25
75	4.3	0.986	4.5	1.03	5.5	1.23	6.8	1.47	8.3	1.77
90	5.1	1.40	5.4	1.47	6.6	1.76	8.2	2.12	10.0	2.54
110	5.3	2.10	6.6	2.19	8.1	2.63	10.0	3.16	12.2	3.79
125	7.1	2.69	7.4	2.79	9.2	3.39	11.4	4.07	13.9	4.89
140	8.0	3.37	8.3	3.50	10.3	4.25	12.7	5.11	15.6	6.12
160	9.1	4.40	9.5	4.57	11.8	5.54	14.6	6.66	17.8	7.99
180	10.2	5.54	10.7	5.77	13.2	7.01	16.4	8.43	20.0	10.1
200	11.4	6.86	11.9	7.10	14.7	8.65	18.2	10.4	22.2	12.5
225	12.8	8.64	13.4	9.03	16.5	10.9	20.5	13.2	25.0	15.8
250	14.2	10.7	14.8	11.1	18.4	13.5	22.7	16.2	27.8	19.5
280	15.9	13.3	16.6	13.9	20.6	16.9	25.4	20.4	31.1	24.4
315	17.9	16.9	18.7	17.2	23.2	21.4	28.6	25.8	35.0	30.9
355	20.1	21.4	21.1	22.4	26.1	27.2	32.2	32.7	39.4	39.3
400	22.7	27.8	23.7	28.9	29.4	35.2	36.3	42.4	44.4	50.8
450	25.5	35.1	26.7	36.6	33.1	44.6	40.9	53.6	50.0	64.3
500	28.3	43.3	29.6	45.1	36.8	55.0	45.4	66.2	55.6	79.4
560	31.7	54.2	33.2	56.6	41.2	69.0	50.8	83.0	62.2	99.6
600	34.0	62.3	35.6	65.4	44.1	79.2	54.5	95.3		
630	35.7	68.7	37.4	71.8	46.3	87.3	57.3	105.0		
710	40.2	87.2	42.1	91.0	52.2	110.8	64.5	134.3		
800	45.3	111.0	47.4	115.0	58.8	140.7				
900	51.0	140.0	53.4	146.0	66.2	178.1				
1000	56.5	173.0	59.3	180.0						
1100	62.3	209.0	65.2	218.0						
1200	67.9	248.5								
1400										
1600										

 D_o = Ytterdiameter

e = Minsta väggjocklek

Vikt i kg/m

Fig. Polyetenrör



3.3.2 Monteringsdetaljer - bordringar / lösflänsar

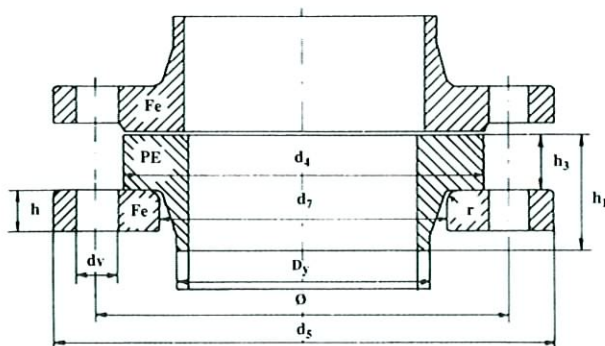
Se tabell 3.1.1 för en komplett lista med nationella standarder tillsammans med SDR-klass och tillåtna tryck.

Fig.3.3.2.a Bordringar/lösflänsar vid olika SDR-klasser.

Do [mm]	d4 [mm]	BORDRINGAR								LÖSFLÄNSAR			Tryck- löst PN10			BULTAR		
		SDR 33		SDR 26		SDR 17,6		SDR 11		d5	d7	Ø	h	h	r	Antal	M	dv
		h1	h3	h1	h3	h1	h3	h1	h3									
20	45							35	10	95	32	65		14	2	4	12	14
25	58							37	12	105	38	75		14	2	4	12	14
32	68							37	12	115	48	85		16	2	4	12	14
40	78					39	14	39	14	140	55	100		16	2	4	16	18
50	88					45	16	45	16	150	66	110		16	2	4	16	18
63	102					48	18	48	18	165	78	125		16	2	4	16	18
75	122					50	20	50	20	185	92	145		16	2	4	16	18
90	138					52	22	52	22	200	108	160		18	2	8	16	18
110	158			52	26	52	26	52	26	220	128	180		18	2	8	16	18
125	158			53	28	53	28	53	28	220	135	180		18	2	8	16	18
140	188			54	29	54	29	54	29	250	155	210		18	3	8	16	18
160	212			55	30	55	30	55	30	285	178	240		18	3	8	20	23
180	212			70	34	70	34	70	34	285	188	240		18	3	8	20	23
200	268	65	28	65	28	69	32	72	40	340	225	295		20	5	8	20	23
225	268	68	30	68	30	72	34	75	42	340	238	295		20	3	8	20	23
250	320	68	32	68	32	74	38	75	45	395	273	350		22	5	12	20	23
280	320	67	34	67	34	75	42	87	54	395	294	350		26	3	12	20	23
315	370	71	36	71	36	81	46	93	58	445	329	400	25	26	5	12	20	23
355	430	77	40	77	40	87	50	103	66	505	376	460	25	28	4	16	20	23
400	482	85	44	85	44	97	56	113	72	565	430	515	25	32	4	16	24	27
450	535	75	41	78	44	86	52	97	64	615	465	565	25	36	6	20	24	27
500	585	79	44	82	47	90	55	103	67	670	515	620	25	38	6	20	24	27
560	645	82	45	87	50	95	57	108	70	780	575	725	25		7	20	27	30
600	690	85	45	92	52	100	60	110	73	780	615	725	25		7	20	27	30
630	690	90	48	97	56	105	64	111	75	835	645	725	25		7	20	27	30
710	805	100	56	104	60	112	70	125	85	895	725	840	25		7	24	27	30
800	900	115	70	122	77	130	85	140	95	1015	815	950	25		7	24	30	33
900	1005	127	79	134	86	135	90			1115	915	1050	25		7	28	30	33
1000	1110	138	88	145	96	145	100			1230	1015	1160	25		7	28	33	36
1100	1330	160	100	175	100	175	120			1455	1230	1380	30		7	32	36	39
1200	1330	160	100	175	100	175	120			1455	1215	1380	30		7	32	36	39
1400	1535	180	105	180	105					1675	1435	1590	30		7	36	39	42
1600	1760	191	110	195	115					1915	1640	1820	30	10		40	45	48

Fler SDR-klasser är tillgängliga vid förfrågan

Fig. Bordring med lösfläns

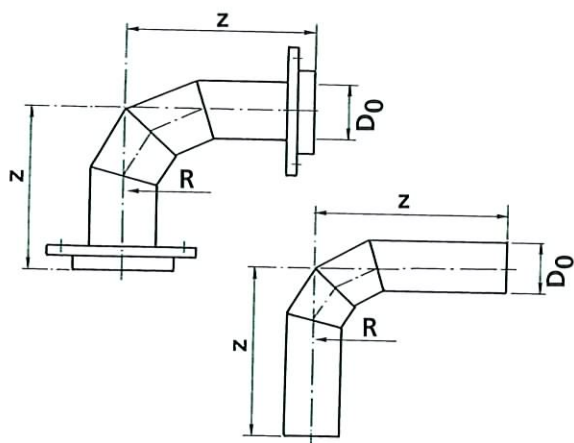


3.3.3 Monteringsdetaljer - Böjar med lång eller kort skänkelängd

Fig.3.3.3.b Böjar

$R=1,5OD$		PE Böjar med lång (L) och kort (S) skänkelängd						
D_o [mm]	30° w/S Z [mm]	30° w/L Z [mm]	45° w/S Z [mm]	45° w/L Z [mm]	60° w/S Z [mm]	60° w/L Z [mm]	90° w/S Z [mm]	90° w/L Z [mm]
20	50	400	50	410	60	410	60	430
25	50	410	50	410	60	420	60	430
32	60	410	70	420	80	420	100	440
40	70	410	80	420	90	430	120	450
50	80	410	90	430	100	440	130	470
63	90	410	100	430	110	450	150	490
75	100	420	110	440	120	450	165	500
90	110	420	120	450	130	470	180	520
110	120	420	130	460	140	480	180	550
125	130	430	130	470	140	490	180	570
140	130	430	140	470	150	500	190	590
160	90	430	115	480	140	520	210	620
180	110	440	135	490	165	530	240	650
200	310	440	370	500	410	550	540	670
225	300	450	400	500	450	550	600	700
250	300	450	400	550	450	600	600	750
280	400	650	500	750	550	800	750	1000
315	450	650	550	750	600	850	800	1050
355	450	650	550	800	650	850	850	1100
400	500	800	650	900	750	1000	1000	1250
450	500	800	650	950	750	1050	1050	1300
500	550	800	700	950	800	1050	1100	1400
560	500	800	700	1000	800	1100	1200	1500
600	600	800	700	1000	900	1100	1300	1500
630	600	900	800	1100	1000	1300	1400	1700
710	600	900	900	1200	1000	1300	1500	1800
800	800	1200	1000	1400	1200	1600	1700	2100
900	800	1200	1100	1500	1300	1700	1900	2200
1000	800	1200	1200	1500	1400	1700	2000	2400
1100	900	1200	1300	1600	1500	1900	2300	2600
1200	900	1200	1300	1600	1500	1900	2300	2600
1400	1000	1300	1400	1700	1700	2000	2600	2900
1600	1000	1300	1500	1800	1900	2200	2900	3200

Andra utseenden är tillgängliga vid förfrågan



3.3.4. Monteringsdetaljer T-rör 90°

Fig.3.3.4.c T-rör 90°

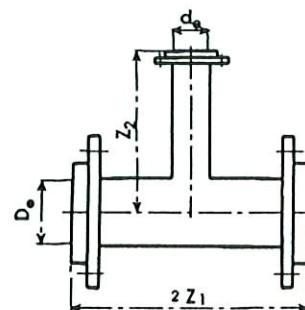
T-rör 90°			T-rör 90°		
D _o [mm]	2Z ₁ [mm]	Z ₂ [mm]	D _o [mm]	2Z ₁ [mm]	Z ₂ [mm]
20/20/20	110	55	280/225/280	650	350
25/25/25	124	62	280/250/280	700	400
32/32/32	155	100	280/280/280	700	350
40/40/40	155	110	315/200/315	650	380
50/50/50	185	120	315/225/315	650	400
63/63/63	215	130	315/250/315	700	400
75/63/75	460	240	315/280/315	700	350
75/75/75	240	140	315/315/315	750	400
90/75/90	480	250	355/255/355	700	400
90/90/90	280	155	355/350/355	700	400
110/75/110	480	260	355/280/355	750	400
110/90/110	490	260	355/315/355	750	400
110/110/110	320	160	355/355/355	800	400
125/90/125	500	260	400/250/400	700	400
125/110/125	520	260	400/280/400	750	400
125/125/125	360	170	400/315/400	800	400
140/75/140	480	270	400/355/400	850	450
140/90/140	500	270	400/400/400	850	450
140/110/140	520	270	450/315/450	1150	450
140/125/140	530	270	450/355/450	1200	450
140/140/140	370	180	450/400/450	1250	450
160/75/160	490	280	450/450/450	1300	650
160/90/160	500	280	500/355/500	1200	500
160/110/160	520	280	500/400/500	1250	500
160/125/160	540	280	500/450/500	1300	700
160/140/160	550	280	500/500/500	1350	700
160/160/160	430	215	560/400/560	1300	500
180/110/180	550	290	560/450/560	1300	700
180/125/180	570	290	560/500/560	1400	700
180/140/180	580	290	560/560/560	1400	700
180/160/180	600	300	600/450/600	1300	750
180/180/180	500	250	600/500/600	1400	750
200/125/200	560	300	600/560/600	1500	700
200/140/200	570	300	600/600/600	1500	700
200/160/200	590	310	630/500/630	1400	750
200/180/200	610	320	630/560/630	1500	700
200/200/200	630	320	630/600/630	1500	800
225/140/225	600	320	630/630/630	1500	800
225/160/225	600	320	710/560/710	1500	800
225/180/225	600	330	710/600/710	1500	800
225/200/225	650	330	710/630/710	1500	800
225/225/225	650	350	710/710/710	1600	800
250/160/250	600	330	800/630/800	1600	800
250/180/250	600	350	800/710/800	1600	900
250/200/250	650	340	800/800/800	1700	900
250/225/250	650	350	900/710/900	1700	900
250/250/250	700	350	900/800/900	1800	900
280/180/280	600	360	900/900/900	1900	900
280/200/280	650	360	1000/800/1000	1800	1000

Andra utseenden är tillgängliga vid förfrågan

Fig.3.3.4.c T-rör 90°

D _o [mm]	T-rör 90°	
	2Z ₁ [mm]	Z ₂ [mm]
1000/900/1000	1900	1000
1000/1000/1000	2000	1000
1200/900/1200	2200	1100
1200/1000/1200	2300	1100
1200/1200/1200	2500	1300
1400/1000/1400	2400	1200
1400/1200/1400	2600	1400
1400/1400/1400	2800	1400
1600/1200/1600	2600	1500
1600/1400/1600	2800	1500
1600/1600/1600	3000	1500

Andra utseenden är tillgängliga vid förfrågan



T-rörens dimensioner ovan är minimidimensioner, längre T-rör kan fås vid förfrågan. T-rören kan levereras med eller utan flänskopplingar.

3.3.5 Monteringsdetaljer - förminskningar, långa eller korta

Fig.3.3.5.d Långa och korta förminskningar

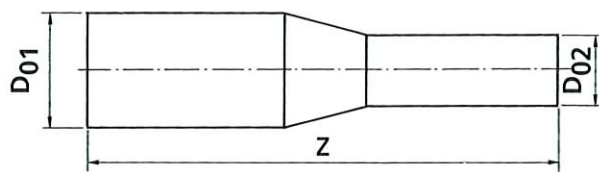
D _o [mm]	FÖRMINSKNING KORT		FÖRMINSKNING LÅNG		D _o	FÖRMINSKNING KORT		FÖRMINSKNING LÅNG	
	SDR 26	SDR 17	SDR 26	SDR 17		SDR 26	SDR 17	SDR 26	SDR 17
	SDR 11		SDR 11[mm]			SDR 11		SDR 11	
25/20		22		86	125/110	180	160	870	850
32/20		41		105	140/75		160		860
32/25		41		110	140/90		170		860
40/20		50		116	140/110		150		840
40/25		44		112	140/125		150	850	850
40/32		43		111	160/90		180		880
50/25		50		116	160/110		180		880
50/32		47		121	160/125		160		850
50/40		40		116	160/140		160	850	850
63/32		59		136	180/110		880		200
63/40		50		129	180/125		870		190
63/50	80	45	165	130	180/140		860		190
75/32		140		850	180/160		860		180
75/40		150		860	200/125	890	890	620	620
75/50	170	150	870	850	200/140	890	890	620	620
75/63	170	140	870	840	200/160	850	890	620	620
90/50	170	160	870	870	200/180	850	850	620	620
90/63	170	160	870	860	225/160	900	900	700	700
90/75	170	160	840	850	225/180	900	900	700	700
110/50	170	180	870	880	225/200	850	850	650	650
110/63	170	170	870	870	250/180	900	900	700	700
110/75	170	150	870	860	250/200	900	900	700	700
110/90	170	150	870	860	250/225	850	850	650	650
125/63	170	160	870	860	280/225	1150	1150	850	850
125/75	170	160	870	860	280/250	1050	1050	750	750
125/90	180	160	870	860	315/250	1150	1150	850	850

Andra utseenden är tillgängliga vid förfrågan

Forts. Tabell 3.3.5.d

D _o [mm]	FÖRMINSKNING KORT		FÖRMINSKNING LÅNG		D _o [mm]	FÖRMINSKNING KORT		FÖRMINSKNING LÅNG	
	SDR 26	SDR 17 SDR 11	SDR 26	SDR 17 SDR 11		SDR 26	SDR 17 SDR 11	SDR 26	SDR 17 SDR 11
315/280	900	900	1300	1300	800/630	1900		1200	
355/280	1000	1000	1400	1400	800/710	1900		1200	
355/315	950	950	1300	1300	900/710	2100		1300	
400/315	1100	1100	1500	1500	900/800	2100		1300	
400/355	1000	1000	1400	1400	1000/900	2100		1300	
450/355	950	950	1500	1500	1200/1000	2100		1400	
450/400	950	950	1500	1500	1400/1200	2200		1500	
500/400	950	950	1500	1500	1600/1400	2200		1600	
500/450	950	950	1500	1500					
560/450	1000	1000	1600	1500					
560/500	1000	1000	1600	1500					
600/500	1000	1000	1600	1500					
600/560	1000	1000	1600	1500					
630/560	1000	1000	1600	1600					
630/600	1000	1000	1600	1600					
710/600	1100		1700						
710/630	1100		1700						

Andra utseenden är tillgängliga vid förfrågan



3.3.6 Styrör

Styrör används huvudsakligen när man ansluter rör till ingjutna flänsar i nedstigningsbrunnar. De kan levereras till alla storlekar av rör och kan kund Anpassas när det gäller längd och korrosionsskydd. Kontakta oss för fler detaljer.



3.4 Transport, hantering och lagring

3.4.1 Bogsering av långa PE-HD-rör

Bogseringskonceptet har utvecklats vid Pipelifes fabrik i Stathelle, Norge. Fabriken är belägen vid stranden av en skyddad fjord.

I Pipelifes fabrik kan rör bli extruderade direkt ut på vattnet och hålls flytande genom att plugga rörets ändar. 500 meter är den vanligaste rörlängden men rör som är upp till 700 meter långa kan tillverkas. En bogserbåt kan då bogsera ett eller flera rör till en hamn eller annan landningsplats.

Långdistansbogsering kan verka främmande, men metoden har använts sedan det sena 60-talet och är väl utprovad. Ett flertal leveranser genom bogsering görs varje år, vanligtvis stora rör i större mängd. Bogseringsleveranser har skett till många olika marknader, Sverige och Storbritannien är för närvarande de viktigaste. Rör har till exempel bogserats till projekt i Reykavik på Island, Antalya i Turkiet samt Larnaca på Cypern

En del ingenjörer har uttryckt sin oro över om rören kan motstå vågkrafter och axiella spänningar under bogseringen. Risken för skador under bogseringen är normalt liten. Friktionsfaktorn mellan PE-HD-rören och vattnet är låg, därför flyter rören högt och axialspänningarna på deras väggar blir låga.

Ett annat orosmoment har med sjösäkerheten att göra. Hur undviker man olyckor med andra fartyg? Det man behöver göra är att hålla sig till sjösäkerhetsföreskrifterna, som till exempel att informera andra fartyg om bogseringen.

De stora fördelarna med att bogsera långa längder jämfört med konventionell sjötransport och svetsning är:

- mindre risk för repor under hantering och transport
- ingen risk att rören blir ovala under transport och lagring. Vid vanlig transport kan till exempel maximalt två eller tre SDR 26 PE-HD-rör med 1 600 mm diameter läggas på varandra utan risk att de blir ovala.
- inget behov av lagring och hantering på land. Om lagring på vatten inte kan accepteras, kan rörsektionerna dras upp på en strand.
- ett minimum av svetsning resulterar i lägre kostnader och snabbare montering.
- kortare tid för montering och därför lägre installationskostnader.

3.4.2 Hantering och lagring

Långa extruderade rör eller sammansvetsade längder hanteras och lagras vanligtvis på vatten. Detta görs inte enbart för att det är enklare att hantera längderna så utan också för att undvika skador som orsakas av:

- skevhet på grund av ojämn värme från solen/omgivningen, detta drabbar speciellt rör med tunna väggar.
- transport med truck från tillverkningen till förvaringsplatsen.
- deformation vid lagring (tunnväggiga rör).
- lastning med truck på lastbil eller järnvägsvagn.
- transport och avlastning vid arbetsplatsen.
- lagring på arbetsplatsen (kan ibland vara bristfällig).
- hantering och svetsning på arbetsplatsen.

Hantering av rör på som bogserats på plats kräver vanligtvis:

- lagringsplatsens ägares tillåtelse.
- en lagringsplats nära arbetet.
- att rören kan hållas flytande kortare sträckor med betongblock monterade.
- skydd mot vind och vågor.
- bra förtöjningsmöjligheter utmed hela rörlängderna om lokala strömmar och tidvatten så kräver.
- varningsskyltar och ljus om platsen ligger nära en farled.

Vanliga längder

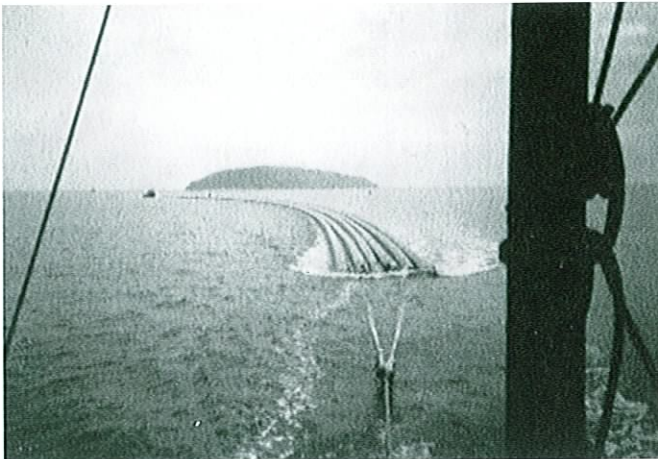
Standardlängder för PE-rör är sex eller tolv meter. Rör kan också levereras 16, 18 eller 20 meter långa på beställning.

Generellt gäller:

- Polyeten är ett slitstarkt, elastiskt material som är relativt lätt och enkelt att hantera. Det har en benägenhet att skadas av vassa föremål. Därför krävs försiktig hantering och att man undviker att släpa rör och slingor på marken när det är möjligt. Skador på rörets yttersida får inte vara djupare än 10 % av väggjockleken.
- Polyetens egenskaper är opåverkade av låg temperatur, men de feta ytorna på rören och skarvarna gör dem hala när det är vått eller frostigt. Följaktligen måste särskild hänsyn tas vid lossning och lagring under sådana förhållanden.
- Metallkedjor eller vajrar skall aldrig ha direktkontakt med rörmaterialet. Använd alltid vävda band av polypropylen eller nylon.

Transport:

- Flaken på lastbilarna som används för transport ska vara släta och rena och fria från vassa föremål vilka kan skada föremålen. Rören måste förankras väl så att de inte glider.
- Rör och monteringsdetaljer bör ej förvaras nära värmekällor eller avgassystem eller utsättas för öppen låga.
- Metallkedjor eller vajrar får inte användas för att säkra lasten. Kedjor eller metallkrokar får inte användas vid lastning eller lossning.

**Lagring:**

- Rör och monteringsdetaljer ska alltid inspekteras noga då de anländer till arbetsplatsen, för att förebygga senare tvister angående skador. Alla defekter skall noteras och rapporteras till leverantör.
- Rörpallar på skall ställas på slät och bra mark och lagringshöjden skall hållas så låg som möjligt. Det ska finnas tillräckligt med utrymme för att manövrera lyftande maskiner utan att skada rören.
- När stora mängder rör lagras, antingen i triangelprofil eller på vanliga upplag, kan de under lagren deformeras. Detta gäller speciellt i varm väderlek och för tunnväggiga rör. Sådana lagringsplatser skall därför begränsas i höjled. Rör med större diameter, 1 000 – 1 600 mm, skall inte lagras på varandra.



4.0 Dimensioneringsguide

Begrepp

Begrepp som används i Handboken är:

Rörgeometri	D_o	=	ytterdiameter (mm)
	D_i	=	ytterdiameter (mm)
	e	=	vägg tjocklek = $1/2 \times (D_o - D_i)$ (mm)
	PN	=	tillåtet arbetstryck (bar)
Mekaniska Egenskaper	E_o	=	Youngs modul ($t = 0$) (N/mm^2)
	E_c	=	Krypmodul (N/mm^2)
	E_R	=	Relaxationsmodul (N/mm^2)
	σ_y	=	töjspanning (N/mm^2)
	σ_c	=	krypmotstånd (N/mm^2)
	σ_a	=	axialspänning (N/mm^2)
	σ_o	=	ringspänning (N/mm^2)
	t	=	tid som spänningen verkar (h)
	T	=	temperatur ($^{\circ}C$)
	ϵ	=	rörets deformation = σ/E (positiv/negativ)
	ϵ_{crit}	=	kritisk deformation
	ν	=	Poissons konstant
Fysiska Enheter	L	=	längd (mm, m)
	R	=	böjradie (m)
	d	=	vattendjup (m)
	β	=	rörets fall relativt havsytan
	β_o'	=	viktbelastningsgrad i procent
	q	=	sänkta ledningens tyngd (kN/m)
	$P_{b,2}$	=	bärkraft hos nersänkt luftfylld rörledning (kN/m)
	F_1	=	dragkraft på havsytan (kN)
	χ	=	lufttrycksfaktor
	α, a	=	böjkvot = R/D_o
	P_i	=	invändigt övertryck (bar) eller (mvp)
	M	=	böjande moment
	r	=	radie på röret
	n	=	säkerhetsfaktor, konstruktionsfaktor
	ζ	=	relativ rördeformation
	d	=	absolut rördeformation
	μ	=	friktionskoefficient
	P	=	yttre kraft som påverkar rörkonstruktionen
	Index	o	=
a		=	axiell riktning
v		=	vertikal riktning
h		=	horisontell riktning
c		=	krypning

4.1 Allmänna synpunkter och krav

PE-rör som är utsatta för långvarig påfrestning, det vill säga tryck och spänning, uppför sig annorlunda än rör av traditionella material såsom stål, gjutjärn och betong på grund av att rörets mekaniska egenskaper ändras under inflytande av krypning och relaxation.

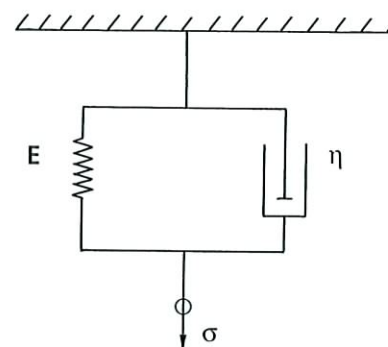
E_C = Krypmodul, en funktion av tid, tryck och temperatur.

σ_C = Krypmodstånd, en funktion av tiden för pålagt tryck och temperatur.

PE-rör som är utsatta för kortsiktig påfrestning, det vill säga tryck och spänning, är i grunden elastiska och delvis under inflytande av krypning beroende på tidsrymden.

Voight-Kevinmodellen visar det visko-elastiska beteendet hos PE-rör, se fig. 4.1.A.

Fig. 4.1.A.



$$\varepsilon \frac{\sigma}{E} \left(1 - e^{-\frac{t}{\lambda}} \right) \quad (1)$$

t = tid

$$\lambda = \eta / E \quad (2)$$

η = materialets viskositet

Vid kortvarigt tryck, som bildas vid till exempel tryckvågor, uppför sig materialet enbart elastiskt. Det betyder att $E_C \rightarrow E_0$ = Youngs modul vid $t = 0$.

Krypmodståndet, σ_C , visas i ett diagram som visar krypmodståndet som en funktion av tiden till brott. Varje enskilt PE-material har sitt eget specifika krypstyrkediagram, också kallat regressionskurva, vilket är den i särklass mest signifikanta egenskapen vid konstruktion av tryckrör.

4.1.1 Krav på livslängd och säkerhet

Moderna polyetenrörs viskoelastiska uppträdande indikerar att alla krav på livslängd måste relateras till en säkerhetsfaktor, eller vice versa. Man måste också ta hänsyn till arbetstemperaturen.

Standardtemperaturen $T = + 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Vid standardisering av PE-rör, definieras säkerhetsfaktorn som kvoten:

$$\eta = \frac{\text{MRS}}{\text{Dimensionerande tryck, } \sigma}$$

Exempel 1: $\text{MRS} = 8.0 \text{ MPa}$ (efter 50 år)
 $\sigma = 5.0 \text{ MPa}$
 $\eta = 8.0 / 5.0 = 1.6$

Exempel 2: $\text{MRS} = 10.0 \text{ MPa}$ (efter 50 år)
 $\sigma = 8.0 \text{ MPa}$
 $\eta = 10.0 / 8.0 = 1.25$

MRS-värdet (långtidshållfastheten) definieras relativt en specifik varaktighet av påförd konstant spänning, förslagsvis 50 eller 100 år. Vid kortare livslängd blir MRS-värdet automatiskt högre, vilket medför att säkerhetsfaktorn blir större än minimikravet.

$$\begin{aligned} \text{MRS, 50 år} &= 10.7 \text{ N/mm}^2 \text{ (20}^\circ\text{C)} \\ \sigma_0 &= \text{Dimensionerande spänning} = 7.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (exempel)} \\ \eta_{50} &= 1.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MRS, 10 år} &= 11.3 \text{ N/mm}^2 \text{ (20}^\circ\text{C)} \\ \sigma_0 &= \text{Dimensionerande spänning} = 7.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (exempel)} \\ \eta_{10} &= 1.6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MRS, 1 år} &= 12.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (20}^\circ\text{C)} \\ \sigma_0 &= \text{Dimensionerande spänning} = 7.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (exempel)} \\ \eta &= 1.7 \end{aligned}$$

Säkerhetsfaktorn, n , efter 50 år och vid en medeltemperatur $T = + 20 \text{ }^\circ\text{C}$, får inte underskrida

$$\eta = 1.25$$

Å andra sidan ska inte säkerhetsfaktorn överskrida

$$\eta = 1.7 \rightarrow 11.6$$

för då är PE-röret överdimensionerat.

