

Pipelife rørhåndbok

PIPELIFE 



G: Om Rørhåndboka

Rørhåndboka fra Pipelife er ment å gi verdifull informasjon samt fungere som oppslagsbok i det daglige. Den nettbaserte utgaven vil være mer oppdatert enn papirutgaven – og vi bygger gradvis inn kalkulatorer, videoer og relevante linker i denne.

Håndboka er bygd på tidligere utgivelser, tilbakemeldinger, erfaring og med støtte i ulike tekniske underlag. Lars-Eric Jansons bok *Plastics Pipes for Water Supply and Sewage Disposal* har vært til stor hjelp og flere illustrasjoner er hentet herfra. Bransjeorganisasjoner, den Nordiske Plastrørgruppen (NPG), The European Plastic Pipes and Fittings Association (TEPPFA), PE100+ og PVC4Pipes, har utgitt diverse faglitteratur vi har hentet stoff fra. Ellers er det meste bygd på erfaring, norsk måte å tenke på og norske metoder utarbeidet av og for rørfolk i Norge gjennom mange år.

Vi tar forbehold om endringer. Endringer på produkt, i tekst eller lignende skjer uten forvarsel. All informasjon, alle illustrasjoner og spesifikasjoner er basert på tilgjengelig informasjon ved tidspunktet for oppdatering (gjengitt nederst til venstre på alle sider).

Vi tar heller ikke ansvar for følgeskader ved at innholdet er brukt ukritisk. Prosjektering bør overlates rådgivende ingeniører med dokumentert kompetanse. Pipelife Norge AS er ikke godkjent for noen tiltaksklasse i henhold til Plan- og Bygningsloven (PBL) og kan derfor kun bistå med faglige råd.

Kopiering eller gjengivelse fra Pipelifes brosjyrer, kataloger, nettsider m.m. er forbudt uten etter avtale med Pipelife Norge AS.

Symbolbruk og terminologi følger aktuelle norske produkt- og utførelsesstandarder. Se også avsnittet om symbolbruk og terminologi.

Vi vil gjerne høre fra deg hvis du har meninger om innholdet eller savner noe. Send en e-post til firmapost@pipelife.no eller ring oss på 71 65 88 00.

Hold deg oppdatert!

Det skjer stadig endringer. Nye standarder kommer, standarder endres, forskningen går videre og nye produkter og materialvarianter dukker opp. Relevante nyheter får du i ulike kanaler.

- Meld deg på for å få våre nyhetsbrev. Disse sendes per e-post ikke veldig ofte. Send for eksempel en e-post til firmapost@pipelife.no og fortell oss om ditt interesseområde er VMT (VA), pre-isolerte rørsystem, VVS, kabelvern eller elektro-installasjon.
- Vi tilstreber å holde hjemmesidene våre oppdaterte. Det er enkelt å finne oss på internett. Hjemmesiden vår er www.pipelife.no. Her finner du det meste.
- Vi er også på [Facebook](#), [LinkedIn](#), [Instagram](#) og [Twitter](#). Her legger vi ut aktuelle nyheter og diverse annet som det kan være greit å få med seg. Lik oss gjerne!

- På [YouTube](#) kan du se informative filmsnutter fra Pipelife Norge.
- I tillegg står vi klare til å svare på spørsmål via e-post og via telefon. E-post kan sendes firmapost@pipelife.no og telefonnummeret vårt er 71 65 88 00 – eller du kan finne rett person under oversikten over kontaktpersoner på hjemmesidene.
- Ønsker du å få besøk eller å besøke en av våre fabrikker er det bare å ta kontakt.

Innhold i Rørhåndboka

Rørhåndboka er delt inn i fire hovedkapitler:

G: Generelt

I: Installasjon

M: Materialer og egenskaper

R: Rørberegninger

Hovedkapitlene og delkapitlene under disse er satt opp i alfabetisk rekkefølge – ikke logisk. Hvert kapittel har egen sidenummerering. En referanse til dette kapitlet kan være «Rørhåndboka – Generelt – Om Rørhåndboka». En slik referanse finner du nederst på hver side. Og så har vi avsnitt på nederste nivå – se innholdsfortegnelsen.

Innholdsfortegnelse

G: Generelt

Om Rørhåndboka

- Hold deg oppdatert!
- Innhold i Rørhåndboka

Innholdsfortegnelse

Dokumentasjon i forbindelse med produkter og produsenter

- FDV-dokumentasjon
- Produktdatablad
- EPD (miljødeklarasjon)
- HMS-datablad, sikkerhetsdatablad
- Produktsertifikat
- NS-EN ISO 9001
- NS-EN ISO 14001
- BIM datamaler (Data Templates, DT)
- Dokumentasjon er ferskvare

Enheter og kryssmultiplisering

- Prefikser
- Sammenstilling av verdier med ulike enheter
- Kryssmultiplisering – omregning fra en enhet til en annen

Merking av rør og deler

- Oversikt over ulike opplysninger du kan finne i merkingen på produktene
- Eksempler på merking

Om rør og miljø

- EPD – Environmental Product Declaration
- Carbon Footprint
- Helhetlig, bærekraftig tankesett

Standarder og sertifisering

- Produktstandarder
- Sertifisering av produkter
- Ulike nivåer av sertifisering og omfang
- Drikkevannsgodkjenning
- Still krav om sertifiserte produkter!

Symbolbruk og terminologi

I: Installasjon

Aldring, utelagring, solbleking og behandling i kulde

- Aldring
- Utelagring og solbleking
- Behandling i kulde

Avvinkling og bøyning

- Bøyning av PE-rør
- Avvinkling og bøyning av rør med muffeskjøt

Ekspansjonsbøyer

- Ulike typer ekspansjonsbøyer
- Diagram – ekspansjonsbøyens totale lengde
- Beregning av ekspansjonsbøyens totale lengde
- Mål for ekspansjonssløyfe
- Mål for ekspansjonsbend
- Mål for parallellføring med ekspansjon

Høye temperaturer og rør av termoplast

- Høye temperaturer i avløpsrørssystemer i bygninger
- Høye temperaturer i avløpsrørssystemer i grunnen
- Høye temperaturer i trykkrørssystemer
- Høye temperaturer i trykkrørsledninger som utsettes for soloppvarming

Klamring av rør

Kvalitetskontroll på anlegg

- Tetthetsprøving av trykkløse rørledninger
- Tetthetsprøving av plastrør med luft - overtrykk
- Tetthetsprøving av plastrør med luft - undertrykk
- Tetthetsprøving av plastrør med vann
- Trykkprøving av trykkrør av PVC eller PE
- Valg av metode
- Normal metode
- Kontraksjonsmetoden
- Rørinspeksjon
- Deformasjonskontroll med tolv
- Kvalitetskontroll av sveiste skjøter

Legging av plastrør i grøft

- Leggeanvisninger
- Avstandskrav
- Plastrørets oppførsel i grøft
- Generell deformasjon
- Punktdeformasjoner
- Jordmasser i ledningssonen
- Slurv og mangler

Levering, lossing, lagring og håndtering av plastrør

- Bestillingen (installatør og distributør)
- Før levering til anlegg (anleggseier)
- Under levering til anlegg (varemottaker)
- Mottakskontroll (varemottaker)
- Etter levering til anlegg (installatør)
- Retur

Rør klamret under bunnplate

- Diagrammer. Klamringsavstander og vekt per klammer for rør opphengt under bunnplate

Senking av sjøledninger

- Generelt om sjøledningsprosjekter
- Senkeprosedyre
- Den kritiske startfasen
- Senkefasen
- Den kritiske slutfasen

Skjøting av rør

- Kapping av rør
- Muffeskjøt med tetningsring
- Sveising av plastrør
- Sveisestandardene
- Elektromuffeskjøt
- Elektromuffesveising ved lave temperaturer
- Speilsveis
- Speilsveising ved lave temperaturer
- Flenseskjøt
- Mekanisk kobling

Spyling av avløpsrør

M: Materialer og egenskaper

Brann og plastrør

- Noen viktige brannegenskaper
- Rørmaterialer og brann
- Brannsikkerhet
- Regelverk og begreper
- Brannmansjetter og rørgjennomføringer i brannskiller
- Plastrør og rømningsveier
- Rør og røykgasser

Designkoeffisient og sikkerhetsfaktor

- Designkoeffisient og sikkerhetsfaktor for trykkrør

Levetid

- Tiden MRS defineres ved
- Virkelig levetid

Materialdata

- Verdier for ulike egenskaper
- Lengdeendring ved temperaturendring
- Reduksjonsfaktor for trykk ved høye temperaturer
- Kjemisk bestandighet
- Biologisk bestandighet

Rørmaterialer

- PVC
- PE
- PP

Slitestyrke

R: Rørberegninger

Belastninger på rør i grøft

- Generelt om deformasjon på rør
- Formel for beregning av deformasjon av fleksible rør i grøft
- Belastning fra jord, q_{jord}
- Belastning fra trafikk, q_{trafikk}
- Jordtrykk fra andre laster på overflaten – Boussinesq formel
- Ringstivhet, SN
- Jordmassenes sekantmodul, $E's$
- Tilleggsfaktorer
- Kollaps
- Tøyning i rørveggen ved deformasjon
- Legging av rør med stor overdekning
- Hvelvvirkning ved bruk av et kompressibelt lag over rørledningen
- Formel for hvelvvirkningsfaktor

Beregninger ved senking av sjøledninger

- Balansetrykk og drivende trykk
- Minimum bøyeradius under senking
- Strekkrefter, materialspenninger m.m. under senking
- Senkehastighet

Dimensjonering av rør for få hus

- Dimensjonerende vannmengde for ett eller få hus
- Dimensjonerende vannmengde for små felt
- Dimensjonering av vannledningen

Forankring av trykkrør i grøft

- Resultantkraft for T-rør og rørender med blindflens
- Resultantkraft for bønd
- Tabell over resultantkrefter for mufferrør
- Dimensjonering av forankringskloss
- Dimensjonering ved strekkfaste skjøter
- Strekkfast rørlengde for horisontale bønd
- Tabeller over strekkfast lengde ved gunstige og ugunstige forhold
- Forankring av sveiste rørledninger
- Elektroforankring

Hookes lov

- Spenning og tøyning
- Hvilken E-modul skal vi velge?
- Materialspenning i ringretning som følge av innvendig trykk
- Materialspenning i lengderetning som følge av innvendig trykk
- Materialspenning i lengderetning som følge av temperaturendring og nektet lengdeendring
- Resulterende materialspenning
- Hvor store krefter oppstår på grunn av materialspenningene?

Hydraulisk dimensjonering

- Vannmengder
- Kapasitetsberegning
- Dimensjonering av trykkrørsledninger
- Kapasitetsberegningsprogram for trykkrør
- Vannføringsdiagram for trykkrør, $k = 0,01$ mm
- Vannføringsdiagram for trykkrør, $k = 0,05$ mm
- Dimensjonering av selvfallsledninger for avløpsvann
- Kapasitetsberegningsprogram for selvfallsledninger
- Vannføringsdiagram for avløpsrør, $k = 0,25$ mm
- Vannføringsdiagram for avløpsrør, $k = 0,40$ mm
- Delfylling
- Selvrens
- Kapasitet ved drenering/infiltrasjon gjennom rør

Loddbelastning av sjøledninger

- Om loddbelastning av sjøledninger
- Tabeller loddbelastning
- Formler

Oppdrift i jord

- Oppdriftsvolum og oppdriftskrefter
- Motvekt fra jord
- Tiltak ved fare for at rørkonstruksjoner i jord skal flyte opp

PE-tabeller

- Trykkklasser og ringstivhet
- Veggtykkelser
- Vekter
- Maksimum trekkekraft ved inntrekking av rør
- Generelle mål for flenseforbindelser
- Antall elektroforankringer per rørdimensjon og rørklasse

Rehabilitering, inntrekking av rør

- Trekkekrefter
- Tabell trekkekrefter ved inntrekking
- Maksimum bøyeradius ved inntrekking
- Lengde av trekkegrop
- Utkappingslengde

Strøm- og bølgekrefter

- Strømkrefter på undervannsledninger
- Bølgekrefter på undervannsledninger

Trykksvingninger

- Refleksjonstid, trykkbølgehastighet og trykkstøt
- Begrensninger med hensyn på trykksvingninger i plastrør

Undertrykk

- Ringtrykkspenning, knekkspenning og kritisk undertrykk
- Beregning av kritiskundertrykk for frittliggende rør
- Beregning av kritisk undertrykk for PE-rør som avstives med ringer
- Beregning av tillatt undertrykk for rør som ligger nedgravd i grøft

G: Enheter og kryssmultiplisering

Det er ofte nødvendig å regne om fra en enhet til en annen. Trykk kan for eksempel like gjerne bli oppgitt i bar eller meter vannsøyle som i MPa. Noen ganger er det bare kjekt å regne om til enheter man er kjent med. Skal man regne med formler må man ha et bevisst forhold til hvilke enheter man bruker.

Prefikser

For å kunne bruke håndterbare tallstørrelser benyttes prefikser. 1 MPa tilsvarer for eksempel 1 000 000 Pa hvor bokstaven M står for mega (million). 1 megapascal = 1 MPa = 1 000 000 Pa.

Tallfaktor	Prefiks	Betegnelse
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
$10^6 = 1\,000\,000$	mega	M
$10^3 = 1\,000$	kilo	k
$10^2 = 100$	hekto	h
$10^1 = 10$	deka	da
$10^0 = 1$	-	-
$10^{-1} = 0,1$	deci	d
$10^{-2} = 0,01$	centi	c
$10^{-3} = 0,001$	milli	m
$10^{-6} = 0,000\,001$	mikro	μ
10^{-9}	nano	n

Vanlige prefikser

Eksempel

Mange PVC trykkrør ble lagret på et industritak i Porsgrunn. Etter fire år ble tykkelsen på det solblekede laget målt til å være mellom 10 og 25 nanometer - eller mellom 0,000 000 010 og 0,000 000 025 meter! Det er tallstørrelser det er vanskelig å forholde seg til.

For et PVC-rør med veggtykkelse 3,2 mm blir forholdet mellom 25 nanometer og 3,2 mm noenlunde det samme som forholdet mellom en persons høyde og avstanden mellom Oslo og fabrikken vår på Ringebu. Verdier med nanometer som enhet er ubegripelig små.

Sammenstilling av verdier med ulike enheter

Lengde (l, L): 1 meter [m] = 39,37 tommer (in) = 3,28 fot (ft)

Areal (A): 1 hektar [ha] = 10 dekar [da] = 10 000 m² = 10 mål

Trykk (P): 1 bar = 0,1 MPa = 0,1 N/mm² = 100 000 Pa = 100 000 N/m² = 10,2 mVs
= 0,9869 fysisk atmosfære [atm] = 14,50 psi

Volumstrøm: $1 \text{ m}^3/\text{h} = 1\,000 \text{ l/h} = 16,7 \text{ l/min} = 0,28 \text{ l/s}$

Hastighet: $1 \text{ km/h} = 0,28 \text{ m/s}$

Kraft: $1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2$

Spenning: $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 1\,000 \text{ kN/m}^2$

Temperatur: t [°C] (grader Celsius)
 t_F [°F] (grader Fahrenheit)
 t_K [K] (Kelvin)
 $t = 5/9 \cdot (t_F - 32)$
 $t_F = 32 + (9/5 \cdot t)$
 $t_K = t + 273,15$

Temperaturforskjell angis i Kelvin, i stedet for °C, i teknisk litteratur. En temperaturforskjell på 1 K tilsvarer 1°C. Altså for en ikke-tekniker det samme.

Kryssmultiplisering - omregning fra en enhet til en annen

Kryssmultiplisering er en enkel og sikker metode for å finne verdier med andre enheter. Oppskriften er rett og slett at forholdet mellom verdiene er det samme på begge sider av tegnet =. Matematisk kan det sette opp slik:

$$\frac{x \text{ (enhet A)}}{y \text{ (enhet B)}} = \frac{z \text{ (enhet A)}}{w \text{ (enhet B)}}$$

$$\Downarrow$$

$$x \text{ (enhet A)} = \frac{z \text{ (enhet A)} \cdot y \text{ (enhet B)}}{w \text{ (enhet B)}}$$

... der z, y og w er kjente verdier.

Eksempel

Hvor mange meter vannsøyle [mVs] er 0,5 MPa? Vi vet fra oversikten foran at 10,2 mVs tilsvarer 0,1 MPa.

Sett opp det kjente og det ukjente forholdet slik: «x mVs forholder seg til 0,5 MPa som 10,2 mVs forholder seg til 0,1 MPa»

$$\frac{x}{0,5 \text{ MPa}} = \frac{10,2 \text{ mVs}}{0,1 \text{ MPa}}$$

$$\Downarrow$$

$$x = \frac{10,2 \text{ mVs} \cdot 0,5 \text{ MPa}}{0,1 \text{ MPa}}$$

$$\Downarrow$$

$$x = 51,0 \text{ mVs}$$

0,5 MPa tilsvarer 51 meter vannsøyle.

G: Dokumentasjon i forbindelse med produkter og produsenter

I dette kapitlet forklares ulike begreper som alle dreier seg om dokumentasjon av produkt- eller produsentforhold.

FDV-dokumentasjon

FDV – Forvaltning, Drift og Vedlikehold. Skal følge bygningen/anlegget og skal blant annet fortelle eieren hvordan produktet skal vedlikeholdes på rett måte – hvis det trenger vedlikehold. Denne dokumentasjonen skal også inneholde informasjon om hva slags produkt dette er og hva slags betegnelser og egenskaper det har med tanke på senere utskiftninger og utbedringer. Denne typen dokumentasjon skal foreligge ved større bygge- og anleggsprosjekter. For produkter som ikke krever spesielt vedlikehold, noe som gjelder de aller fleste rørproduktene, så er det tilstrekkelig med produktdatablad som FDV-dokumentasjon.

Produktdatablad

Slike datablad inneholder opplysninger om produktet, hvilken form det har og hvilke egenskaper det har. Produktdatabladet skal beskrive produktet på en slik måte at man kan vurdere egnethet og finne erstatninger/løsninger ved senere utskifting.

EPD (miljødeklarasjon, miljøvaredeklarasjon)

En EPD (Environmental Product Declaration) er en standardisert måte å angi et produkts eller en tjenestes miljøpåvirkninger på og som gjør det mulig å sammenligne ulike produkter og løsninger i et miljøperspektiv. Påvirkningene angis i hele eller deler av produktets livsløp – råvarestadiet, produksjon, transport, installasjon, driftsfase og sanering. Når det er miljømessig bærekraftig skal man tilstrebe å resirkulere eller gjenbruke produktene – sirkulærøkonomi – som gir en gevinst i dette regnskapet.

En EPD skal angi om produktet inneholder kjemiske forbindelser som man bør kjenne til med tanke på helse og miljø og de totale miljøpåvirkningene fra produktene:

- Global klimaendring (GWP) målt i kg CO₂-ekvivalenter (karbondioksid)
- Nedbryting av ozon-laget (ODP) målt i kg CFC-11-ekvivalenter (freon-11)
- Dannelse av smog (POCP) målt i kg C₂H₄-ekvivalenter (etylen)
- Forsuring (AP) målt i kg SO₂-ekvivalenter (svoveldioksid)
- Overgjødsling (EP) målt i kg (PO₄)³-ekvivalenter (fosfat)
- Forbruk av mineraler o.l. (ADPM) målt i kg Sb-ekvivalenter (antimon)
- Forbruk av fossile ressurser (ADPE) målt i Megajoule (MJ)

Er det utslipp av andre klimagasser, så regnes dette altså om til en felles verdi. For eksempel har svært aggressive klimagasser en høy omregningsfaktor – slik at regnestykket blir så reelt som mulig.

Du får EPD som skriftlig dokumentasjon – gjerne basert på scenarier for det som skjer etter produksjon – eller mer reelle prosjektspesifikke beregninger utført ved hjelp av en tredjepartsverifisert EPD-generator.

En EPD bør absolutt gjelde for et spesifikt produksjonssted. Litt av hensikten med en EPD er nemlig at produsentene skal konkurrere om å ha den beste EPD-en – og med det ha en interesse av å forbedre sine miljøprestasjoner. Men det finnes generelle EPD-er for hele bransjer som ikke gir denne ønskede effekten.

Les mer på www.epd-norge.no.

HMS-datablad, sikkerhetsdatablad

HMS – «Helse, Miljø og Sikkerhet». Slike datablader er påkrevet for produkter som KAN ha stor påvirkning på de tre nevnte forholdene.

Produktsertifikat

Plastrørprodukter merket med det beskyttede Nordic Poly Mark, kronemerket (NS) og noen andre sertifiseringsmerker er underlagt tredjeparts-kontroll. Det innebærer at et godkjent/akkreditert testinstitutt kontrollerer våre produkter og vårt produktkontrollsystem jevnlig. Godkjenning gir oss rett til å merke produktene med et sertifiseringsmerke/kvalitetsmerke. Dette merket er altså dokumentasjon på at produktet er godkjent i henhold til gjeldende produktstandard og at vi følger de prosedyrer for kontroll som sertifiseringsorganet forlanger. Å bruke sertifiseringsmerker urettmessig er straffbart. Det utstedes sertifikater som dokumentasjon på sertifisering, men merket på produktet er det som gjelder.

Det er ulikt kontrollomfang for ulike sertifiseringsordninger. I sammenheng med vurdering og verifikasjon av ytelse i Byggevareforordningen er det definert fem systemer – eller nivåer – fra 4 til 1+. For plastrør er de frivillige sertifiseringsordningene med sertifiseringsmerkene Nordic Poly Mark eller NS kronemerket i system 1+, mens det forventes at omfanget for CE-merking vil ligge på de laveste nivåene.

Utføres av	Handling	System				
		1+	1	2+	3	4
Produsent	Fastsettelse av produktets ytelser			✓		✓
	Produksjonskontroll i fabrikk	✓	✓	✓	✓	✓
	Stikkprøver iht. prøvingsplan	✓	✓	✓		
Produkt-sertifiserings-organ	Fastsettelse av produktets ytelser	✓	✓			
	Innledende og løpende inspeksjon av produksjon og produksjonskontroll	✓	✓	✓		
	Prøving før lansering	✓				
Testinstitutt	Fastsettelse av ytelser basert på prøving, beregning, dokumentasjon e.a.				✓	

Kilde: Direktoratet for byggkvalitet, system for vurdering og verifikasjon av ytelse

I tillegg er produkter i kontakt med drikkevann gjerne sertifisert gjennom egne nasjonale ordninger som dokumentasjon på at de tilfredsstiller kravene i drikkevannsforskriften. Det er for tiden ikke en slik sertifiseringsordning i Norge.

Les mer på www.nordicpolymark.no og www.insta-cert.net.

NS-EN ISO 9001, kvalitetssystem

Pipelifes kvalitetssystem er sertifisert i henhold til NS-EN ISO 9001. I dette inngår kvalitetskontroll av produkter, men det innebærer også at det finnes oppdaterte rutiner for de viktige operasjonene som gjøres i bedriften. Hovedhensikten er å redusere muligheten for at feil oppstår, forhindre gjentagelse av feil og øke effektiviteten. I visse sammenhenger krever kunder at det framlegges dokumentasjon på at bedriften har et godkjent kvalitetssikringsystem ved å be om å få tilsendt kopi av sertifikatet.

NS-EN ISO 14001, miljøledelse

Godkjenning i henhold til denne standarden innebærer at vi har et godkjent system for miljøledelse. Det vil si at bedriften planmessig arbeider med å redusere eventuelle negative effekter våre aktiviteter har på miljøet. Dette innebærer for eksempel kildesortering, sikker oppbevaring og behandling av kjemikalier og risikoavfall, strømsparing og annen energiøkonomisering og så videre. Man kan også be om å få tilsendt dokumentasjon på dette i form av kopi av sertifikatet. Se også punktet om EPD.

BIM datamaler

Bruk av datamaler (Data Templates, DT) er den mest effektive løsningen for overføring og oversettelse av produktdata mellom ulike BIM-verktøy. En datamal inneholder grupper av egenskaper og verdier – gjerne kalt egenskapssett – som lett kan deles mellom vidt forskjellig BIM-software, og i tillegg oversettes til alle verdens språk. På den måten kan både mennesker og programmer forstå hva som faktisk menes med et gitt begrep, en benevnelse eller en egenskap. Datamalene PipeLife benytter er i henhold til ISO 23386 og ISO 23387.

Dokumentasjon er ferskvare

Det er viktig å forholde seg til dokumenter som er oppdaterte på byggetidspunktet. Derfor gjengis ikke disse dokumentene her, men foreligger som nedlastbare PDF-filer på www.pipelife.no og i andre databaser - eller de kan skaffes ved å kontakte oss direkte. Slike dokumenter oppdateres jevnlig og bør ikke lagres med tanke på senere bruk.

G: Merking av rør og deler

Plastrørprodukter, som er i henhold til en produktstandard, skal ha entydig merking i henhold til standarden. Et produkt kan være omfattet av flere standarder og det er tillatt å merke med tilleggsopplysninger – så lenge disse ikke er i konflikt med standardens krav. For eksempel kan produksjonstidspunktet være mer nøyaktig enn minimumskravet i standarden – med tanke på sporing av produktene.

Oversikt over ulike opplysninger du kan finne i merkingen på produktene

Standardens betegnelse

EN xxxx	Europeisk standard. Også NS-EN xxxx eller NEK EN xxxx som norsk standard.
ISO xxxx	Internasjonal standard
NS xxxx	Norsk standard
NEK xxxx	Norsk standard innen elektro-området

Bruksområdekode

U	Rør nedgravd mer enn 1 m fra bygningen det er tilkoblet
B	Rør innvendig i bygning
D	Rør under bygning (bunnledninger) og inntil 1 m fra bygningen det er tilkoblet. Vanlig norsk praksis er at «D» dekker stikkledninger frem til hovedledning i og med at de har styrken som kreves for nedgravde ledninger. «D» står alltid sammen med «U» eller «B»
UD	Dekker både bruksområde «U» og «D»
BD	Dekker både bruksområde «B» og «D»
WATER, W	Drikkevann
SEWAGE – DRAINAGE, P	Avløp under trykk

Produsentens navn og/eller varemerke og stedsangivelse

NOS1	Pipelifes fabrikk i Surnadal
NOS2	Pipelifes fabrikk på Stathelle
NOR	Pipelifes fabrikk på Ringebu

Dimensjonsangivelse

200x5,9	Diameter og veggtykkelse
---------	--------------------------

Materialangivelse

PVC, PVC-U	Polyvinylklorid uten mykner
PE 100	Polyetylen med MRS (minimum bruddspenning) 10,0 MPa
PE 100 RC	Polyetylen som er ekstra motstandsdyktig mot sprekkvekst (RC) og med minimum bruddspenning 10,0 MPa
PP	Polypropylen – i rørsammenheng av typen PP blokk-kopolymer


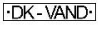
Rørklasser

SN 8*	Ringstivhetsklasse for trykløse rørsystemer i grøft.
PN 10**	Trykkklasse. Tallet angir maksimum tillatt trykk i bar.
SDR 11	Standard dimensjonsforhold. $SDR = D/e$
S 16	Rørklasse. $S = (SDR-1)/2$
750 N	Rørklasse med ulike tallverdier for rør til elektro-området.

Produksjonstidspunkt

05 14	Uke eller måned/år
14.03.20 : 23	År.måned.dag : time
::: . 01	Måned,år. Antall prikker eller prikkers plassering angir måned

Sertifiseringsmerke

 	Produkt og produsentens kontrollsystem er godkjent og overvåkes av tredjepart.
---	--

Annen merking kan være

prod.nr	Produksjonsordre nummer. Referanse for kvalitetssikring.
*	Snøkrystall. For avløpsrør som installeres ved lav temperatur. Gjelder ikke rørdeler.
CT	«Close Tolerances». Toleranser som er tilpasset andre rørsystemer. For eksempel PP deler som benyttes sammen med PVC grunnavløpsrør fra og med 200 mm og større.
285	Lengdemerking for rør på kveil
= 6 =	Identifikasjon for produksjonslinje

Koder i forbindelse med merking av rør

- * Ringstivhetsklasse SN 8 er nesten enerådende for trykløse rør i Norge. I tillegg omfatter flere standarder rørklassene SN 4 og SN 2 som har lavere ringstivhet. Vær oppmerksom på at dette medfører skjerpede krav til utførelse og kontroll, samt at rør med lavere ringstivhet ikke er så tilgjengelig. PipeLife Norge leverer blant annet kabelrør i SN 4, men disse er kun ment for innstøping (OPI-kanal). PE-rør med rørklassene SDR 26, SDR 33 og SDR 41 har også lavere ringstivhet enn SN 8.
- ** I europeiske standarder opereres det med lavere designkoeffisienter (C) enn det som har vært vanlig sikkerhetsfaktor i Norge. PipeLife merker sine trykkør med to trykklasser for å gjøre brukerne oppmerksom på dette. Hvis den høye sikkerhetsfaktoren (C) skal opprettholdes, forholder man seg til den laveste trykklassen. Materiale, SDR-verdi og maksimum opptredende driftstrykk bør oppgis ved kjøp – se tabell:

	MRS [MPa]	σ_{dim} [MPa]	C	SDR 33	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 7,4
PE 100	10,0	6,3	1,6	-	PN 5	PN 6,3	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 20
		8,0	1,25	-	PN 6,3	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 25
PVC	25,0	10,0	2,5	PN 6	-	PN 10	-	PN16	-	-
PVC ≥ 110 mm	25,0	12,5	2,0	PN 7,5	-	PN 12,5	-	PN 20	-	-

Sammenhenger mellom trykklasser, designkoeffisient/sikkerhetsfaktor og SDR-verdier

Eksempler på merking

PE trykkrør

PE trykkrør merkes med et eget referansenummer som viser til dokumentasjon oppbevart på produksjonsstedet.



EN12201  ·DK-VAND· PE100RC 110x10,0 SDR11 PN16 – C=1,25 / PN12,5 – C=1,6  NOS2 0420 1892

Eksempel på PE trykkrør med merking (NS-EN 12201)

SDR-verdi og materialangivelse vil være viktig merking på PE-rør og deler med tanke på beskrivelser, mottakskontroll og kontroll før og under montering/legging. Pipelife merker sine trykkrør med to trykklasser - en for høy sikkerhetsfaktor og en for designkoeffisienten.

PVC trykkrør



Pipelife merker sine trykkrør med to trykklasser - en for designfaktoren og en for den høyere sikkerhetsfaktoren.

 ·DK-VAND· EN1452 PVC-U 225x10,8 SDR21 PN12,5 – C=2,0 / PN10 – C=2,5  NOS1 10 – 12:05:20=2=

Eksempel på PVC trykkrør med merking (NS-EN ISO 1452)

PVC grunnavløpsrør og overvannsrør

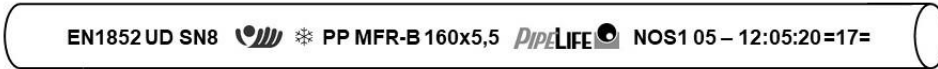
Snøkrystallet viser at røret klarer strengeste krav til slagfasthet. Bruksområdekoden UD (bunnledning og grøft) gjelder for dimensjoner opp til 200 mm og U (i grøft) for større dimensjoner. Ofte angis materialet som PVC-U. U her betyr «unplastizified» (ikke tilsatt mykner) og er ikke bruksområdekode.

 SDR34 EN1401 UD SN8 * PVC 110x3,2  NOS1 09:20 12.05.2020=2=

Eksempel på PVC grunnavløpsrør med merking (NS-EN 1401)

PP grunnavløpsrør og overvannsrør

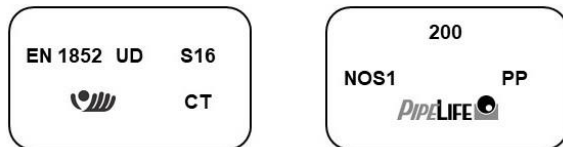
PP grunnavløpsrør er har stort sett samme merking som PVC grunnavløpsrør.



Eksempel på PP grunnavløpsrør med merking (NS-EN 1852)

PP grunnavløpsrørdeler

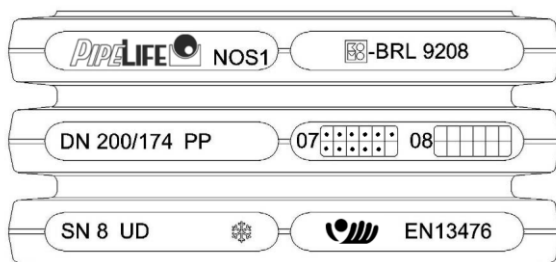
S 16 og CT er spesielle merkinger på PP rørdeler. S 16 gjelder rørdelsklasse (veggtykkelse) og tilsvarer SDR 33. CT skal stå på rørdeler fra og med 200 mm for at måltoleransene skal være de samme som for PVC grunnavløpsrør.



Typisk merking på sprøytstøpte grunnavløpsrørdeler

Pragma grunnavløpsrør og overvannsrør

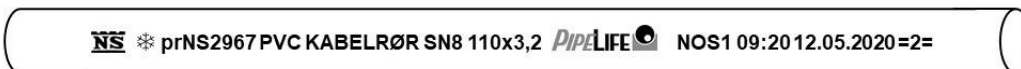
Bruk av merkesegmenter umuliggjør nøyaktig tidsangivelse. Bruksområdekoden UD for bunnledninger gjelder til og med 315 mm. For øvrig gjelder bruksområdekoden U (i grøft).



Eksempel på merking av Pragma rør (NS-EN 13476-3)

PVC kabelrør

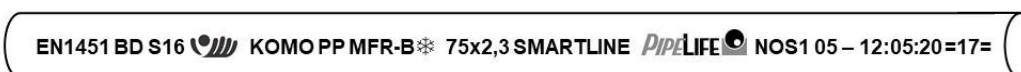
Oransje kabelrør er merket «VEGMYNDIGHETEN».



Eksempel på PVC kabelrør med merking (prNS 2967)

Smartline

KOMO-sertifikat gjelder BeNeLux-landene.



Eksempel på Smartline rør med merking (NS-EN 1451)

G: Om rør og miljø

Det er miljømessige fordeler - og ulemper - med alle rørmaterialer. Totalt sett kommer plastrør ofte gunstig ut. Men det kan være komplisert fra prosjekt til prosjekt å velge det mest miljøriktige materialet. Har du konkrete spørsmål om plastrør og miljø er det lurt å ta kontakt med oss.

Alle forhold i alle stadier må vurderes. Ved å gå ned på kvalitet kan man isolert sett få store miljømessige fordeler. Men varig tette røranlegg og lang levetid har ofte større positiv miljøeffekt. Tenk nøye gjennom hva miljøet og fremtidige generasjoner totalt sett er best tjent med.

EPD – Environmental Product Declaration

Miljødeklarasjoner for produktene er det beste verktøyet vi har i dag for å måle miljøprestasjoner. Men det er ikke alltid enkelt å sammenligne rørsystemer mot hverandre og det gjøres mange forenklinger. Vi vil hevde at det i dag ikke er mulig å gjøre en fullgod og rettferdig sammenligning uten å legge ned svært mye ressurser i prosessene. Men det er stadig nye verktøy under utvikling som vil gjøre oss bedre i stand til å gjøre riktige valg.

En EPD er basert på internasjonale standarder og gjerne på produktkategoriregler (PCR) som bestemmer hvordan en produktgruppe, for eksempel «avløpsrør i grøft», skal presenteres slik at tallene for ulike rørtyper kan sammenlignes. I PCRen er det gjerne bestemt en funksjonell enhet for å få sammenlignbare tall – f.eks. 100 m rørledning med rørdeler og kummer. Livsløpet er delt inn i stadier – fra vugge til port, fra vugge til grav eller fra vugge til ny vugge. Tallene fra råvarestadiet til ferdigprodusert vare, fra vugge til port, er reelle tall. Tallene fra port til grav eller ny vugge er prosjektspesifikke. I en PCR er det bestemt scenarier for disse tallene: Men EPD-generatorer for dette kommer – noe som vil gi oss prosjektspesifikke EPDer og reelle miljøregnskap. Reelle miljøregnskap fordrer svært mye data.

Stadiene som miljøprestasjonene deles inn i er:

Produkt-fase			Installasjon		Bruk							Slutfase				Etter endt levetid
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Installasjon	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftinger	Renovering	Energiforbruk	Vannforbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til	Gjenbruk/resirkulering
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

A1 til A3 er vugge til port, A1 til C4 er vugge til grav og A1 til D er vugge til ny vugge.

En EPD forteller om produktet inneholder spesielle helsefarlige eller miljøfarlige kjemiske forbindelser og de ulike typene miljøbelastninger i ulike stadier. Den mest kjente av disse er

global klimaendring (GWP) – eller rett og slett «CO₂». De øvrige er nedbryting av ozon-laget (ODP), dannelse av smog (POCP), forsurening (AP), overgjødning (EP), forbruk av mineraler o.l. (ADPM) og forbruk av fossile ressurser (ADPE).

Miljøbelastningene fra utslipp av ulike stoffer omregnes til ekvivalenter – for eksempel CO₂-ekvivalenter for global klimaendring (GWP). De forskjellige stoffene har omregningsfaktorer som kan være svært høye for veldig aggressive stoffer. Hvis det for eksempel slippes ut metan, som påvirker klimaendring relativt mye, så regnes påvirkningen om til CO₂-ekvivalenter. Metan har en omregningsfaktor på 25 – ett tonn metan tilsvarer 25 tonn CO₂.