4.2 Invändigt tryck

I enlighet med cirkel ekvationen är ringtrycket eller radialtrycket på rörväggen :

$$\sigma_o = \frac{P_i \cdot D_m}{10 \cdot 2 \cdot e} \quad (N/mm^2) \quad (6)$$

Där :
 Pi = inre arbetstryck uttryckt i bar
 Dm = D₀ - e (mm)
 E = väggjocklek (mm)

Efter omskrivning av ekv. 6 får vi :

$$\sigma_o = \frac{P_i}{20} \cdot \left(\frac{D_o}{e} \cdot 1 \right) = \frac{P_i}{20} \cdot (SDR - 1) \quad (N/mm^2) \quad (7)$$

Exempel givet: SDR 17.6

Om Pi = 7.0 bar
 Blir $\sigma_o = 5,8 \text{ N/mm}^2$
 och $\sigma_c = 10.5 \text{ N/mm}^2$, T = 20°C, 50 år, för PE-HD
 Blir $\eta_{50} = \sigma_c / \sigma_o = 1.8 > 1.6$
 Då blir Röret är överdimensionerat då $\eta_{50} \gg 1.6$

Kryp motståndet, σ_c fås genom derivering av regressionskurvan, vilket betyder att, σ_c måste relateras till en viss tidsrymd, 50 eller 100 år, och rörets medeltemperatur, T_m. Det specifika värdet på σ_c är faktiskt rörets MRS-klass, vilket är kryp motståndets minimivärde. För tredje generationens polyetenrör visas kryp motståndets värde eller MRS-klass i följande tabell.

PE-HD

T = 20°C, 50 år $\sigma_c \geq 10.5 \text{ N/mm}^2$
 T = 20°C, 100 år $\sigma_c \geq 10.2 \text{ N/mm}^2$

PE-MD

T = 20°C, 50 år $\sigma_c \geq 9.5 \text{ N/mm}^2$
 T = 20°C, 100 år $\sigma_c \geq 9.2 \text{ N/mm}^2$

Axialspänningen, σ_a , som genereras av det inre trycket, P_i , fås ur ekvationen:

$$\sigma_a = \sigma_o \cdot \nu \quad (8)$$

där	ν	=	Poisson's konstant
Om	ν	=	0.45
då blir	σ_a	=	$0.45 \cdot \sigma_o$
och	σ_a	=	$0.45 \cdot 6.3 \text{ N/mm}^2$
		=	2.8 N/mm^2

För ett PE-tryckrör utsatt för långtidsringsspänning är inte svetsfaktorn avgörande eftersom den genererade axialspänningen är mindre än hälften av ringspänningen. Endast under korta perioder av böjning, såsom under sänkning av röret, blir axialspänningen högre än ringspänningen, och detta påverkar svetsfaktorn.

Teoretiskt sett kan ett rör inte liknas vid en ring utan är istället ett oändligt antal sammansatta ringar. Om man tar detta i beaktande, reducerar Poissons konstant ringspänningen, vilket kan vara fördelaktigt vid komplicerad rördimensionering.

4.3 Yttre laster

Självfallsledning definieras som rör utsatta för yttre långtidskrafter.

$$P_{\text{yttre}} = 0 \rightarrow P_o, \text{ max}$$

Där $P_{\text{yttre}} = 0$

$$P_{\text{yttre}} = P_o, \text{ max}$$

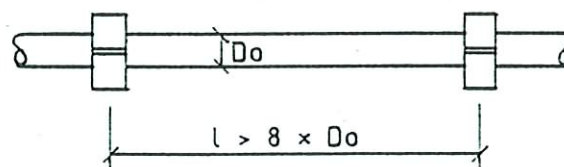
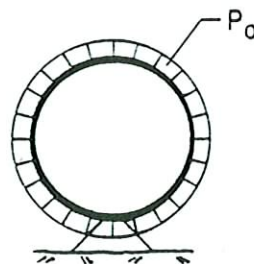
motsvarar ett självfallsledning med en hydraulisk tryckgradient som följer toppen av röret och utan påverkan av yttre jordtryck
motsvarar max yttre last genom jordtryck, vattentryck eller grad av undertryck. pressure, or a degree of vacuum.

Fig. 4.3.A

För PE-rör som ligger på stöd enl. fig. 4.3.A, eller för rör som stöds av betongvikter med ett avstånd

$$l > 8x D_o$$

blir bucklingstryckhet, P_{buc} , en funktion av SDR-klass och krypmodulen, E_c .



Ekvation 9 gäller för rör som ligger på havsbotten eller på mark.

$$P_{buc} = \frac{2 \cdot E_c}{1 - \eta^2} \cdot \left(\frac{e}{D_m} \right)^3 \quad (9)$$

där η = Poisson's konstant
= 0.4 → 0.5 för PE rör

$$D_m = D_o - e$$

Efter omskrivning kan bucklingstrycket uttryckas som en funktion av SDR-klassen:

$$P_{buc} = \frac{2 \cdot E_c}{1 - \eta^2} \cdot \left(\frac{1}{SDR - 1} \right)^3 = \frac{2 \cdot E_c}{1 - \eta^2} \cdot \frac{1}{(SDR - 1)^3} \quad (10)$$

50-års bucklingstryck hos olika PE-rör visas i tabell 4.3.1. E_c antas vara 200 N/mm², vid T = 20°C och t = 50 år.

Obs ! Det aktuella värdet på E_c återfinns i diagrammet som visar Krypmodulen som en funktion av ringspänningen, med tiden t som en parameter, uttryckt i timmar eller år.

Tabell 4.3.1 - PE-rörs 50-års bucklingstryck vid T = 20°C, P_{buc} i bar.

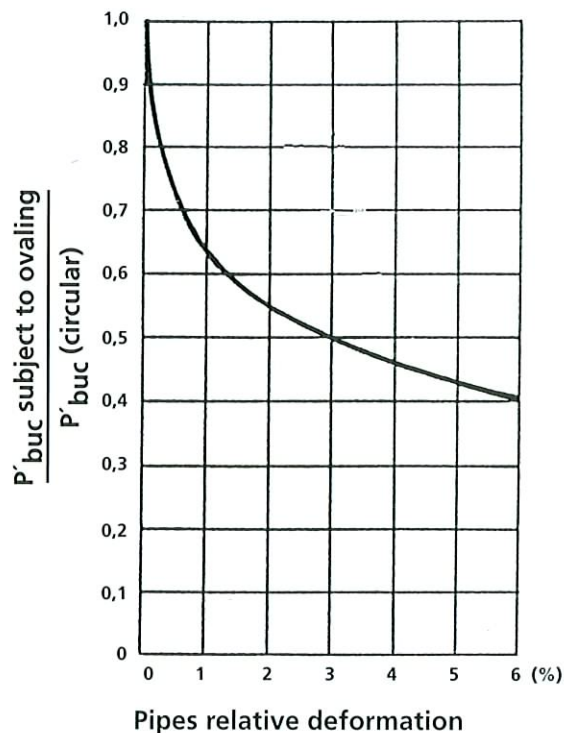
SDR (PN) σ 5.0	33 (PN 3.2)	26 (PN 4)	17.6 (PN 6)	11 (PN 10)	9 (PN 12.5)
P_{buc}	0.15	0.32	1.10	5.0	9.8
$\nu = 0.45$		T = + 20°C		$E_c = 200 \text{ N/mm}^2$	

Från tabell 4.3.1 kan man utläsa att SDR 33 och SDR 26 rör är avpassade för att klara yttre vattentryck, eftersom deras bucklingstryck (P_{buc}) är 1.5 mvp resp. 3.2 mvp.

När ett PE-rör mister sin cirkulära form (deformeras), sjunker bucklingsmotståndet snabbt, vilket visas i fig. 4.3.B

Fig. 4.3.B Bucklingstryck som en funktion av deformation

I fig. 4.3.B :

 P_{buc} =bucklingstrycket vid buckling hos ett
cirkulärt rör P'_{buc} =bucklingstrycket vid buckling hos ett
deformerat rör

Nergrävda självfallsledningar

Nedan följer en kort introduktion till avsnittet, nergrävda termoplaströr som är utsatta för jordtryck., grundvattentryck och trafiklast. För fullständiga detaljer, se annan litteratur i ämnet.

Två begrepp är viktiga:

$$\text{rörstyvhet} = \frac{E_c \cdot I_o}{D_m^3} \quad (11)$$

markstabilitet = jordens sekantmodul = E_s

$$R_s = \frac{\text{markstabilitet}}{\text{rörstyvhet}} = \frac{E_s}{\frac{E_c \cdot I_o}{D_m^3}} \quad (12)$$

$$I_o = \frac{e^3}{12} \quad (13) \text{ tröghetsmomentet för röväggen}$$

e = vägg tjocklek

Med hjälp av värdet R_c , den relativa deformationen hos röret deriverad från Watkins diagram, se figur 4.3.D., kan rörstyvheten skrivas som:

$$\frac{E_c \cdot I_o}{D_m^3} = E_c \cdot \frac{\frac{1}{12} \cdot e^3}{(D_o - e)^3} = \frac{1}{12} \cdot E_c \cdot \left[\frac{e}{(D_o - e)} \right]^3$$

$$\text{Rörstyvhet} = \frac{1}{12} \cdot E_c \cdot \frac{1}{(SDR - 1)^3} \quad (14)$$

Tabell 4.3.2.

Tabell 4.3.2.

$$\text{Rörstyvhet} = \frac{1}{12} \cdot E_c \cdot \frac{1}{(SDR - 1)^3}$$

T = 20°C

(PN) $\sigma_{5,0}$	SDR (PN 3,2)	33 (PN 4)	26 (PN 6)	17,6 (PN 10)	11 9 (PN 16)
$E_{C,50 \text{ år}}$ = 200 N/mm ²	$0.51 \cdot 10^{-3}$	$1.06 \cdot 10^{-3}$	$3.64 \cdot 10^{-3}$	$16.7 \cdot 10^{-3}$	$32.6 \cdot 10^{-3}$
$E_{C,50 \text{ år}}$ = 100 N/mm ²	$0.25 \cdot 10^{-3}$	$0.53 \cdot 10^{-3}$	$1.82 \cdot 10^{-3}$	$8.35 \cdot 10^{-3}$	$16.3 \cdot 10^{-3}$

Fig. 4.3.C., vilken är utvecklad av J. Molin, visar jordmodulen, E_s , som en funktion av återfyllnadshöjd och packningsgrad.

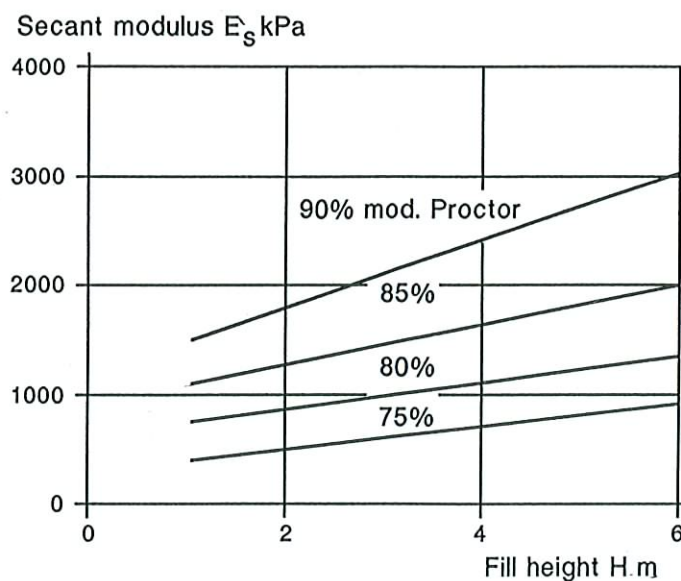


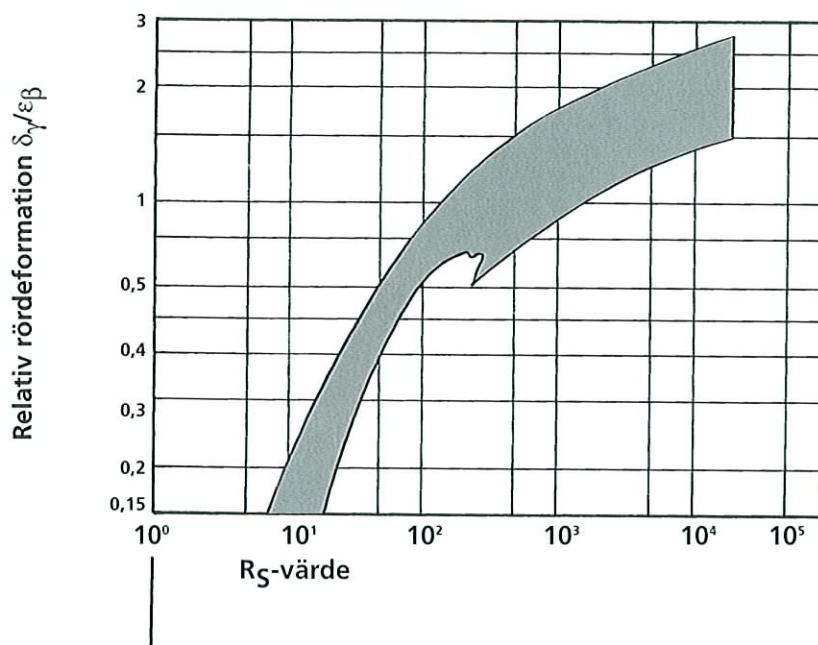
Fig. 4.3.C. Sekantmodul för finkornig jord som en funktion av återfyllnadshöjden.

Som man kan se är jordens sekantmodul märkbart större än rörstyvheten. Detta antyder att den avgörande styrkan, hos ett flexibelt rörsystem under jord, beror på jordegenskaperna.

Om man går in i Watkinsdiagrammet med styvhetsvärdena som de olika SDR-klasserna ger får man korresponderande värden på styvhet hos nergrävda rör som är utsatta för yttre tryck.

Fig. 4.3.D. - Utvidgat Watkins diagram

$$R_s = \frac{E_s}{E_c \cdot I_o / D_m^3}$$



PE-rörens ringstyvhet kan indelas i tre olika grupper:

SDR klass	≤ 11	17.6	33 → 26
PE-rörets ringsstyvhet	Hög	Medium	Låg

Ur figur 4.3.D., kan vi dra slutsatsen att:

Under förutsättning att jordtrycket, E_s , är konstant blir långtidsdeformationen hos ett PE-rör med låg ringstyvhet (SDR 33 → 26) två till tre gånger större än hos motsvarande rör med hög ringstyvhet (SDR 11 → 9).

I praktiken kan deformationen hos ett nergrävt PE-rör och det slutliga bucklingstrycket, P_{buc} , fås ur ekvationen :

$$P_{buc}' = P_{buc} \cdot f_s \cdot f_a \quad (15)$$

där P_{buc} fås ur ekv. 10, f_s representerar en stödfaktor som beror på SDR-klass och packningsgrad, och f_a representerar rörets ovalitet, hämtat ur fig.4.3.B

$$f_s = 1 \rightarrow 4 \quad f_a = 1.0 \rightarrow 0.4$$

Säkerhetsfaktorn för ett nergrävt PE-rör, som är utsatt för yttre last inklusive grundvattentryck, får inte understiga :

$$\eta = 2.0$$

med hänsyn tagen till bucklingsrisken på lång sikt.

Följande parametrar och villkor är viktiga för att bibehålla en hög långtidssäkerhet.

- * anpassad rörbädd och rätt packning i schaktet vid återfyllnad. Packningsgrad $\geq 85\%$
- * tillräckigt täcklager, speciellt viktigt om röret är utsatt för trafiklast, min $H_c = 1,0$ m
- * rätt SDR-klass

När ett rör ligger i ett schakt kan buckling normalt sett inte förstöra röret. Desto viktigare är trycket och spänningen som orsakas av att röret blir ovalt.

4.4 Hydraulisk kapacitet

4.4.1 Flödessystem

Reynolds tal

$$R_e = \frac{\text{Flödeskrafter}}{\text{Viskositetskrafter}} = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad \nu = \text{vätskans kinematiska viskositet}$$

relaterar flödessystemet till dess viktigaste parameter, flödehastigheten, V . Om man antar konstant viskositet hos vattnet:

$$\text{vid } T = 20^\circ\text{C}, \quad \nu = 1.0 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

$$\text{vid } T = 10^\circ\text{C}, \quad \nu = 1.3 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

och flödet i ett optimalt dimensionerat rörsystem är mellan:

$$V = 0.8 \rightarrow 1.5 \text{ m/s,}$$

hamnar Reynolds tal mellan:

$$R_e = 10^5 \rightarrow 2 \cdot 10^6$$

Vid dessa R_e värden kallas flödessystemet för turbulent.

Laminärt flöde, vid $R_e < 10^4$, är flödessystemet inte lämpligt ut konstruktionssynpunkt eftersom flödehastigheten inte är ekonomiskt accepterbar.

4.4.2 Beräkningsmodeller

Colebrook-White

Colebrook-White's ekvation skriven på implicit form

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{LOG} \left[\frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} + \frac{k}{3,72 \cdot D_i} \right] \quad (16)$$

där :

- f = friktionskoefficient
- k = ekvivalenta sandråheten (mm)
- D_i = innerdiameter (mm)
- Re = Reynolds tal
- $\frac{v \times D_i}{\nu}$

Ekvation 16 är opraktisk vid handräkning, men är desto mer användbar vid datorberäkningar och har därför blivit den mest använda beräkningsmodellen för släta rör.

Tryckförlusterna beräknas med Darcy- Weissbach's ekvation:

$$\Delta H = f \cdot \frac{L}{D_i} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (17)$$

- där: L = rörlängd (m)
v = flödes hastighet (m/s)

Moody's diagram, baserat på Colebrook-White's ekvation och illustrerat i fig. 4.4.2 erbjuder en genväg för att slippa beräkningsvärdigheterna i den implicita ekvationen.

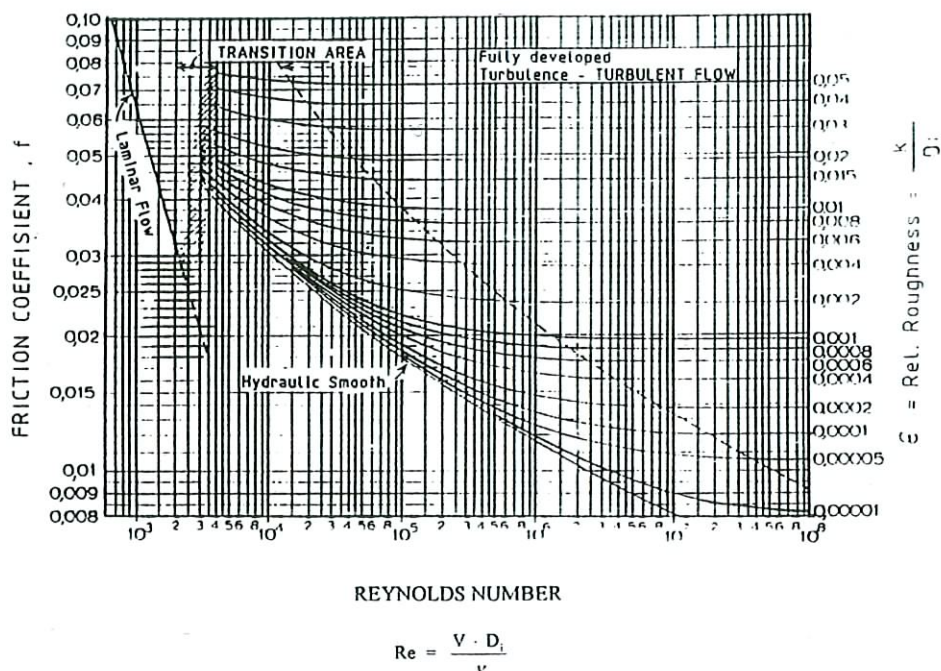


Fig.4.4.2.A Moody's diagram, (baserat på Colebrook-White's ekvation)

f är en funktion av Re och den relativa råheten på rörets insida, k , skriven som:

$$e = \frac{k}{D_i}$$

f fås ur Moody's diagram, efter att man beräknat Re och k , k för ett PE-rör varierar mellan 0,005 – 1,0 mm beroende på igensättning, (organisk påväxt på insidan av röret).

Hazen-Williams

Hazen-Williams ekvation skrivs :

$$Q = 6.67 \cdot C \cdot D_i^{2.63} \cdot I^{0.54} \quad (l/s) \quad (18)$$

Denna ekvation är deriverad från Chezy's allmänna ekvation

$$V = C \cdot R^{1/2} \cdot I^{1/2} \quad (m/s) \quad (19)$$

$$\text{Friktionsförlusterna } \Delta H = I (\%) \cdot L \quad (m) \quad (20)$$

där : L = rörlängd (m)

I = beräknad hydraulisk gradient (Ekv. 18)

Ekvation 11 ger flödet Q i (l/s). D_i är innerdiametern hos röret (m) och I representerar den hydrauliska gradienten (%). C är en hydraulisk faktor som relaterar till rörets råhet ($m^{1/2}/s$). För släta PE-rör gäller att $C = 150$. Se tabell 4.4.2.1.

Tabell 4.4.2.1

Beräkningsmodell	PE-rör
	Rekommenderade värden
Colebrooke-White	$k = 0.020 \text{ mm}$
Darcy-Weissbach	$k = 0.020 \text{ mm}$
Hazen-Williams	$C = 150$




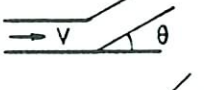

4.4.3 Enskilda tryckförluster

Vid hydraulisk konstruktion är den allmänna ekvationen för enskilda tryckförluster skriven som en summa av diskreta tryckförluster, se ekv. (13)

$$\Delta H_s = \sum k \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{m}) \quad (21)$$

Där k är dimensionslös, vilket visas i tabell 4.4.3.1. nedan.

Tabell 4.4.3.1.

Enskilda tryckförluster k-faktor	
	k-faktor
Svetssvulst	4 % of ΔH^*
	$k = 1.0$
	$k = 0.5$
	$k = 1.0$
	$k = 1,1 \cdot \left(\frac{\theta}{90^\circ}\right)^2$
	$k = 0.2 \cdot \sin \theta$ (grov) $k = 0.1 \cdot \sin \theta$ (slät)
*) ΔH = total tryckförlust, på grund av friktion, i en rörsektion, beräknad med (16), (17), eller (18)	

4.5 Tryckslag, tryckgradienter

Tryckslaget impuls deriveras ur den allmänna formeln för undertryck

$$\Delta p = \frac{\Delta V \cdot C}{g} \quad (22)$$

Undertrycket / tryckslaget sägs vara linjärt beroende tryckvågens hastighet, C, i vattnet inuti röret. ΔV är ändringen i vattnets flödeshastighet (acceleration / retardation) och $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Tryckvågens hastighet, C fås ur:

$$C = \sqrt{\frac{E_o}{(1 - \nu^2) \cdot \rho}} \cdot \left[\frac{e}{D_m} \right]^{1/2} \quad (23)$$

där $E_o =$ Young's Modulus ($t=0$)

$\nu =$ $0.4 \rightarrow 0.5 =$ Poisson's konstant

$\rho =$ vattens densitet

$e =$ vägg tjocklek

$D_m =$ $D_o - e$

Efter omskrivning får vi en ekvation där C är en funktion av rörets SDR-klass.

$$C = \sqrt{\frac{E_o}{(1 - \nu^2) \cdot \rho}} \cdot \frac{1}{(SDR - 1)^{1/2}} \quad (24)$$

Tryckslag är ett korttidstillstånd (några få sekunder) under vilket ett PE-rör, som är utsatt för ett konstant långtidstryck, återvänder till sin initial- E-modul ($t = 0$). Detta kan visas matematiskt för ett s.k. Voigt-Kelvin element under konstant spänning, σ , se tabell 4.5.1.

Tabell 4.5.1

PE-rör	Tryckvåg i vatten inuti ett PE-rör C i m/s			
	SDR 33 (PN 322)	SDR 26 (PN 4)	SDR 17.6 (PN 6)	SDR 11 (PN 10)
HPPE $E_O = 1050 \text{ N/mm}^2$	203	230	282	363
PE-HD $E_O = 1000 \text{ N/mm}^2$	200	225	280	360
PE-MD $E_O = 800 \text{ N/mm}^2$	180	200	250	320
$n = 0.45$ Standard PE-rör $\sigma_{5,0}$				

ΔV kan i praktiken vara positiv eller negativ:

positiv, orsakat av att man stänger en ventil i änden på ledningen eller genom att starta en pump

negativ, kan orsakas av ett pumpfel eller genom att hydrauliska villkoren plötsligt ändras så att flödet och hastigheten reduceras.

Exempel Pipe: PE-HD SDR 17.6 (PN 6)

$$E_O = 1000 \text{ N/mm}^2$$

$$C = 280 \text{ m/s (Tabell 4.5.1)}$$

$$\Delta V = \text{antaget} - 0.15 \text{ m/s}$$

$$\text{Detta ger } \Delta P = \frac{-0.15 \cdot 280}{9.81} = -4.28 \text{ mwh} = -0.43 \text{ bar}$$

Styrka mot buckling / bucklingstrycket (kort-tid) för ett PE-rör som endast har stöd under basen.

$$P_{\text{buc}} = 1.10 \text{ bar (Table 4.3.1)}$$

$$n = \frac{P_{\text{buc}}}{\Delta P} = \frac{1.10}{0.3} = 2.5$$

Under förutsättning att tidsåtgången för att stänga en ventil ligger mellan en och två minuter, vid normala förhållanden, blir undertrycket mellan:

$$\Delta P_{\text{max}} = 10 \rightarrow 15 \% \text{ av rörets tillåtna arbetstryck, PN, (bar)}$$

Om tryckslagen upprepas regelbundet över rörets livslängd kan de orsaka utmattningsbrott.

Som en tumregel, gäller att ett PE-rör kan klara 10^7 svängningar med en amplitud som är $\pm 0,5$ gånger det nominella trycket utan att livslängden minskas.

4.6 Slitage

PE-rör - Slaggtransport

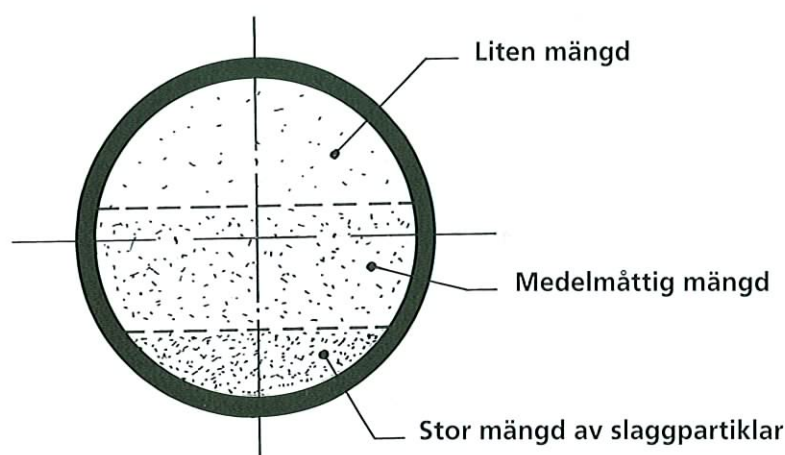
Vid konstruktion av slamledningar, är det några viktiga parametrar och konstruktionskrav som måste övervägas och noga utvärderas. Flödet hos en blandning av fasta partiklar och vätska (vatten) skiljer sig från flödet av en homogen vätska. Det är speciellt viktigt att bibehålla de fasta partiklarna "flytande" för att undvika sedimentering. Ökad hastighet medför att rörets yta blir mer utsatt för nötning. Hastigheten måste vara tillräcklig för att undvika sedimentering. Detta är den kritiska hastigheten för sedimentering.

$$V > V_D = \text{Kritisk sedimenteringshastighet}$$

Den måste balanseras mot det faktum att ökad hastighet medför större rörmaterialförlust genom förslitning. Den här kompromissen mellan hastigheter är den viktigaste aspekten vid konstruktion av slamrörledningar.

Erfarenheten visar att hastigheten inte bör överskrida 5 m/s.

Fig. 4.6.A - Typiskt tvärsnitt hos en slamledning där partiklarna bärs upp maximalt av vätskan



PE-rör är överlägsna vad det gäller nötning motstånd, speciellt i jämförelse med andra rörmaterial såsom stål, tunnplåt, betong eller glasfiberrör, vilket visas i fig. 3.2.D, kap. 3.

I jämförelse med stålrör har PE-röret mer än fyra gånger så stor motståndskraft mot nötning.

4.7 Luft och sediment

4.7.1 Lufttransport

Svårigheten med lufttransport i ett undervattensrör har blivit överdrivet som konstruktionsproblem. Luft kan förorsaka problem för både öppna och slutna undervattensledningar, men bara om problemet ignoreras eller att man inte till fullo förstått det. Som en allmän regel gäller att luft ska hållas utanför undervattensledningar.

Den vanliga metoden att förhindra lufttransport, speciellt när det handlar om utlopp, är att överfylla rörsystemet, upp till 100 % av volymen. Det finns bättre sätt att ta hand om ett potentiellt luftproblem.

Luften inuti ett undervattensrör bärs iväg till djupare vatten om avloppsvattnets hastighet är tillräckligt hög för att kompensera den naturliga bärcraften hos en luftbubbla. Detta uttrycks med den kritiska flödes hastigheten U_C :

$$U_C \geq V_W$$

Om denna olikhet stämmer följer luftbubblorna med vattnet. Om $U_C < V_W$ rör sig alla närvarande luftbubblor bakåt tack vare deras naturliga flytförmåga.

Den kritiska vattenhastigheten, U_C , fås av:

$$U_C = f(D_i, \sin \alpha) \quad (25)$$

Där D_i = rörets innerdiameter (m)

α = rörets lutning

Ett förenklat uttryck ger U_C som en funktion av $\sqrt{gD_i}$

$$U_C = k \cdot \sqrt{gD_i} \quad (26)$$

Faktorn k visas i fig. 4.7.A som en funktion av $\sqrt{\sin \alpha}$

Kurvan i fig. 4.7.A gäller för $\alpha = 0^\circ \rightarrow 90^\circ$.