I en EPD kan miljøpåvirkningene for 100 meter 200 mm PVC SN 8 avløpsrørledning med homogen rørvegg for eksempel bli presentert slik:

	Enhet	A1	A2	A3	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1-C4
GWP	Kg CO ₂ -ekv.	704,566	66,252	19,341	790,160	10,210	3337,497	0	0
ODP	Kg CFC-11-ekv.	0,0000037	0,0000121	0,0000006	0,0000164	0,0000019	0,000592	0	0
POCP	Kg C ₂ H ₄ -ekv.	0,186	0,0116	0,000850	0,198	0,00172	0,716	0	0
AP	Kg SO ₂ -ekv.	2,917	0,232	0,0129	3,162	0,034	20,833	0	0
EP	Kg (PO ₄) ³⁻ -ekv.	0,500	0,050	0,0047	0,555	0,00753	5,109	0	0
ADPM	Kg Sb-ekv.	0,000232	0,000192	0,000007	0,000431	0,000030	0,015254	0	0
ADPE	MJ	26389,239	1000,896	34,776	27424,910	154,357	49253,900	0	0

For denne er det bestemt at anlegget ligger 100 kilometer fra fabrikk, at ett rør legges i ei definert grøft og at tilførte grøftemasser transporteres 10 kilometer. Scenarioet for driftsfasen er at det kun er snakk om selvfølgelig ledninger og at det ikke er nødvendig med vedlikehold – altså ingen påvirkning. Etter 100 år blir rørproduktene ikke gravd opp for resirkulering – i og med at miljøgevinsten ved å resirkulere/gjenbruke er mye mindre enn miljøbelastningen ved selve oppgravingsprosessen. Og så kan nøkkeltall oppgis for de andre dimensjonene.

Våre EPDer finner du på hjemmesidene våre. Se også EPD Norges hjemmesider: www.epd-norge.no

Carbon Footprint

Karbonfotavtrykk er en måte å måle en bedrifts prestasjoner med faktiske verdier. Det samles inn reelle data for all aktivitet i bedriften og det lages et årsregnskap som kan sammenlignes direkte mot tidligere årsregnskap – og vi kan se om vi har «grønn vekst». Grønn vekst vil si at prestasjonene, for eksempel pr tonn produsert, forbedres. I PipeLife Norge har vi satt oss strenge

mål for vår grønne vekst og vi gjennomfører nye forbedringstiltak løpende. Utviklingen følges også løpende opp av en objektiv tredjepart som kvalitetssikrer arbeidet og resultatene våre – og informasjon om dette legges ut på hjemmesidene våre.

Helhetlig, bærekraftig tankesett

Dette handler ikke bare om oss. Hele verdikjeden er i fokus. Vi stiller miljøkrav til våre underleverandører og inn- og utgående logistikk har stort fokus. Hvordan fraktes produktene fra fabrikkene til der de skal installeres? Hva bør innom ett eller flere mellomlagre og hva bør transporteres direkte til brukerstedet? Transport utgjør en stor del av de totale miljøpåvirkningene. I tillegg til å transportere smart, så transporterer vi med biler som tilfredsstiller tøffe miljøkrav og med sjåførere som læres opp til å kjøre miljøvennlig. For rør som installeres i grøft er anleggsvirksomhet en stor miljøbelastning – og graving og massetransport må løses på smarte måter. Og så må vi sørge for at produktene varer lengre ved å fokusere på kvalitet og opplæring i riktig installasjon og bruk.

Vi er overbeviste om at vi er på rett vei. Men skal vi redde kloden må alle bidra i den store dugnaden. Hva kan **du** gjøre?

G: Standarder og sertifisering

Produktstandarder

Produktstandarder kan være internasjonale, multinasjonale eller nasjonale. Når det mangler produktstandarder kan det utarbeides bransje- eller verksnormer.

Europeiske standarder benevnes EN med en nummerreferanse – for eksempel EN 1401 for PVC grunnavløpsrør. Som norsk standard har denne fått benevnelsen NS-EN 1401. Innenfor elektroområdet er det Norsk Elektroteknisk Komite (NEK) som har ansvaret for standardisering i Norge - og disse standardene benevnes NEK eller NEK EN. Når en internasjonal standard aksepteres som europeisk og norsk standard benevnes den for eksempel NS-EN ISO xxxx eller NEK EN IEC xxxx. Internasjonale og europeiske standarder består gjerne av flere deler som selges separat.

Norge har forpliktet seg til å ratifisere europeiske standarder og trekke tilbake norske standarder som er i konflikt. Der det ikke finnes europeisk standard består den norske standarden (NS xxxx, NEK xxx). Standarder opprettes og revideres jevnlig. Når det henvises til en standard uten årsangivelse gjelder henvisningen nyeste utgave. NS-, NEK- og EN-standardene finner du på www.standard.no. Bransjenormene NPG/PS finner du på www.insta-cert.net.

Produkt	Standard (juni 2025)
PE trykkrør for vannforsyning og avløp	NS-EN 12201
PVC trykkrør for vannforsyning og avløp	NS-EN ISO 1452
PVC grunnavløpsrør	NS-EN 1401
PP grunnavløpsrør	NS-EN 1852
Grunnavløpsrør og -deler med konstruert rørvegg av plast	NS-EN 13476
Stake-/spylegrenrør og sadelgrenrør	NS-EN 13598-1
Avløpskummer	NS-EN 13598-2
PP innomhus avløpsrør	NS-EN 1451
PP-MD innomhus avløpsrør	NPG/PS 102
PP innomhus rørsystem med utv. tetningsring (Smartline)	NPG/PS 107
Drensrør og -deler (kveildrensrør for landbruket)	NS 3065
Dobbelvegga drensrør av PE eller PP	NPG/PS 116
Kabelrør av plast med glatt rørvegg	NEK EN 50626-2
Kabelrør av plast med glatt rørvegg	prNS 2967*
Kabelrør av plast med glatt rørvegg for innstøping	prNS 2970*
Kabelrør av plast med konstruert rørvegg	NS 2968
Kabelrør av plast med konstruert rørvegg i kveil	NEK EN 50626-1
Elektrikerrør	NEK EN 61386

*Erstattes av NEK EN 50626-2 og trekkes tilbake senest i juni 2026

Sertifisering av produkter

Uansett gjelder at godkjente produkter som dekkes av en standard er merket med et sertifiseringsmerke/kvalitetsmerke (Nordic Poly Mark, NS-merket eller annet) og/eller har et sertifikat.

Det finnes pr. dags dato ikke en felles, frivillig europeisk sertifiseringsordning som tilsvarer ordningene med Nordic Poly Mark eller NS-merket. Det lovpålagte CE-merket er basert noen få krav i EN-standardene. Krav skal fastsettes av hvert land og vil dermed variere. Krav i forbindelse med CE-merking av plastrør omfatter ikke nødvendigvis tredjepartskontroll. Det kreves ofte kun en egenerklæring om at spesifiserte krav er oppfylt. CE-merket vil komme som et merke på de fleste rør i framtiden - også som et «bevis» på at røret er en godkjent handelsvare innenfor EU-/EFTA-området.



*INSTA-CERTS
Nordic Poly Mark*



*Det norske
NS "kronemerket"*



*Det europeiske merket
"CE-merket"*

I tillegg til et eventuelt kvalitetsmerke skal rør og rørdeler være merket med en del andre opplysninger. De nye standardene åpner for flere alternativer på enkelte områder. Det er derfor viktig å stille krav og spesifisere nøyaktig – og sette seg inn i hva de ulike elementene i merkingen av produktene betyr.

Ulike nivåer av sertifisering og omfang

Det finnes mange sertifiseringsordninger. Ofte kan det være vanskelig å vite hva ordningen går ut på. Er det bare snakk om en enkel test for å sjekke egnethet eller er den omfattende? Den europeiske ordningen med CE-merket er for eksempel på ulike nivåer – blant annet avhengig av produktets betydning med hensyn på helse, miljø og sikkerhet.

De fem ulike nivåene for CE-merking av byggevarer er beskrevet i «system for vurdering og verifikasjon av egenskaper/ytelser»:

		Nivå				
		1+	1	2+	3	4
Produsent	Fastsettelse av produktets ytelser			X		X
	Produksjonskontroll	X	X	X	X	X
	Stikkprøver i henhold til plan	X	X	X		
Tredjepart	Fastsettelse av produktets ytelser (typetest)	X	X		X	
	Innledende inspeksjon av produksjon og produksjonskontroll	X	X	X		
	Jevnlig inspeksjon av produksjon og produksjonskontroll	X	X	X		
	Stikkprøver i henhold til plan	X				

System for vurdering og verifikasjon av egenskaper/ytelse

Jo høyere nivå, jo bedre. Et fåtall av produktene våre er underlagt det lovpålagte kravet om CE-merking i dag. Men dokumentasjonskravet skal uansett oppfylles. De frivillige sertifiseringsordningene, med Nordic Poly Mark og NS-merket som sertifiseringsmerker, er på høyeste nivå i forhold til systemet for CE-merking. Produktene er underlagt omfattende tredjeparts-kontroll som gir trygghet for at produktene virkelig oppfyller kravene nedfelt i standarder og sertifiseringsordninger. For det norske og nordiske markedet er hensikten med ordningene å opprettholde kvaliteten på produktene på et høyt nivå, sikre lang og problemfri drift og samtidig sikre fri konkurranse og fri flyt av varer.

Produktstandarder definerer i utgangspunktet målinger og tester som skal gjøres og krav som skal oppfylles. Sertifiseringsorganet utsteder «spesielle bestemmelser for sertifisering», ofte kalt SBC, som definerer hvem som skal gjøre hva og hvor ofte. I en SBC kan det også finnes begrensninger og tillegg i forhold til standarden når dette er relevant. For eksempel er det ikke mulig å få sertifikat i Norden for laveste ringstivhetsklasse og laveste kravsnivå for slagfasthet for grunnavløpsrør – på grunn av våre klimatiske forhold.

Drikkevannsgodkjenning

Våre rør for drikkevann har også det danske sertifiseringsmerket DK-VAND som dokumentasjon på at rørene oppfyller hygienekravet i drikkevannsforskriften. Dette merket vil vi benytte inntil en ny felles-europeiske godkjenningsordning for materialer i kontakt med drikkevann trer i kraft.

For å sertifisere rør for drikkevann må råvareprodusentene opplyse om hvilke kjemiske forbindelser som inngår i råvaren som leveres, det gjøres ekstraksjonstester og et smakspanel avgjør om det er uønsket lukt eller smak av vann som har stått i rørprøver en tid. Basert på analysene foretas det en toksikologisk vurdering og en totalvurdering av om kravene er tilfredsstilte.

Se www.dk-vand.org for mer informasjon.

Still krav om sertifiserte produkter!

For å oppnå ledningsanlegg med god kvalitet og lang funksjonstid - samt sikre rettferdig konkurranse - bør ledningseier kreve sertifiserte produkter. Men det er sannsynligvis handelshindrende å ikke åpne for tilbydere av produkter som ikke har sertifikater i henhold til bestemte frivillige ordninger. Derfor må produkter som ikke er sertifiserte eller som har andre sertifikater kunne tilbys – og det må da dokumenteres at produsenten tilfredsstillere kravene i relevant produktstandard og sertifiseringsordning. Dette går ikke minst på elementene i ordningen og hvem som gjør hva. Når man krever tredjepartskontroll, så må det dokumenteres at dette inngår. For å forenkle en slik sammenligning har INSTA-CERT utgitt informasjonsblader for alle standardene som man kan sertifisere produkter med Nordic Poly Mark etter. Her beskrives om spesielle krav gjelder, om det er begrensninger i forhold til produktstandard og hva som kreves av intern og ekstern kontroll. Se www.insta-cert.net.

Generell kravformulering for produkter med Nordic Poly Mark:

Rør og rørdeler skal oppfylle de tekniske bestemmelsene i angitt produktstandard og INSTA SBC (se www.insta-cert.net). Dette skal være kontrollert gjennom tredjepartskontroll bestyrt av INSTA-CERT og produktene skal være merket med sertifiseringsmerket Nordic Poly Mark - eller tredjepartsverifisert til samme kvalitetsnivå.

Generell kravformulering for plastrørprodukter med NS-merket:

Rør og rørdeler skal oppfylle de tekniske bestemmelsene i angitt produktstandard og tilhørende SBC (se www.norner.no). Dette skal være kontrollert gjennom tredjepartskontroll bestyrt av Norner AS og produktene skal være merket med sertifiseringsmerket NS kronemerket - eller tredjepartsverifisert til samme kvalitetsnivå.

Tekstene bør være spesifikke – med referanse til relevant produktstandard og SBC.

G: Symbolbruk og terminologi

Her lister vi opp en god del symboler og fagtermer som er vanlige blant rørfolk og som er brukt i Rørhåndboka. Lista er nok ikke komplett.

Avløpsrør: Brukt både om rør for spillvann (svartvann og gråvann), overvann og drenerør, men oftest om spillvannsrør og oftest som selvfallsledning. Grunnavløpsrør er et begrep som ofte brukes for avløpsrør for spillvann installert i grøft - og på deler av Vestlandet heter dette kanalrør.

C: Designkoeffisient og sikkerhetsfaktor. Forholdstall mellom materialets minste tillatte bruddspenning (MRS) og største tillatte dimensjonerende spenning (σ_{dim}). $C = \frac{MRS}{\sigma_{dim}}$.

Designkoeffisienten 1,25 og den høyere sikkerhetsfaktoren 1,6 benyttes for PE trykkrør og 2,0 og 2,5 benyttes for PVC trykkrør innen vann og avløp. For gassrør benyttes høyere designfaktorer. Designkoeffisienten tar hensyn til variasjoner i råvarer og produksjonsprosess samt normale driftsforhold. Den tar ikke hensyn til transport, lagring, håndtering, installasjon og unormale hendelser under drift. Derfor er det vanlig i Norge å bruke trykklassen ved den høyere sikkerhetsfaktoren.

CT: Close Tolerances. Merking på rørdeler med toleranser tilpasset trangere toleranser som gjelder andre rørmaterialer. Dette gjelder for eksempel PP grunnavløpsrørdeler i store dimensjoner brukt sammen med PVC-rør.

D: Utvendig diameter

d: Innvendig diameter (lysåpning)

d_m: Middeldiameter. For glattveggede rør: $d_m = D - e$

Deformasjon: Ved deformasjonsmåling måles reduksjonen av utvendig eller innvendig diameter i forhold til den opprinnelige. Deformasjon oppgis normalt i % av opprinnelig diameter, $\frac{D-D_{min}}{D}$ eller $\frac{d-d_{min}}{d}$.

DN: Nominell diameter. Tallstørrelse. Et helt tall i millimeter som er tilnærmet lik rørdiameteren.

DN/OD: Nominell diameter knyttet til rørets utvendige diameter.

DN/ID: Nominell diameter knyttet til rørets innvendige diameter.

DP: Dimensjonerende trykk. Største driftstrykk for systemet eller for trykksone som fastsettes av den prosjekterende. DP tar hensyn til framtidig utbygging, men ikke trykkstøt. (NS-EN 805:2000)

Drenering: Som regel grunnvann som ledes inn i rør for å regulere/kontrollere grunnvannsnivået i et område eller rundt og eventuelt under en bygning.

e: Veggtkjølelse

EN: Europeisk standard utgitt av CEN eller CENELEC.

Gråvann: spillvann som består av «milde» urenheter som er oppløst i vann. Gråvann kan være vann fra servant, kjøkkenvask med sil i utløpet og dusj, men ikke urinal eller WC.

ISO, IEC: Internasjonale standardiseringsorganer.

Levetid: Dimensjoneringskriterium (ofte 50 år) for bestemmelse av MRS-verdi (materialets minimum bruddspenning) - eller ønsket funksjonstid for anlegget som gjerne er mer enn hundre år.

MDP: Største dimensjonerende trykk. Største driftstrykk for systemet eller trykksonen, som fastsettes av den prosjekterende og som tar hensyn til framtidig utbygging, herunder trykkstøt. MDP betegnes MDPa når det er angitt en bestemt verdi for trykkstøt og MDPC når trykkstøtet beregnes. (NS-EN 805:2000)

MRS: Minimum Required Strength - Minimum bruddspenning. $MRS = C \cdot \sigma_{dim}$
Krav til minimum bruddspenning ved 20 °C etter 50 år med konstant materialspenning påsatt.

NEK: Norsk Elektroteknisk Komite. Standardiseringsorgan for elektroprodukter.

Nordic Poly Mark - Nordisk kvalitetsmerke/sertifiseringsmerke for plastrør

NS: Norsk standard. Også brukt som norsk sertifiserings-/kvalitetsmerke

NS-EN: Felles europeisk standard som er utgitt som norsk standard i norsk eller engelsk språkdrakt.

Ovalitet: Ovalitet er forskjellen mellom maksimum og minimum diameter, $D_{maks} - D_{min}$. I noen sammenhenger oppgis den også i forhold til gjennomsnittlig rørdiameter i %, $\frac{D_{maks}-D_{min}}{D}$.

OP: Driftstrykk. Innvendig trykk på et bestemt tidspunkt og på et bestemt sted i vannforsyningssystemet. (NS-EN 805:2000)

Overvann: Regnvann og overflatevann. Kan også omfatte grunnvann som er ført inn i rørsystemet via drenerør. Hovedsakelig «rent» vann som normalt ikke føres til renseanlegg. Men av og til kan til og med overvann være sterkt forurenset.

PEA: Tillatt prøvingstrykk på byggeplass. Største hydrostatiske driftstrykk som en komponent kan motstå i et relativt kort tidsrom, for å kontrollere at rørledningen er uskadd og tett. (NS-EN 805:2000)

PFA: Tillatt driftstrykk. Største hydrostatiske trykk som en komponent kan motstå under kontinuerlig drift. (NS-EN 805:2000)

PMA: Største tillatte driftstrykk. Største trykk som oppstår fra tid til annen, medregnet trykkstøt, og som en komponent kan motstå under drift. (NS-EN 805:2000)

PN: - Maksimum tillatt driftstrykk i forhold til designkoeffisient – og en høyere total sikkerhetsfaktor - angitt på rør og rørdeler. Her er det viktig å vite hva slags trykk man snakker om! Benytt SDR-verdi og rørmateriale for å angi riktig rørdiameter på en entydig måte. I forbindelse med flenser sikrer PN-angivelsen riktig diameter på boltsirkelen og antall bolter med gitt gjengedimensjon slik at to flenser passer sammen.

prNS, prEN: Forslag til standard.

Pumpeledning: Trykkrør for pumping av vann, overvann eller spillvann. Hovedsakelig trykkrør av PVC eller PE.

Ringfleksibilitet: Viktig test for plastrør med konstruert rørvegg. Slike rør, som har sertifiseringsmerket Nordic Poly Mark, skal deformeres med jevn hastighet til minst 30 % av rørdiameteren uten at nødvendig kraft reduseres.

Ringstivhet: Se om SN

S: Rørklasse. Benevnelse for glatte avløpsrør og -deler av PP: $S = \frac{SDR-1}{2}$

SDR: Standard dimensjonsforhold. Benevnelse på glatte grunnavløpsrørdeler av PVC og foretrukket benevnelse på alle trykkrør. Tallverdien er forholdet mellom utvendig diameter og veggykkelsen:

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

Selvfallsledninger: Ledninger som normalt skal gå delvis fulle og som ikke kan legges med motfall. Begrepet kan også omfatte trykkrør når vannet ledes fra kilde/høydebasseng til lavereliggende område uten tilført energi.

SN: Nominell ringstivhet. Klassebenevnelse på trykløse rør. Tallverdien for termoplastrør representerer målt ringstivhet i kN/m². For GRP-rør angis ringstivheten i N/m².

SP: Forsyningstrykk. Innvendig trykk ved tilknytningspunkter for stikkledningen ved null vannføring i stikkledningen. (NS-EN 805:2000)

Spillvann: Kloakk, urent vann.

STP: Systemprøvingstrykk. Hydrostatisk trykk som påføres en nylagt rørledning for å kontrollere at den er uskadd og tett. (NS-EN 805:2000)

Svartvann: Vann fra urinal eller WC

σ_{dim} : Dimensjonerende spenning. $\sigma_{dim} = \frac{MRS}{C}$

I: Aldring, utelagring, solbleking og behandling i kulde

Pipelife Norge AS benytter termoplastene PVC-U (polyvinylklorid som ikke er tilsatt mykgjørere), PP (polypropylen blokk kopolymer) og PE (polyetylen) i produksjon av rør og rørdeler. Disse er også de mest brukte plastmaterialene i rørsystemer. Termoplaster er oppbygd av molekyler som ser ut som lange tråder viklet inn i hverandre. Materialeegenskapene, for eksempel styrke, endres med temperaturen.

Termoplastproduktene formes ved høy temperatur. Da er råmaterialet seigtflytende. Siden kjøles produktene ned og materialet blir fast og hardt. Kasserte produkter av termoplast kan resirkuleres og materialet gjenbrukes i nye produkter (sirkulærøkonomi) eller energien kan gjenvinnes og utnyttes i et egnet forbrenningsanlegg – avhengig av hva som er mest bærekraftig.

Aldring

Noen av materialeegenskaper hos plastrør endres over tid. Dette kalles aldring - må ikke forveksles med nedbryting. Styrke/stivhet øker. Dette er en positiv endring fordi økt ringstivhet bidrar til å motstå trykket fra massene rundt nedgravde rør. Likeså vil materialets styrke med hensyn på å tåle innvendig trykk øke. Samtidig som styrke/stivhet øker, reduseres slagfastheten noe. PVC har i utgangspunktet en del lavere slagfasthet enn PE og PP. Derfor merkes endringene i slagfasthet bedre hos PVC.

Begrepet aldring må ikke oppfattes negativt. De langsomme endringene i egenskaper som skjer, betyr ikke at det er noe galt fatt med materialet. Det er tvert imot allment kjent at plast er av de mest bestandige materialene benyttet som rør i grøft. Ingen stoffer som forekommer naturlig rundt nedgravde rør bryter ned disse materialene.

Utelagring og solbleking

Aldring går hurtigere ved utelagring på grunn av klimatiske påvirkninger - spesielt den varierende temperaturen som dessuten kan bli svært høy ved direkte soloppvarming. En liten andel kan tilskrives ultrafiolette stråler fra sola som påvirker det ytterste materialsjiktet på røret. Dette er mye omtalt i forbindelse med PVC-rør når disse rørene «solblekes». Det oppstår da et gråhvitt sjikt utvendig på røret som er så tynt at man lett kan skrape det bort slik at den opprinnelige fargen kommer til syne. Ønsker man å begrense slagfasthetsreduksjonen ved lang tids utelagring, bør rørene lagres skyggefullt - først og fremst for å begrense påvirkningen på grunn av høy temperatur.

Plastrør tåler lang tids lagring. Lagring i ett år er fullt tolererbart, og kvaliteten på rørene trenger heller ikke å være nevneverdig redusert ved lengre tids lagring. Nyere europeiske produktstandarder anbefaler maksimum lagringstid ute i ett år, men det er nok mer relevant i varmere strøk enn våre. Det er i alle fall vår erfaring. Vi anbefaler svarte, tykkvegga PE-rør eller

tykkvegga PVC-rør hvis du trenger et rør som ikke skal graves ned og må tåle utendørs klima over mange år. PVC-rør kan males med oljebasert, UV-bestendig maling hvis solbleking er uønsket.

Behandling i kulde

Slagfastheten reduseres også ved synkende temperatur, men gjenvinnes når temperaturen stiger igjen. Vi setter ingen absolutt nedre temperaturgrense for behandling eller legging av plastrør, men i streng kulde bør en utvise mer varsomhet. Vær spesielt oppmerksom på forhold omkring ekspansjon.

Konklusjoner:

- Rør og rørdeler av plast kan lagres utendørs over lang tid uten at det har nevneverdig betydning for rørets funksjon.
- Langtids lagring og behandling i kulde betinger at rørene behandles slik de skal i og med at slagfastheten reduseres. Dette gjelder spesielt PVC-rør.
- For trykkrør bør man ta i betraktning hvorvidt rørene kan ha blitt utsatt for støt eller slag i lagringsperioden. Rør med bruddanvisning vil raskt gå til brudd når vanntrykket settes på.

I: Avvinkling og bøyning

Plastrør kan bøyes og muffeskjøter kan avvinkles. Slikt bør utføres med forsiktighet og innenfor de begrensninger som oppgis her. Ved svært lave temperaturer må det utvises ekstra forsiktighet - stivheten øker og knekking skjer raskere.

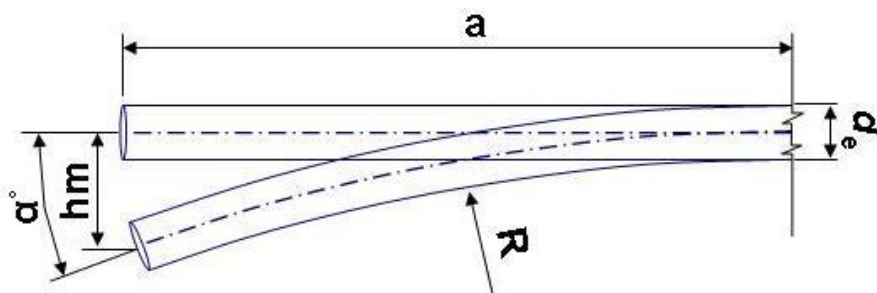
Bøyning av PE-rør

PE-rørets fleksibilitet kan utnyttes ved å bøye røret. En vanlig måte å lage riktig bøyeradius på er å benytte et tau like langt som radien og merke sirkelbuen. Hvor mye rør-enden skal flyttes kan også beregnes ut fra formel. Se formler og figur.

Normale verdier. I enkelte tilfeller bør dette beregnes mer nøyaktig. (Alle enheter i meter):

$R = 60 \cdot D$ (Rør med trykk)

$R = 30 \cdot D$ (Trykkløst rør og under installasjon av trykrør)



Bøyning av PE-rør

$$\alpha^{\circ} = \frac{a \cdot 180^{\circ}}{R \cdot \pi}$$

$$hm = R \cdot (1 - \cos \alpha^{\circ})$$

Eksempel:

Hvor mye kan et 315 mm PE 100 trykrør bøyes når lengden er 18 meter?

Bøyeradien: $R = 60 \cdot D = 60 \cdot 0,315 \text{ m} = 18,9 \text{ m}$

Vinkelen: $\alpha^{\circ} = \frac{a \cdot 180^{\circ}}{R \cdot \pi} = \frac{18 \text{ m} \cdot 180^{\circ}}{18,9 \text{ m} \cdot \pi} = 54,6^{\circ}$

Lengden rør-enden flyttes i forhold til rett linje:

$$hm = R \cdot (1 - \cos \alpha^{\circ}) = 18,9 \text{ m} \cdot (1 - \cos 54,6^{\circ}) = 7,95 \text{ m}$$

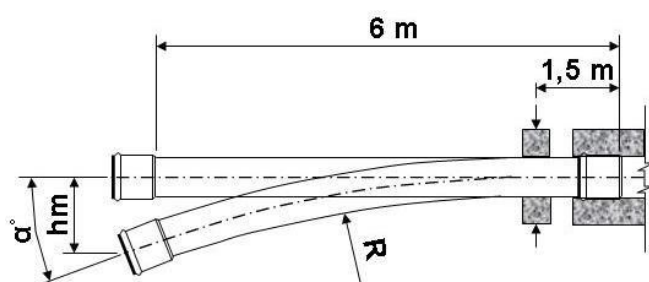
Hvor lang rørlengde må man minimum ha for å bøye røret 45°?

$$\alpha^{\circ} = \frac{a \cdot 180^{\circ}}{R \cdot \pi} \rightarrow a = \frac{\alpha^{\circ} \cdot R \cdot \pi}{180^{\circ}} = \frac{45^{\circ} \cdot 18,9 \text{ m} \cdot \pi}{180^{\circ}} = 14,8 \text{ m}$$

Avvinkling og bøyning av rør med muffeskjøt

Retningsforandringer skal i prinsippet utføres ved hjelp av bend. I tillegg til standard bend kan det leveres langbend med annen avvinkling. Små retningsforandringer kan utføres ved bøyning av rør.

Rør med muffe kan bøyes i grøfta i henhold til skisse og tabell nedenfor. Se også formler i forrige avsnitt. Merk at rørenden må sikres slik at det ikke oppstår ukontrollert avvinkling i muffa.



Bøyning av rør med muffe

D [mm]	PVC			PP		
	R [m]	α°	hm [mm]	R [m]	α°	hm [mm]
75	22,5	11,5	449	18,75	13,8	537
110	33	7,8	306	27,5	9,4	367
125	37,5	6,9	270	31,25	8,3	323
160	48	5,4	211	40	6,4	153
200	60	4,3	169	50	5,2	202
250	125	2,1	80	100	2,6	101
315	157,5	1,6	64	126	2,0	80
400	200	1,3	51	160	1,6	63
500	250	1,0	40	200	1,3	51
630	315	0,8	32	252	1,0	40

Minimum bøyeradier (R), maksimum vinkler (α) og maksimum sideforskyvning av rør-ende (hm) for mufferrør av PVC og PP – ref. figur over.

NB! Bøyde PVC trykkrør må ikke anbores!

Bøyning av rør må ikke føre til at avvinkling i muffe overstiger verdiene nedenfor!

For avvinkling i muffeskjøt gjelder følgende grenseverdier:

Største tillatte avvinkling i muffe:

DN ≤ 300/315	2°	Tilsvarende 20 cm sideveis (hm) i forhold til rett linje for 6 meter rør
400 ≤ DN ≤ 600/630	1,5°	Tilsvarende 15 cm sideveis (hm) i forhold til rett linje for 6 meter rør
800 ≤ DN ≤ 1200	1°	Tilsvarende 10 cm sideveis (hm) i forhold til rett linje for 6 meter rør
DN ≥ 1400	0,5°	Tilsvarende 5 cm sideveis (hm) i forhold til rett linje for 6 meter rør

Grenseverdiene er absolutte. Men skjøten vil i praksis tåle større avvinkling under normale forhold. Når skjøten testes på laboratorium skal spissenden deformeres 15 % og muffen 10 % – og avvinklingen skal minst være i henhold til verdiene i tabellen over. Da skal skjøten holde tett ved 0,05 bar og 0,5 bar overtrykk og 0,3 bar undertrykk. I Pipelife vil vi at skjøten under denne testen skal være tett ved en avvinkling som er minst det doble av minimumskravene. Skjøten skal være robust! Dette går ut over monteringskraften, men det er underordnet i forhold til krav om varig tette skjøter.

I: Ekspansjonsbøyer

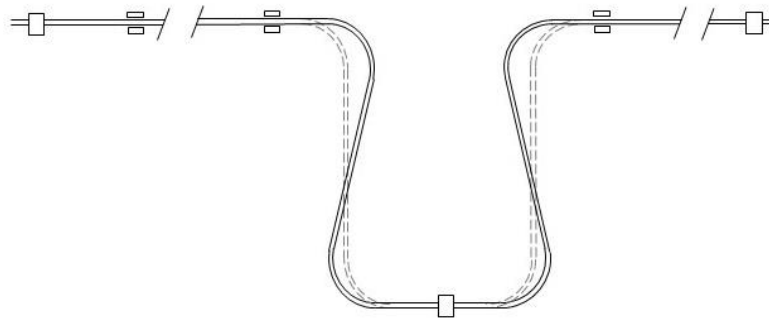
Normalt tas krefter som oppstår i et rørsystem av polyetylen (PE) opp i forankringer og fordeles som materialspenninger i rørveggen. Får rørledningen bevege seg fritt, for eksempel på skolinger eller hengende i lange gjengestag, så oppstår det ikke så store spenninger i rørveggen. I spesielle tilfeller, når rørledningen ikke er nedgravd, kan det være ønskelig å lage en ekspansjonsbøy for å slippe å ta hensyn til de store kreftene eller bevegelsene som ellers vil oppstå ved ekspansjon eller kontraksjon. Bøyen må være lang nok til at spenning og tøyning i rørmaterialet ikke blir for store.

For segmentsveiste bend brukt i ekspansjonsbøyer kreves at de ikke har en reduksjonsfaktor med hensyn til trykk – ref. anneks B i NS-EN 12201-3. Alle segmentsveiste bend fra Pipelife med kappvinkel opp til 7,5° samt bend opp til 630 mm med kappvinkel inntil 15° tilfredstiller dette kravet.

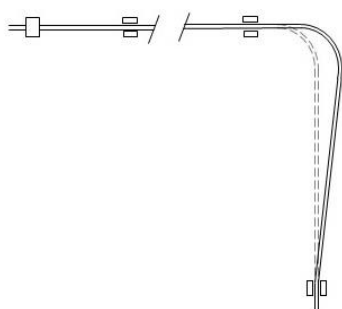
Ulike typer ekspansjonsbøyer

Ekspansjonsbøyer kan konstrueres på forskjellige måter avhengig av hva som passer best i forhold til rørføringen. Ekspansjonssløyfe på rette strekk, ekspansjonsbend når rørledningen endrer retning og parallellføring når rørledningen parallellforskyves. Fastpunkter kan være innstøpte forankringer eller forankret utstyr (armatur, pumpe e.l.). Øvrige klammer utføres som glideklammer som lar rørledningen bevege seg fritt i lengderetning.

Ekspansjonssløyfe:



Ekspansjonsbend:



Parallellføring med ekspansjon:

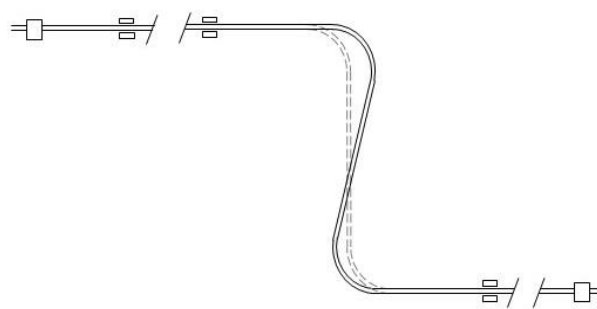
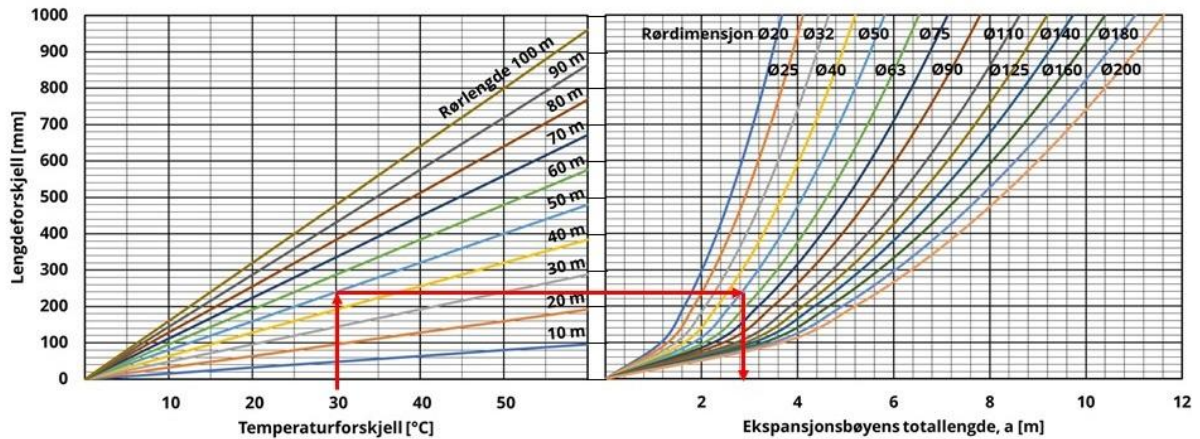


Diagram - ekspansjonsbøyens totale lengde

Først kartlegges avstander og maksimal og/eller minimum temperaturforskjell i forhold til temperaturen under installasjon. Nødvendig total lengde på ekspansjonsbøyen (a) finner du ved hjelp av dette diagrammet:



Slik bruker du diagrammet:

1. Kartlegg maksimum temperaturredifferanse fra installasjonstemperatur til driftstemperatur
2. Gå derfra opp til rørlengden - se målskisser på side 4 og 5
3. Fra dette punktet går du horisontalt mot høyre til du treffer kurven for rørdimensjonen
4. Derfra går du ned og leser av ekspansjonsbøyens total lengde (a)
5. De enkelte lengdene regnes ut fra målskissen – se side 4 og 5

I diagrammet er det tegnet inn piler for en rørledning med en temperaturforskjell på 30°C, som har en lengde på 50 meter og der rørdimensjonen er 50 mm. Ekspansjonsbøyens total lengde er i dette tilfellet 2,85 meter. Detaljmålene finner du ut fra målskissene.

Helt sist i dette kapitlet, på side 6, finner du et større diagram som er enklere å bruke.

Beregning av ekspansjonsbøyens totale lengde

Hvis forutsetningene er utenfor diagrammets begrensninger, må denne lengden beregnes.

Først kartlegges maksimal og/eller minimum temperaturforskjell, i forhold til temperaturen under installasjon, og avstander – se målet L på målskissene senere i kapitlet. Enheten Kelvin [K] benyttes for å angi temperaturforskjeller. 10 K tilsvarer forskjellen i temperatur mellom f.eks. 13°C og 23°C. Så regnes lengdeendringen ut:

$$\Delta L = k \cdot L \cdot \Delta T \quad [\text{mm}]$$

- ΔL : Lengdeendring [mm]
 k: Temperaturutvidelseskoeffisient, for PE 100 brukes 0,16 mm/m·K
 L: Rørledningens lengde – se målskisser [m]
 ΔT : Temperaturforskjell [K]

Eksempel

Rørlengden (L) er 50 meter. Hvis temperaturen under installasjon er 0°C og maksimal driftstemperatur er 30°C, så er temperaturforskjellen (ΔT) 30 K.

$$\Delta L = k \cdot L \cdot \Delta T = 0,16 \frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 50 \text{ m} \cdot 30 \text{ K} = 240 \text{ mm}$$

Denne rørledningen vil utvide seg 240 mm i lengderetning.