Exempel 1 givet $D_i = 0,50$ m
och $\alpha = 10^\circ$

Beräkna U_C

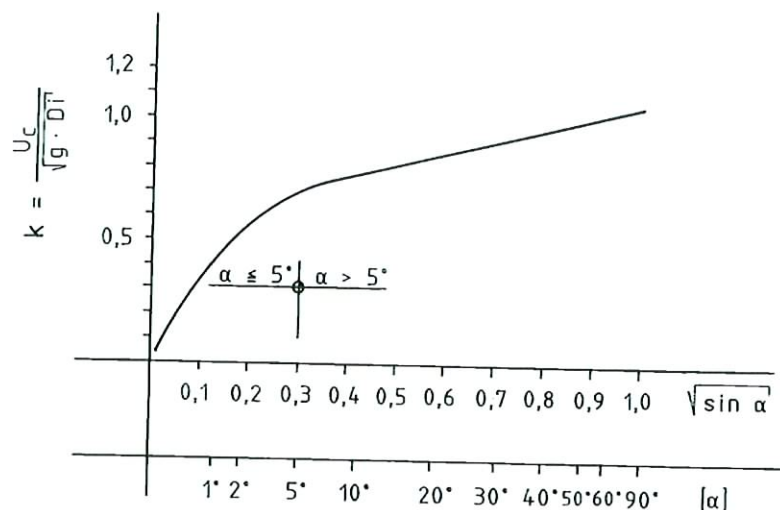
$$\sin \alpha = 0.1736$$

$$k = 0.75$$

$$\text{Detta ger } U_C = 0.75 \sqrt{9.81 \cdot 0.5} = 1.66 \text{ m/s}$$

$V_W > 1,66$ m/s följer luftbubblorna med vattnet.

$V_W < 1,66$ m/s rör sig luftbubblorna bakåt för att släppas fria på land.

Fig. 4.7.A. Lufttransport i undervattensrör, kritisk flödes hastighet, U_c , kontra rörlutningen, α .

4.7.2 Sediment

Hastigheten i röret måste vara större än gränsvärdet för sedimentering. Det betyder att skjuvspänningen måste vara större än gränsvärdet.

Skjuvspänningen för tryckrör kan uttryckas:

$$\tau = \gamma \cdot \frac{D_i}{4} \cdot I \quad (27)$$

γ = tyngden hos vatten (N/m^3)

D_i = rörets innerdiameter (m)

I = hydraulisk gradient

För plaströr rekommenderas, som konstruktionsvärde, en skjuvspänning $\tau > 2 \text{ N/m}^2$

Som en regel skall skjuvspänningen uppträda en gång varje dygn.

4.8. Vågor och havsströmmar

Beräkningen av våg- och strömkrafter är komplicerad. Det som följer visar en översikt av de krafter som är inblandade. För exakta beräkningar, kontakta Pipelife eller andra experter på området.

Dynamiska krafter som genereras av vågor i djupt och grunt vatten är viktiga vid konstruktionen av undervattensledningar. Jämfört med havsströmmar utgör de den viktigaste delen av den totala påverkan från omgivningen på den nersänkta rörsystemet. Detta gäller speciellt när PE-rör närmar sig grunt vatten. I brist på användbar teori adderas vanligen krafter genererade av havsströmmar till de krafter som genereras av vågrörelser.

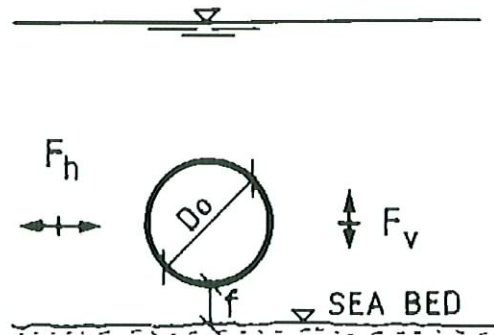
Följande konstruktionsparametrar är inblandade:

- $H_{1/3}$ = signifikant våghöjd (m)
- H_{\max} = maximal dim. Våghöjd (m)
- T = periodtid (s)
- d = vattendjup (m)
- L_0 = djuphavsvåglängd
- R_e = Reynolds tal
- F_h = horisontalkomponenten av vågkraften (\pm)
- F_v = vertikalkomponenten av vågkraften (\pm)
- β = vinkeln mellan ledningen och vågortogonalerna

Se fig. 4.8.A.

Fig. 4.8.A

Om $f \geq 1/4 \cdot D_0$, går vertikalkomponenten av vågkraften, F_v , mot 0. Detta har betydelse vid konstruktion av betongvikterna.



4.8.1 Vågkrafter

Den horisontella och vertikala komponenten av vågkraften kan, deriverad från den linjära teorin om Stokes vågor, uttryckas som följer:

$$F_h = f(C_m, C_D, D_0, H, T, r, k) \quad (28)$$

$$F_v = f(C_m, C_D, D_0, H, T, r, k) \quad (29)$$

- Där
- C_m = viktkoefficient
 - C_D = dragkoefficient. = $f(R_e)$
 - D_0 = rördiameter
 - k = skuggkoefficient, vilken tar hänsyn till arean av betongvikterna
 - $k = 1,0 \rightarrow 1,5$ (vanligt värde)
 - H = aktuell våghöjd
 - H_0 = våghöjd på djupt vatten
 - T = periodtid
 - ρ = vattnets densitet

Det är en fasskillnad mellan maximumvärdet på F_h och maximumvärdet av F_v , vilket visar att de aldrig uppträder samtidigt. Detta illustreras i fig. 6.8.B.

I fig. 4.8.B ser vi att när F_h har sitt maximumvärde (\pm) är värdet på F_v noll och vice versa. Skillnaden i fäsvinkel är :

$$1/4 \cdot T = 1/2 \pi$$

Horisontalkraften, F_h representeras av tröghetskraften, vilken är 90° fäsvörskjuten i förhållande till den lyftande kraften F_v , se fig. (4.8.B) och (4.8.C). Av praktiska skäl och av säkerhetsskäl adderas ändå dessa krafter.

Krafterna som genereras av vågor ökar dramatiskt när vattendjupet, d , är mindre än

$$d \cong 1/5 \cdot L_0 \quad (31)$$

där $L_0 = g/2\pi \cdot T^2 = 1.56 \cdot T^2$ (djuphavsvåglängden) (32)

Fig. 4.8.C

Detta visas i fig. 4.8.C, hämtad från ett vanligt förekommande projekt.

Vågkraften, F_h , mäts vinkelrätt i förhållande till rörets längdaxel

$$F_h \cdot \sin \beta$$

och som en funktion av vattendjupet, d .

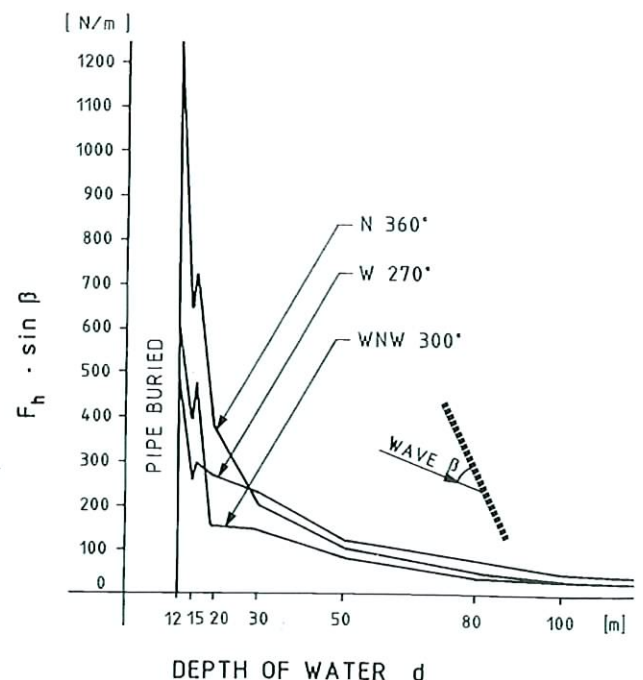
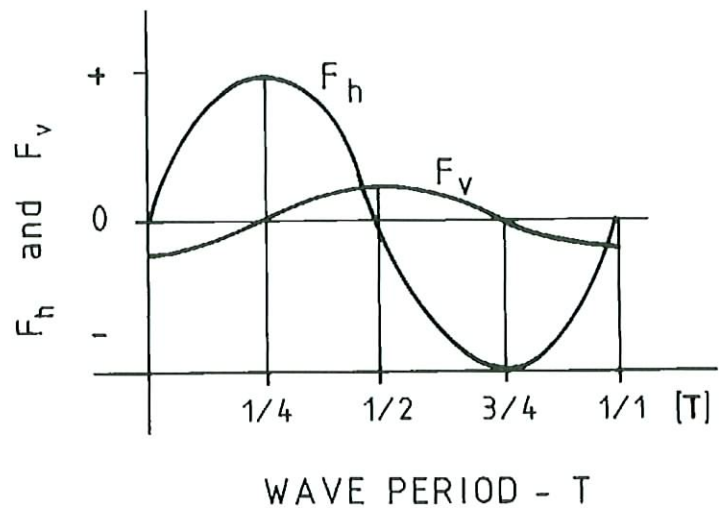
Vågornas riktning (på djupt vatten) är:

$$\begin{aligned} N &= 360^\circ \\ W &= 270^\circ \\ WNW &= 300^\circ \end{aligned}$$

Vid detta speciella projekt grävdes röret slutligen ner på 16 meters djup.

Tumregeln: $d \cong 1/5 \cdot L_0$

Är av allmän karaktär och användbar vid konstruktion av undervattensledning när man närmar sig zonen med bränningar.



I det här fallet är vågens periodtid 10 s. Detta ger att $L_0 = 156$ m och $1/5 \cdot L_0 \cong 30$ m. I fig. 4.8.c ser vi att värdet på F_h börjar stiga vid ett djup på 30 m.

Obs : när man beräknar de vågrelaterade krafterna på ett rörsystem, använder man normalt sett vattendjupet, d , vid ebb.

4.8.2 Strömkrafter

Strömkrafterna beräknas med hjälp av ekvationen för släpkraft, F_D :

$$F_D = C_D \cdot A \cdot \rho \cdot 1/2 V_C^2 \quad (33)$$

Där :
 C_D = släpkoefficient
 A = arean på det nersänkta rörsystemet
 $= D_0 \cdot k$ (m²)
 ρ = vattnets densitet
 V_C = strömhastighet (m/s)

I metersystemet :

$$F_D = 50 \cdot C_D \cdot (D_0 \cdot k) \cdot V_C^2 \quad (\text{kg/m}) \quad (34)$$

Med hänvisning till fig. 4.8.A

$$\text{då } f \geq 1/4 \cdot D_0, \quad F_{\text{liff}} \rightarrow 0$$

4.8.3 Refraktionsdiagram

När djuphavsvågen kommer in på grundare vatten ändras både dess våghöjd och riktning.

Den aktuella våghöjden, H , tillsammans med vattendjupet, d , och periodtiden, T , är de viktigaste parametrarna när man gör beräkningar på vågkrafter.

Ett refraktionsdiagram tillåter beräkning av våghöjd och vinkeln, b , mellan rörets längdaxel och vågens ortogonal, i alla punkter och vattendjup utmed ledningen.

Förändringen hos en djuphavsvåg när den kommer in på grundare vatten fås ur nedanstående ekvation.

$$H = H_0 \cdot K_d \cdot D_d \quad (35)$$

Där : K_d = refraktionskoefficient
 D_d = grundhetskoefficient
 $D_d = f(T, L_0 \text{ och } d) = H/H_0$

Grundhetskoefficienten, D_d , finns tabulerad och är en funktion av d/L_0 .

Refraktionskoefficienten, K_d , beräknas från uttrycket

$$K_d = \sqrt{\frac{b_o}{b}} \quad (37)$$

Parametrarna b_o och b hämtas från ett refraktionsdiagram såsom i fig. 4.8.D.

Fig. 4.8.D

Exempel

Givna data:

$d = 30$ m
 $T = 10$ sek
 $H_o = 4.0$ m
 Havstopografi

Från refraktionsdiagrammet:

vid $d = 10$ m
 $b = 15.5$ m (exempel)
 $b_o = 10$ m

$$K_d = \sqrt{\frac{b_o}{b}} = 0.8$$

$$L_o = 1.56 \cdot 10^2 = 156 \text{ m}$$

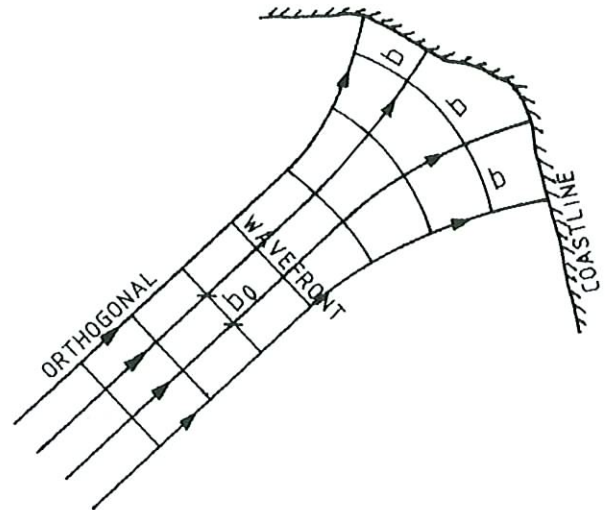
$$d/L_o = 0.192$$

$$D_d = 0.9165 \text{ (tabulerad)}$$

Thus $H = H_o \cdot K_d \cdot D_d = 4.0 \cdot 0.80 \cdot 0.9165$

$$H = 2.9 \text{ m}$$

vid $d = 30$ m, och för ett givet läge



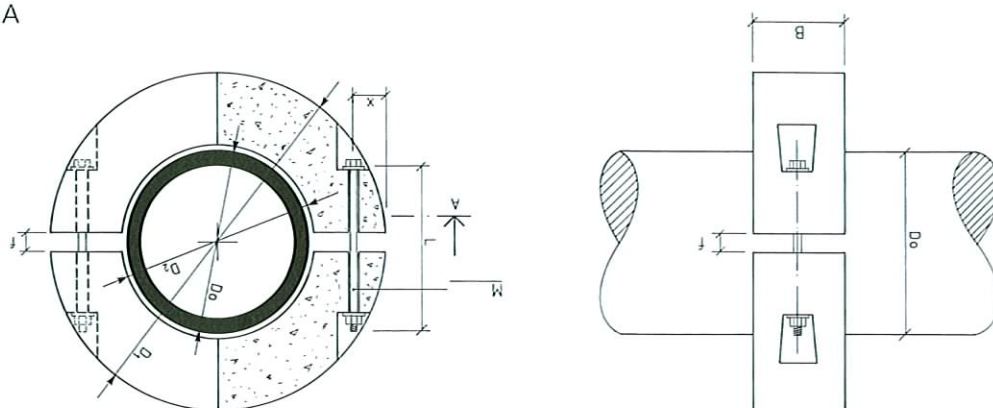
4.9 Förankring och belastning

Undervattenspolyetenrör förankras och belastas antingen med nedsänkingsvikter (primary concrete weights, PCW), förankringsvikter (anchoring concrete weights, ACW) eller en kombination av dessa två.

4.9.1 Nedsänkingsvikter av betong - PCW

Nedsänkingsvikter (PCW) bultas runt röret, vilket visas i fig. 4.9.A.

Fig. 4.9.A



Nedsänkingsvikter kan vara den enda belastningen/förankringen för ett PE-rör, under förutsättning att viktbelastningsgraden, β_0' , är mindre än 40 % till 50 %, delvis beroende på rörets tillåtna arbetstryck.

Om $\beta_0' > 50\%$ bör tillägsbelastning med förankringsvinster övervägas.

Utseendet hos en nedsänkingsvikt (PCW) kan avvika från den cirkulära formen som visas i fig. 4.9.A. Utseendet kan vara:

- Fyrkantigt, med skarpa hörn.
- Fyrkantigt, med rundade hörn, för kortare bultlängder.
- Stjärnformat med fyra armar, för att öka friktionskoefficienten.

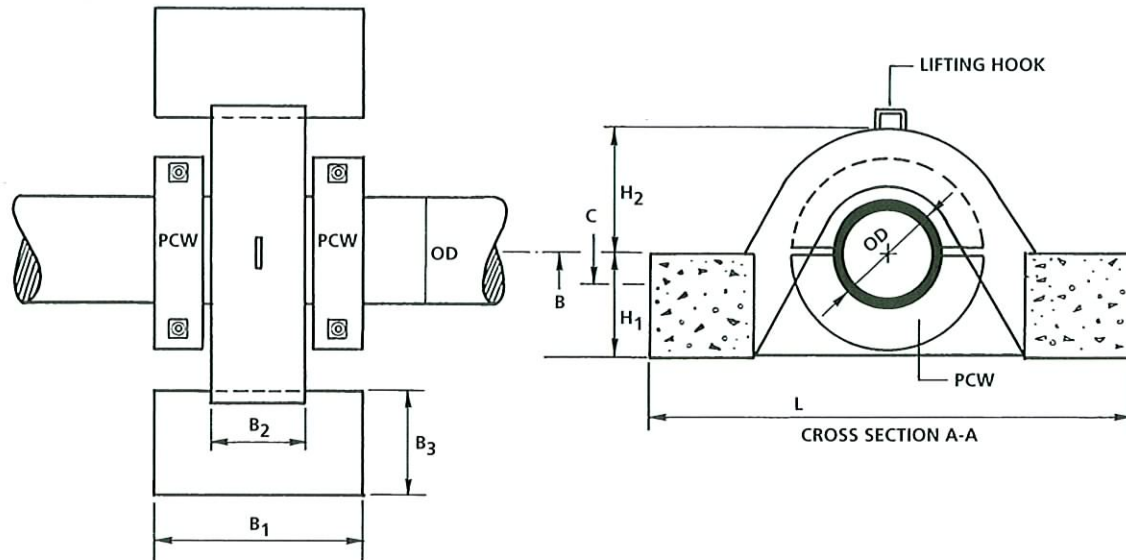
Den cirkulära PCW-formen rekommenderas för nedsänkta PE-rör och för installationer i extremt djupt vatten.

Nedsänkingsvikter (PCW) används för att sänka rör, vilket behandlas i sektion 4.14.

4.9.2 Förankringsvikter av betong - ACW

Förankringsvikter (ACW) sänks över röret efter sen det har nedsänkts och vilar på havsbotten, för att se till att förankringsvikten ökar, vilket visas i fig. 4.9.B.

Fig. 4.9.B ACW



En förankringsvikt är ungefär 4-6 gånger tyngre än en nedsänkingsvikt. En förankringsvikt (ACW) måste ha sin tyngdpunkt så lågt som möjligt och måste vara stabil i sidled.

Den effektiva tyngden, P' , på ett rörsystem lastat med PCW och ACW är:

$$P' = \frac{PCW'}{\text{centrumavstånd}} + \frac{ACW'}{\text{centrumavstånd}} \quad (\text{kN/m}) \quad (38)$$

där primen indikerar effektiv tyngd.

Den totala friktionskraften som åstadkoms med PCW och ACW är:

$$F_{\text{friktion}} = \mu \cdot (P' - F_v - \text{flytkraften hos PE-röret}) \quad (39)$$

där μ är friktionskoefficienten, 0,5 – 0,7. Friktionskraften skall balansera vågkrafterna med en säkerhetsfaktor $\eta \geq 2$ (säkerhet mot glidning). Beräkningen skall inkludera effekten av att vågor slår emot rörledningen med en vinkel, β , i förhållande till rörets längdaxel. Havsbottens jordförhållanden påverkar också friktionskoefficienten.

Säkerhetsfaktorn mot glidning är:

$$n = \frac{F_{\text{friktion}}}{\Sigma(F_h + F_D)} > 2$$

Säkerhetsaspekter

De allmänna säkerhetsföreskrifterna för ett PE-rör under vatten, speciellt i grunda vatten där det kan vara utsatt, innebär fyra saker att ta i beaktande:

- Säkerhetsfaktorn skall stiga vid minskande vattendjup
- Den signifikanta våghöjden, $H_{1/3}$, kräver högre säkerhetsfaktor än den maximala vågen, H_{max} .
- För vattendjup, $d > 1/2 \cdot L_0$, skall säkerhetsfaktorn vara $n = 2,0$. För djupare vatten är säkerheten under sänkningproceduren viktigare.
- Där röret är utsatt för bränningar och ut till erforderligt vattendjup skall röret grävas ner och i vissa fall skyddas mot erosion.

Säkerhetsfaktorn, n , visas i tabell 4.9.1.

Tabell 4.9.1 - Vågrörelse - säkerhetsfaktor

Spec.	dimensionerande våg		vattendjup	
	H1/3	Hmax	$d > 1/2 \cdot L_0$	bränningar
allmän säkerhetsfaktor	$n \geq 2.5$	$n \geq 2.0$	$n = 2$	PE-röret skall grävas ner

4.10 PE-rör utsatta för ren böjning

Under vanliga sänkingsförhållanden är röret endast utsatt för böjning under förutsättning att inga axiella eller radiella krafter förekommer. Den axiella deformationen, e_a , på ett rör genom böjradien R fås ur ekvationerna 40 och 41.

$$e_a = \frac{D_0}{2 R} \quad (40)$$

där D_0 = den yttre rördiametern

Böjkvoten definieras som R/D_0 , så:

$$\epsilon_a = \frac{1}{2 a} \quad (41)$$

Exempel:

Med en säkerhetsfaktor som inte är mindre än $n = 2$ mot axiell buckling, är en säker böjkvot $a \geq 35$. I ekvation 41 blir den ekvivalenta axialdeformationen:

$$\epsilon_a = \frac{1}{2 \cdot 35} = 1.4\%$$

4.11 Axiell buckling

Den kritiska axialdeformationen, det vill säga när röret ger efter och blir knäckt, visas i ekvation 42.

$$\varepsilon_{a,crit} = 1,2 \cdot \frac{e}{D_o} = 1,2 \cdot \frac{1}{SDR} \quad (42)$$

där e = vägg tjocklek

Kvoten e/D_o representerar inversen av rörets SDR-värde, se sektion 4.1. Sålunda är värdet på den kritiska axialdeformationen detsamma för rör i samma SDR-klass, och utsatta för samma dimensionerande spänning, σ , under förutsättning att de är gjorda av samma plastmaterial.

$$\varepsilon_{a,crit} = 1,2 \cdot \frac{e}{D_o} = 1,2 \cdot \frac{1}{SDR}$$

SDR-värdet = D_o/e finns i tabell 3.2.1, sektion 3.2. Den kritiska axialdeformationen för olika standard PE-rör finns förtecknade i tabell 4.11.1.

Exempel:

Tabell 4.11.1 - Kritisk axiell deformation

Givet: PE-rör SDR 26

$$\varepsilon_{a,krit} = 4.6 \%$$

Minsta böjkvoten, α , för detta rör, med en säkerhetsfaktor mot axiell buckling, räknas ut genom att kombinera ekvationerna 2.2 och 3:

$$n = 2.0$$

räknas ut genom att kombinera ekvationerna 2.2 och 3:

$$\alpha \geq 2.0 \cdot \frac{100}{2 \cdot 4.6}$$

$$\alpha \geq 22$$

Tryckklass PN bar	Standard PE-rör Dimensionerande spänning		
	σ 5.0	σ 6.3	σ 8.0
	%		
SDR 26	4.6	-	-
SDR 17.6	7.1	-	-
SDR 17	-	5.7	-
SDR 11	10.9	8.8	7.1
SDR 9	16.4	13.3	10.9
SDR 7.3	-	16.4	13.3

Böjkvoten minskar vid lägre SDR-klass. Om vi antar ett PE-rör, SDR 11, dimensionerande spänning, $\sigma = 6,3$, blir böjkvoten så låg som $\alpha = 14$, med en säkerhetsfaktor $n = 2,0$, se fig. 4.11.B.

När ett rör utsätts enbart för böjning blir det också ovalt, vilket orsakar ringspänningar och deformation, och som är mer betydelsefullt än den axiella deformationen, se sektion 4.12.

Den axiella bucklingen hos ett standard PE-rör visas i fig. 4.11.A.

Fig. 4.11.A - Axiell buckling hos PE-rör, $\sigma = 5,0$, utsatta för enbart böjning.

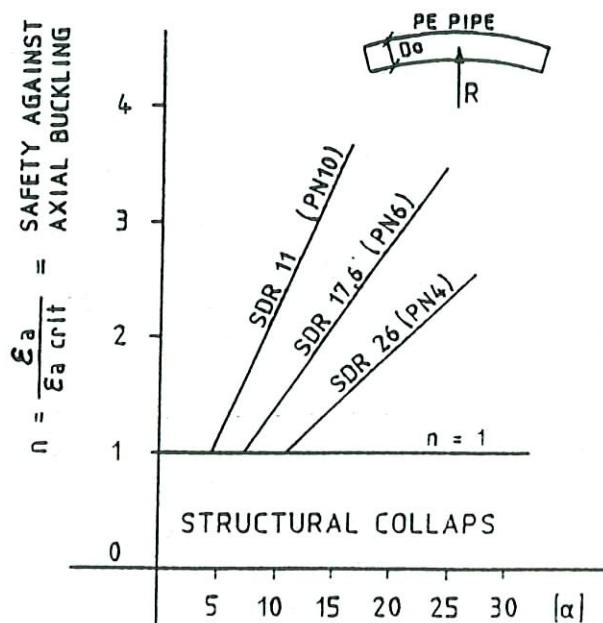
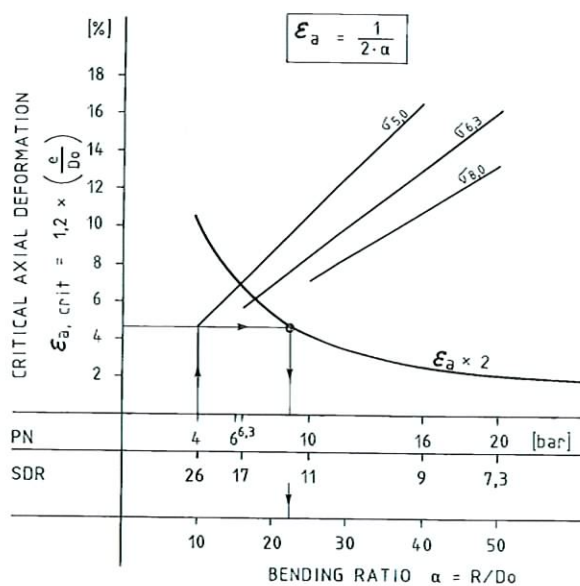


Fig. 4.11.B - Kritisk axiell deformation, $\epsilon_{a,krit}$ kontra böjkvoten, med SDR, PN och dimensionerande spänning, σ som parametrar



Exempel:

- Fig. 4.11.B. SDR 17, $n = 2$, $\alpha = 18$
- SDR 17.6, $n = 2$, $\alpha = 14$
- SDR 26, $n = 2$, $\alpha = 22$

4.12 Radiell buckling

Den kritiska radiella spänningen och -deformationen som uppstår när röret blir ovalt kan uttryckas som en funktion av kvoten e/D_0 , precis som för axialspanningen.

Fig. 4.12.A - Deformerade rör (ovala).

Fig. 4.12.A visar ett rakt (långt) rör och ett svängt (kort) rör, båda utsatta för deformation (ovala). Låt D_0 vara rörens diameter och e vägg tjockleken, då blir den kritiska radiella deformationen $\epsilon_{0,crit}$:

$$\epsilon_{o,crit} = 1,12 \cdot \left(\frac{e}{D_0} \right)^2 \quad (\text{långt rör}) \quad (43)$$

$$\epsilon_{o,crit} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{e}{D_0} \right) \quad (\text{kort rör}) \quad (44)$$

För ett PE-rör utsatt endast för böjning gäller ekvation 44

$$\epsilon_{o,crit} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{e}{D_0} \right) \quad (45)$$

Obs. Vanligtvis är Poissons konstant, $\nu = 0,45$

Den kritiska radiella deformationen hos ett PE-rör är uppskattningsvis 1/4 av rörets kritiska axiella deformation. Detta har i grunden att göra med värdet hos $I =$ tröghetsmomentet i radiell riktning, vilket är:

$$I_0 = 1/12 \cdot e^3 \cdot \text{rörlängden}$$

$$\text{Detta ger:} \quad \epsilon_{o,crit} \approx 1/4 \cdot \epsilon_{a,crit} \quad (46)$$

Den kritiska radiella deformationen hos ett PE-rör utsatt endast för böjning visas i 4.12.B, där ϵ_A är deformationen på toppen av röret, ϵ_B är enligt figur, ϵ_A representerar den mest betydelsefulla radiella deformationen, vilken svarar mot den högsta böjkvoten, α .

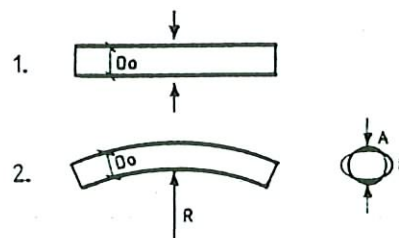
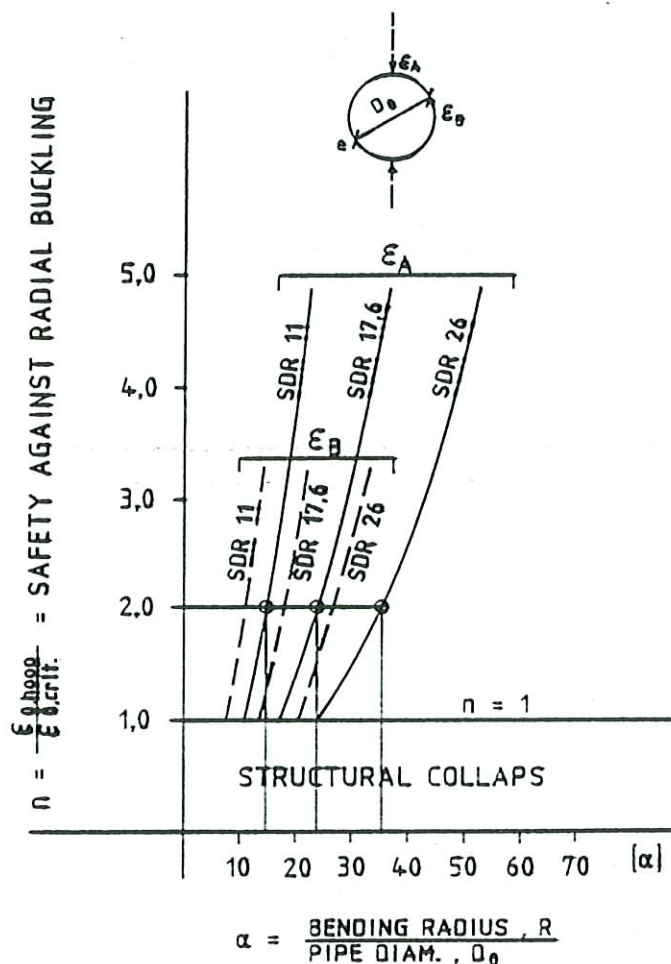


Fig. 4.12.B - Radiell buckling hos ett standard PE-rör, s 5.0, utsatt enbart för böjning

Exempel

1. $n = 2$
SDR 26 (PN 4)
 $\alpha \geq 35$
2. $n = 2$
SDR 17.6 (PN 6)
 $\alpha \geq 24$



För en given böjvot, a , är det uppenbart att den radiella deformationen, ϵ_0 , är den signifikanta dimensionerande deformationen, inte den axiella, se figurer 4.11.A och 4.12.B och också tabell 4.12.1.