For et PE-rør beregnes ekspansjonsbøyens totale lengde ved hjelp av følgende formel:

$$a = 26 \cdot \sqrt{\Delta L \cdot D} \quad [\text{mm}]$$

- a: Ekspansjonsbøyens totale lengde [mm]
 ΔL : Lengdeendring [mm]
 D: Rørets utvendige diameter [mm]

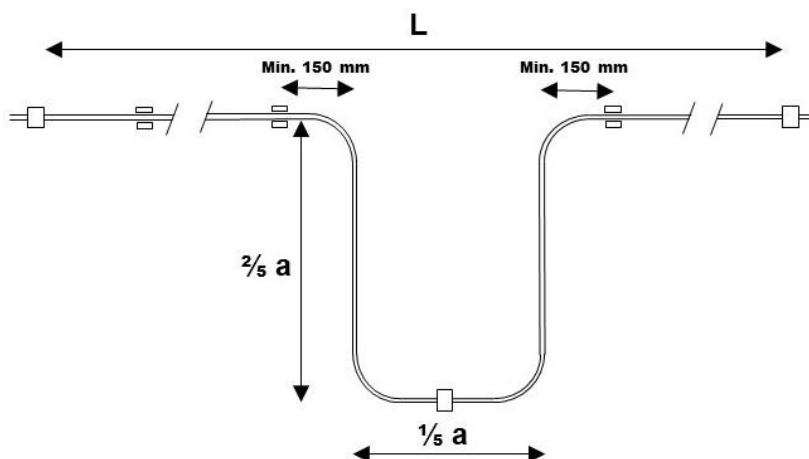
Eksempel

Lengdeendringen (ΔL) fra forrige eksempel er 240 mm. Rørdimensjonen (D) er 50 mm. Ekspansjonsbøyens totale lengde blir da:

$$a = 26 \cdot \sqrt{\Delta L \cdot D} = 26 \cdot \sqrt{240 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm}} = 2\,848 \text{ mm} = 2,85 \text{ m}$$

Denne lengden fordeles på ulikt vis avhengig av ekspansjonsbøyens utforming.

Mål for ekspansjonssløyfe



Eksempel

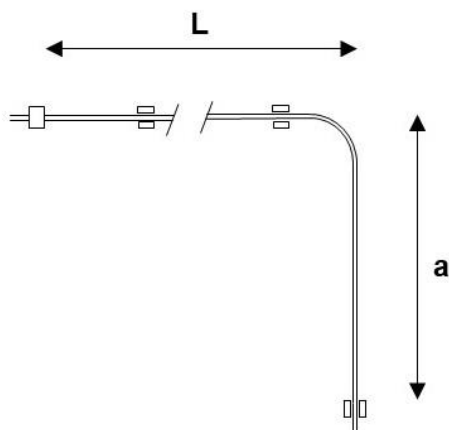
Hvis ekspansjonsbøyens totallengde (a) er 2,85 meter, så må de lengste bitene være minst

$$\frac{2}{5} a = \frac{2}{5} \cdot 2,85 \text{ meter} = 1,14 \text{ meter}$$

... og den korte

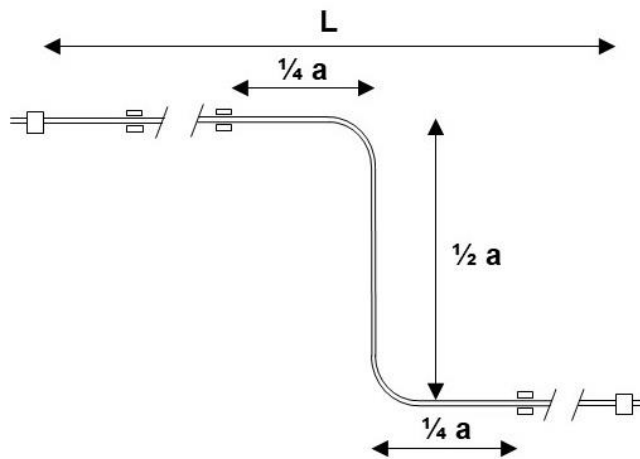
$$\frac{1}{5} a = \frac{1}{5} \cdot 2,85 \text{ meter} = 0,57 \text{ meter}$$

Mål for ekspansjonsbend



Her er avstanden fra bendet til første glideklammer eller fastpunkt rett og slett a – for eksempel 2,85 meter.

Mål for parallellføring med ekspansjon



Eksempel

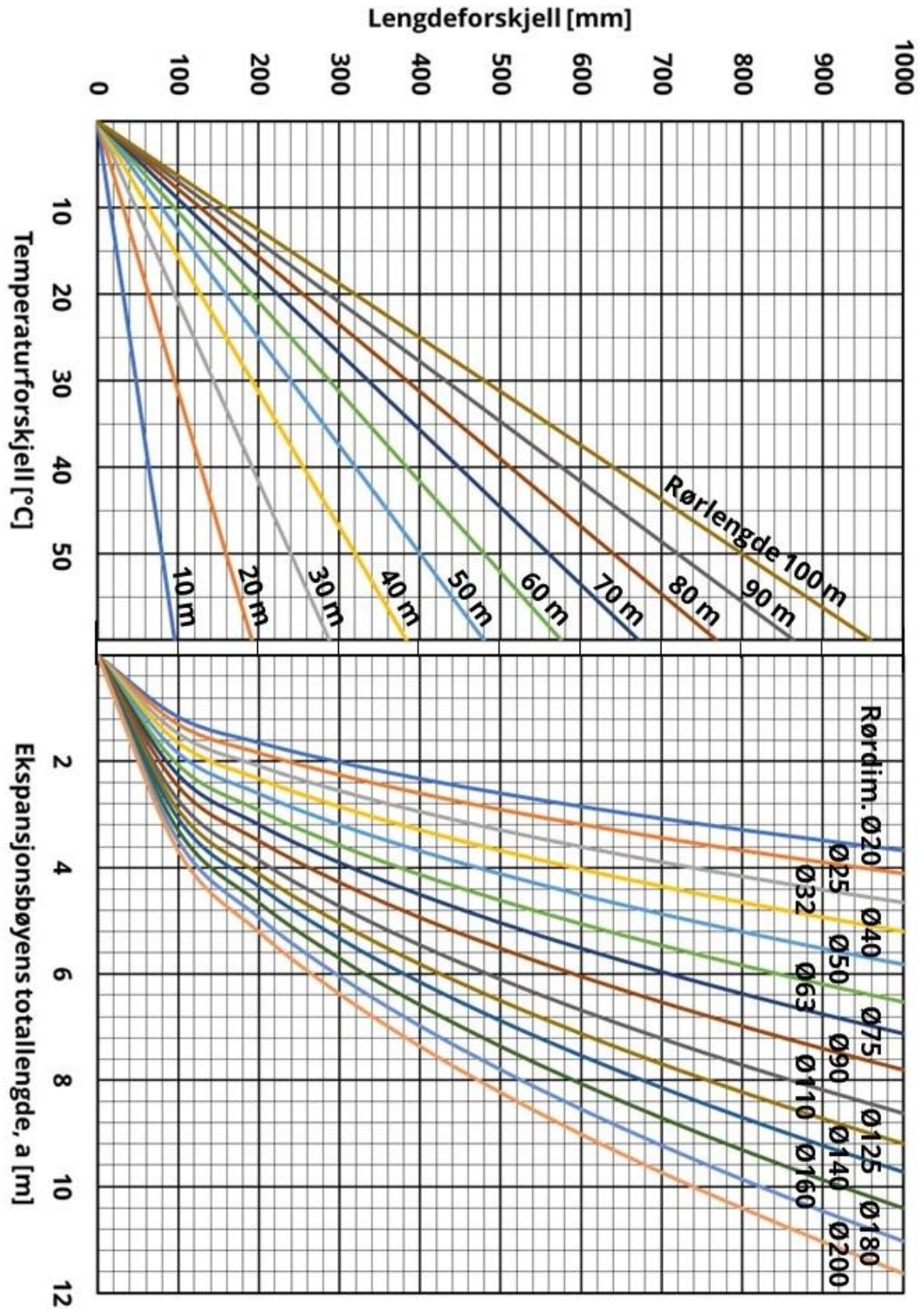
Hvis ekspansjonsbøyens totallengde (a) er 2,85 meter, så må det vertikale stykket være minst

$$\frac{1}{2} a = \frac{1}{2} \cdot 2,85 \text{ meter} = 1,43 \text{ meter}$$

... og de horisontale

$$\frac{1}{4} a = \frac{1}{4} \cdot 2,85 \text{ meter} = 0,71 \text{ meter}$$

På neste side har du et større diagram som er enkelt å bruke for å finne ekspansjonsbøyens totale lengde når rørlengden er inntil 100 meter og rørdimensjonen er opp til 200 mm:



I: Høye temperaturer og rør av termoplast

Rør av termoplast, for eksempel PVC, PE og PP, mister styrke når temperaturen stiger. Blir temperaturen høy nok får du deformasjoner. Og når du nærmer deg 200°C smelter materialene rett og slett. Alle plastrør er dimensjonert ved romtemperatur (20°C). Når temperaturen er lavere øker evnen til å tåle trykk og andre laster – en gevinst som vi ikke benytter oss av. Ved høye temperaturer må man ta hensyn til dette og sikre seg at innvendig trykk eller laster ikke fører til brudd, redusert levetid eller kollaps.

Industrielt avløpsvann kan inneholde aggressive stoffer i større mengder og høy temperatur vil øke disse stoffenes aggressivitet. Selv om plast ikke korroderer og har generelt god kjemikaliebestandighet, så bør dette sjekkes hvis det er snakk om gjentakende, store utslipp – og spesielt hvis temperaturen er høy.

Høye temperaturer i avløpsrørssystemer i bygninger

Avløpsrørssystemer av PP tåler høye temperaturer godt. Dette testes ved at rørsystemene gjennomgår en såkalt syklustest. Den går ut på at 30 liter vann oppunder kokepunktet slippes ut i et definert røropplegg i løpet av ett minutt før ett minutt pause. Deretter slippes 30 liter kaldt vann ut før en ny pause på ett minutt. Dette gjentas 1500 ganger og etterpå skal røropplegget testes for tetthet og nedbøyning. Utslipp av 30 liter vann med svært høy temperatur i løpet av ett minutt betraktes derfor som grensen for et normalt røropplegg.

Røropplegg som vil bli utsatt for utslipp av større mengder veldig varmt vann må ha større ekspansjonsgap i tillegg til riktig klamring. Utvidelsesfaktoren for PP er 0,13 mm/m°C. Ved en temperaturøkning på 70°C vil et tre meter langt rør utvide seg

$$0,13 \text{ mm/m}^\circ\text{C} \cdot 3 \text{ m} \cdot 70^\circ\text{C} = 27,3 \text{ mm}$$

– og i dette tilfellet vil et ekspansjonsgap på 10 mm bli for lite. Konsekvensen kan bli at klammer gir etter og skjøter glir fra hverandre.

Kortvarige utslipp av varmt vann oppunder kokepunktet – inntil 30 liter i løpet av ett minutt – er akseptabelt for PP avløpsrørssystemer i bygninger. At ekspansjonsgapet er på plass og at rørsystemet er riktig klamret er viktige forutsetninger.

Høye temperaturer i avløpsrørssystemer i grunnen

Når temperaturen øker reduseres ringstivheten til rør – og dermed evnen til å tåle laster fra jord og trafikk. Også her er rørmaterialet PP å foretrekke på grunn av den gode temperaturobestandigheten og fordi materialet opprettholder styrken bedre ved høye temperaturer. Det kan være aktuelt å iverksette tiltak for å redusere lastene eller rett og slett

finne andre løsninger – som å etablere en kulvert eller legge rørledningen i varerør hvis strekningen er kort.

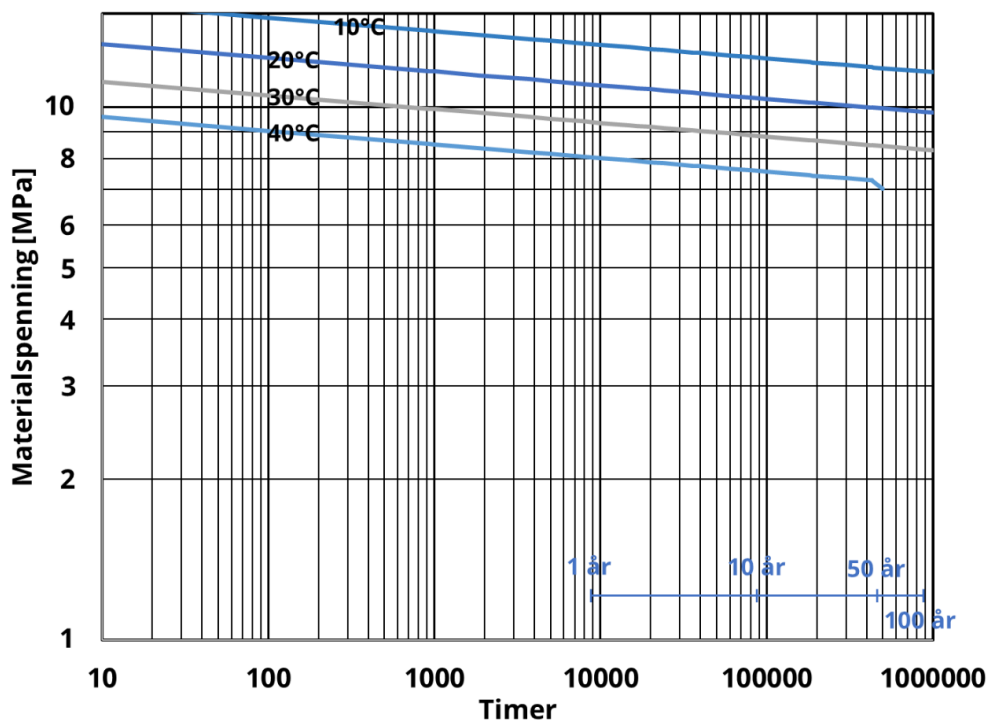
Det hender at vann i avløpsrør fryser. Mer vanlig er det nok at stikkrenner blokkeres av is. Da benytter man gjerne varmt vann eller varm damp under trykk, steaming. Smeltevannet kjøler ledningen, men man må påse at varmepåvirkningen ikke rekke å varme opp røret. Sørg for at slangen er i bevegelse – at man ikke lar den stå i ro på ett sted over tid.

Temperaturen på avløpsvannet bør ikke overstige 45°C. Kortvarige utslipp av varmere vann tåles så lenge utslippet ikke rekke å varme opp hele rørringen til en høy temperatur. Temperaturgrensen for PVC- og PE-rør er 60°C. Tiltak for å redusere lastene på røret kan være aktuelt.

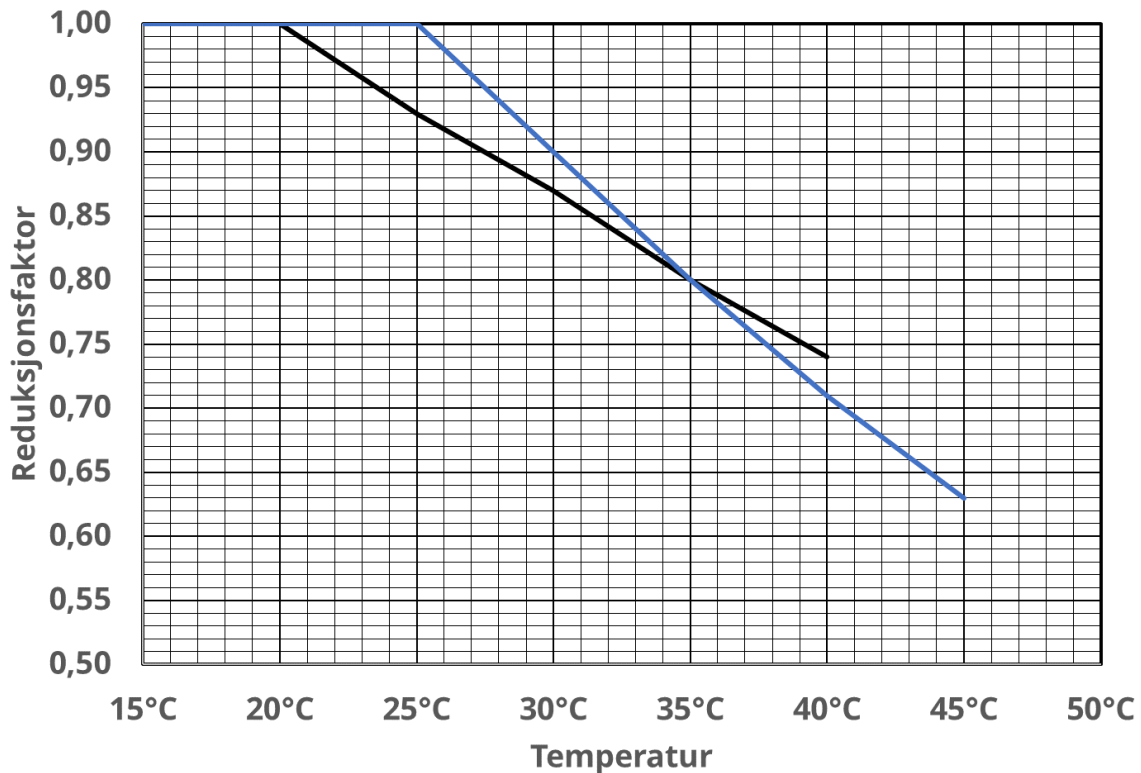
Høye temperaturer i trykkrørsystemer

I produktstandardene er det angitt reduksjonsfaktorer med hensyn til trykk for temperaturer mellom 25°C og 45°C for PVC trykkrør og mellom 20°C og 40°C for PE trykkrør.

Høy temperatur i kombinasjon med høyt innvendig trykk er en levetidsbegrensende faktor. Forbruket av antioksidanter i PE øker med økende temperatur og trykk. Tykkvegga rør, med veggtykkelse fra 10 mm, er mer robuste og ikke så utsatte som tynnvegga rør er. Tykkvegga rør har lang levetid selv ved 40°C når trykket er inntil 74 % av dimensjonerende trykk. Kortvarige temperaturøkninger reduserer ikke levetiden nevneverdig.



Regresjonskurver opp til 40°C for PE 100 (ref. DIN 8075) viser at rørets evne til å tåle trykk reduseres med økende temperatur. Brudd skal normalt oppstå først etter at du passerer kurven for en gitt temperatur.



	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C
PE trykkrør	1,0	0,93	0,87	0,80	0,74	-
PVC trykkrør	1,0	1,0	0,90	0,80	0,71	0,63

Reduksjonsfaktor for tillatt trykk for trykkrør ved høye temperaturer

Eksempel:

En rørledning av PE 100 SDR 11 utsettes i lange perioder for en driftstemperatur på 35°C. Maksimum tillatt driftstrykk er 12,5 bar ved en sikkerhetsfaktor på 1,6. Reduksjonsfaktoren med hensyn på trykk er 0,80 ved 35°C. Tillatt trykk er 12,5 bar · 0,80 = 10 bar.