Tabell 4.12.1

PE-rör SDR-Klass	Erforderlig böjvot, α , säkerhetsfaktor $n = 2$	
	Radiell riktning	Axiell riktning
SDR 26	35	22
SDR 17.6	24	14
SDR 11	15	10
	Standard PE-rör $\sigma_{5.0}$	

4.12.1 Effekter av inre lufttryck

När ett rör utsätts för enbart böjning och inre lufttryck, P_i , minskas deformationen (mindre ovalt) och den kritiska deformationsnivån i axiell riktning ökas.

Axiell riktning

$$\frac{\sigma_{a,crit}}{\sigma_a} = f(P_i) \quad (46)$$

Ekvation 46 visar det stigande värdet på $\sigma_{a,crit}$ och följaktligen också $e_{a,crit}$. Med stigande SDR-klass minskar effekten av lufttryck snabbt vilket visas i tabell 4.12.2.

Tabell 4.12.2

$P_i = 1.0 \text{ bar}$	
SDR-Klass	$\Delta \varepsilon_{a,crit}$
26.0	+ 12.5%
17.6	+ 5.0%
11.0	+ 2.0%

Radiell riktning

Effekten på ringspänningen uttrycks

Fig. 4.12.C:

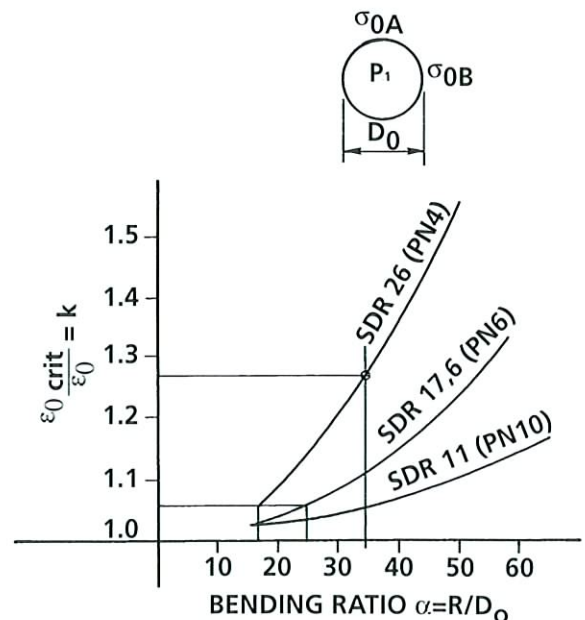
$$\frac{\sigma_{a,crit}}{\sigma_a} = f(P_i) \quad (47)$$

vilket visas i fig. 4.13.C. Den stabiliserande effekten på ett SDR 11-rör är mindre än på ett SDR 26-rör.

Exempel

Vid minsta rekommenderade böjningskvot, α ($n = 2$):

SDR 11,	$k=1,03$
SDR 17,6,	$k=1,15$
SDR 26,	$k>1,5$



Slutsats:

Den stabiliserande effekten på ett SDR 26-PE-rör är signifikant. Ett sådant rör bör inte sänkas utan inre övertryck. Den stabiliserande effekten på ett SDR 17,6-rör är mellan plus 10 % och 20 %.

För ett PE-rör med SDR 11, eller högre, är den stabiliserande effekten av inre övertryck mer eller mindre försumbar.

4.12.2 Betongvikters betydelse

När betongvikter monteras på PE-röret med rekommenderat avstånd ökar dessa rörets bucklingsmotstånd genom att reducera dess deformation (mindre ovalt).

Vikterna har ingen effekt på det axiella bucklingsmotståndet hos röret.

Betongvikternas bidrag till bucklingsmotståndet fås ur:

$$k = \frac{P_{buc'}}{P_{buc}} \quad (48)$$

där P_{buc} = bucklingstrycket vid buckling hos röret

$P_{buc'}$ = bucklingstrycket vid buckling hos röret då betongvikterna är monterade med ett avstånd, l .

$l_{min} < l < l_{max}$, se tabell 4.12.3. Ekvationen för k är:

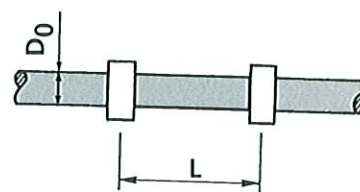
$$k = \frac{1,4}{n} \cdot \left(\frac{l-e}{D_o} \right) \cdot \left(\frac{D_m}{e} \right)^{1/2} \quad (49)$$

där e = väggjocklek
 D_o = ytterdiameter
 $D_m = D_o - e$
 n = heltal
 följaktligen $l = n \cdot D_o$

Värdet av l_{min} och l_{max} är beroende av tillåtet arbetstryck, vilket visas i tabell 4.12.3.

Tabell 4.12.3

Tryckklass	Avstånd/utrymme mellan betongvikter	
	$l >$	$l <$
SDR 33	240 mm	4200 mm
SDR 26	270 mm	3700 mm
SDR 17.6	330 mm	2900 mm
SDR 11	400 mm	2200 mm



4.13 Hydrostatisk buckling under sänkingsprocessen

Den hydrostatiska knäckningen inträffar vid nedsänkning under vatten av ett tomt, luftfyllt rör. Detta kan utläsas ur ekvationen för hydrostatisk buckling.

$$P_{buc} = \frac{2 \cdot E_c}{1 - \nu^2} \cdot \left(\frac{e}{D_o} \right)^3 \quad (50)$$

där

e = vägg tjocklek

D_o = ytterdiameter

Under sänkning har krypmodulen, E_c , nästan samma värde som Youngs modul, E_0 . Det här för bucklingsmotståndet upp till en högre nivå. Vid sänkning är dessutom alltid utsatt för ett inre övertryck, vilket motsvarar högre bucklingsmotstånd. Det hydrostatiska bucklingstrycket måste enbart kontrolleras för SDR 26-rör som sänks på väldigt djupt vatten.

Hydrostatisk buckling behandlas mer ingående i sektion 4.3.

Faktorn $k = \frac{P_{buc'}}{P_{buc}}$ visas i fig. 4.13.D.

Effekten av betongvikter ökar med lägre SDR-tal.

Fig. 4.13.D - k faktor vs l

Exempel

SDR 26-rör, diameter 800 mm, PCW-vikter, avstånd 3,2 m – 3,7 m.

$$n = 3,2 : 0,8 = 4$$

$$k = 1,6$$

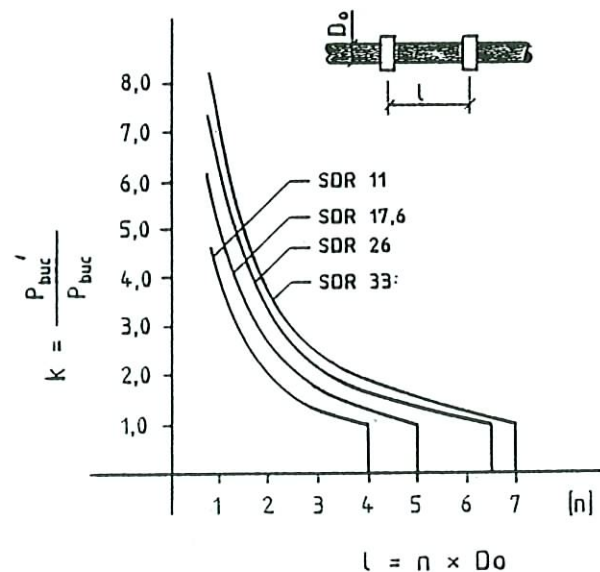
vid avståndet

$$l = 6,5 \cdot 0,8 \text{ m} = 5,2$$

$$k = 1,0$$

i det här fallet

$$l = 5,2 \text{ m} > 3,7 \text{ m}$$



och följaktligen är l_{max} inte överskridet. Formler för att beräkna l_{min} och l_{max} :

$$l_{min} \geq 4 \cdot (1/2 \cdot e (D_o - e))^{1/2} \quad (50.a)$$

$$l_{max} \leq \frac{1.56 \cdot e}{\left(\frac{1}{SDR - 1} \right)^{2/3}} \quad (50.b)$$

4.14 Sänkning av undervattensrör

PE-materialet har en täthet som är mindre än 1, därför måste ett PE-rör förses med vikter eller belastas för att sjunka i vatten. PCW-vikter står för nedlastningen.

Definitioner

$$b_0' = \text{viktbelastningsgrad (\%)} \\ = \frac{\text{vikt hos nedsänkt PCW}}{\text{volym som röret tränger undan}} \cdot \frac{1}{L} \quad (51)$$

där L är avståndet mellan betongvikterna.

$$\frac{\pi}{4} \cdot D_0^2 = \text{volym som röret tränger undan/längdenhet}$$

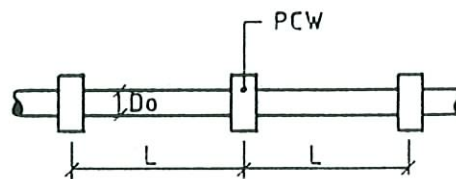
För att räkna fram tyngden hos den nedsänkta betongvikten, kallad PCW', kan vi använda den förenklade ekvationen:

$$PCW' = 0,6 \cdot PCW \quad (52)$$

där $0,6 = (2,4 - 1,0)/2,4$

Fig. 4.14.

Nettovikten hos ett PE-rör fyllt med- och nedsänkt under vatten, q, fås ur uttrycket:



$$q = \frac{\rho}{4} \cdot D_0^2 \cdot \beta_0' \quad (\text{kN/m}) \quad (53)$$

$$\beta_0' = \frac{PCW'}{\frac{\pi}{4} \cdot D_0^2} \cdot \frac{1}{L} \quad (\%) \quad (54)$$

$$\text{Detta ger } q = PCW' / L \quad (\text{kN/m}) \quad (55)$$

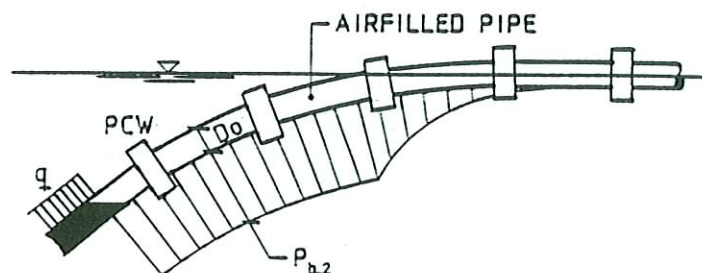
När ett rör är helt fyllt med luft, har det en netto flytkraft. Om vi antar samma nedsänkingslastvikt per längdenhet, (PCW'/L), definierad som q, blir den upplyftande kraften, P_{b,2}, som följer:

$$P_{b,2} = \gamma_w \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_0^2 (1 - \beta_0') \quad (\text{kN/m}) \quad (56)$$

Där γ_w är vattnets specifika vikt. Se 4.14.B

Fig. 4.14.B.

Från den punkt då det luftfyllda PE-röret kommer helt under havsytan bildas en motvikt beroende på tyngden av nedsänkningsvikten (PCW), nu delvis ovanför havsytan. Parametern $P_{b,2}$ är viktig vid beräkningen av böjraden hos röret vid havsytan (R1).



Figur 4.14.B visar tydligt att $P_{b,2}$ är konstant fram till den punkt då röret bryter havsytan, och minskar sedan till noll. Dess medelvärde, $P_{b,2}'$ är:

$$P_{b,2}' = k \cdot P_{b,2} \quad (57)$$

$$\text{where } k = \frac{a \cdot D_0 \cdot f_1 + c \cdot d}{a \cdot D_0 \cdot f_2 + 3 \cdot \chi \cdot d} \quad (58)$$

$$\alpha = \text{böjkvot} = \frac{R}{D_0} \quad (59)$$

$$\chi = \text{luftrycksfaktor} \quad (59)$$

$$d = \text{vattendjup} \quad (59)$$

$$f_1 = 3.3 \sin^2 b + (\cos b - 1) \quad (59)$$

$$f_2 = 3.3 \sin^2 \beta + 3 (\cos \beta - 1) \quad (60)$$

$$\beta = \text{PE-rörets lutningsvinkel gentemot havsytan}$$

Se figurer 5.3.1.A och 4.14.B.

Fig. 4.14.C

Faktorerna f_1 och f_2 visas i figur 4.14.C:

Obs. Vinkeln b är normalt mellan 10 och 60° för vattendjup $d > 12 \cdot D_0$

Med hänvisning till ekvation 58 är parametern k , kvoten:

$$k = P_{b,2}' / P_{b,2} \quad (61)$$

vilken visas i fig. 4.14.D, då följande antaganden har gjorts:

$$\alpha \cdot D_0 = \text{konstant}$$

$$\alpha > 2.0 \cdot \alpha_{\text{krit}}, \text{ anta } \alpha = 40$$

$$\beta_0' = 0.1 \rightarrow 0.5, \text{ variabel}$$

$$\chi = 0.1 \rightarrow 0.5, \text{ variabel}$$

$$\chi \leq \beta_0'$$

$$\text{för } d = 10 \rightarrow 100 \text{ m}$$

$$\text{och } D_0 = 500 \text{ mm}$$

$$k = f(\beta_0', \chi, \alpha, D_0, d, \beta)$$

$$\beta \text{ är mellan } 10^\circ \text{ och } 60^\circ.$$

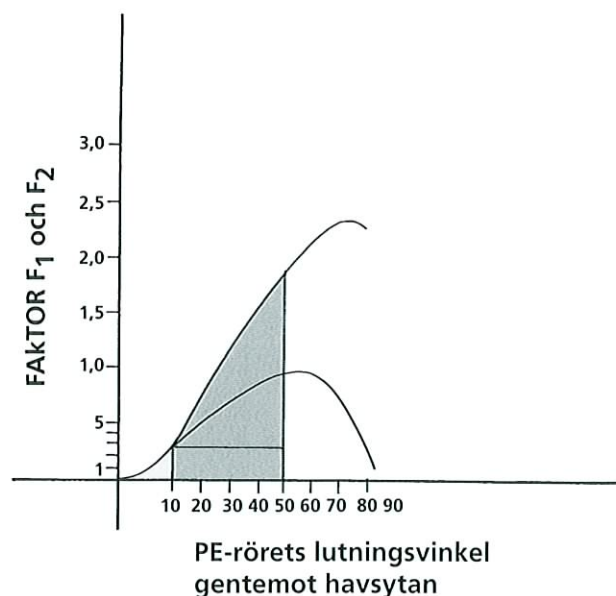


Fig. 4.14.D

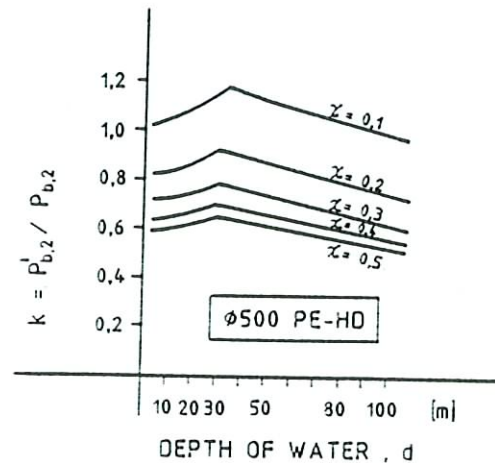
Fig. 4.14.D visar att vid konstant vattendjup är inflytandet av lufttrycksfaktorn, χ , av stor betydelse för värdet på k .

Exempel 1

Vattendjup $d = 50$ m

för	$\chi = 0.5$	$k = 0.6$
	$\chi = 0.3$	$k = 0.75$
	$\chi = 0.2$	$k = 0.88$
	$\chi = 0.1$	$k = 1.15$

Antagande: $\alpha = 40$



NOTE : $\alpha \cdot D_o = 40 \times 0,5 \text{ m} = 20 \text{ m} = \text{constant}$
 $\beta = 20^\circ \rightarrow 60^\circ$

Exempel 2

Lufttrycksfaktorn, χ , är vanligtvis mellan 0,2 och 0,5. Om vi antar att $\chi = 0,3$, $\alpha = 40$ och vattendjupet $d = 50$ m, varierar parametern k med rördiametern, vilket visas i tabell 4.14.1. nedan.

Tabell 4.14.1

Rördiameter D_o (mm)	$k = P_{b,2}' / P_{b,2}$		
	d (m)	χ	k
250	50	0.3	0.60
400	50	0.3	0.70
500	50	0.3	0.75
800	50	0.3	0.90

I praktiken beräknas k från ekvation 58. Som en vägledning har k värden som beror på vattendjupet:

$$k = P_{b,2}' / P_{b,2}$$

I grunt vatten $k = 0,5 \rightarrow 0,75$

I medelgrunt vatten $k = 0,6 \rightarrow 0,9$

I djup vatten $k = 0,8 \rightarrow 1,0$

4.14.1 Sänkning på grunt vatten

På grunt vatten är hävstångsteorin användbar. Rörkonstruktionen kan betraktas som en balk med en fixerad ända och den andra rörlig.

Med grunt vatten menas ett djup upp till $12 \cdot$ rördiametern.

$$n = d/D_0$$

För $n \leq 12$ definieras vattendjupet, d , som grunt och hävarmsteorin tillämpas.

Därav fås:

$$d^2 \cdot F_1 \geq E \cdot I_a \quad (62)$$

$$\text{eller } F_1 = \frac{E \cdot I_a}{d^2} \quad (63)$$

Under tiden för sänkning är E nästan lika med E_0 , I_a är tröghetsmomentet för röret och F_1 är dragkraften på röret. Denna olikhet måste vara uppfylld för att tillämpa kedjeteorin. Då $d < 12 \cdot D_0$ behöver man inte räkna med dragkraften, F_1 .

I grunt vatten är böjradien och böjkvoten vid havsytan, R_1 och α_1 , bägge en funktion av:

$$R_1 = f(E_c, I_a, d, \beta_0', \chi) \quad (64)$$

Där I_a är det axiella tröghetsmomentet, dvs. rörets tryckklass.

$$\begin{aligned} d &= \text{vattendjup} \\ \beta_0' &= \text{viktbelastningsgrad (\%)} \\ \chi &= \text{lufftrycksfaktor} \end{aligned}$$

Vid sänkning i grunt vatten spelar χ en viktig roll. Vid ökat vattendjup, och under förutsättning att

$$\chi \leq \beta_0' \quad (65)$$

är uppfylld, blir böjradien snabbt för liten när vattendjupet når gränsen för djupt vatten, egentligen

$$d = 12 \cdot D_0 \quad (66)$$

Detta visas i fig. 4.14.E och 4.14.F.

Fig. 4.14.E.

Böjkvot α och rörets vinkel β° kontra $n = d/D_0$ 500 mm i diameter SDR 26, $\beta_0' = 30\%$, $\chi = 0.3$

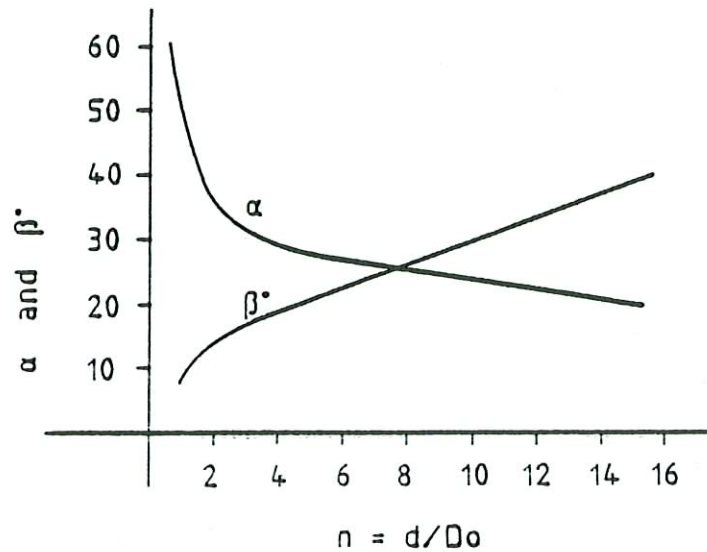
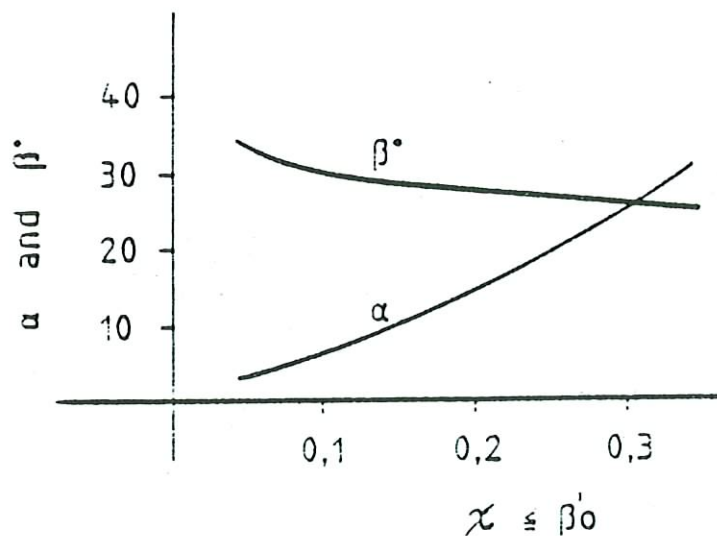


Fig. 4.14.F

Böjkvot α och rörets vinkel β° kontra lufttrycksfaktorn, χ 500 mm i diameter, SDR 26, $\beta_0' = 30\%$.



För att förenkla vid överslagsberäkning kan man använda det förenklade dimensioneringsdiagrammet i fig. 4.14.G och 4.14.H.

FIG. 4.14.G

Förhållanden i grunt vatten

Förenklad dimensionsdiagram för undervattens-PE-rör

200 mm till 400 mm i diameter

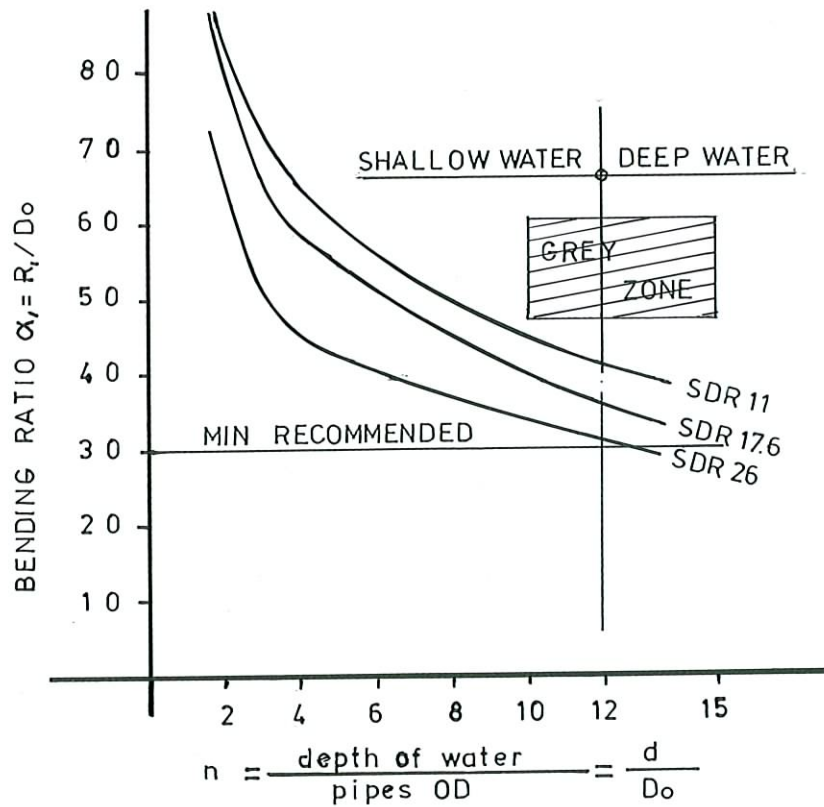
 $\beta_0' = 30\%$ $\chi = 0.30$ $E_C = 800 \text{ MPa}$ 

Fig. 4.14.G gäller för PE-rör med en diameter på 200 till 400 mm diameter, SDR-värde från 26 - 11. Viktbelastningsgraden är satt till 30 % (medelvärde) och lufttrycksfaktorn 0.30. Sänkningshastigheten skall vara tillräckligt hög för att hålla krypmodulen på en nivå som inte understiger 800 MPa.

Det relativa vattendjupet, n , är kvoten av vattendjupet kontra rörets ytterdiameter. Villkoren för grunt vatten gäller upp till $n = 12$, men där finns en gråzon, vilket visas i diagrammet, som sträcker sig från $n = 10$ till $n = 15$. Den här gråzonen måste utvärderas noga av konstruktören.

Om minsta böjkvot är 30, visar fig. 4.14.G att rören kan sänkas i alla vattendjup och för alla tryckklasser utan att överskrida böjkvotsgränsen, 30. Det inre lufttrycket bör vara så högt som möjligt, dock aldrig mindre än 0,3 • vattendjupet, enligt föreskrifterna.

Om viktbelastningsgraden är större än 30 % måste lufttrycksfaktorn öka i motsvarande grad.

Fig. 4.14.H
Förhållanden i grunt vatten
Förenklat dimensioneringsdiagram för undervattens-PE-rör
500 mm till 1000 mm diameter
 $\beta_0' = 30\%$

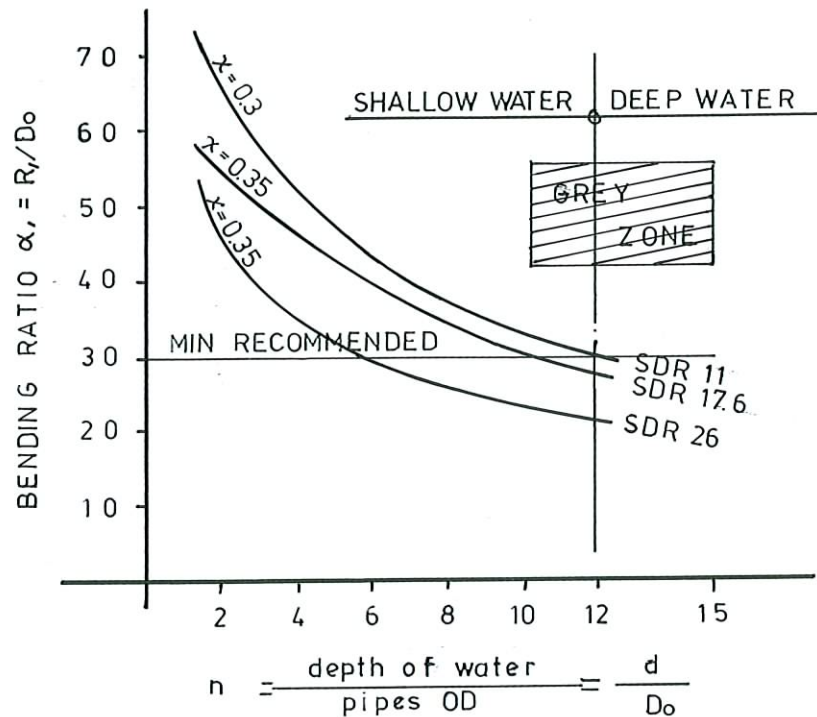


Fig. 4.14.H gäller för rör med 500 till 1 000 mm diameter, SDR-klass 26 till 11. Viktbelastningsgraden är satt till 30% (medelvärde). Lufttrycksfaktorn, χ , normalt inte lägre än viktbelastningsgraden, bör vara så låg som möjligt. I praktiken kan lufttrycksfaktorn överstiga viktbelastningsgraden med 10 - 20% utan att röret flyter upp till ytan. Lufttrycksfaktorn bör hållas mellan 0,30 och 0,35 (i detta fall, helst nära 0,35). Krypmodulen är satt till 800 MPa.

En jämförelse av figurerna 4.14.G och 4.14.A visar skillnaden mellan rör med stor och liten diameter. Rör mellan 550 och 1 000 mm är mer bucklings- och spänningskänsliga under sänkning, detta gäller inte SDR 11 och SDR 17,6. Utloppsrör, normalt utformade i tryckklass SDR 26, måste behandlas varsamt vid relativa vattendjup större än sex. Det inre lufttrycket bör vara så högt som möjligt, för $n = 6$ till 12. Detta gäller även SDR-klass 17,6 och SDR 11.

För rör med större diameter, SDR 26, visas sänkingsproceduren i kapitel 5, $n > 8$, om inte rören är skyddade mot axiell och radiell buckling eller spänningsrelaterade bristningar.

Rör med diameter av 1200 mm till 1600 mm kräver varsamhet och utökad kontroll med avseende på alla typer av buckling och axial/radiell relaterade bristningar. Om viktbelastningsgraden överskrider 30 %, måste lufttrycksfaktorn stiga i motsvarande grad.

4.14.2 Sänkning på djupt vatten

$$\text{Olikheten} \quad d^2 \cdot F_1 \geq E \cdot I_a \quad (68.a)$$

Måste vara uppfylld om ett rör skall följa teorin för sänkning i djupt vatten

$$\text{Djupt vatten definieras som } d > 12 \cdot D_0 \quad (68.b)$$

För väldigt djupt vatten, låt oss säga $d > 50 \cdot D_0$, blir dragkraften vid ytan, som uppfyller olikheten, mer eller mindre insignifikant.

Med hänvisning till fig. 5.3.1.A och 4.14.B är standardekvationen för rörsänkning i djupt vatten definierad som en funktion av följande parametrar.

$$R_1 = f(F_1, q, P_{b,2}', d, \chi) \quad (69.a)$$

$$R_2 = f(F_1, q, d, \chi) \quad (69.b)$$

Under förutsättning att $\beta_0' \leq 50\%$ och $\chi \leq \beta_0'$, då blir R_1 mindre än R_2 . Eftersom ekvation 68 ger den kritiska dimensionerande böjraden. Enligt ekvationerna 57 till 60, fås parametern $P_{b,2}'$ ur följande:

$$P_{b,2}' = k \cdot P_{b,2} \quad (57)$$

Värdet på k fås ur fig. 4.14.D och tabell 4.14.1.

De signifikanta parametrarna för ekvationerna 68 och 70 är:

$$\beta^0 = f(F_1, q, d, \chi) \quad (70)$$

De signifikanta parametrarna för ekvationerna 68 och 70 är:

F_1 = Dragkraft vid ytan, utvalt värde

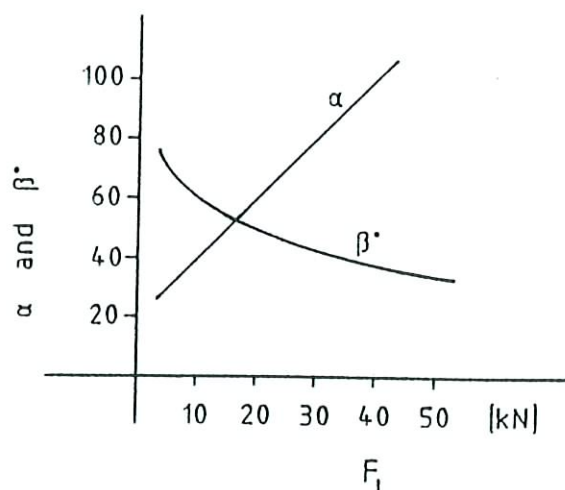
d = vattendjup, givet värde

Till skillnad från sänkning av rör i grunt vatten har lufttrycksfaktorn, χ , oväsentlig påverkan. I praktiken är dragkraften F_1 mer viktig. F_1 s betydelse visas i fig. 4.14.I.

Fig. 4.14.I Böjkvot, α , och rörvinkel, β^0 , kontra dragkraften, F_1 .

$$d = 50 \cdot D_0$$

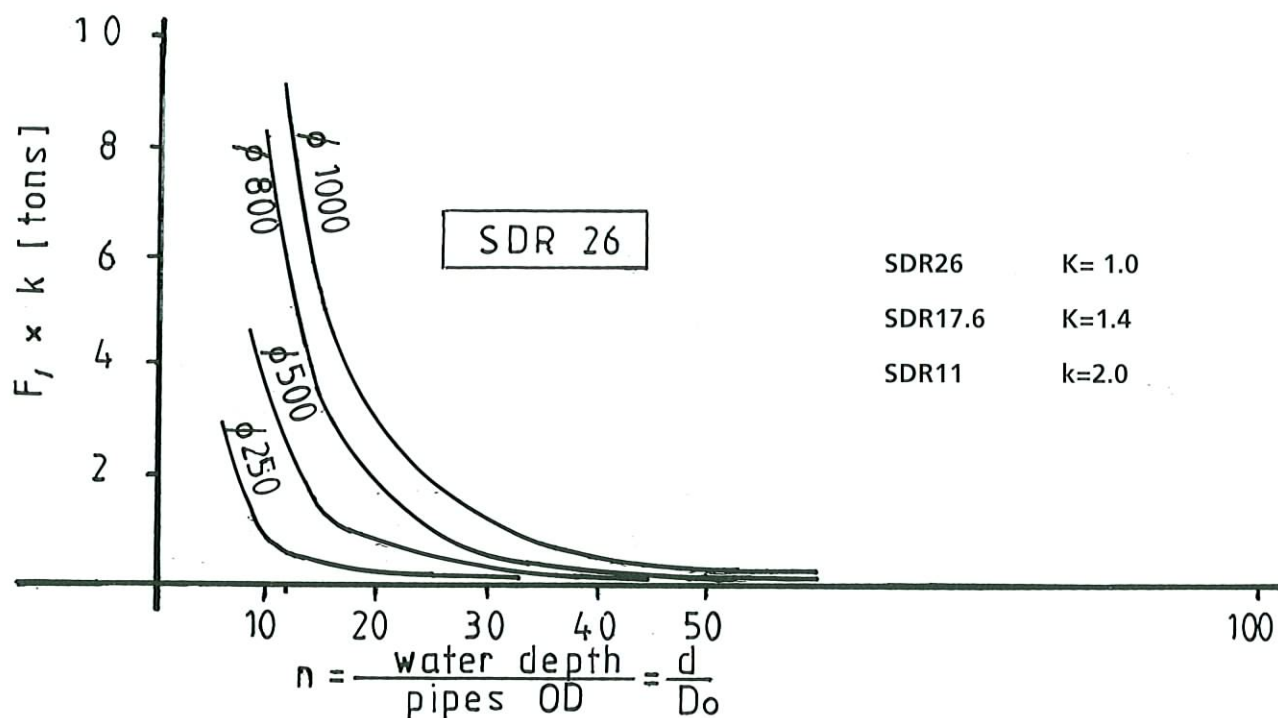
500 mm diameter, SDR 17,6, $\beta_0' = 30\%$.



Dragkraften F_1 genereras vanligen av en bogserbåt eller dylikt. Ur praktisk synpunkt bör värdet på F_1 hållas konstant.

Den minsta dragkraft som krävs för att uppfylla olikheten 68.a visas i fig. 4.14.J.

Fig. 4.14.J Den minsta dragkraft som krävs för att uppfylla olikheten enligt villkoren för djupt vatten



Ur praktisk synpunkt kan värdet på F_1 beräknas ur följande formel

$$F_1 \geq \alpha_{\min} \cdot D_o \cdot P_{b,2} \quad (71)$$

Som vid installationer på grunt vatten kan man även vid djupvattensinstallationer använda de förenklade dimensioneringsdiagrammen, se fig. 4.14.K.

Det minsta värdet på F_1 skall jämföras med minsta erforderliga dragkraft F_1 krit som krävs för att hålla böjradie/kvot över erforderligt och beräknat minimum. Se fig. 4.14.J.

Fig. 4.14.K

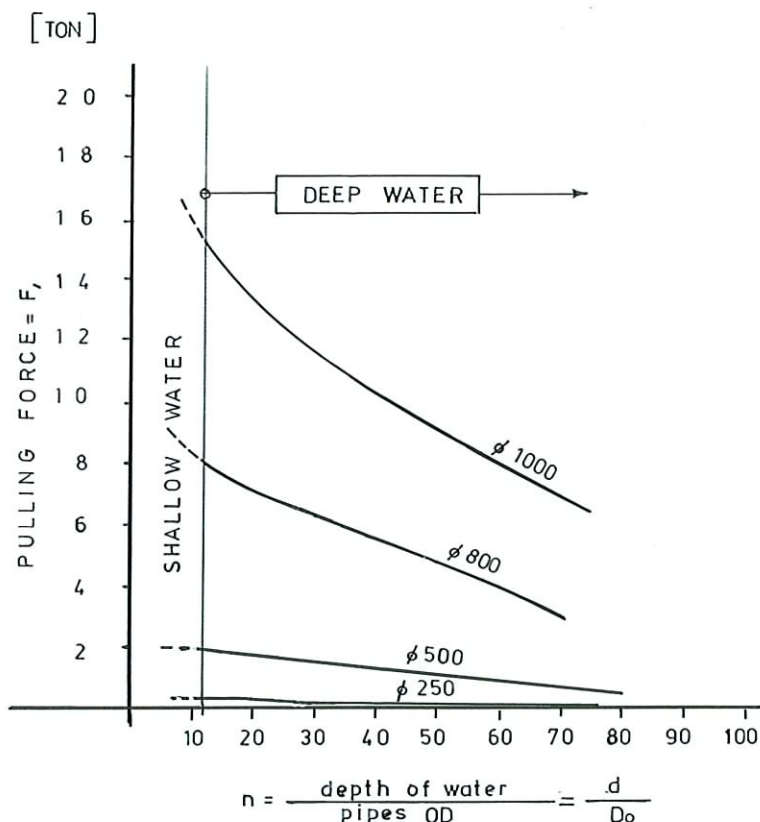
Förhållanden i djupt vatten

Förenklat dimensioneringsdiagram för undervattens-PE-rör

$$\alpha = 35-40$$

$$\beta_0 = 30 \%$$

$$\chi = 0.3-0.2$$

**Kommentarer till fig. 4.14.K**

Rördiametern varierar mellan 250 mm och 1 000 mm. Nedsänkningen i djupt vatten börjar vid $n = 12$. Beroende på rörens SDR-klass kan den starta från $n = 15$. Detta måste bestämmas av entreprenören som utför arbetet till havs, efter noggrann besiktning av de aktuella förhållandena.

Den erforderliga dragkraften, F_1 , kan avläsas direkt med specifika djupet som en parameter och rörets yttermått som den andra. För rör med liten diameter från 200 mm upp till 400 mm, är den erforderliga dragkraften liten, mindre än två ton. För rör med större diameter ökar den erforderliga dragkraften påtagligt, under förutsättning att $n < 50$. Medelvärdet av viktbelastningsgraden sätts till 30%. Lufttrycksfaktorn skall vara mellan 0,3 och 0,2. Det inre lufttrycket har mindre betydelse när man sänker rör i djupt vatten, men skall normalt sett vara lika med viktbelastningsgraden, vilken normalt minskar vid ökande vattendjup.

Fig. 4.14.K kan användas som ett förenklat dimensioneringsdiagram vid normala förhållanden, för överslagsberäkning av en bestämd rörledning under vatten. För rör med en diameter som är mindre än 500 mm kan kurvan i fig. 4.14.K användas utan restriktion.

Vid diametrar över 1 000 mm, måste sänkingsarbetet utföras försiktigt, med beaktande av konsekvenserna av ett rörbrott under sänkingsarbetet. Detta beror i huvudsak på att rör med diameter 1 200 – 1 600 mm har ett högre SDR-nummer och som en konsekvens därav är mer sårbara vid axiell- och radiell buckling. Detta kräver omsorgsfull analys av sänkingsvillkoren såsom den spänning och det tryck som rörkonstruktionen utsätts för.

Sådana analyser är utanför denna Handboks omfattning. Kontakta Pipelife experter på området.

4.14.3 Teori kontra praktik

Användbarheten för denna teori angående sänkning av rör i grunt och djupt vatten har verifierats genom att testa ett stort antal rör under sänkingsarbete. En del resultat visas i tab. 4.14.2.

Tabell 4.14.2

Teori kontra praktik				
Standard PE-rör	Vatten djup	Böjningsradie α		Avvikelse Δ %
		Teori	Praktik	
1400 SDR 26	10-16 m	30	31-33	+ 3 → + 10
450 SDR 17.6	260 m	95	93	- 2
500 SDR 11	90 m	143	132	- 8
500 SDR 11	200 m	124	130	+ 5
500 SDR 11	350 m	162	180	+ 11

HD material $T = 15 \rightarrow 20^{\circ}\text{C}$ $E_C \geq 800 \text{ N/mm}^2$

Medelavvikelsen från det teoretiska är beräknad vid:

$$\Delta = + 8\%$$

$$\Delta = - 5\%$$

där plustecknet visar att den uppmätta böjradien är större än den beräknade, och minustecknet visar att den är mindre.

4.14.4 Säkerhetsaspekter

Under sänkning skall ett rör ha tillräcklig säkerhetsmarginal mot axial -och ringspänningar. Risken för buckling ökar med vattendjupet och vid låg tryckklass. Konsekvenserna vid ett rörbrott på djupt vatten kan bli förödande, men bör undvikas på alla djup.

Följande säkerhetsfaktorer för axiell- och radiell knäckning rekommenderas :

$$\text{Grunt och medelgrunt vatten} \quad n \geq 2,0$$

$$\text{Djupt vatten} \quad n > 2,5$$

4.15 Ekonomiska synpunkter

När man dimensionerar ett rörsystem för vattentransport ska följande faktorer tas med i beräkningen för att optimera valet av rörmaterial, rörstorlek och SDR-klass :

- Materialförsörjning, inklusive transport och svetsning/sammanfogning
- Rörinstallation. Inklusive närtransporter och schaktarbeten
- Ledningens drift, inklusive pumpningskostnader, underhåll och byte av rörsektioner, om livslängden hos ledningen är mindre än 50 år.

Rätt dimensionerad och monterad, har en PE-rörledning en livslängd på mer än 50 år, eller mer än 100 år, om säkerhetsfaktorn efter 50 år är större än $n = 1,25$.

Detta bestäms av om dimensioneringen, transporten, behandlingen, installation och skötsel utförs ordenligt.

Att jämföra enbart rörpris är inte ett adekvat sätt att bedöma kostnaden för ett vattenledningssystem. Den sammantagna transportkostnaden, uttryckt som kostnaden för att leverera en kubikmeter vätska, är den intressanta parametern för användare och konsumenter. Som man kan se i tab. 4.15.1, erbjuder PE-rör den lägsta sammantagna transportkostnaden.

Tabell 4.15.1.

Transportekonomi i ett totalperspektiv - Approximerade värden				
Element	PE-rör	Stålrör	Gjutjärnsrör	GAP-rör
Materialförsörjning	100 %	70 - 90 %	80 - 120 %	80 - 100 %
Rörinstallation inklusive schaktning	100 %	110 - 125 %	110 - 125 %	110 - 125 %
Ledningens drift	100 %	100 - 130 %	100 - 130 %	100 - 105 %
Antaganden	1. Alla rör har samma innerdiameter 2. Inget aggressivt vatten 3. Installation på land, delvis högt grundvattenstånd 4. Livslängd 50 år , inget behov av rörbyten 5. Inte utsatt för nötning			

Lönsamt vattendjup för nedgrävning

Den totala nedlastnings- och förankringsvikten på ett PE-rör fås ur : (se sekt. 4.9)

$$\Sigma\beta'_o = \frac{4P'}{\pi \cdot D_o^2} = \frac{4}{\pi \cdot D_o^2} \cdot \left(\frac{PCW'}{C/C} + \frac{ACW'}{C/C} \right) \cdot 100\% \quad (72)$$

Om $\beta'_o \leq 50\%$, finns det inget behov av förankringsvikter, ACW, eftersom nedsänkingsvikterna, PCW, ensamma utgör tillräcklig vikt.

För ett nergrävt rör bör viktbelastningsgraden vara

$$\begin{aligned} \beta'_o &= 15 \rightarrow 30\% \\ \text{med } \beta'_o &= 20 \rightarrow 25\% \text{ som ett rekommenderat medelvärde} \end{aligned}$$

Så snart som röret lämnar schaktet på ett specifikt vattendjup, d , möter det rörelseenergin från vågor och havsströmmar, vilket medför att värdet på β'_o går upp, kanske till mer än 100%. Vid större vattendjup, går normalt β'_o ner samtidigt som F_H minskar. Se fig. 4.8, sektion 4.8.1.

På ett specifikt vattendjup blir kostnaden för att gräva ner röret ekvivalent med kostnaden för förankring. Om man tar den minsta viktbelastningsgraden för ett nergrävt rör med i beräkningen, är det möjligt att hitta det lössamma djupet för att gräva ner ett rör. Detta visas i fig. 4.15.A för lösa jordarter.

Observera att vattendjupet skall mätas från havsytan vid lågvatten (ebb).

Om havsbotten består av klippor skiljer sig situationen från den antagna i fig. 4.15.A. Som en grov uppskattning är kostnaderna för ett schakt i berg 2-3 gånger större än kostnaderna i jord. I det här fallet kan gabioner vara ett alternativ.

Fig. 4.15.A. Nergrävda kontra oskyddade PE-rörs viktbelastningsgrad (%) relativt rördiameter i en totalkostnadsöversikt. Lösa jordarter.

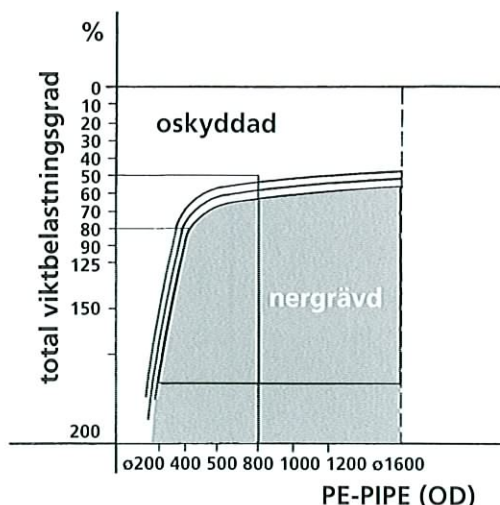
Exempel

Givet: rördiameter 800 mm. Önskvärd viktbelastningsgrad $\beta'_o = 80\%$, röret skall grävas ner (grå yta).

På djupare vatten reduceras β'_o till $\beta'_o = 50\%$. Röret skall ej grävas ner.

Observera: Fig. 4.15.A skall användas som ett preliminärt värde på vattendjup som indikerar nergrävning av röret.

Vattendjupet skall beräknas enligt de rådande omständigheterna och vald säkerhetsfaktorn och sedan justeras efter hand.



5.0 Installation

5.1 Tekniker för sammanfogning

5.1.1 Sammanfogning av PE-rör

Olika sammanfogningsmetoder har utvecklats sedan polyetenröret först kom ut på marknaden i slutet av 50- och början av 60-talet.

I början användes PE-rören huvudsakligen för undervattensapplikationer och kunde därför tillverkas i långa obrutna längder och bogseras till havs. Rörinstallationer på land och i sjöar sammanfogades med hjälp av stål-, metall- och spännkopplingar.

Idag finns många sammanfogningsmetoder vilka är användbara för alla storlekar av PE-rör.

- Stumsvetsning
- Elektrosvetsning
- Bordring med lösfläns
- Mekaniska kopplingar

Stumsvetsning är utan tvekan den vanligaste metoden.

Metoden kan användas på alla storlekar av PE-rör, men används vanligtvis på rör med 110 mm – 1 600 mm i diameter.

Elektrosvetskopplingar finns i alla storlekar upp till 400 mm.

En bordring med lösfläns används vanligtvis för att sammanfoga längre sektioner av rör, för anslutningar till ventiler, inspektionsbrunnar eller rör gjorda av andra material.

Stumsvetsning av rörslangor kombinerat med bordringar/lösflänsar är vanliga vid större PE-rör som installeras på land eller i marina miljöer. Stumsvetsning och elektrosvetsning används huvudsakligen för mindre rördimensioner.

Mekaniska kopplingar, utformade i plast eller metall, finns nu tillgängliga för alla storlekar av PE-rör. De är att föredra vid:

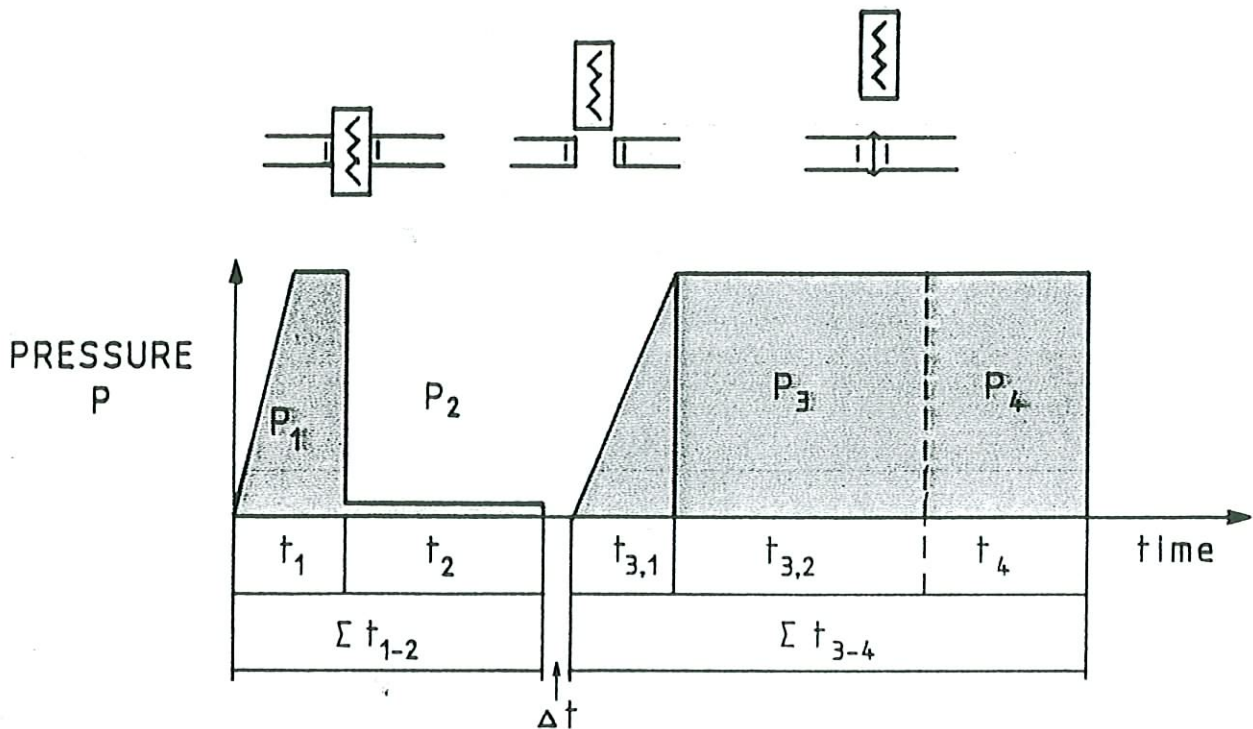
- Stora korttidsböjspänningar, som vid sänkning och läggning.
- Svåra eller omöjliga svetsförhållanden.
- Färre sammanfogningar på större rör gör dem billigare.
- Undervattenssammanfogning eller vanliga reparationer.

5.1.2 Stumsvetsning av PE-rör

Allmänt

Standard stumsvetscykel, enligt DS-INF-70/INSTA 2072, visas i fig. 5.1.A

Fig. 5.1.A.



Där:

- P_1 = uppvärmningstryck, hög (MPa)
- P_2 = uppvärmningstryck, låg (MPa)
- P_3^* = svetstryck (MPa)
- P_4 = tryck under nedkylning (MPa) = P_3
- t_1 = uppvärmningstid vid högt tryck (s)
- t_2 = uppvärmningstid vid lågt tryck (s)
- Δt = övergångstid (s)
- $t_{3,1}$ = tryckstegringstid (s)
- $t_{3,2}$ = nedkylningstid under inverkan av P_4

*) Svetstrycket kan skilja från det stipulerade i DS-INF-70/INSTA 2072, eftersom det beror på svetskriterierna i materialstandarden.

5.1.3. Svetsparametrar

Nedanstående svetsparametrar är genomsnitts- eller vägledningvärden. Väggtjocklek (e) och diameter (d_e) är angivna i mm.

1. Svetstemperatur - T

Svetstemperaturen, T , skall vara $210^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ och skall mätas kontinuerligt och verifieras med termometer varje gång man svetsar.

2. Uppvärmningstryck (högt) - P_1

Upphettningsstrycket bör vara $P = 0.18 \text{ N/mm}^2 \pm 0.01 \text{ N/mm}^2$

3. Upphettningsstid - t_1

Uppmjukningstiden i sekunder. Den skall noteras. Se punkt 4.

4. Svetssvulstens bredd A

Svetssvulstens bredd A , vid slutet av upphettningsstiden, är en funktion av väggtjockleken, e :

$$A = 0.5 \text{ mm} + 0.1 \bullet e$$

5. Uppvärmningstryck (lågt) P_2

Trycket när materialet är flytande är normalt noll och skall aldrig vara mer än $0,01 \text{ N/mm}^2$

6. Uppvärmningstid - t_2

Uppvärmningstiden är en funktion av väggtjockleken, e : $t = 15e \pm e$ (s)

7. Övergångstid - D_t

Övergångstiden är en funktion av rördiametern, $d_e = D_0$: $t \leq 3 + 0,01d_e$ (s)

8. Tryckstegringstid - $t_{3,1}$

Tryckstegringstiden är en funktion av rördiametern, $d_e = D_0$: $t \leq 3 + 0,03d_e$ (s)

9. Svetstryck - P_3

Svetstrycket skall vara $P_3 = 0,18 \text{ N/mm}^2 \pm 0.01 \text{ N/mm}^2$

10. Nedkylningstryck - P_4

Nedkylningstrycket skall vara $P_4 = 0,18 \text{ N/mm}^2 \pm 0.01 \text{ N/mm}^2$

11. Nedkylningstid under tryck - $t_{3,2}$

Minsta nedkylningstid skall vara $t = 10 + 0,5e$ (min.)

Under nedkylningstiden skall röret och svetsområdet vara i fullständig vila och får alltså inte röras i någon riktning.

5.1.4 Svetskapacitet

Nedanstående siffror baseras sig på åtta timmars arbetsdagar.

Dimension mm	Antal svetsar per dag	Antal svetsar per dag
1600	2	–
1400	2	–
1200	3	3
1000	3	3
900	4	4
800	4	4
710	5	5
630	6	6
560	7	7
500	7	7
450	8	8
400	10	10
355	10	10
280	14	14
250	16	16
225	18	17
200	20	18
180	22	18
160	22	20
140	22	20
125	25	22
110	25	25
90	25	25
75	26	25



Pipelife BW 1600 stumsvetsmaskin.

5.2 Installationer på land

För att transportera vatten på land i stängda system, står PE-rör sig väl i konkurrensen med andra konventionella material inklusive stål, tunnplåt, betong och GAP. PE konkurrerar både tekniskt och ekonomiskt och dess relevanta dimensioneringskoncept står sig bra i jämförelse med erkända konstruktions- och ingenjörsvetenskap.

PE-rör eller rör av andra material skall inte användas om kort- eller långtidsegenskaperna eller dess mekaniska egenskaper är olämpliga. Å andra sidan, om ett rörs beskaffenhet och mekaniska egenskaper gör det lämpligt skall det inte uteslutas enbart beroende på att rör av andra material brukar användas. Detta är fallet för många av de användningsområden som PE-röret har. Följaktligen bör ingenjörer bli mer bekanta med kort- och långtidsegenskaperna hos PE-rör.

För dimensionering av PE-rör, se kapitel 4.0.

De viktigaste parametrarna, som avgör livslängden hos ett PE-rör, är:

- Maximal spänning på rörväggen, radiell och axiell riktning, långtids såväl som korttids.
- Rördeformation på lång sikt.
- Säkerhet mot radiell buckling, och axiell buckling under installationen.
- Rörets livslängd uttryckt i år.

Typiska dimensioneringskrav är:

1. Livslängd, minst 50 år och upp till 100 år.
2. Säkerhetsfaktorn vid livslängdens slut, 50 eller 100 år, bör inte vara mindre än $n = 1,25$ mot spänningar i rörväggen och $n = 2,0$ mot buckling.
3. Rörets långtidsdeformation bör inte vara större än 5%.

Rörssystem kan delas in i två breda kategorier, de som omfattar tryckrör och de som omfattar självfallsledning.

Tryckrör väljs vanligen efter deras inre arbetstryck. Nedan finns en specifikation baserad på tredje generationens PE-material $MRS \geq 10,0$ MPa (50 år, $T = 20^\circ\text{C}$).

P_w = konstant arbetstryck
 T = 20°C
 n = säkerhetsfaktorn $\geq 1,25$
 t = 50 år = minsta önskade livslängd

$D_o = 1600$ mm - 1400 mm	$P_w \leq 6.3$ bar
$D_o \leq 1200$ mm	$P_w \leq 8.0$ bar
$D_o \leq 1000$ mm	$P_w \leq 10$ bar
$D_o \leq 630$ mm	$P_w \leq 16$ bar
$D_o \leq 500$ mm	$P_w \leq 20$ bar

Se sektion 3.3.1 för andra egenskaper hos PE-material.

Självfallsledning väljs vanligen med tanke på bucklingsstyrka under lång tid, rörets maximala böjning, den livslängd som krävs och säkerhetsfaktor. Följande grad av återpackning relativt SDR-klass skall tas som ett minimum, under förutsättning att normala förhållanden råder. DPR= Packningsrad.