I tillegg får du lengdeutvidelsen på grunn av temperaturøkning. Når en rørledning av PE er fiksert, vil det oppstå store krefter man må ta hensyn til – se kapittelet om Hookes lov.

Høye temperaturer i trykkrørledninger som utsettes for soloppvarming

Sommervannledninger, som for eksempel forsyner hytter med vann i den varme årstiden, legges noen ganger rett på bakken. Tilsvarende åpne installasjoner finner du også på brygger. Det brukes PE (polyetylen) trykkrør på kveil i små dimensjoner. Vi får melding om brudd på rørledninger som ligger eksponert for solbestråling hver vår. Hva er det som skjer og hva bør man gjøre for å unngå dette?



Et typisk brudd på en sommervannledning i vårlige omgivelser

Selv om ledningen tømmes, så kan det ligge igjen lommer med vann i svanker. Når vannet fryser, så utvider det seg og presser mot rørvæggen med stor kraft.

PE-rør tåler normalt denne kraftige påvirkningen. Men når vårsola tar tak og gir rørvæggen temmelig høy temperatur, så svekkes den så mye at brudd oppstår – gjerne der snøen forsvinner først, for eksempel under trær. Isproppen påfører rørvæggen et voldsomt trykk og sola gir rørvæggen lokalt veldig høy temperatur.

For å unngå dette må man enten sørge for at ledningen er helt tømt for vann hver eneste høst eller at rørledningen dekkes til slik at sola ikke får tak. Det sier seg selv at tildekking er det beste alternativet, så slipper man å passe på å få tømt ledningen helt hvert eneste år i uoverskuelig fremtid. Hvis det ikke er hensiktsmessig med jord eller torv, så kan rørledningen legges i et varerør.

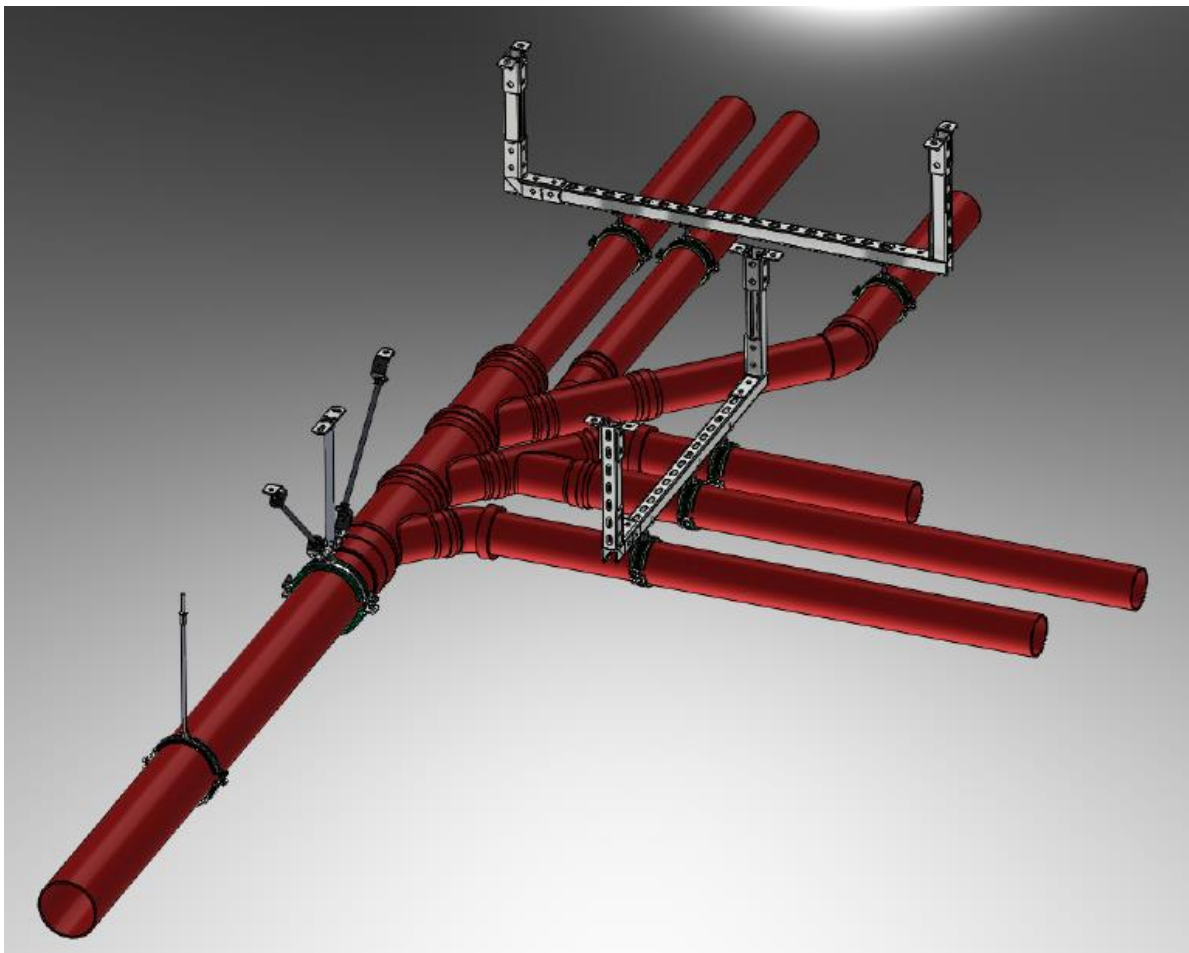
Har du strøm på hytta, så er Isotermrør et alternativ – hvis det er interessant å legge til rette for vannforsyning hele året.

Slike brudd kan også oppstå på midlertidige rørledninger – når vannet er stillestående og sola får lov til å varme opp rørvæggen tilstrekkelig. Er trykket høyt nok, får du brudd som ligner det som er vist på bildet over. I sola kan temperaturen i rørvæggen bli temmelig høy. Her er også medisinen å dekke til røret på en eller annen måte.

I: Klamring av rør

Når rørledninger, med eller uten trykk, skal monteres over bakken, i en kulvert eller i en bygning, er det viktig å passe på at klamringene er sterke nok og at rørene holdes på plass. De skal kunne bære røret, tåle rystelser (trykksvingninger) og tilfredsstillende krav til forankring samt at ekspansjon eller temperaturkrefter håndteres forsvarlig. Glideklammer og fastklammer for trykkrør av PVC eller PE må ha et 5 mm tykt mellomlegg av neoprengummi. Klamrene må også kunne holde røret sirkulært. Dimensjonering og valg av type klammer og innfesting bør utføres av kompetent personell.

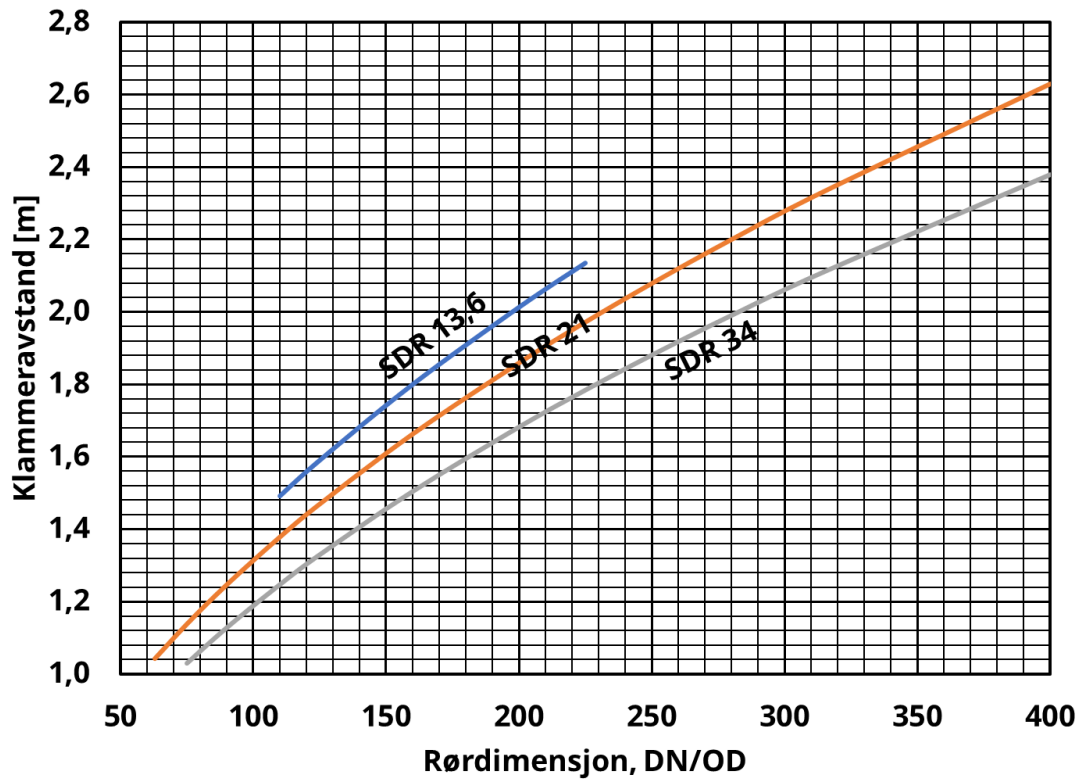
Et fastklammer skal holde røret eller rørdelen i ro. Røret skal gli på glidekammer. I et trykkløst rørsystem skal ikke krefter overføres til bygningskonstruksjonen. Så plasseringen av fastklammer og glideklammer – og å sørge for tilstrekkelig med ekspansjonsgap – er viktig. Pass spesielt på å ha solide løsninger for fastklammer ved klamring av mufførørledninger med gjengestag festet i tak. Hvis rørsystemet fylles med vann virker det skyvekrefter på grenrør og bend som må tas opp i faste klammer. Ved trykkrør må klammer overføre krefter til bygningskonstruksjonen som må klare å ta opp de store kreftene som kan oppstå.



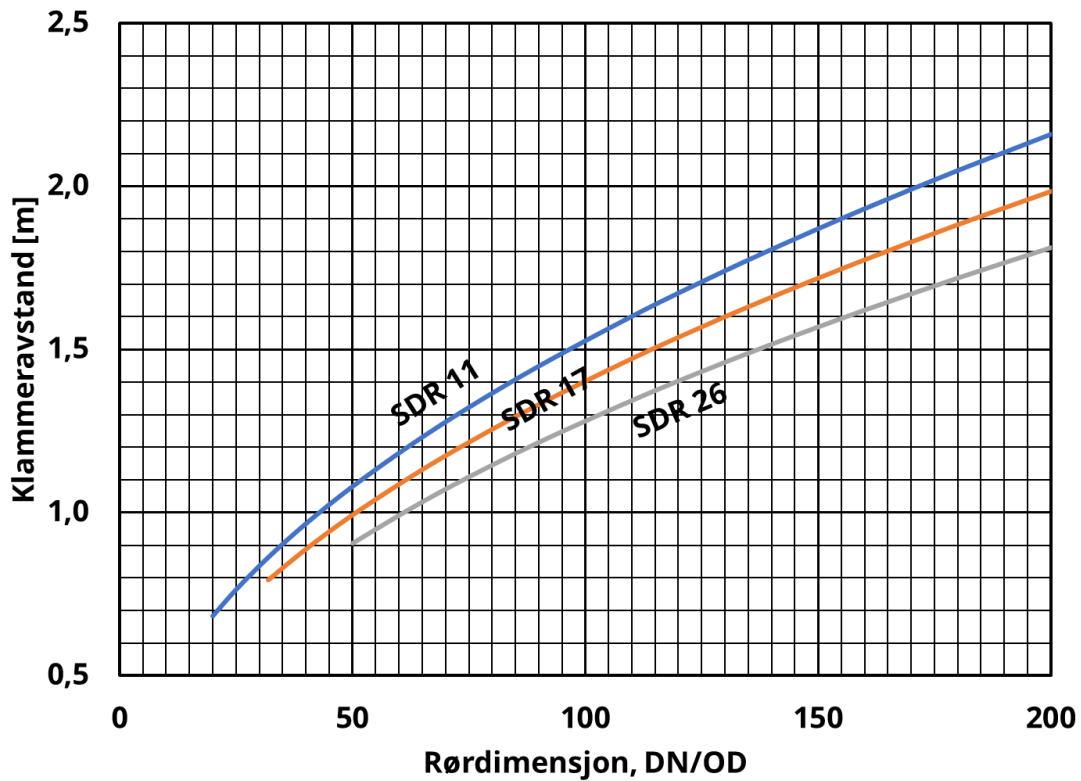
Løsninger for å fastklamre rørledninger som henger under tak

Klamringsavstander horisontale PE- eller PVC-ledninger

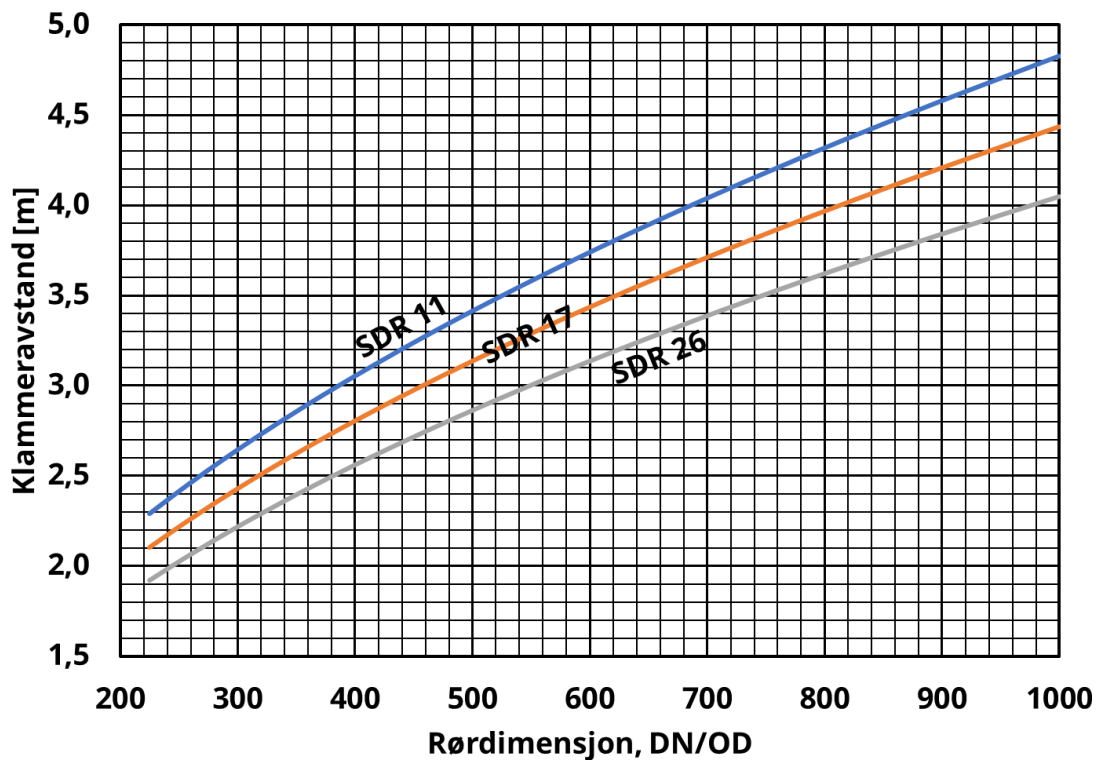
Bend, T-rør og lignende utsatt for innvendig trykk må i tillegg forankres med tanke på forskyvninger og man må ta hensyn til lengdeendring/krefter på grunn av temperaturendringer. Se avsnitt om forankring for beregning av resultanterkrefter.



Klamringsavstand horisontale, væskefylte PVC-rør med maksimum 2 mm nedbøyning



Klamringsavstand horisontale, væskefylte PE 100 trykrør opp til 200 mm med maksimum 10 mm nedbøyning



Klamringsavstand horisontale, væskefylte PE 100 trykrør fra 225 mm med maksimum 10 mm nedbøyning

Klamringsavstander vertikale PE- eller PVC-ledninger

Vertikale ledninger uten vibrasjoner fra og med 110 mm bør ha en klamringsavstand på maksimum tre meter. For ledninger med vibrasjoner (trykkrør) gjelder de samme avstandene som for horisontale rør.

Klamringsavstander PP innomhus avløpsrør

Se også monteringsanvisningen.

Dim. [mm]	Horisontal ledning [mm]	Vertikal ledning [mm]
32	0,5	1,2
50	0,5	1,5
75	0,8	2,0
90	0,9	2,0
110	1,1	2,0

Klamringsavstand for innomhus PP-rør



Veggfestet sørger for god klamring der avløpsrøret går fra servanten og inn i en trevegg.

I: Kvalitetskontroll på anlegg

Det er liten tvil om at kvaliteten på norske rørledningsanlegg er direkte proporsjonal med graden av kvalitetskontroll. Under installasjonsfasen kan det skje ting som påvirker levetiden i stor grad. Og det er et uomtvistelig faktum at økt omfang av rørinspeksjon, trykkprøving, tetthetsprøving og andre former for oppfølging og kontroll har bidratt mye til en generell høyere kvalitet på rørledningsnett – og lengre levetid på norske rørledninger. Vi lærer jo av våre feil, som kjent. I det følgende tar vi for oss ulike former for kvalitetskontroll.

OBS!

Trykk mot store flater gir store krefter. Det må derfor utvises stor forsiktighet ved tetthetsprøving og trykkprøving. Et 1,0 mVs (0,1 bar) høyt trykk mot en flate med diameter 1,0 m tilsvarer en vekt på 785 kg. Derfor er det anbefalt å prøve store avløpsrør og kummer med lavere trykk eller sågar undertrykk. Et undertrykk vil imidlertid også gi store krefter mot konstruksjonen. Pass på så plugger ikke kan bli sugd inn i rørledningen. Ved tetthetsprøving vil det sannsynligvis avdekkes lekkasje også om prøvetrykket ikke er så høyt.

Trykkprøving av trykkørsanlegg for vann og avløp skal ikke utføres med luft under høyt trykk. Luft komprimeres mye under trykk. Hvis noe skjer, så frigjøres store krefter som kan gi store skader. Kan man ikke bruke rent vann pga. frost, så må man rett og slett vente til det passer.

Tetthetsprøving av trykløse rørledninger

Tetthetsprøving av trykløse rørledninger etter legging foretas for å sikre at rørsystemet ikke har eller får lekkasje på grunn av feil i skjøt, feil i materialet eller feil utførelse. Prosedyrer og krav for prøving med luft og vann ved overtrykk er beskrevet i NS-EN 1610 - Utførelse og prøving av avløpsledninger. Prøving ved undertrykk er behandlet i NS 3420-U.

I NS 3420-U er det krav om å følge NS-EN 1610 opp til og med DN 500 og om å bruke metoden med undertrykk ved rør og kummer fra og med DN 1000.

Tetthetsprøving av rørledningen iht. NS-EN 1610 skal utføres enten med luft eller vann. Luftmetoden, med overtrykk, er mest brukt. Ved en liten lekkasje ved tetthetsprøving med luft er det tillatt å gå over til vannprøving - og resultatet av denne blir gjeldende.