SDR 33	DPR \geq 95%
SDR 26	DPR \geq 90%
SDR 17.6	DPR \geq 90%
SDR 11	DPR \geq 85%
SDR 9	DPR \geq 85%

PE-rör för applikationer på land

PE-rör kan användas och bör beaktas vid många olika tillämpningar:

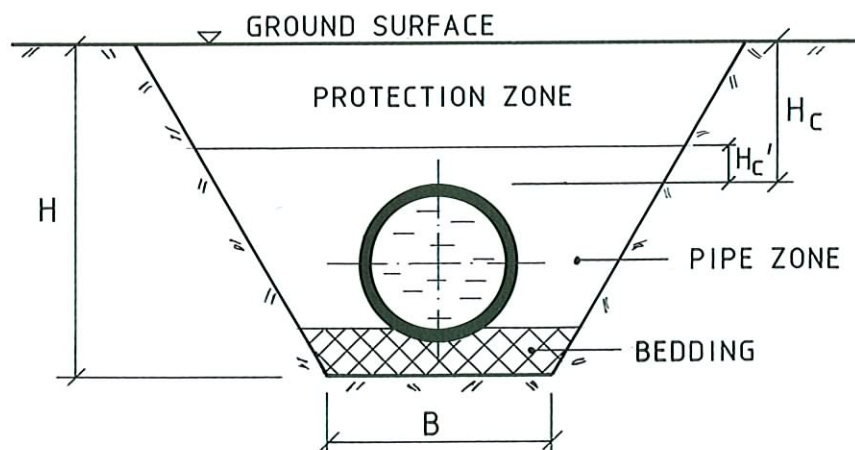
- Tryckrör för transport av dricksvatten, behandlat eller obehandlat, speciellt i områden med hög grundvattennivå eller mjuka, ostabila grundförhållanden.
- Pumphedningar för transport av dricks- eller avloppsvatten, behandlat eller obehandlat, speciellt i områden med hög grundvattennivå eller mjuka, ostabila förhållanden.
- Självfallsledning för dricksvatten eller avlopp under samma förhållanden som ovan.
- Rör för aggressiva ämnen (kemikalier).
- Självfallsledning för slaggprodukter eller restvatten med stor halt av sandpartiklar, vilka orsakar nötningsproblem.
- Vattenkraftsanläggningar, max tryckhöjd 63 (mvp).
- Rör i mark med ett pH-värde mellan fyra och sex och med varierande grundvattennivå.
- Rör i mark som klassas som lera eller sandblandad lera eller i miljöer där det finns risk att det kan förekomma salt.

5.2.1 Nergrävda PE-rör - Allmänna föreskrifter

Ett nergrävt PE-rör omges av material, vilka kan delas in i tre zoner; bädd, rörzon och skyddszon, vilket visas i fig.

5.2.2.A

Fig. 5.2.2.A.



STANDARD CROSS SECTION
OF BURIED PE PIPE

Ledningsbädd

Ledningsbädden gör att röret får ett likvärdigt stöd utmed hela sin längd och skyddar det från underliggande stenar eller klippblock. Dess tjocklek är vanligen mellan 15 och 25 cm.

Rörzon

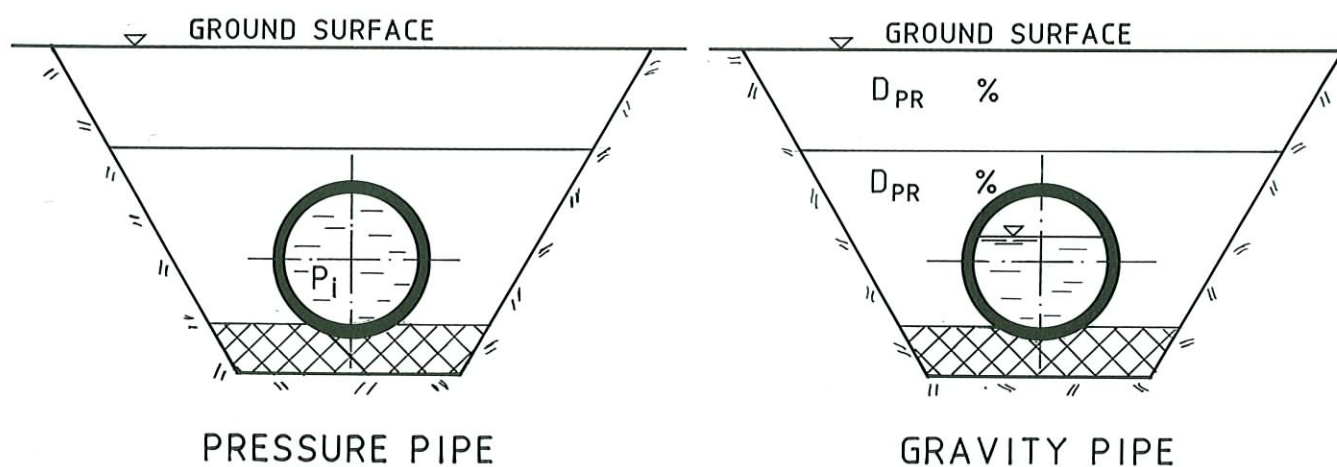
Återfyllnadsmaterialet i rörzonen, till nivån H_c' över rörets överdel, ger stabilitet och fungerar som ballast, om grundvattennivån är tillräckligt hög för att orsaka upplyftande krafter.

Om röret uppträder som ett självfallsledning, reducerar materialet i rörzonen rörets deformation (att det blir ovalt) om komprimeringen är större än $D_{PR} = 80\% \rightarrow 85\%$.

Skyddszon

Skyddszonen ger skydd åt överdelen av PE-röret, och är vanligtvis en meter tjockt. När markytan är utsatt för extrem last, såsom vid trafik, kan skyddszonen vara tjockare, mer än en meter.

Fig. 5.2.2.B



Alla sorters sand, grus eller en blandning av dessa två material, maximal partikelstorlek 25 mm, kan användas för återfyllnad. I lantliga miljöer används vanligen schaktmassorna som återfyllnad. Det får inte finnas några stenar i rörzon eller skyddszon. Ytterligare detaljer finns tillgängliga vid förfrågan.

Packningen och jordmaterialen i rör- och skyddszonen är viktiga när ett PE-rör grävs ner:

- I stadsmiljöer där rörelse eller trafiklast förväntas.
- Som ett självfallsledning för att reducera den vertikala deformationen hos röret.
- Vid ett djup på tre meter.

Packningsgraden, DPR, och rörets SDR-klass speglar dessa villkor. Den rekommenderade packningen beror på tillämpning:

Stadsmiljö/Rörelselast

DPR = 85% → 95%

Självfallsledning

DPR = 85% → 95%

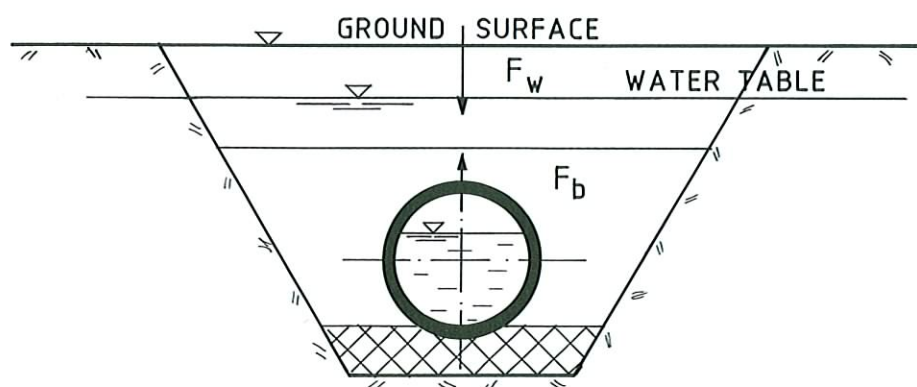
Stort läggningsdjup, $H > 3$ m.

DPR = 80% → 90%

5.2.2 Nergrävda PE-rör - Hög grundvattennivå

När grundvattennivån är högre än rörets centrumlinje kan röret bli utsatt för lyftande krafter, när det är delvis fyllt med vatten, vilket illustreras i fig. 5.2.3.A. De lyftande krafterna måste kompenseras med fyllnadsmaterial.

Fig. 5.2.3.A.



Återfyllnadsmaterialet ovanför röret skapar den vikt som motverkar de upplyftande krafterna, helst med en säkerhetsfaktor som inte är mindre än två. Observera att jordens densitet förminskas när den ligger i vatten.

$$\gamma_{sat}' = \gamma_{sat} - 1.0$$

Det är inte möjligt att utföra packning under vatten. Om en packningsgrad större än DPR = 85% krävs kan detta åstadkommas genom att använda grus (makadam) med en naturlig packningsförmåga, DPR = 85 - 90%.

$$DPR = 85\% - 90\%$$

Om röret läggs i jord som har konstant vattennivå nära markytan, kan det inte täckas för att motverka upplyftande krafter. Det måste tyngas ner med

- vanliga betongvikter (två halvor, monterade med bultar).
- sadelformade betongvikter som placeras ovanpå röret för att motverka lyftning av röret, permanent eller tillfälligt.

Se sektion 5.3.2 för mer detaljer.

Rörinstallation i schakt

Torra förhållanden

Se fig. 5.2.3.B.

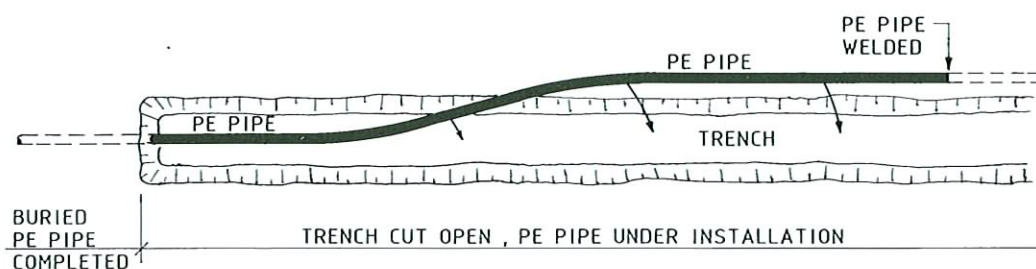


Fig. 5.2.3.B.

Röret svetsas nära kanten på schaktet. När det har svetsats till passande längd, firas det ner till schaktets botten, på den preparerade ledningsbädden. Sedan kan återfyllnad och packning (när så krävs) starta och den nästa rorsektion svetsas.

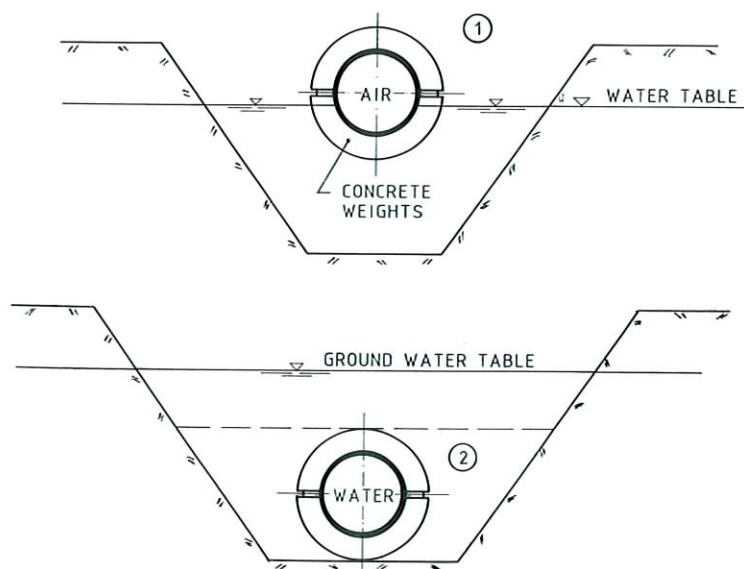
Hög grundvattennivå

Se fig. 5.2.3.C.

Betongvikter är fixerade vid röret, vilket är fyllt med luft och flyttat flytande på plats i det vattenfyllda schaktet, vilket visas i fig. 5.2.3.C.

När röret är i rätt position fylls det med vatten och sänks till schaktets botten. Återfyllnaden kan nu starta.

Fig. 5.2.3.C - Tvärsnitt på ett öppet schakt med hög grundvattennivå, vilken används för att förflytta röret till rätt läge och därefter sänka det



5.3 Undervattensinstallationer

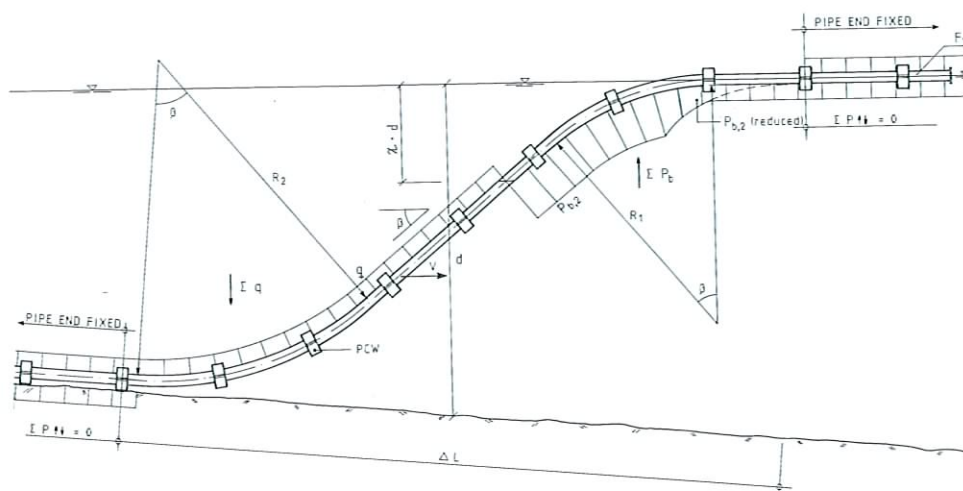
Det här avsnittet fokuserar på rörledningar under vatten och deras mekaniska egenskaper då de är utsatta för korttidslaster (tryck och spänning). Ett undervattensrör som är fritt upplagt på havsbotten är utsatt för dels inre krafter genererade av hydrauliska tillstånd och yttre krafter som orsakas av vågor, vind och havsströmmar.

Se kapitel 4 för dimensionering av undervattens PE-rörledningar. Trots att många olika aspekter på nedsänkta PE-rör berörs i den här handboken, visar praktiska erfarenheter att rörläggning på havsbotten är okomplicerat, under förutsättning att vissa enkla regler följs.

5.3.1 Allmänt om sänkning av PE-rör

Standardmetoden för sänkning av polyetenrör drar nytta av dess korttidstryck och spänningsegenskaper. Krafterna på ett PE-rör under sänkning illustreras i fig. 5.3.1.A.

Fig. 5.3.1.A



Vid en sjunkhastighet på upp till 0,5 meter/sekund blir rörets form under nedsänkingsprocessen enligt:

$$d, \chi, q, F_1$$

Den karakteristiska S-kurvan vid sänkning av ett PE-rör beror på balansen mellan vertikala och horisontella krafter. Vid ytan är böjradien, R_1 , kritisk. Normalt:

$$R_1 < R_2 \quad \text{för } \chi < \beta_0' < 0,5 \quad \beta_0' = \text{viktbelastningsgrad (\%)}$$

Där R_2 är böjradien vid havsbotten. Rörets vinkel relativt havsytan är β (se fig. 5.3.1.A) och χ är lufttrycksfaktorn.

Som en tumregel:

Röret sjunker om $\chi \leq \beta_0'$.

Om $\chi > \beta_0'$, vill röret flyta upp mot ytan. Det här förhållandet kan vara användbart i praktiskt arbete.

5.3.2 Installationsarbete före sänkning

En undervattensrörledning byggs upp genom att svetsa ihop 10 - 25 meter långa längder till en längd eller sektion. En längd eller sektion skall vara så lång som möjligt, men dess totallängd beror på utrymmet på arbetsplatsen. Praktiska längder är i allmänhet:

$$L = 500 \rightarrow 700 \text{ meter.}$$

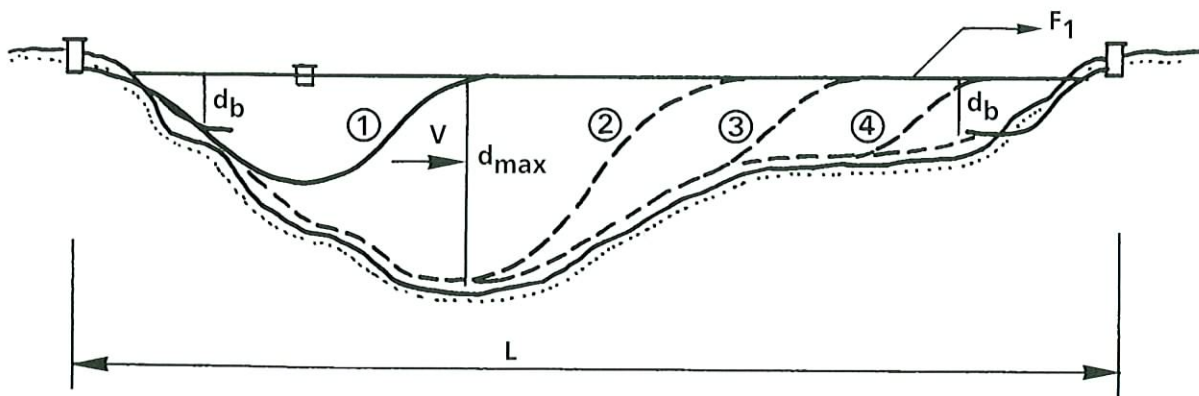
När rör tillverkas i långa längder kan varje rörsektion ha en längd av 500 - 700 meter, beroende på rördiameter och bogseringsförhållanden (öppet hav, etc.).

Röret borde belastas med PCW (nedsänkingsvikter). Nedsänkingsvikterna kan fästas innan röret läggs ner i havet, eller på en pråm om det levereras i långa längder. Rör som bogseras till arbetsplatsen bör lagras flytande, på en plats som är skyddad från vind och vågor, och sektionerna bör förankras ordentligt.

5.3.3 Sänkning av slutet rörsystem

Ett slutet rörsystem är en undervattensrörledning som korsar en vik eller fjord, med in- och utlopp anslutna till respektive flänskopplingar, vilket visas i fig. 5.3.3.A

Fig. 5.3.3.A Stängt rörsystem



Egenskaper hos ett slutet rörsystem:

$$L = \text{total längd} = \sum n \cdot L_{\text{sektion}}$$

$$n = \text{antal sektioner}$$

$$d_{\text{max}} = \text{maximalt vattendjup}$$

$$d_b = \text{vattendjup till rörledning, kan variera mellan olika sidor av viken eller fjorden.}$$

En rörsektion bör vara så lång som möjligt, mellan 500 och 700 meter. Vanligtvis krävs det en kortare sektion på varje sida, från anslutningskammaren till den yttre änden på undervattenschaktet, en längd på mellan 20 och 200 meter.

Ett rör kan sänkas i bägge riktningarna. Faktorerna som påverkar valet av bästa riktning för sänkning är:

- havsströmmar, hastighet och riktning.
- viktbelastningsgrad, β_0' , och dess variation längs rörsträckningen
- havsbottens profil, speciellt dess vinkel relativt sänkriktningen.

Till exempel, för det utseendet som visas i fig. 5.3.3.A, är det bäst att sänka från vänster till höger, under förutsättning att viktbelastningsgraden och strömmarna är likformiga.

Sänkingshastigheten, V , bestäms av fyllnadsgraden (Q i l/s). Det finns en kritisk sänkingshastighet vid vilken det sjunkande PE-röret börjar att svänga, se fig. 5.3.3.B.

Exempel

Givet: PE-HD 500 mm diameter

$$\beta_0' = 20\%$$

$$d = 30 \text{ m}, V < 0,7 \text{ m/s.}$$

$$d = 40 \text{ m}, V < 0,44 \text{ m/s.}$$

$$d = 100 \text{ m}, V < 0,07 \text{ m/s.}$$

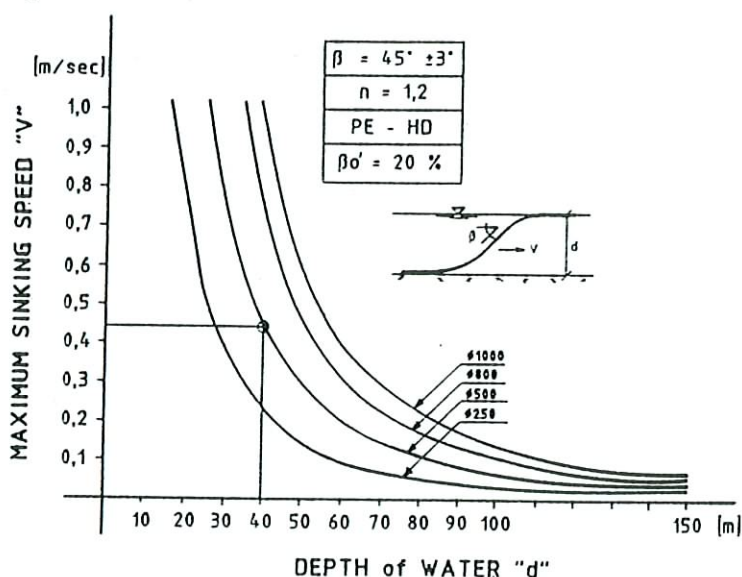
$$d > 150 \text{ m}, V < 0,05 \text{ m/s.}$$

Säkerhetsfaktor mot svängning:

$$n = 1,2$$

I praktiken bör sänkingshastigheten vara låg, företrädesvis $< 0,1$ m/s.

Fig. 5.3.3.B



Under sänkning är röret utsatt för en dragkraft, F_1 , vid havsytan, om vattendjupet, d , $> 12 \cdot D_0$. Dragkraften är nödvändig för att hålla böjradien, R , tillräckligt stor för att undvika knäckning. Dragkraften reducerar också risken för rörsvängning.

Rekommenderad böjkvot $a = R/D_0$ under sänkning, säkerhetsfaktor $n \geq 3,3$:

$$\text{SDR } 17,6 \quad a \geq 40$$

$$\text{SDR } 11 \quad a \geq 25$$

För den bottenprofil som visas i fig. 5.3.3.A, när röret sänks från vänster till höger, bör dragkraften, F_1 , minska för sitt maximum när man passerat den djupaste delen av profilen, egentligen vid d_{max} . Värdet på F_1 skall beräknas noggrant, så att röret träffar havsbotten mjukt, där det börjar höja sig.

I praktiken, bör värdet på F_1 vara konstant vid ökande vattendjup. Vid minskande vattendjup, kan värdet på F_1 reduceras för att uppnå anpassning av vinkeln mellan röret och havsbotten.

Luftrycket inuti röret skall spegla vattendjupet och viktbelastningsgrad, β_0' . När röret dras med en kraft, F_1 , blir det inre luftrycket mindre viktigt, t.o.m. insignifikant om dragkraften är tillräckligt stor och vattendjupet är tillräckligt stort, mer än $200 \cdot$ rördiametern, $d > 200D_0$.

Dragkraften hos röret måste ha en transversell komponent för att motverka tvärgående krafter från strömmar, vind eller vågor, som annars kan få röret ur kurs. Vanligtvis är rörets position på ytan detsamma som dess position på havsbotten.

5.3.4 Sänkning av ett öppet rörsystem

Sänkingsproceduren för ett öppet och ett stängt rörsystem kan skilja sig avsevärt, även om de grundläggande aspekterna och parametrarna är identiska. Skillnaderna är:

- på grunt vatten, kan SDR-klassen vara låg, SDR 26 eller till och med SDR 23. Detta manar till försiktighet för att förhindra buckling.
- i ett öppet system, kan rörändarna vara stängda, för att skapa ett inre luftryck, eller öppna, vilket medför att P_i och χ båda är noll.
- dragkraften, F_1 , om det inre luftrycket faller till nollnivå.

Observera: Luftrycket anges i övertryck, det belopp med vilket trycket i röret överstiger det omgivande luftrycket.

Tillämpningar för rörsystem

Avfallsutlopp betyder vanligtvis sänkning på relativt grunt vatten, djup mellan 10 och 60 meter.

Avlopp för slaggprodukter betyder vanligtvis sänkning på relativt djupt vatten, djup mellan 100 och 400 meter, såsom Titanias utsläpp till Jössingfjorden i Norge, på ett djup av 100 meter.

Vattenintag på varierande djup mellan 100 och 400 meter, för olika kylsystem, intag för fiskodlingar, avsaltningsanläggningar och värmepumpar.

Ett öppet rörsystem och dess sänkingsprocedur visas i fig. 5.3.4.A.

Egenskaper hos ett öppet rörledningssystem:

L = total längd = $\Sigma n \cdot L_{\text{sektion}}$

n = antal sektioner

L_d = diffusionssektion

d_{max} = maximalt vattendjup

d_b = vattendjup till rörledning

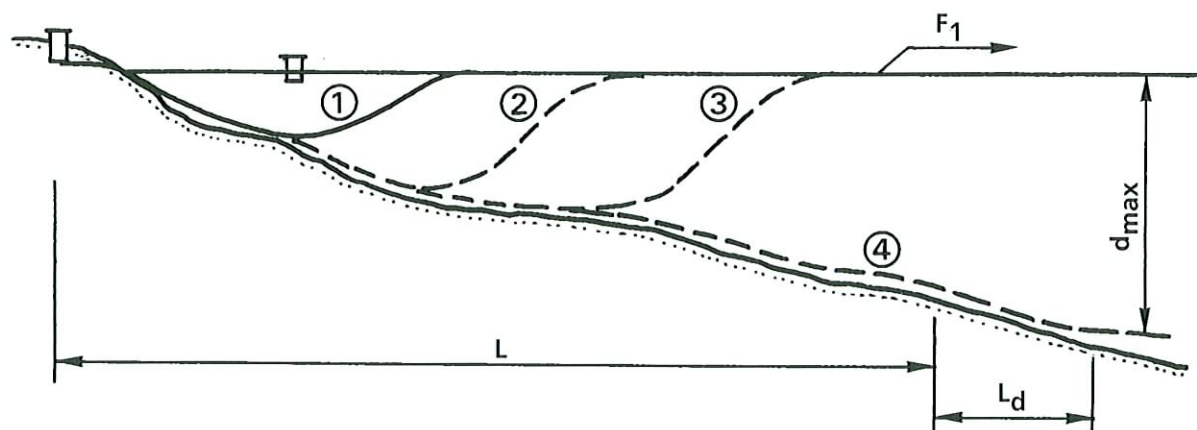


Fig. 5.3.4.A

En öppen rörledning sänks från land och ut till den yttre änden. Om de omgivande förhållandena är ogynnsamma och varierar från lugn till svår sjö, skall röret installeras bit för bit, i sektioner.

Efter att en sektion har sänkts, vilar dess täta fläns mot havsbotten. Under en period med lugnt väder fylls röret med luft för att lyfta upp änden till ytan. Sänkningen fortsätter så snart nästa sektion anslutits till flänsen.

En kort rörsektion kan behövas vid strandkanten, från anslutningskammaren till änden på undervattenschaktet, precis som för stängda rörsystem. Under sänkningen kan vatten fyllas på i röret på två olika sätt:

1. Via en ventil, som är placerad på land, på rörledningen. Vattnet kommer från en pump eller från en vattenledning.
2. Via en ventil till havs, på ett djup på minst 4 - 5 meter. Då fylls vattnet direkt genom att öppna ventilen.

Sänkingshastigheten, V , bör regleras och inte vara $> V_{\text{max}}$, se fig. 5.3.3.B.

Sänkningen av röret följer hävstångsteorin så länge vattendjupet är mindre än $12 \cdot D_0$.

Vid större vattendjup, $d, > 12 \cdot D_0$, gäller kedjeteorin, detta betyder att dragkraften, F_1 , påförs röret.

Dragkraften, F_1 , och lufttrycksfaktorn, χ , styr böjradien hos ett rör som sänks i djupt vatten.

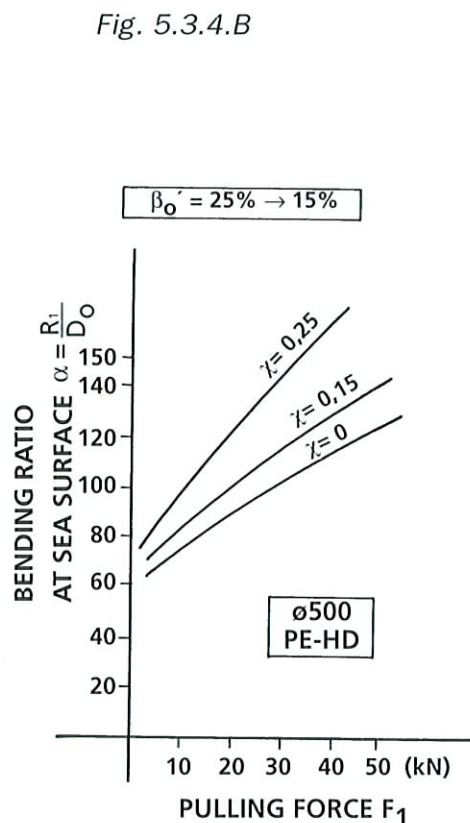
Vanligtvis minskar viktbelastningsgraden, β_0' , med ökande vattendjup, från $\beta_0' = 30\%$ - 15%.

Vid en dragkraft $F_1 = 20$ kN, minskar böjkvoten, α , från 100 till 88 om lufttrycksfaktorn, χ , minskar från 0,15 till 0. Se fig. 5.3.4.B.

Detta är en reduktion på omkring 12%. Kravet på minsta böjkvot för ett SDR 17,6 är 26, se tabell 4.2.1. Detta visar att dragkraften i detta beskrivna fall ser till att det blir en säker sänkning, även om lufttrycket faller till nollnivå.

Fig. 5.3.4.B

Sänkningen av diffusionssektioner behöver utredas i varje enskilt fall. Sänkingsmetoden beror på storlek och konstruktion hos diffusionssektionen och installationsförhållandena. Ytterligare råd kan ges vid förfrågan.



5.3.5. Praktiska detaljer före sänkning

Före sänkning, se till att:

- alla bultar är dragna till sitt slutmoment. Detta gäller bultar till nedsänkingsvikterna och flänsbultarna.
- alla nedsänkingsvikter har rätt placering/läge; kontroll genom mätning.
- alla hjälpmedel finns tillgängliga, inklusive:
 - lufttrycksmätare, graderad i 0.1 bar.
 - vattenventiler i passande diameter.
 - luftventiler anslutna till blindflänsar, 1" till 2".
 - vattenventiler (in/ut).
 - luftkompressor med tillräcklig kapacitet.
 - vattenpump med tillräcklig kapacitet.

Om en dragkraft krävs bör en bogserbåt eller annat fartyg finnas till hands för att utföra detta. Dess motorstyrka vid full hastighet måste vara känd, med 10% säkerhet.

Små bogserbåtar eller andra fartyg kan användas för att motverka transversalrörelser hos det flytande röret. Eftersom röränden är fri, är den utsatt för transversella krafter.