Rørsystemet kan med fordel prøves før gjenfylling, men endelig prøving skal foretas når hele grøfta er gjenfylt. Det anbefales å foreta prøving før gjenfylling når tilgjengeligheten etterpå er begrenset - for eksempel under bygningskonstruksjoner, i dype grøfter eller i bygater med overliggende kabler og andre rørsystemer.

Trykkomregninger: $0,1 \text{ bar} = 0,01 \text{ N/mm}^2 = 0,01 \text{ MPa} = 10 \text{ kPa} = 100 \text{ hPa} = 10\,000 \text{ Pa} \approx 1,0 \text{ mVs}$.
 Det handler om å holde tunga rett i munnen og flytte desimaltegnet rett vei.

Tetthetsprøving av plastrør med luft - overtrykk

Det er fire nivåer for tetthetsprøving med luft - LA, LB, LC og LD. Forskjellen mellom disse er prøvetrykket, som varierer fra 0,1 mVs til 2,0 mVs, og prøvetiden. LC er mest brukt i Norge. Unntaket er store dimensjoner som må prøves med lavere trykk på grunn av de store kreftene som oppstår i forbindelse med trykk på store flater. For eksempel vil tetthetsprøving med 1,0 mVs mot ei plate med diameter 1400 mm gi en kraft på mer enn 1,5 tonn! Det anbefales at store rør og kummer testes med lavt trykk eller undertrykk.

Prøvemethode	Prøvetrykk [mVs]
LA	0,10
LB	0,50
LC	1,0
LD	2,0

Ulike prøvetrykk ved tetthetsprøving med luft.

Prøveprosedyre:

1. Før selve prøvingen skal ledningen stå i cirka fem minutter med et starttrykk 10 % høyere enn prøvetrykket.
2. Deretter senkes trykket til prøvetrykket og ledningen stenges av.
3. Hvis trykkfallet i løpet av prøveperioden er mindre enn kravet er resultatet godkjent - se tabeller under.

Prøvemethode	Starttrykk [mVs]	Prøvetrykk [mVs]	Maks. trykkfall [mVs]
LA	0,11	0,10	0,025
LB	0,55	0,50	0,10
LC	1,1	1,0	0,15
LD	2,2	2,0	0,15

Trykk ved tetthetsprøving med luft

DN	≤ 200	250	300/ 315	400	500	600/ 630	800	1000	1200	1400
LA	5	6	7	10	12	14	19	24	29	34
LB	4	4,5	6	7	9	11	15	19	22	26
LC	3	3,5	4	5	7	8	11	14	16	19
LD	1,5	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	9

Prøvetider i minutter ved tetthetsprøving med luft av avløpsrørledninger av plast

Krav til prøveutstyr og måling:

Nøyaktighet av trykkprøvingen skal være $\pm 10\%$ av trykkfallet og tidsmålingen skal tas med en nøyaktighet på $\pm 2,5$ sekunder.

Mabokummer og Pragmakummer kan prøves opp til og med teleskoprøret med disse kravene. Standarden tillater imidlertid at prøvingstiden reduseres for kummer.

Tetthetsprøverapport

Selvfallsledning av plast prøvd med luft i henhold til NS-EN 1610.

Krav til prøveutstyr og måling:

Nøyaktighet av trykkprøvingen skal være $\pm 10\%$ av trykkfallet og tidsmålingen skal tas med en nøyaktighet på $\pm 2,5$ sekunder.

Ledningseier :

Anlegg :

Strekning :

Entreprenør :

Lengde, dimensjon
og rørtype :

Prøvetrykk : mVs

Prøvetid : minutter

Tillatt trykkfall : mVs

Målt trykkfall : mVs

Tetthetsprøving er / er ikke utført med godkjent resultat.

.....
Sted, dato

.....
Underskrift

Tetthetsprøving av plastrør med luft - undertrykk

Store rør og kummer kan med fordel testes med undertrykk pga. farene forbundet med trykk mot store flater. Kreftene er like store ved like store undertrykk som overtrykk, men du får «implosjon» i stedet for «eksplosjon» og høyere prøvetrykk kan derfor trygt settes på. En utfordring kan være at testpluggene ikke sitter godt nok og suges inn. Metoden kan vurderes brukt mellom DN 500 og DN 1000 rør og kummer, men anbefales brukt fra og med DN 1000.

Prosedyre:

1. Trykket senkes til 3,0 mVs (30 kPa) undertrykk
2. Slipp inn luft til trykket er 2,0 mVs (20 kPa) undertrykk
3. Oppretthold 2,0 mVs (20 kPa) undertrykk i 5 minutter
4. Steng ventilen og les av undertrykket etter prøvingstiden oppgitt i tabellene under
5. Undertrykket skal ikke være mindre enn 1,9 mVs (19 kPa) ved prøvingstidens slutt

DN	Prøvingstid [minutter]
500	8
600	10
800	13
1000	16
1200	20
1400	25

Prøvingstider ved prøving med undertrykk

DN Forts.	Prøvingstid [minutter]
1600	30
1800	40
2000	45
2400	50
2600	53
3000	60

Tetthetsprøving av plastrør med vann

Prøvestrekningens lengde kan bli begrenset av prøvetrykket – som for trykkløse rørledninger skal være maksimum 5 mVs i laveste punkt og minimum 1 mVs på høyeste punkt målt ved innvendig bunn rør. Høydeforskjellen kan dermed maksimum være 4,0 meter.

Det kan være nødvendig med en kondisjoneringsperiode etter at ledningen er oppfylt og prøvetrykket er oppnådd. En time kondisjonering for plastrør er som regel tilstrekkelig. Ved samtidig prøving av tørre betongkummer kan det være nødvendig med ytterligere kondisjonering.

I løpet av prøvingstiden, som er 30 min ±1 min, skal prøvetrykket opprettholdes ved å etterfylle vann. Denne vannmengden skal måles, med en målenøyaktighet på ±0,1 liter, og oppgis sammen med krav til maksimal vannmengde.

Krav til maksimal tilført vannmengde pr m² innvendig røroverflate:

- 0,15 l/m² i 30 min for rørledninger
- 0,20 l/m² i 30 min for rørledninger med nedstigningskummer
- 0,40 l/m² i 30 min for nedstigningskummer og inspeksjonskummer

Utregning av areal:

Innvendig røroverflate: $A_{\text{innvendig}} = \pi \cdot d \cdot L$ [m²]

d: Innvendig diameter [m]

L: Lengde [m]

Eksempel:

Innvendig røroverflate for et 85 meter langt 200 mm PVC SN 8 rør er

$$A_{\text{innvendig}} = \pi \cdot d \cdot L = \pi \cdot 0,1882 \text{ m} \cdot 85 \text{ m} = 50,3 \text{ m}^2$$

Maksimal tilført vannmengde for en slik rørledning er:

$$q_{\text{max}} = A_{\text{innvendig}} \cdot 0,15 \text{ l/m}^2 = 50,3 \text{ m}^2 \cdot 0,15 \text{ l/m}^2 = 7,5 \text{ liter}$$

Prøverapport:

Det forfattes en enkel prøverapport som minst skal inneholde opplysninger om dimensjon, rørtype, maksimal tillatt tilført vannmengde (utregnet) og virkelig målt vannmengde - pluss eventuelt andre relevante opplysninger.

Trykkprøving av trykkrør av PVC eller PE

Trykkprøving av trykkrør etter legging foretas for å sikre at rørledningen ikke har eller får lekkasje på grunn av produksjonsfeil, påførte bruddanvisninger, feil i skjøt eller annen feil utførelse. Bruddanvisninger på plastrør vil som regel raskt gå til brudd og svake forankringer vil svikte under høyt trykk. Plasstøpte forankringer av betong må ha stått så lenge at betongen har fått tilstrekkelig styrke. Trykkprøving går over en viss tid for at svakheter skal kunne avdekkes. Dessuten trenger rør, tetningsringer og andre komponenter litt tid for å sette seg i forhold til et påført innvendig overtrykk.

Pass på sikkerheten under trykkprøving og stans alle arbeider i kummer eller på andre steder nær rør og armaturer. Pass på at ventiler på prøvestrekningen står åpne og at alle stikkledninger inn til hus er stengt av. Trykkprøving skal utføres med vann, IKKE med luft! Drikkevannsledninger skal trykkprøves med rent vann.

Trykkprøving av rør for vannforsyning er beskrevet i NS-EN 805:2025 (Vannforsyning. Krav til systemer og komponenter utenfor bygninger). Vi forholder oss i det følgende til det som gjelder rørledninger av PE og PVC i veiledningen i Annex A i standarden, som avviker fra det som gjelder andre rørmaterialer.

Denne standarden er ikke gjengitt her. Ledningseier kan stille krav om at hele eller deler av prosedyren i NS-EN 805 følges. Standarder må kjøpes fra Standard Norge (www.standard.no).

Røret må være overfylt og løse ender, T-rør, dimensjonsoverganger, bend og armaturer forankret før trykket settes på. Man kan velge å la skjøtene ligge åpne. Vi anbefaler at potensielle lekkasjesteder, for eksempel flenseskjøter, er tilgjengelige for kontroll under prøvingen. Rør som ligger eksponert for sola kan ha en temperatur i rørveggen som er over 20°C og tåler dermed ikke trykket like godt – se til at rørledningen ikke er for varm. Alt måleutstyr må være kalibrert.

Luft må evakueres fra ledningen. Luftlommer komprimeres mer enn vann og gir forstyrrelser i målingene - og er ofte årsak til feilaktige måleresultater. Om mulig bør vann fylles sakte inn fra ledningens laveste punkt. Resultatet fra trykkfallsprøvingen vil indikere om det er luft i ledningen. Pluggkjøring er ofte en grei metode for å få luften vekk fra høybrekk som mangler lufteventil.

Er man rimelig trygg på at det ikke er luft i ledningen, så kan trykkfallprøvingen utelates. Da bør ledningen ha jevnt fall uten høybrekk, det bør ikke være utstyr på nettet som kan magasinere luft og ledningen må fylles opp sakte og luftes.

Noen relevante begreper:

PFA	Maksimum trykk en komponent tåler kontinuerlig (PN-klassen)
PEA	Maksimum trykk en ny komponent tåler under trykkprøving
MDP	Maksimum driftstrykk for rørledningen eller trykksonen
STP	Prøvetrykk for systemet som skal trykkprøves

Trykkomregninger: 1 bar = 0,1 N/mm² = 0,1 MPa = 100 kPa = 100 000 Pa ≈ 10 mVs. Det handler om å holde tunga rett i munnen og flytte desimaltegnet rett vei.

Krav til omfang:

- Prøvetrykket skal kunne oppnås på det laveste punkt på ledningen.
- Et trykk tilsvarende maksimum tillatt driftstrykk må oppnås på ledningens høyeste punkt, med mindre ledningseier bestemmer noe annet.
- Maksimum rørlengde som kan trykkprøves er avhengig av høydeforskjeller, prøveutstyrets kapasitet, mengden av utstyr på ledningen, vannmengden som må tilføres og fjernes m.m.

Prøvetrykket (STP)

Maksimum tillatt driftstrykk (MDP) ≤ 10 bar: STP = MDP · 1,5

Maksimum tillatt driftstrykk (MDP) ≥ 10 bar: STP = MDP + 5 bar

For eksempel:

MDP = 8 bar: STP = 8 bar · 1,5 = 12 bar

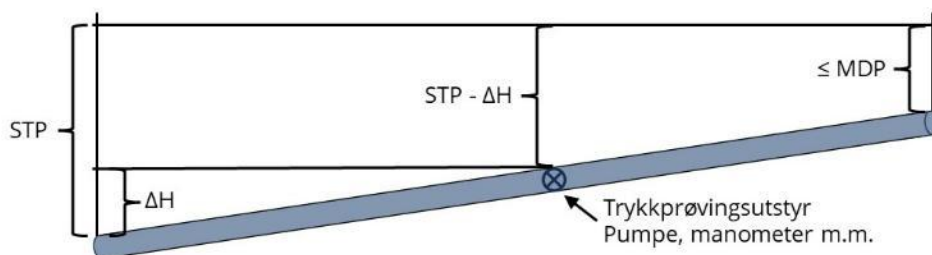
MDP = 12 bar: STP = 12 bar + 5 bar = 17 bar

OBS!

Maksimum driftstrykk (MDP) kan være lavere enn rørets trykkklasse. Det tillates høyere trykk i PVC- og PE-rør i de europeiske standarder enn det norske brukere normalt krever. Pipelife merker derfor sine trykkør med to trykklasser – ift. designkoeffisienten og den høyere sikkerhetsfaktoren (for eksempel PN 10 **og** PN 12,5).

Ved å følge anvisningene og forholde seg til rørets merking, kan derfor ledningssystem for inntil 10 bar trykk prøves med inntil 17,5 bar trykk (12,5 bar + 5 bar). Røret vil tåle dette, **men det advares mot å påføre ledningssystemet så høye trykk hvis ikke armaturer, forankringer m.m. er dimensjonert for dette**. Prøvetrykket for enkeltkomponenter, f.eks. ventiler, skal ikke overstige 1,5 · PFA – der PFA tilsvarer komponentens trykkklasse (PN).

Rørledningen fylles sakte med vann fra laveste mulige punkt på ledningen mens alle komponenter som kan evakuere luft er åpne. Under normale forhold skal prøveutstyret kobles til ledningens laveste punkt. Hvis dette ikke er mulig, skal trykket tilpasses høyden over ledningens laveste punkt slik at det der ikke overstiger prøvetrykket.



Tilpasning av prøvetrykk ved plassering av manometer over laveste punkt på ledningen

Når det er et krav at maksimalt driftstrykk (MDP) skal nås på høyeste punkt, så kan ikke høydeforskjellen fra laveste til høyeste punkt på ledningen være større enn ca. 50 meter for anlegg med MDP 10 bar og høyere. For lavere MDP enn 10 bar regnes høydeforskjellen ut fra $MDP \cdot 0,5$. Hvis MDP er 7 bar blir $MDP \cdot 0,5 = 3,5$ bar – altså en maksimal høydeforskjell på cirka 35 meter.

I spesielle tilfeller, for eksempel ved korte strekninger (<100 m) og for stikkledninger av PE trykkrør mindre eller lik DN/OD 75 levert i kveil, kan ledningseier tillate å bruke driftstrykket som prøvetrykk og at det kun gjøres en visuell kontroll av potensielle lekkasjepunkter.

Valg av metode

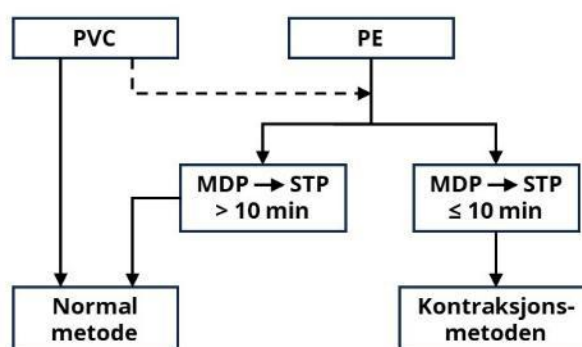
Trykkprøvingen gjennomføres i tre trinn:

1. Forprøving stabiliserer rørledningen og avdekker åpenbare feil
2. Trykkfalltest avdekker om det er for mye luft i rørledningen
3. Hovedprøving med den normale metoden eller kontraksjonsmetoden gir endelige svar på om systemet er godkjent eller ikke

På grunn av at polyetylenmaterialet tøyser seg mer enn andre rørmaterialer når røret utsettes for et stort, innvendig vanntrykk, kan den normale metoden gi resultater som ikke tilfredsstillende kravene selv om ledningen er tett. Kontraksjonsmetoden er derfor utviklet spesielt for rørledninger av PE, men kan også benyttes for rørledninger av PVC.

Kontraksjonsmetoden brukes når trykket kan økes fra maksimum driftstrykk (MDP) til prøvetrykket (STP) i løpet av 10 minutter og prøvetrykket er høyt i forhold til rørets trykkklasse (PFA, PN).

Hvis prøvetrykket samtidig er høyere enn $0,7 \cdot PN$, så er kontraksjonsmetoden relevant. Her må vi gå ut fra rørets høyeste trykkklasse. For eksempel er høyeste trykkklasse PN 16 (16 bar) for et PE 100 SDR 11 rør.



PE 100	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 9	SDR 7,4
STP ≥	4,2 bar	5,6 bar	7 bar	8,75 bar	11,2 bar	14 bar	17,5 bar

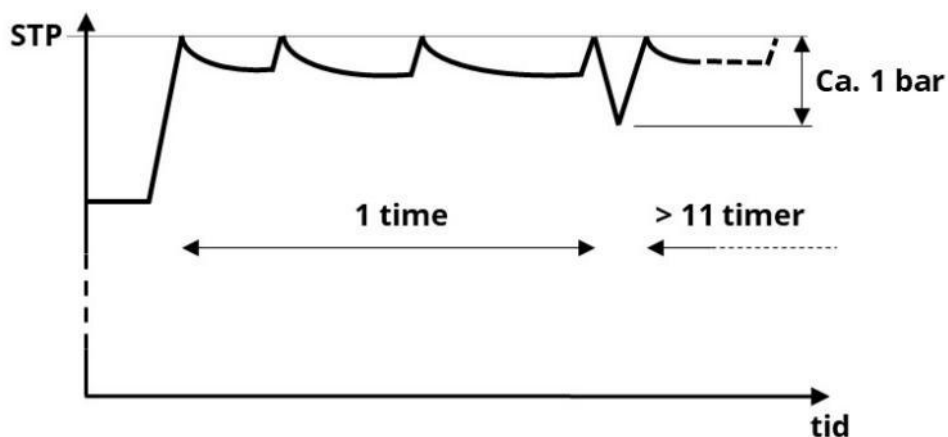
Hvis prøvetrykket (STP) er større eller likt trykk angitt i tabellen og trykket kan økes fra maksimum driftstrykk (MDP) til prøvetrykket i løpet av 10 minutter, bør kontraksjonsmetoden utføres

Normal metode

Forprøving inklusiv trykkfallprøving

Under forprøvingen stabiliseres temperaturen i rørveggen, rørene får utvide seg litt, åpenbare lekkasjer oppdages og det avdekkes om det er for mye luft i rørledningen.

1. Etter at rørledningen er fylt med rent vann, luftet og påført driftstrykk (MDP), så økes trykket raskt til prøvetrykket (STP)
2. Oppretthold prøvetrykket i en time ved å pumpe inn mer vann kontrollert
3. Gjennomfør trykkfallprøving
4. Oppretthold prøvetrykket ved å pumpe inn vann jevnlig i minst 11 timer



Trykkfallprøving

Trykkfallprøving gjennomføres for å kunne vurdere mengden av gjenværende luft i ledningen. Selv om formelen er komplisert, så er dette ingen eksakt vitenskap. Er vi godt innenfor kravet, så skal det ikke være så mye luft i ledningen at det forstyrrer hovedprøvingen nevneverdig. Det kan være nødvendig å pluggkjøre ledningen for å fjerne mer luft.