5.3.6. Rörböjning under sänkning

Under sänkning är böjradien vid ytan normalt den kritiska radien. Den bör mätas mer eller mindre kontinuerligt. Ett praktiskt och enkelt sätt att bestämma böjradien, R , och α är att tillämpa ekvation 1 på rörsystemet och betongringarna.

$$R = \frac{L^2}{2 \cdot f} \quad (1)$$

där L är ett specifikt avstånd, mellan en och två gånger utrymmet mellan betongvikter (PCW), och f är den vertikala avvikelserna relativt L .

Exempel	c/c	=	avståndet mellan PCW = 4 meter
	L	=	1,5 gånger 4 meter = 6 meter
	f	=	mätt (relativt havsytan), låt oss säga $0,5 \cdot D_0 = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25$.
	R	=	72 meter, $\alpha = 144$ ($\alpha = 72/0,5$)
	α	>>	40, anses acceptabelt

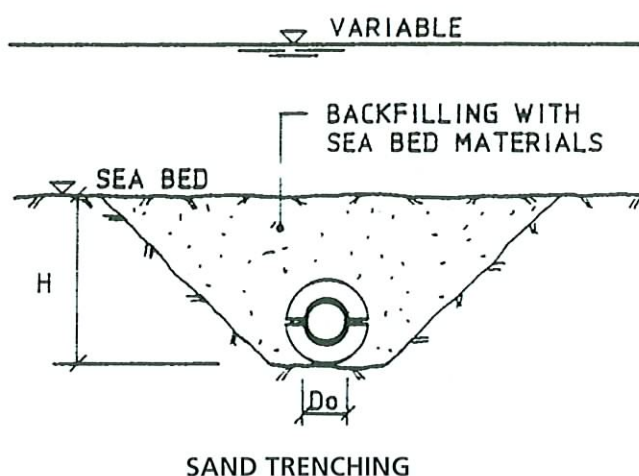
5.3.7 Schaktteknik i mjuk jord under vatten

Schaktning i mjuk jord under vatten kan utföras med luft- eller vattenstrålar som flyttar materialet, vilket suges upp under det att rörgraven spolas fram.

Luft under tryck expanderar när det rör sig mot ytan och möter det omgivande atmosfäriska trycket. Så luftstrålar är mest effektiva. Det kräver ett vattendjup $d > 4$ meter för att ha en hög effektivitetsgrad. "Ju djupare desto bättre", för att citera dykarna.

Schaktets djup beror på rördiametern. Rekommenderade värden vid normala förhållanden, se fig. 5.3.7.A.

Fig. 5.3.7.

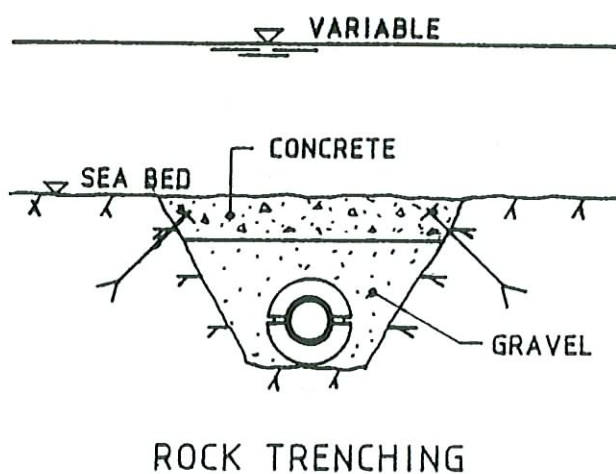


Materialet på havsbotten bör användas för återfyllnad. Efter att rörledningen är färdigställd, bör havsbotten återställas till sitt originalskick. I annat fall kommer vågor och havsströmmar att erodera den ändrade profilen. I områden där havsbotten är utsatt för erosion bör gabioner fyllda med grus användas för att skydda röret.

5.3.8 Schaktning i berg under vatten

Fig. 5.3.7.A visar schaktning i mjuk jord. När det gäller schaktning i berg, se fig. 5.3.8.A. Rörgravar i berg är avsevärt mycket dyrare än motsvarande i mjuk jord. Upp till mindre djup, där vågrörelser kan orsaka allvarliga problem, vilket medför schakt i berget, är det billigare att låta röret vara fritt exponerat och förankrat med nedsänkings- och förankringsvikter.

Fig. 5.3.8.A.



Berg förekommer ofta nära strandlinjen. För att skydda röret rekommenderas att man täcker överdelen av schaktet under vatten med ett lager betong. Betonglagret ska vara armerat och förankrat, enligt fig. 5.3.A. I annat fall kan lyftkrafterna som genereras av vågrörelser flytta betongen.

Som ett alternativ kan gabioner fyllda med grus användas för samma ändamål.

Schaktet bör ha en återfyllnad av grus med hög grad av självpackning, exempelvis $d = 4 \rightarrow 16$ mm eller $d = 2 \rightarrow 20$ mm.

5.4. Relining

Relining är en teknik använd för att uppgradera existerande vatten- och avloppsledningar, till exempel för att:

- förbättra den hydrauliska kapaciteten för att tillmötesgå ett ökande behov av vatten och därmed avloppsledningar.
- reparera skador orsakade av tätare och tyngre trafik och byggnationer.
- möta krav på mindre läckage och undvika spridning av avloppsvatten.
- förhindra infiltrering av rent vatten i avloppssystem (mindre vattenmängder till reningsverk).

Olika reliningmetoder har utvecklats, inklusive införandet av platsrör i existerande ledningar vilket kan erbjuda många fördelar:

- Långa längder av polyetenrör kan dras genom befintlig ledning.
- Korta rörlängder av PVC, PP eller PE kan tryckas eller dras genom en rörledning.

Den befintliga rörledningen bör undersökas noggrant innan man beslutar vilken metod man ska använda. Mobila, fjärrstyrda videokameror används nu vanligtvis för sådana undersökningar.

PE-rör i standardlängder svetsas vanligen ihop till längre slingor innan arbetet börjar. Är arbetsplatsens yta begränsad, kan också rören svetsas efter hand, under förutsättning att varje svets tillåts kallna tillräckligt innan den utsätts för dragspänning.

Ett "draghuvud" ansluts till den främre delen av röret, antingen genom svetsning eller genom att man bultar fast ett metallhuvud. Beroende på lokala förhållanden, kan man använda olika draghuvuden. I en del fall kan huvudet vara öppet för att tillåta vätska att flyta igenom medan man i andra fall håller röret stängt under arbetet.

En metod för att dra PE-rör har utvecklats i Storbritannien. För att bättre passa moderröret, i vilket det dras in, sträcks PE-röret ut vid dragningen. Detta reduceras dess diameter så att det glider fritt in i det gamla röret. När dragningen avslutas släpps spänningen och PE-röret återfår sin normala storlek och sitter tätt intill innerväggen på moderröret.

För att erhålla bästa resultat bör moderröret rengöras genom skrapning, spolning eller annan metod. Flera hundra meter rör kan dras genom, detta beror på friktionsfaktorn mellan moderröret och det nya röret.

Fig. 5.4.A - Schakt för införande av PE-rör

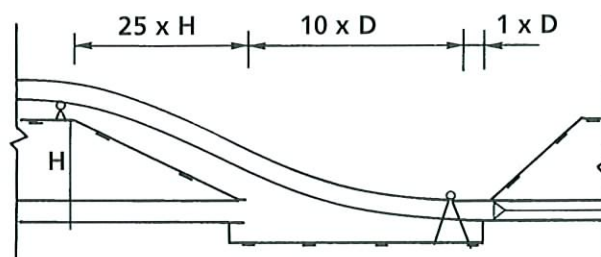


Fig. 5.4.A visar principen för införandet av ett PE-rör i en existerande ledning. Schaktets dimensioner väljs för att uppnå en acceptabel böjradie för röret ($R < 30F$). Den nödvändiga dragkraften i en vågrät ledning kan beräknas genom ekvation 2.

$$F = q \cdot L (m \cdot \cos\phi \pm \sin\phi) \quad (N) \quad (2)$$

q = tyngd per meter rör (N/m)

L = rörlängd (meter)

m = friktionskoefficient (max 0,8)

f = lutning på ledningen (plus indikerar stigande och minus indikerar fallande)

Om det förekommer riktningsändring, egentligen en bågformad linje, måste kraften ökas, vilket visas i ekvation 3.

$$F' = F \cdot \mu V_{rad} \quad (3)$$

V_{rad} = ändringen i vinkel, mätt i radianer (till exempel $180^\circ = 3,14$ radianer)

Det rekommenderas att dragkraften inte får orsaka en töjning som är större än 2% i rörväggen. Maximal dragkraft vid 20°C visas i tabell 5.4.1. Tiden som röret utsätts för dragning antas vara 30 minuter. Materialet är Hostalen GM5010 T2. Den tillåtna spänningen är 8 MPa.

Do mm	Dragkraft (F max/kN vid 20°C)		
	SDR26	SDR17,6	SDR11
63	–	–	8
75	–	–	12
90	–	11	17
110	–	16	25
125	–	21	33
140	18	26	41
160	24	34	54
180	30	43	67
200	37	54	83
225	47	68	105
250	59	84	130
280	73	105	163
315	934	134	206
355	118	169	262
400	149	215	332
450	189	272	421
500	233	335	519
560	292	421	–
630	370	533	–
710	470	679	–
800	595	859	–
900	755	–	–

Fig. 5.4.1. Maximal tillåten dragkraft.

Om rörledningen är uppvärmd av solen bör dragkraften reduceras med 40% ($F_1 = 0.6 \cdot F_{\max}$). Vi rekommenderar också att maximikraften i tabell 5.4.1 reduceras med 20%, på grund av att svetsade skarvar normalt är vekare än röret.

Den maximala längden på ett rör som kan dras in i en existerande ledning kan beräknas med hjälp av ekvation 4, detta gäller en rätlinjig sektion:

$$L_{\max} = 0.8 \frac{F_{\max}}{q (m \cos\phi \pm \sin\phi)} \quad (4)$$

F_{\max} hämtas från tabell 5.4.1.

Draghuvudet måste konstrueras för att förhindra lokala överlaster på röret.

Observera att PE-röret kan bli överbelastat genom yttre vattentryck om det inte får stöd från det omkringliggande moderröret.

Till exempel kan ett SDR 17,6-rör stå emot ett yttre vattentryck på 2 mvp, om man antar en initialkrökning på 5%.

För att underlätta införandet och för att öka det hydrauliska flödet bör svetssträngarna både in- och utvändigt tas bort.

5.5 Reparation av skador

En PE-rörledning som har dimensionerats och installerats korrekt klara sig normalt ifrån skador. Det finns dock alltid en risk för fel i processen, från inledande produktion av röret genom installation och drift av rörledningen.

Tillverkningen av rör är utsatt för sträng kvalitetskontroll, så i praktiken kan ett rör som lämnar fabriken betraktas som felfritt.

5.5.1 Repor

Ett rör kan repas genom felaktig transport och lagringshantering. Avrundade repor om inte är djupare än 10% av väggjockleken kan accepteras utan reparation.

Om reporna har skarpa kanter, skall de rundas av mekaniskt eller fyllas med nytt PE-material av en extrudersvets.

Sektioner med repor djupare än 10% av väggjockleken ska normalt skäras bort. Nötningsskador på ytterytan hos röret kan betraktas som repor. Den påverkade ytan bör inte vara större än 100 cm².

Repor och nötningsskador på insidan av röret är vanligtvis oacceptabla.

5.5.2 Brott

Ett PE-rör kan brytas sönder genom skador orsakade av:

- ankring av fartyg
- fiske med trål
- tryckslag/vakuum
- schaktning
- felaktig svetsning
- överbelastning av rörledningen under sänkningen

Ett brutet rör kan repareras. Metoden beror på:

- läge: på land eller till havs
- läge: i schakt eller på marken
- rördiameter
- dimensionerande tryck

I princip kan skador repareras med hjälp av:

- reparationsmuffar
- svetsning

5.5.2.1 Reparationsmuffar

I de flesta fall kan reparationsmuffar användas för att reparera skador. Rörets yta bör vara rengjord och muffen måste monteras korrekt.

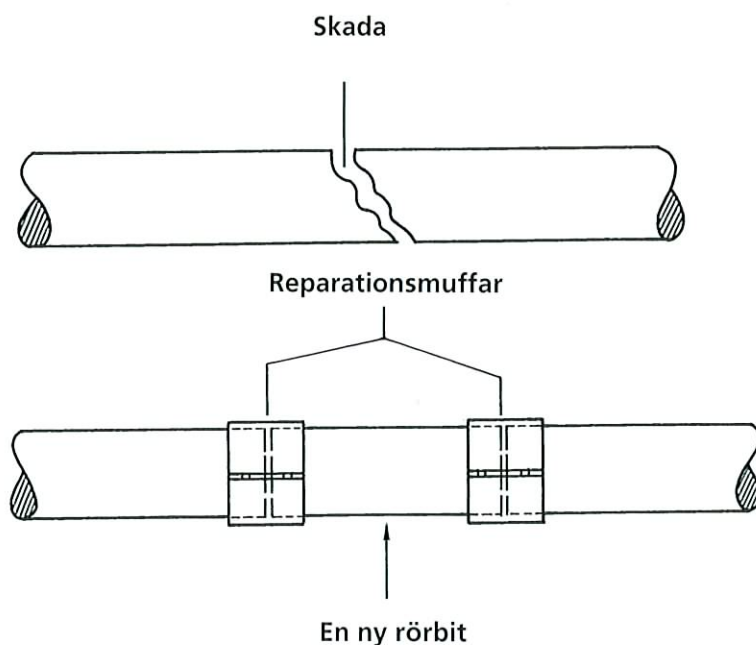
Polyeten är viskoelastiskt material, så spänningen mellan reparationsmuffen och rörets yttersida minskar med tiden.

Som en konsekvens därav, bör en reparationsmuff vara förspänd för att uppnå det önskvärda klämtrycket under rörets hela livslängd.

En reparationsmuff tål inte dragspänning.

Reparationsmuffar används normalt sett när röret ligger kvar i schaktet, både på land och till havs. De kan monteras snabbt.

Om rörets skada är utbredd över en större yta kan det vara nödvändigt att skära bort en bit av röret. Denna bit kan ersättas med en sektion som monteras med två reparationsmuffar, vilket visas i fig. 5.5.2.1.a.



Reparation av PE-rör med reparationsmuffar

Materialen hos reparationsmuffen måste stå emot all slags korrosion från den omgivande miljön.

5.5.2.2 Svetsning, bordring och lösfläns

En reparation som måste motstå dragspänning kan göras genom svetsning och användandet av PE-bordring och lösflänsar. Om skadan uppträder under vatten måste röret tas upp till havsytan genom att man fyller sektionen med luft.

Som visas i fig. 5.5.2.2.a, skärs en sektion av röret av. En ny bit med bordring och lösflänsar passas in för att ersätta den borttagna biten. Bordringarna svetsas på det befintliga röret efter det att lösflänsarna monterats. Slutligen sätter man ihop rören och lösflänsarna bultas till varandra.

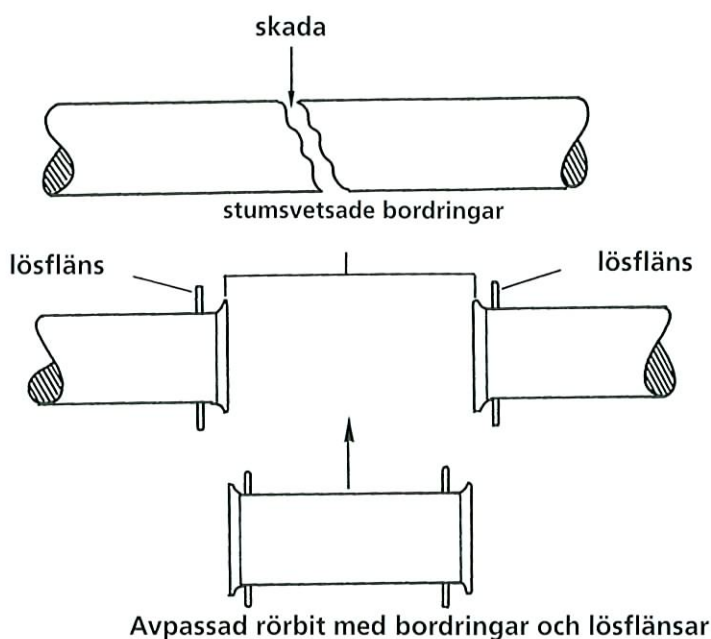


Fig. 5.5.2.2.a Reparation av PE-rör med hjälp av bordringar och lösflänsar

Om rördiametern är mindre än eller lika med 355 mm kan skarvningen göras med hjälp av elektrosvetsmuffar.

I vissa fall kan ett skadat rör repareras med hjälp av stumsvetsning utan att montera en extra rörbit. Till exempel kan denna metod användas på undervattensledningar som är lagda i en båge direkt på havsbotten.

6.0 Provning på byggplats

6.1 Tester av svetsfogar

PE-rör fogas oftast ihop genom en svetsprocess beskriven i sektion 5.1. Kontroll och tester på byggplatsen garanterar svetsfogarnas kvalitet.

Svetsparametrarna verifieras vanligtvis innan ett projekt startar, genom att provsvetsa ett flertal fogar redan på fabriken. Åtta av de här provsvetsarna destruktions-testas sedan i enlighet med DS INF-70/INSTA 2072 N206. Vid testet sänks objektet inklusive svetsen ner i vatten och utsätts för dragspänning. Vattnet innehåller 2% ytspänningsbrytande medel och vattentemperatur och påförd spänning beror på densiteten hos PE-materialet.

För att svetsen ska accepteras måste den motstå dragspänning i mer än 120 timmar utan brott. Detta motsvarar en svetsfaktor på mer än 0,9. Hos ett rätt installerat rör är den longitudinella spänningen vanligtvis mindre än halva ringspänningen. Därför utgör en svetsfaktor på 0,9 en signifikant säkerhetsmarginal.

Parametrarna hos provsvetsarna som klarar dragspänningstestet används sedan vid svetsning på byggplatsen, men naturligtvis överensstämmer utomhusmiljön nästan aldrig med miljön i fabriken och därför måste svetsarna kontrolleras och testas.

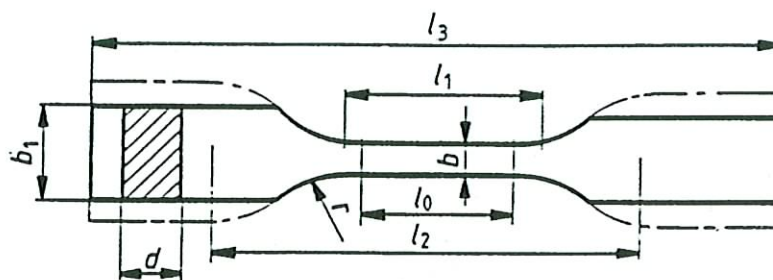
Metoderna som används är:

- okulärbesiktning
- destruktiva dragprovningar

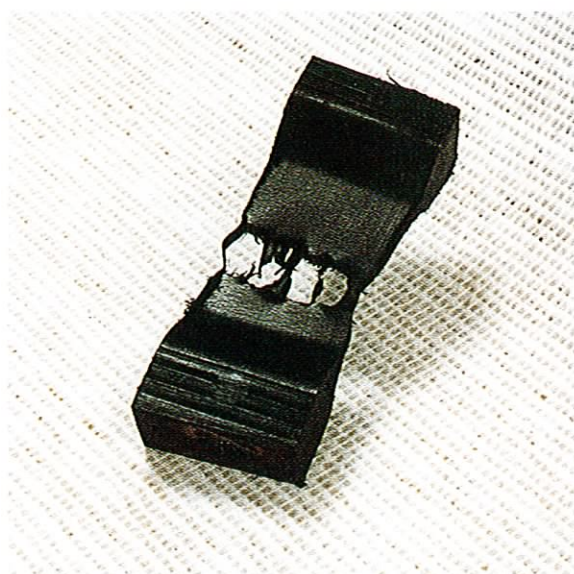
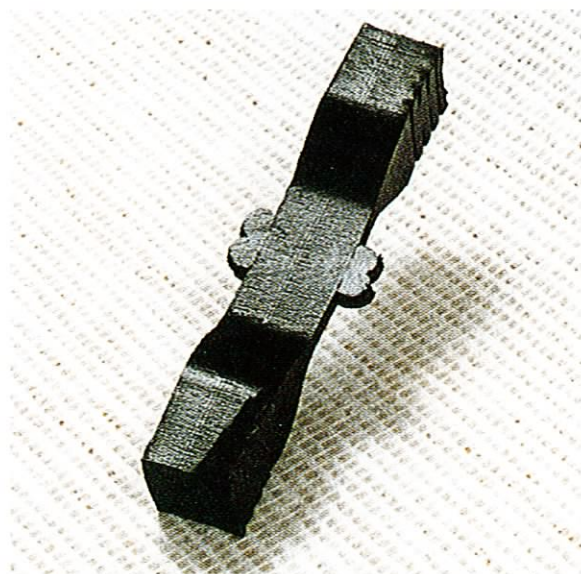
INSTA 2072 N204-standarden inkluderar specifikationer på okulärbesiktningar med riktlinjer för utseende, dimensioner och excentricitet hos svetsarna och fogarna. Svetsaren skall notera dessa detaljer i en loggbok för senare godkännande av beställaren. En erfaren kontrollant kan fastställa kvaliteten hos svetsen då han med hjälp av ett mikroskop betraktar ett tunt tvärsnitt av fogen.

Oberoende provning rekommenderas; en sektion av röret inklusive en svets skärs av och skickas till ett oberoende testlaboratorium för destruktivt dragtest liknande det som utfördes på fabriken. Både stumsvetsar och elektrosvetsar kan testas.

Fig. 6.1.A - Provbit, iordningställd i enlighet med ISO/DIS 6259/1.

**Legend:**

Symbol	Beskrivning	Mått mm
l_3	total längd	115
b_1	bredd vid fästpunkten	>15
l_1	längd på testdelen	33 ± 2
b	bredd hos testdelen	6 ± 0.4
r	kurvradie	14 ± 1
l_0	avstånd mellan markeringar	25 ± 1
l_2	avs. initialt mellan fästpunkter	80 ± 5
d	väggjocklek	provrörets



6.2 Tryckprovningar

Introduktion

Ett PE-rör bör provas efter det har lagts och fått vila i schaktet eller på havsbotten åtminstone två dagar. Provet bör utföras i enlighet med:

- NS 3551/3420
- SFS 3115:E
- WRC manual för PE-rörsystem

Vi förfrågan kan Pipelife lämna detaljer om tryckprovningsproceduren i enlighet med dessa standarder för nedsänkta- eller landinstallationer.

Standardprocedur för tryckprovning

Som framhålls i standarderna för byggplatsprovning av PE-rör:

är de viskoelastiska och mekaniska egenskaperna hos ett plaströr en funktion av tiden, påförd spänning/tryck och temperatur. När det inre övertrycket i röret ökar är graden av expansion hos röret inledningsvis stor och minskar därefter i enlighet med krypmodulen, E_C , eftersom E_C minskar med tid och påförd spänning, speciellt efter två timmar ($T = 20^\circ\text{C}$).

Exempel

$T = 20^\circ\text{C}$

$t = 1 \rightarrow 100 \text{ min}$

$E_C =$ minskar från 800 till 200 N/mm²

$t = 100 \text{ min} \rightarrow 1000 \text{ min}$

$E_C =$ minskar från 400 till 350 N/mm²

(GM 5010 T2)

Tryckprovning, in-situ, utförs som beskrivs här nedan i tre faser:

I. Provtrycket i rörsektionen höjs till nominellt värde. Detta tryck bibehålls under en period av $2 \pm 0,1$ timmar genom att tillföra vatten när trycket sjunker mer än 20 kPa. (0,2 bar)

II. Övertrycket höjs sedan (under en period inte längre än 6 minuter*) till ett värde som är lika med 1,3 gånger det nominella trycket och detta tryck bibehålls under en period av $2 \pm 0,1$ timmar genom att tillföra vatten när trycket sjunker mer än 20 kPa. (0,2 bar)

III. Övertrycket sänks sedan (under en period inte mindre än 6 minuter*) till det nominella värdet och sedan stängs ventilen.

*) 6 minuter, beror på att rörlängden = 500 m. Se SFS 3115:E.

Vattenmängden, ΔQ , som tillförs under fas II beräknas ur nedanstående ekvation:

$$\Delta Q \leq \left(\frac{1}{50} \cdot D_i \right) - 1,0 \frac{\text{liter}}{\text{km} \cdot \text{timme}}$$

där D_i är rörets innerdiameter i mm

ΔQ bör inte överskrida det beräknade värdet.

Exempel: PE-rör, 500 mm diameter, SDR 11

$D_i = 409$ mm

Rörlängd = 2,6 km

$$\Delta Q_1 \leq \frac{1}{50} \cdot 409 - 1,0 = 7,2 \text{ liter per timme}$$

$t = 2$ h

$\Delta Q_1 \leq 14,4$ liter tillfört vatten

Ett fullständigt testprotokoll för tryckprovningen skall föras. Det skall signeras av ansvarig arbetsledare tillsammans med kundens representant.

Pipelife rekommenderar följande sex grundläggande regler för provning:

1. Röret skall vila i schaktet eller på havsbotten åtminstone 48 timmar innan testtrycket appliceras.
2. Röret skall inte vara utsatt för direkt solljus under testet.
3. Temperaturen får inte överskrida 20°C.
4. Röret får inte innehålla luftfickor, utan skall vara helt fyllt med vatten.
5. Om provtrycket under fas II höjs till 1,5 gånger det nominella trycket istället för 1,3 gånger som rekommenderas i SFS 31135:E, kan den tillförda vattenmängden skilja sig från det beräknade värdet.
6. Den pump som används måste kunna hålla det föreskrivna trycket och tillföra den volym vatten som krävs under fas II.

Vid förfrågan kan Pipelife bistå med fler detaljer.

6.3 Provning av kapacitet

Hydrauliskt flöde är troligen den enskilt mest viktiga parametern för ett rörledningssystem. När det gäller vattenförsörjning måste tillräckliga mängder med vatten levereras vid ett acceptabelt tryck. En avloppsledning måste kunna föra bort det dimensionerande flödet för att förhindra översvämning och utsläpp.

Som en konsekvens av detta ska den hydrauliska kapaciteten och eventuella tryckfall hos rörledningen testats efter det att den har lagts.

Detta görs genom att mäta flödet och trycket i bägge ändarna av ledningen.

Flödet kan mätas genom att bygga en överfallsdamm i en brunn ansluten till rörledningen. Mätning av vattnets höjd över dammkanten gör att man kan beräkna flödet.

Flödet över en rektangulär damm kan beräknas ur ekvation 5.

$$Q = 1.84 b h^{3/2} \quad (5)$$

Där Q är flödet (m³/s), B är dammens bredd (m) och H är vattnets höjd över dammen.

Naturligtvis kan andra dammodeller eller hydroinstrument användas.

Tryckfallet kan utrönas genom att mäta trycket i bägge ändarna av ledningen med tillräckligt noggranna manometrar.

När både flödet och tryckfallet är känt kan den hydrauliska råheten hos röret beräknas genom ett dataprogram. Hydraulisk råhet är en viktig parameter eftersom den indikerar om det finns sediment eller luft inuti röret. Det är också viktigt att övervaka rörets "hälsotillstånd" under hela livslängden, eftersom organisk påväxt på insidan av röret ökar råheten. När råheten når ett specificerat värde bör röret spolas rent.

Ett fullständigt testprotokoll skall föras och signeras av ansvarig arbetsledare och kundens representant.

6.4 Dykinspektion

En dykundersökning bör utföras för att försäkra sig om att undervattensledningen ligger bra på havsbotten. Dykaren bör vara erfaren och oberoende av entreprenören.

Röret bör:

- vara tillräckligt övertäckt i schaktet.
- inte vara i kontakt med vassa stenar eller klippor.
- inte ligga långa sträckor över havsbotten utan stöd.

När det gäller utloppsledningar bör dykaren också kontrollera avslutningsanordningarna.

Efter avslutad kontroll skall dykaren skriva en rapport och om det är nödvändigt föreslå förbättringar av ledningen. En undervattenskamera kan användas för att dokumentera ledningen. Vid djup större än 50 meter bör en fjärrstyrd farkost användas för inspektionen.

7.0 Referenser: Litteratur och tidigare projekt

7.1 Tidigare projekt

Pipelife har tillverkat polyetenrör sedan tidigt 60-tal. Rör i alla storlekar från 20 mm till 1 600 mm, med varierande tryckklasser och tillverkningslängder har levererats till ett otal inrikes och utrikes kunder. Följande utvalda exempel visar projekt som är framgångsrikt genomförda med Pipelifes rör.

Referenser



Avloppsledning Sola kommun, Norge, 1961-62, storlek 600 mm, längd 250 m.



Spillvattenledning, Mörrums bruk, Sverige, 1970, storlek 1000 mm, längd 2000 m.



Avloppsledning, tillverkad på plats med en mobil enhet, vid Attersee, Österrike, 1975-76, storlek 630 mm, längd 5000 m.



Dricksvattenintag från 170 meters djup i sjön Mjösa, Norge, 1990, storlek 900 mm, längd 3500 m.



Val do Ave, Portugal, avloppsledning, 1993, storlek 900 och 1000 mm, längd 4000 m.



Vattenledningsnät och vattenintag, Szczecin, Polen, 1993, storlek 1600 mm och 800 mm, längd 5900 m.



Rörledning för avloppsvatten, Hundsfoss pappersbruk, Norge, 1994, storlek 710 mm, längd 17300 m.



Utloppsledning, Middleton, Morecambe, Storbritannien, 1996, storlek 800 mm, längd 2400 m.



Dricksvattenledning till Prince's Islands, Istanbul, Turkiet, 1996, storlek 630 och 450 mm, längd 1200 m.



Utloppsledning, Wismar, Tyskland, 1996, storlek 800 mm, längd 930 m.



Avloppsledning Antalya, Turkiet, 1997, storlek 1600 mm, längd 5401 m.



Avloppsledning Santander, Spanien. 1999, storlek 1400 mm, längd 2690.



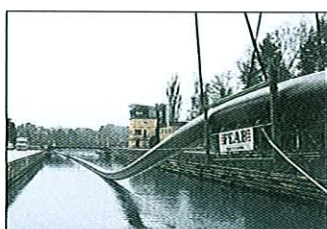
Avloppsledning Tay, Skottland, 1999, storlek 1600 och 1100 mm, längd 1606 m.



Intags- och utloppsledning för en avsaltningsanläggning, Larnaca Cypern, 1999, storlek: 1200 och 1000mm. Längd: 2550 m.



Kylvattenledning Mönsterås Bruk, Sverige, 1998, storlek 1000 mm, längd 5100 m.



Kylvattenledning Södertälje, Sverige, 2000, storlek 1000 mm, längd 6132 m.

Litteratur

- [1] Thor Meland, The Thermoplastics (1988, 2nd Edition), ISBN 8200361241
- [2] HOECHST, Technische Dokumentation, Rohre aus Hostalen GM (1984)
- [3] S. Turner, Creep in Thermoplastics (1983 2nd ed.), ISBN 0-7114-5785-9
- [4] Various PE pipe Resin Mechanical properties of third Generation of HD and MD pipes (1992-1994)
- [5] S. Timoshenko, Strength of Materials Part I (1940)
- [6] S. Timoshenko, Theory of Elastic Stability (1945)
- [7] Timoshenko and Young, Theory of Structures (1945)
- [8] Timoshenko and Young, Engineering Mechanics (1940)
- [9] R.J. Roark, W.C. Young, Formulas for Stress and Strain (1975), ISBN 0-07-053031-9, 0-07-085983-3
- [10] L. Kollár, E. Dulácska, Buckling of Shells for Engineers (1984). ISBN 963-0-53150-x, 0-471-90328-0
- [11] S. Kyriakides, C.D. Babcock, Buckle propagation phenomena in pipelines, ISBN
- [12] R.M. Ogorkiewicz, Engineering properties of Thermoplastics (1970), ISBN 0-471-65301-2
- [13] C.R. Calladine, Plastic Buckling of Tubes in Pure Bending
- [14] Sverdrup - Johnson - Fleming, The Oceans: their physics, chemistry, and general biology (1942)
- [15] Coastal Discharges: engineering aspects and experience: proceedings of the conference organizes by the Institution of Civil Engineers and held in Longdon on 7-9 October 1980, Symposium (1981), ISBN 0-7277-0124-x
- [16] Det Norske Veritas (1981/82), Rules for Submarine Pipeline Systems
- [17] Alf Törum, Offshore Pipelines (1981)
- [18] Robert L. Wiegel, Oceanographical Engineering (1964)
- [19] N. Janbu, Basic Elements in Soil mechanics (1970)
- [20] Peck, Hanson, Thornburn, Foundation Engineering 2nd ec. (1974), ISBN 0-471-67585-7

- [21] Richtlinie für die Statische berechnung von Entwässerungskanälen und Leitungen (1988)
- [22] PRA 8 - Norway, Air in Sea Outfalls (in Norwegian)
- [23] E. Grann-Meyer, High Density Polyethylene Pipes, The aspect of safety (private paper, 1987)
- [24] E. Grann-Meyer, The Danger of Collapse PE-HD pipes during the phase of installation (private paper, 1987)
- [25] E. Grann-Meyer, Flexible Submarine Pipes Maximum of sinking speed, A Resonance Study (private paper, 1988)
- [26] E. Grann-Meyer, Submerging of a Flexible Pipe, Theoretical Backgroud (private paper, 1988)
- [27] E. Grann-Meyer, Submerging of Flexible Pipes, Chain Link Theory (private paper, 1990)
- [28] E. Grann-Meyer, Third Generation of Thermoplastic Pipes (1991)
- [29] E. Grann-Meyer, Sinking of Thermoplastic Pipes to deep water, Theory versus Practice (private paper, 1991)
- [30] E. Grann-Meyer, Ocean Discharge of Domestic Sewage (1994)
- [31] E. Grann-Meyer, Ocean Discharge of Domestic Sewage to Healthy Recipients
- [32] PTV 25 - Norway 1984(S. Endresen, J.A. Myhrstad, P.E. Jahren), Relining of pipelines for water transport, ISBN 82-90328-27-3
- [33] PTV 26 - Norway 1984, (Øyvind Johansen), Guidelines for submarine pipelines, ISBN 82-90328-28-1
- [34] Lars-Eric Janson and Jan Molin, Design Plastics Pipes, ISBN 87-983636-0-3
- [35] PVT 16 - Norway 1981, Damages at submarine pipelines, ISBN 82-90328-18-4
- [36] Thor Meland, NIF/NTH 1989, Design of flexible pipes in the submerging and operating phase

8.0. Appendix

8.1 Dimensioneringsexempel

En kommun önskar att använda en PE-rörledning för att förse en ö med vatten från fastlandet. Ön har en befolkning på omkring 1 000 personer och där finns fiskodlingar.

a) Innerdiameter

Det dimensionerande flödet beräknas vara $Q_{\max} = 50$ l/s. Beräkna rörets innerdiameter:

$L =$ längden = 2000 m

$\Delta H =$ Tryckfall = 20 mvp

$k =$ ekvivalenta sandrårheten = 0,05 mm

Se avsnitt 4.4 Hydraulisk kapacitet

Ekvation 17 kan användas för beräkningen, men problemet kan inte lösas direkt.

$$\Delta H = f \frac{L}{D_i} \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (17)$$

Anta att friktionsfaktorn $f = 0,02$

Hastigheten (v) kan uttryckas:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi D_i^2} \quad a)$$

Sätt in a) i ekv. 17 och lös ut innerdiametern D_1 :

$$D_i = \left[f \cdot \frac{L}{\Delta H} \cdot \frac{16Q^2}{\pi^2 \cdot 2 \cdot g} \right]^{\frac{1}{5}} \quad b)$$

$D_i = 0.21$ m

$$D_i = \left[0.02 \cdot \frac{2000}{20} \cdot \frac{16 \cdot 0.05^2}{\pi^2 \cdot 2 \cdot 9.81} \right]^{0.2} m$$

Vi måste nu kontrollera antagandet $f = 0,02$ genom att använda Moodys diagram (fig. 4.4.2.A).

$$v = \frac{4 \cdot 0,05}{\pi \cdot 0,21^2} \text{ m/s} = 1,44 \text{ m/s} \quad (3)$$

$$R_e = \frac{1,44 \cdot 0,21}{1,31 \cdot 10^{-6}} \text{ m/s} = 2,3 \cdot 10^5$$

$$\frac{k}{D_i} = \frac{0,05}{210} = 0,00024$$

$$f = 0,018$$

Upprepar vi beräkningen med det nya f -värdet får vi:

$$D_i = 0,22 \text{ m}$$

b) Väggtjocklek

Anta att röret är gjort av MRS 80-material och att dess dimensionerande säkerhetsfaktor är 1,6. Räkna ut väggtjockleken (e) hos röret genom att anta ett maximalt dimensionerande tryck $P_1 = 10 \text{ bar}$, se avsnitt 4.2.

$$\sigma_o = \frac{P_i \cdot D_m}{10 \cdot 2 \cdot e} \quad (6)$$

$$\sigma_2 = \frac{80 \text{ kp/cm}^2}{1,6} = 50 \text{ kp/cm}^2 = 5 \text{ MPa} \quad (c)$$

$$e = \frac{P_i(D_i + e)}{10 \cdot 2 \cdot \sigma_o}$$

$$e = \frac{P_i \cdot D_i}{20\sigma_o - P_i} \quad (d)$$

$$e = \frac{10 \cdot 220}{20 \cdot 5 - 10} \text{ mm} = \underline{\underline{24,4 \text{ mm}}}$$

$$SDR = \frac{220 + 2 \cdot 24,4}{24,4} = \underline{\underline{11}}$$

För att bestämma ett standard PE-rör refererar vi till avsnitt 3.3, tabell 3.3.1.b.

$$D_0 = 280 \text{ mm}, e = 25,4 \text{ mm}$$

$$D_1 = 229,2$$

Detta betyder att röret har större kapacitet än det dimensionerande flödet ($> 50 \text{ l/s}$) eftersom innerdiametern har ökat från 220 mm till 229,2 mm.

c) Böjradie

Röret sänks på ett djup av 50 meter och har en viktbelastningsgrad, $\beta_0' = 30\%$.

Vilken är minsta tillåtna böjradien, under förutsättning att dimensionerande säkerhetsfaktorn, $n = 2,0$.

Den radiella deformationen är den mest kritiska. I tabell 4.12.1 kan vi hitta böjkvotskravet för ett SDR 11-rör.

$$\alpha = 15 \quad \alpha = \frac{R}{D}$$

Minsta böjradie blir:

$$R = 15 \cdot 0,28 = 4,2 \text{ m}$$

d) Kompressortryck

Sänkningshastigheten kan kontrolleras genom att använda en luftkompressor. Vilket är det minsta tryck som kompressorn måste kunna leverera?

Eftersom viktbelastningsgraden är, $\beta_0' = 30\%$, måste minimitrycket vara lika med 30% av det maximala djupet.

$$\begin{aligned} P_i &= 0,3 \cdot \gamma \cdot d && \text{e)} \\ &= 0,3 \cdot 10 \cdot 50 \text{ kN/m}^2 = 150 \text{ kPa} \\ &= 1,5 \text{ bar} \end{aligned}$$

e) Flytkraft

Vad är flytkraften per meter rör (100% fyllt)?

Vi använder ekv. 56 i avsnitt 4.14.

$$P_{b,2} = \frac{\gamma_w \Pi}{4} \cdot D_o^2 (1 - \beta_o')$$

$$P_{b,2} = \frac{10 - \Pi}{4} \cdot 0,28^2 (1 - 0,3) \text{ kN/m} \quad (56)$$

$$= 0,43 \text{ kN/m}$$

f) Dragkraft

Hur stor bör dragkraften vara?

Genom att använda ekv. 70 i avsnitt 4.14.2 kan vi bestämma storleksordningen på dragkraften:

$$F \geq a_{\min} \cdot D_o \cdot P_{b,2} \quad (71)$$

$$F \geq 15 \cdot 0.28 \cdot 0.43 \text{ kN} = 1.8 \text{ kN}$$

Detta är en liten kraft; det visar att ett SDR 11-rör kan enkelt och säkert sänkas till ett djup på 50 meter.

g) Sänkingshastighet

Vilken är den maximala sänkingshastigheten?

Fig. 5.3.3.B i avsnitt 5.3.3 ger en fingervisning.

$$v \leq 0.15 \text{ m/s}$$

h) Stabilitet

Observationer och mätningar visar att vattenströmmar med hastigheten $v_c = 1 \text{ m/s}$ påverkar röret. Orsakar dessa strömmar några stabilitetsproblem?

Vi använder ekvation 33 i avsnitt 4.8.2 för att beräkna släpkraften, F_D , per meter rör.

$$F_D = C_D \cdot A \cdot \rho \frac{v_c^2}{2} \quad (33)$$

Vi antar att röret befinner sig på ett avstånd större än $1/4 \cdot D_e$ från havsbotten, detta på grund av dimensionerna och utseendet hos betongvikterna. Därför kan vi bortse från den lyftande kraften, se avsnitt 4.8.

Dessutom antar vi att strömmarna angriper röret med en vinkel som är 90° . I ekvation 33 är arean A rörets projicerade yta och anges vertikalt mot strömmarna.

$$A = k \cdot D_o \quad (f)$$

$k =$ "skuggkoefficient" (1,0 – 1,5)

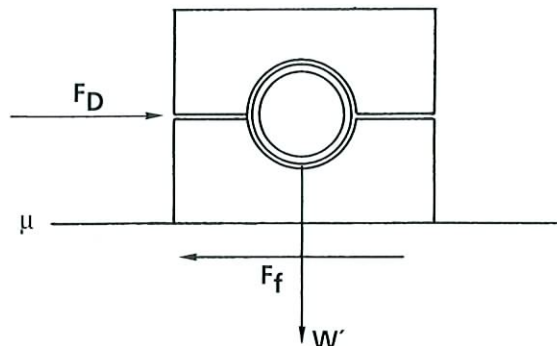
I det här fallet väljer vi $k = 1,1$. Släpkoefficienten $C_D = 0,9$

När vi använder ekv. 33 får vi:

$$F_D = C_D \cdot A \cdot \rho \frac{v_c^2}{2}$$

$$= 142 \text{ N}$$

Fig. 8.1.1 - Krafter som verkar på röret



Denna släpkraft måste stabiliseras med friktionskraften F_f .

$$F_f = \mu \cdot W' \quad (g)$$

$$F_f > F_D \quad (h)$$

$$\mu > \frac{F_D}{W'} \quad (i)$$

$$\mu > \frac{142}{0.3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0.28^2 \cdot 1025 \cdot 9.81} = 0.76$$

Normalt är friktionskoefficienten mellan havsbotten och vikterna mellan 0,5 – 0,8. I det här fallet kan alltså strömmarna orsaka stabilitetsproblem.

i) Viktbelastningsgrad

Finn den viktbelastningsgrad, β'_0 , som motsvarar en friktionskoefficient $m = 0,5$.

$$W = \beta'_0 \gamma_w \frac{\pi}{4} D_o^2 \quad (j)$$

$$W = \frac{F_o}{\mu} \quad (k)$$

$$\beta'_0 = \frac{4 \cdot F_D}{\mu \cdot \gamma_w \cdot \pi \cdot D_o^2} \quad (l)$$

$$\beta'_0 = \frac{4 \cdot 142}{0.5 \cdot 1025 \cdot 9.81 \cdot 3.14 \cdot 0.28^2}$$

$$\beta'_0 = 0.46 = \underline{\underline{46\%}}$$

j) Dragkraft och maximalt inre tryck för β_0'

Vad är nödvändig dragkraft och maximalt inre tryck för det beräknade β_0' ?

Med hänvisning till positionerna d), e) och f), får vi:

$$P_i = 0.46 \cdot 10 \cdot 50 \text{ kPa} = 230 \text{ kPa} = 2.3 \text{ bar}$$

$$F \geq 15 \cdot 0.28 \cdot 0.43 \frac{1 - 0.46}{1 - 0.3} \text{ kN} = 1.4 \text{ kN}$$

Detta visar att dragkraften sjunker.

Detta beror på att S-formen hos röret i sjunkfasen närmar sig en symmetrisk form när β_0' närmar sig 50%. (R1 närmar sig R2)

Inverkan av det ökande yttre lufttrycket är också signifikant för de genomsnittliga upplyftande krafterna (se fig. 4.14. D).

Vi rekommenderar att man i praktiken använder en dragkraft som är större än 5 kN för att motverka dynamiska krafter som skapas av vind, vågor och strömmar.

Slutsatser:

Om undervattensledningen sänks vid goda väderleksförhållanden visar beräkningarna att det inre lufttrycket är tillräckligt, dragkraften är tillräckligt stor och sänkningshastigheten är inom rekommendationerna.

Vi förväntar oss därför inga problem.

Erfarenheter har visat att PE-rörledning enkelt kan installeras under vatten vid SDR-klass 17,6 och mindre. Rör i liten- och mediumstorlek, som har maximalt SDR-klass 26, är också relativt lätta att sänka, under förutsättning att de teoretiska och praktiska vägledningarna i denna handbok följs.

8.2 Bogsering på öppet hav av PE-rör med stor diameter

8.2.1 Introduktion

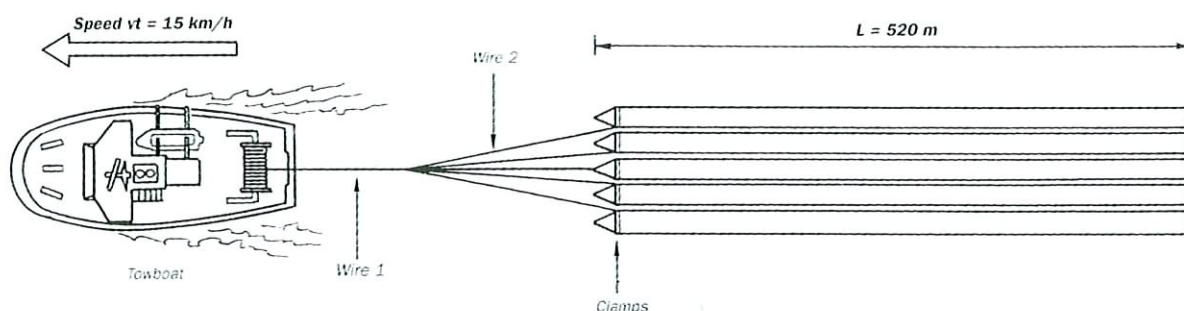
Som vi kan se i följande beräkningar, kan stora PE-rör som bogseras på öppet hav stå emot stora krafter.

I följande beräkningar har vi valt teoretiska modeller för de typiska tryck- och dragspänningar som förekommer och använt PE-HD-rör med $D_0 = 1\,600$ mm, $e = 61,2$ mm som utgångspunkt för beräkningarna.

8.2.2 Tekniska egenskaper

Geometri

Fig. 8.2.1.A - Bogseringsgeometri



Rör: Ytterdiameter 1 600 mm MRS 80 SDR 26.
 Tryckklass: PN4.
 Innerdiameter: 1477,6, väggjocklek : 61,2 mm.
 Vikt: 306 kg/m.
 E-modul: 600 MPa.

Hydrodynamiska data

Bogseringen utförs vid bästa möjliga väderförhållanden. Väderprognoserna bestämmer när bogseringen ska börja. Eftersom en sådan resa kan ta 1 - 3 veckor är det omöjligt att försäkra sig om optimala förhållanden hela vägen.

För att bestämma dimensionerande våghöjd har vi använt statistik för Nordsjön och där valt 95%-fraktilen. Det betyder att 95% av tiden på året är våghöjden mindre än dimensionerande våghöjd.

Med dessa fakta som bas blir dimensionerande våghöjd:

$$H = 4,5 \text{ m} \quad T = 7,5 \text{ s.}$$

Vi har baserat våra beräkningar på en strömhastighet av 1 m/s. Strömmarna har normalt samma inverkan på bogserbåten och rören.

Om strömmarna hastigt ändrar riktning, varierar rörens position relativt bogserbåten men detta påverkar inte rören nämnvärt.

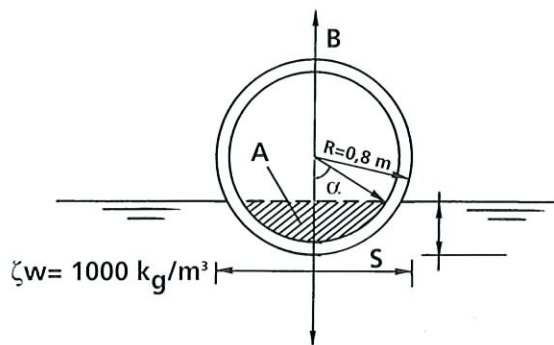
Därför kan vi fokusera på våghöjd och bogserhastighet vid de följande beräkningarna.

8.2.3 Beräkningar

8.2.3.1 Jämviktsläge

Rören är luftfyllda och stängda i bägge ändar. Jämviktsläget visas i fig. 8.2.3.1.A.

Fig. 8.2.3.1.A - Jämviktsläge



Från denna bild på jämviktsläget får vi att 0,29 m² av rörets frontarea är under vatten.

8.2.3.2 Släp- och friktionskrafter

En kraft verkar på röret på grund av vattnets viskosa flöde längs det.

Dragkraften måste motverka släpkraften F_D och friktionskraften F_f .

Vi får ett dragkraftsbehov av $F = 177250 \text{ N}$.

Bogseringskabel nr. 1 (se fig. 8.2.1.A) är godkänd för 1 300 000 N, det vill säga en säkerhetsfaktor på 7,3.

Bogseringskabel nr. 2 (se fig. 8.2.1.A) är godkänd för 320 000 N, det vill säga en säkerhetsfaktor på 9,0.

Det är en ideal situation som beskrivs här ovan. I praktiken orsakar accelerationen vid bogsering också ytterligare krafter. Bogserbåtens kaptan kan ändra hastighet långsamt för att kontrollera dessa accelerationskrafter.

Med utgångspunkt från vanliga värden på accelerationen, får vi en total dragkraft på 582000 N, det vill säga en säkerhetsfaktor för bogserkabel 1 på 2,2.

För bogserkabel 2 som är ansluten till varsitt rör får vi en säkerhetsfaktorn på 2,7.

Beräkningarna ovan visar att de utvalda bogserkablarna är tillräckligt starka för sitt syfte.

Nedan fokuserar vi på krafterna på själva röret. Vi studerar krafterna på ett rör och antar att det påverkas av en dragkraft på 10 ton i enlighet med tidigare analyser. Denna kraft verkar via bogserkabeln på spänningen som är fixerad runt röret.

Om vi tar med i beräkningen att spänningens toppvärde är två gånger det normala och utgår dimensionerande 50-års spänningen i röret, blir säkerhetsfaktorn 2.9.

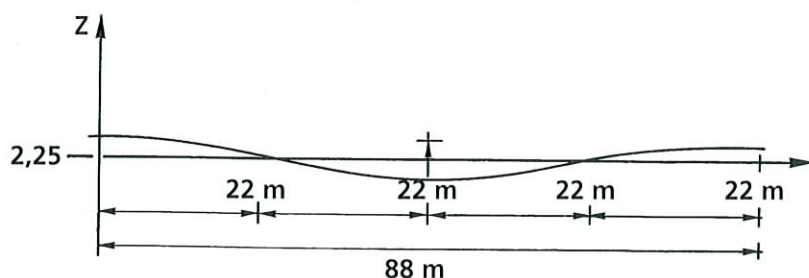
Tar vi dessutom hänsyn till dragkraften och korttidskrafterna blir säkerhetsfaktorn 4,65.

Det betyder att röret kan klara dragkraften som överförs via spänningen.

8.2.3.3 Vågrörelser

Vi baserar våra beräkningar på djupt vatten och följande utseende hos den dimensionerande vågen:

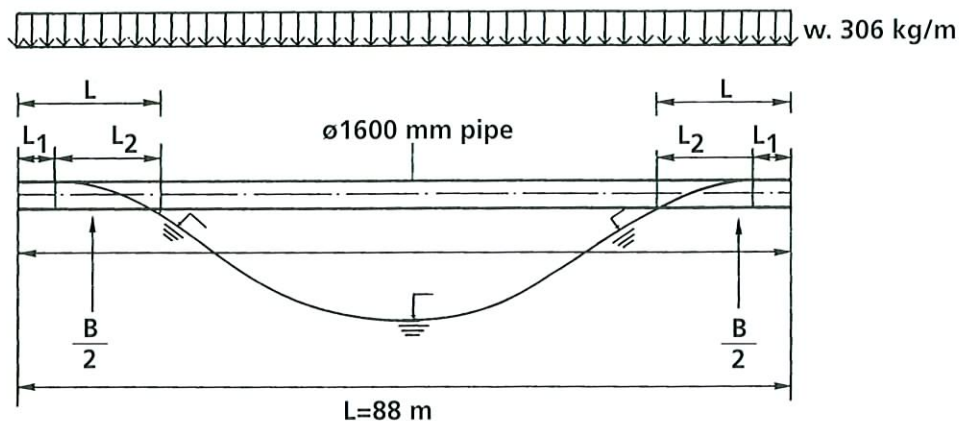
Fig. 8.2.3.3.A - Dimensionerande våg



Note: $L_0 = 1.58 \cdot T^2 = 1.58 \cdot 7.52 = 88 \text{ m}$

I vårt första exempel antar vi att röret är en stel kropp och vi studerar en våglängd.

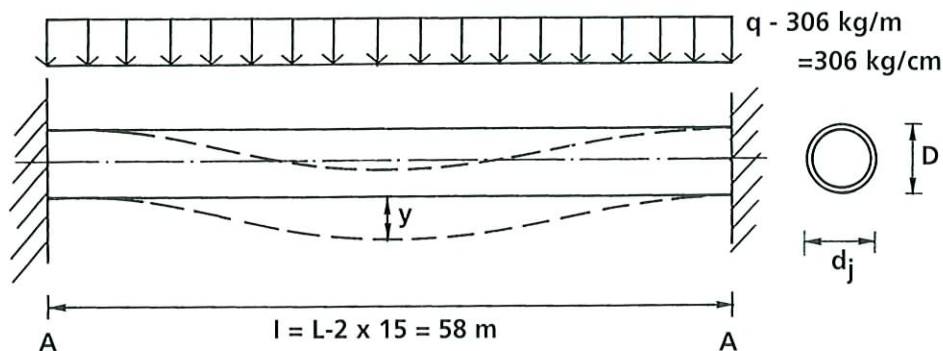
Fig. 8.2.3.3.B - Vågmodell



Vikten hos röret måste balanseras genom flytkraften från sektion 1. Omfattande beräkningar krävs för att hitta det exakta balansläget.

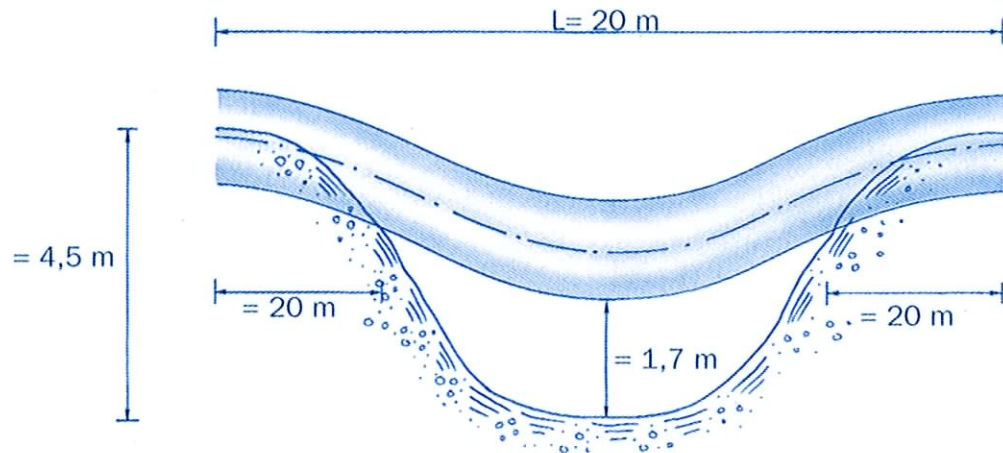
I vårt andra exempel betraktar vi röret som en balk, vilket visas i fig. 8.2.3.3.C.

Fig. 8.2.3.3.C - Statisk modell



Resultatet av den statiska beräkningen visas i fig. 8.2.3.3.D.

Fig. 8.2.3.3.D - Rörsektion utsatt för dimensionerande våg.



I praktiken blir spännvidden mindre än 58 meter (ungefär 50m) på grund av flexibiliteten hos röret.

Baserat på dessa fakta får vi en långtids säkerhetsfaktor på 1,4 för en livslängd av 50 år. Den tillåtna korttidsspänningen för nytt material ger oss en säkerhetsfaktor på 3,45 gentemot toppbelastningar orsakade av dynamiska krafter. Säkerhetsfaktorn ökar på grund av det omgivande vattnets temperatur, vilken är lägre än den dimensionerande temperaturen $T = 20^{\circ}\text{C}$.

Den slutliga kontrollen ägnar vi åt de tilläggskrafter som vi får, i longitudinell riktning på röret, från vågorna.

I fig. 8.2.3.3.D ser vi att 44 % av röret är i vatten.

För en sektion på 520 meter betyder det att friktions/släpkrafter verkar på en sträcka av 230 meter.

Vi använder samma metod som tidigare för att hitta jämviktsläget.

Baserat på maximihastigheten hos partiklarna i vågorna plus bogserbåtens hastighet får vi en dimensionerande hastighet på 7 m/s .

Detta ger oss en säkerhetsfaktor på:

Kabel 1: 4.5

Kabel 2: 5.5

Slutligen ser vi att dessa krafter är mindre än accelerationskrafterna vi beräknade tidigare.

Vågbrytning ger också krafter. Maximihastigheten för vågtoppen i brytläget vid djupt vatten är $v = 11,7$ m/s. Vågorna bryts alltid på en mindre del av rörlängden.

Om vi antar att de brytande vågorna påverkar 50% av den rörlängd som är nedsänkt i vatten, $l = 115$ m, kan vi anta en toppfaktor $k = 1,5$ jämfört med tidigare beräknade krafter.

8.2.3.4 Andra faktorer

Under bogsering kan de olika rorsektionerna överföra krafter på varandra. Detta kan orsaka slitage på de exponerade rörytorna. I enlighet med nationella och internationella normer får inte djupet på dessa slitageskador överstiga 10% av rörets vägg tjocklek, i detta fall 6,1 mm.

Alla repor bör noteras vid ankomstinspektionen. Repar måste jämnas av för att accepteras.

Temperaturskillnaden i luft och vatten kan också överföra krafter på rören. Dessa krafter kan man bortse ifrån eftersom röret kan expandera fritt i alla riktningar.

8.2.3.5 Slutsatser

Den teoretiska analysen, vilken är baserad på mer än 20 års praktisk erfarenhet av att bogsera PE-HD-rör på öppet hav, har visat att det är möjligt, med tillräcklig säkerhetsmarginal, att bogsera stora rör (i det här fallet 1 600 mm, SDR 26) från Norge till destinationer i Östersjön och Europas Atlantkust såväl som hela Medelhavsområdet.

Praktisk erfarenhet av bogsering och respekt för vädret skapar bogseringssäkerhet. Den långa erfarenhet av bogsering och det stora antalet tidigare bogseringar visar att bogsering är en kostnads- och tidseffektiv metod för att transportera stora rör.



- ett begrepp i Europa

Pipelife Sverige AB

Box 50
524 02 Ljung
Telefon 0513-221 00
Fax 0513-221 99

Pipelife Sverige AB

514 84 Ölsremma
Telefon 0513-221 00
Fax 0321-622 20

Hemsida: www.pipelife.se

E-post: info@pipelife.se

Pipelife International är idag en ledande europeisk plaströrsproducent. Koncernen är representerad i 23 länder med 35 fabriker.