1. Mål vannmengden som tappes ut for å redusere trykket med cirka 1 bar. Registrer nøyaktig trykkfall (Δp).
2. Sammenlign mengden av det avtappede vannet med kalkulert tillatt mengde vann (ΔV_{\max}) ved målt trykkfall i henhold til følgende formel:

$$\Delta V_{\max} = 1,05 \cdot V \cdot \Delta p \cdot \left(\frac{1}{2100 \text{ N/mm}^2} + \frac{\text{SDR}-2}{E_R} \right) \text{ [liter]}$$

Regn ut innholdet i parentesene, $\left(\frac{1}{2100 \text{ N/mm}^2} + \frac{\text{SDR}-2}{E_R} \right)$, før du multipliserer dette med det øvrige:

SDR: Rørledningens SDR-klasse, $\frac{D}{e}$ []

E_R : Rørmaterialets E-modul [N/mm^2]

I denne sammenhengen brukes følgende verdier:

PVC: 2600 N/mm^2

PE 100: 1100 N/mm^2

Eksempel:

Vi skal regne ut det som står i parentes i formelen for en PVC SDR 21 rørledning. Materialets E-modul er 2600 N/mm².

$$\left(\frac{1}{2100 \text{ N/mm}^2} + \frac{\text{SDR} - 2}{E_R} \right) = \left(\frac{1}{2100 \text{ N/mm}^2} + \frac{21 - 2}{2600 \text{ N/mm}^2} \right) =$$

$$(0,00048 \text{ mm}^2/\text{N} + 0,00731 \text{ mm}^2/\text{N}) = 0,00779 \text{ mm}^2/\text{N}$$

Vannvolumet i ledningen: $V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L$ [liter, l]

d: Innvendig diameter [dm]

L: Ledningens lengde [dm]

Pass på å sette inn verdiene for d og L i desimeter (dm). 1 kubikkdesimeter (dm³) = 1 liter!

Eksempel:

Rørledningen er lagt med 315 mm PVC SDR 21 rør og er 600 meter lang. Innvendig diameter er 285,0 mm, som tilsvarer 2,850 dm. 600 m tilsvarer 6000 dm.

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot (2,850 \text{ dm})^2}{4} \cdot 6000 \text{ dm} = 38\,276 \text{ dm}^3 = 38\,276 \text{ liter}$$

Δp : Målt trykkfall [N/mm²] (1 bar = 0,1 MPa = 0,1 N/mm² = 10,2 mVs)

Hvis målt trykkfall er 0,9 bar, så er det bare å flytte desimaltegnet et steg til venstre for å finne trykkfallet i N/mm² – i dette tilfelle blir det 0,09 N/mm².

Eksempel:

Rørledningen fra eksemplene foran skal kontrolleres med hensyn på luftinnhold. Trykket senkes med 1,1 bar = 0,11 N/mm². Vannvolumet i denne ledningen er 38 276 liter og uttrykket inni parenteser gir 0,00779 mm²/N.

Den fullstendige formelen blir slik:

$$\Delta V_{\max} = 1,05 \cdot V \cdot \Delta p \cdot \left(\frac{1}{2100 \text{ N/mm}^2} + \frac{\text{SDR} - 2}{E_R} \right)$$

$$= 1,05 \cdot 38\,276 \text{ l} \cdot 0,11 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,00779 \text{ mm}^2/\text{N} = 34,4 \text{ l}$$

Avtappet vannmengde i dette eksemplet får ikke overstige 34,4 liter.

PE 100			
Dim.	SDR 17	SDR 11	SDR 7,4
50	2,253	1,189	0,582
63	3,572	1,886	0,932
75	5,070	2,692	1,314
90	7,300	3,868	1,900
110	10,91	5,783	2,828
125	14,13	7,458	3,662
140	17,72	9,377	4,584
160	23,14	12,22	5,997
180	29,27	15,47	7,598
200	36,13	19,11	9,363
225	45,72	24,17	11,86
250	56,53	29,89	14,65
280	70,89	37,51	18,37
315	89,69	47,45	23,25
355	113,9	60,30	29,56
400	144,7	76,53	37,50
450	183,1	96,80	47,49
500	225,9	119,6	
560	283,6	150,0	
630	358,7	189,8	

Maksimum antall liter avtappet vannmengde pr km
PE 100 rør ved trykkfallsprøving
- trykkfall 1,0 bar (0,1 N/mm²)

PVC		
Dim.	SDR 21	SDR 13,6
63	2,086	-
75	2,951	-
90	4,253	-
110	6,342	3,583
160	13,42	7,576
225	26,56	14,98
280	41,15	
315	52,14	
400	84,03	

Maksimum antall liter avtappet
vannmengde pr km PVC-rør ved
trykkfallsprøving
- trykkfall 1,0 bar (0,1 N/mm²)

Med tall fra tabellene over kan du regne om til maksimum tillatt avtappet vannmengde på en litt mindre komplisert måte:

$$\Delta V_{\max} = X \cdot L \cdot \Delta p \quad [\text{liter}]$$

X: Hentes fra tabellene foran [liter/(km·bar)]

L: Rørledningens lengde [km]

Δp : Målt trykkfall [bar]

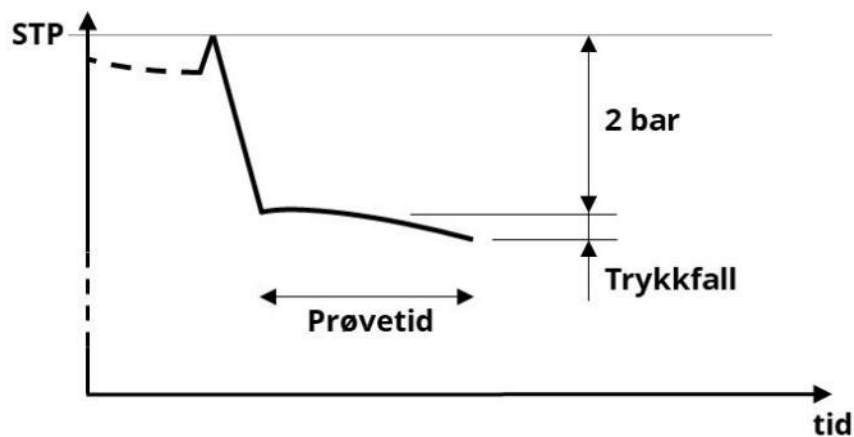
Eksempel:

Rørledningen er fortsatt 315 mm PVC SDR 21, 600 meter (0,6 km) lang og målt trykkfall er 1,1 bar. I tabellen finner vi tallet 52,14 liter/(km·bar) for dette røret.

$$\Delta V_{\max} = X \cdot L \cdot \Delta p = 52,14 \frac{\text{liter}}{(\text{km} \cdot \text{bar})} \cdot 0,6 \text{ km} \cdot 1,1 \text{ bar} = 36,4 \text{ liter}$$

Hovedprøving

Sett trykket til prøvetrykket (STP). Så senkes trykket med 2,0 bar og ledningen stenges av. Etter en viss tid skal ikke trykket ha sunket mer enn angitt, se tabellen under.



Rørmateriale	Rørdimensjon	Trykkfall [bar]	Prøvetid [timer]
PVC	DN/OD ≤ 160	≤ 0,2	3
	225 ≤ DN/OD ≤ 400	≤ 0,2	6
PE 100	DN/OD ≤ 160	≤ 0,3	3
	225 ≤ DN/OD ≤ 400	≤ 0,6	6
	DN/OD ≥ 450	≤ 1,2	12

Trykkprøverapport

Trykkør av plast prøvd med den normale metoden i henhold til NS-EN 805:2025

Ledningseier :

Anlegg :

Strekning :

Entreprenør :

Lengde, dimensjon,
rørtype og rørklasse :

Trykkfallprøving

Tillatt vannmengde : liter

Målt vannmengde : liter

Hovedprøving

Prøvetrykk : bar

Prøvetid : timer

Tillatt trykkfall : bar

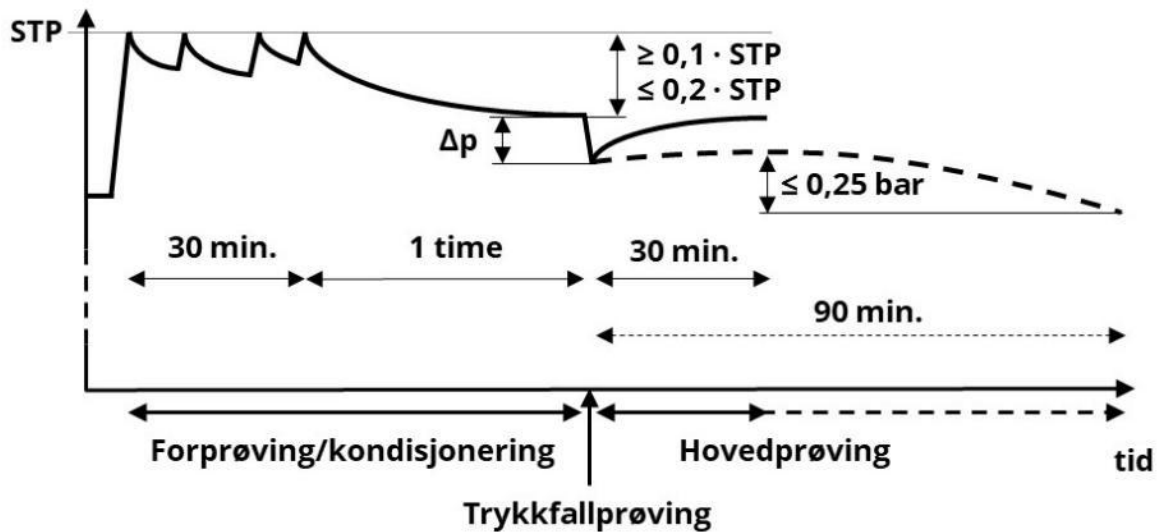
Målt trykkfall : bar

Trykkprøving er / er ikke utført med godkjent resultat.

.....
Sted, dato

.....
Underskrift

Kontraksjonsmetoden



Forprøving/kondisjonering

Under forprøvingen stabiliseres temperaturen i rørveggen, rørene får utvide seg litt, åpenbare lekkasjer oppdages og det avdekkes om det er alt for mye luft i rørledningen.

1. Etter at rørledningen er fylt med vann og luftet, så åpnes den øverste ventilen i en time
2. Steng ventilen og øk trykket raskt (i løpet av 10 minutter) til prøvetrykket (STP)
3. Oppretthold trykket i 30 minutter ved å pumpe inn mer vann kontrollert
4. Steng av rørledningen og mål trykket etter 1 time. Trykket vil falle fordi rørene utvider seg noe. Er trykkfallet større enn 20 % indikerer det en lekkasje og er trykkfallet mindre enn 10 % indikerer det for mye luft i ledningen.

Hvis trykkfallet er for stort eller for lite gjentas prosedyren fra punkt 1 etter at relevante tiltak er gjennomført.

Trykkfallprøving

Trykkfallprøvingen med kontraksjonsmetoden er til forveksling lik den i den normale metoden. Her er den en del av hovedprøvingen og utføres umiddelbart etter bestått forprøving uten at prøvetrykket re-etableres. Den gjennomføres for å kunne vurdere om mengden av gjenværende luft i ledningen fortsatt er for stor. Selv om formelen er komplisert, så er dette ingen eksakt vitenskap. Er vi godt innenfor kravet, så skal det ikke være så mye luft i ledningen at det forstyrrer hovedprøvingen nevneverdig. Det kan være nødvendig å pluggkjøre ledningen for å fjerne mer luft.

1. Mål vannmengden som tappes ut i løpet av maksimalt to minutter for å redusere trykket med omtrent det tabellen under angir (Δp).

Rørmateriale	SDR-klasse	Omtrentlig trykkfall (erfaringsverdier) [bar]
PE 100	17	2,0
	11	3,2
	7,4	5,2
PVC	21	3,8
	13,6	5,9

2. Sammenlign mengden av det avtappede vannet med kalkulert tillatt mengde vann (ΔV_{\max}) ved målt trykkfall i henhold til følgende formel:

$$\Delta V_{\max} = 1,05 \cdot V \cdot \Delta p \cdot \left(\frac{1}{2100 \text{ N/mm}^2} + \frac{\text{SDR}-2}{E_R} \right) \text{ [liter]}$$

Regn ut innholdet i parentesen, $\left(\frac{1}{2100 \text{ N/mm}^2} + \frac{\text{SDR}-2}{E_R} \right)$, før du multipliserer dette med det øvrige:

SDR: Rørledningens SDR-klasse, $\frac{D}{e}$ []

E_R : Rørmaterialets E-modul [N/mm²]

I denne sammenhengen brukes følgende verdier

PVC: 2600 N/mm²

PE 100: 1100 N/mm²

Eksempel:

Vi skal regne ut det som står i parentes i formelen for en PE 100 SDR 11 rørledning.

Materialets E-modul er 1100 N/mm².

$$\left(\frac{1}{2100 \text{ N/mm}^2} + \frac{\text{SDR} - 2}{E_R} \right) = \left(\frac{1}{2100 \text{ N/mm}^2} + \frac{11 - 2}{1100 \text{ N/mm}^2} \right) = 0,00866 \text{ mm}^2/\text{N}$$

Vannvolumet i ledningen:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \text{ [liter, l]}$$

d: Innvendig diameter [dm]

L: Ledningens lengde [dm]

Pass på å sette inn verdiene for d og L i desimeter (dm). 1 kubikkdesimeter (dm³) = 1 liter!

Eksempel:

Rørledningen er 315 mm PE 100 SDR 11 og 600 meter lang. Innvendig diameter er 257,8 mm, som tilsvarer 2,578 dm. 600 m tilsvarer 6000 dm.

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot (2,578 \text{ dm})^2}{4} \cdot 6000 \text{ dm} = 31\,319 \text{ dm}^3 = 31\,319 \text{ liter}$$

Δp : Målt trykkfall [N/mm²] (1 bar = 0,1 MPa = 0,1 N/mm²)

Hvis målt trykkfall er 3,1 bar, så er det bare å flytte desimaltegnet et steg til venstre for å finne trykkfallet i N/mm² – i dette tilfelle blir det 0,31 N/mm².

Eksempel:

Rørledningen fra eksemplene foran skal kontrolleres med hensyn på luftinnhold. Trykket senkes med 3,1 bar = 0,31 N/mm².

Vannvolumet i denne ledningen er 31 319 liter og uttrykket inni parenteser gir 0,00866 mm²/N

Den fullstendige formelen blir slik:

$$\Delta V_{\max} = 1,05 \cdot V \cdot \Delta p \cdot \left(\frac{1}{2100 \text{ N/mm}^2} + \frac{\text{SDR} - 1}{E_R} \right)$$

$$= 1,05 \cdot 31\,319 \text{ l} \cdot 0,31 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,00866 \text{ mm}^2/\text{N} = 88,3 \text{ l}$$

Avtappet vannmengde i dette eksemplet får ikke overstige 88,3 liter.

Se også forenklet utregning på side 12.

Hovedprøving

Etter avtapping av vann ifm. trykkfallprøvingen, så stenges rørledningen av og trykket overvåkes. Når trykket reduseres hurtig på tampen av trykkfallprøvingen, vil røret trekke seg sammen og trykket vil øke en stund. I løpet av 30 minutter skal det ikke vise en fallende tendens. Ved tvil kan prøvetiden forlenges til 90 minutter – og trykkfallet skal da ikke være mer enn 0,25 bar målt fra høyeste trykk registrert i denne perioden.

Trykkprøverapport

Trykkør av plast prøvd kontraksjonsmetoden i henhold til NS-EN 805:2025

Ledningseier :

Anlegg :

Strekning :

Entreprenør :

Lengde, dimensjon,
rørtype og rørklasse :

Prøvetrykk (STP) : bar

Forprøving

Målt trykkfall
(10 % til 20 % av STP) : bar

Trykkfallprøving

Tillatt vannmengde : liter

Målt vannmengde : liter

Hovedprøving

Etter 30 minutter : Trykket viser / viser ikke en fallende tendens

Etter 90 minutter
(trykkfall $\leq 0,25$ bar) : bar

Trykkprøving er / er ikke utført med godkjent resultat.

.....
Sted, dato

.....
Underskrift

Rørinspeksjon

Rørinspeksjon har bidratt mye til kvalitetshevingen av norske rørledningsanlegg. En slik film sier mye om rørledningen og om jobben som er gjort. Rørinspektøren skal notere alt han observerer. Og så er det opp til ledningseier å vurdere alvorlighetsgrad og eventuelt pålegge utbedring eller sanksjonere overfor installatør på annen måte. Norsk Vann har gitt ut anvisninger som rørinspektørene kan rapportere etter og ledningseierne kan gjøre sine bedømmelser etter.

En rørinspeksjon skal ikke gjennomføres før etter gjenfylling av grøfta. Samtidig er det dumt å vente til asfalt, kantstein, plener og trær er på plass. Det er helt normalt at det er påkrevet med en oppgraving i ny og ne – og jo før, jo bedre og billigere. Er man i tvil om en skade vil utvikle seg og bli betydelig eller ikke, så er det et alternativ å gjennomføre en ny rørinspeksjon rett før garantitidens utløp – og eventuelt utbedre da.

Noen typer observasjoner fører ofte til diskusjoner mellom ledningseier og installatør:

Lengdeforskjøvet skjõt

For noen rørmaterialer og skjøtekonsepter er dette en alvorlig observasjon. Men ikke for plastrørledninger. Normalt skal det være cirka 10 mm ekspansjonsgap i bunnen av ei muffe for glattvegga rørsystemer og ikke ekspansjonsgap for rørsystemer med utvendig korrugert rørvegg. Plastrørsystemer har som regel svært dype muffe og et noe større ekspansjonsgap vil ikke forårsake driftsproblemer. Store ekspansjonsgap kan skyldes slurv under montering, men det kan også skyldes at muffedybder og spissendelengder ikke er standardiserte. Dermed kan det oppstå store gap, for eksempel mellom spissenden på et grenrør og bunnen av ei rørmuffe. Lengdeforskjøvet skjõt fordrer oppgraving hvis gapet er svært stort – ellers ikke.

Svanker

Det er komplisert å måle fall i nedgravede rørledninger nøyaktig. Det er vanlig å tømme litt vann inn i rørledningen rett før inspeksjon – og så vil vanddammer avdekke større og mindre svanker med motfall. Her må man gjøre en grundig vurdering av sanksjon fra gang til gang: Er det grunn til å tro at installatøren har slurvet, eller er det for komplisert å få det til? Ofte blir rørledningen prosjektert med minimumsfall – ofte 5 ‰ (5 mm/m). Det er svært vanskelig å legge rør med så lite fall. Og små setninger i grunnen, på grunn av ulike jordtrykk, fører fort til svanker. Små områder med litt vannfylling i rørene fører sjelden til driftsproblemer. Oppgraving/utbedring vurderes ut fra totalinntrykket, grunnforholdene og potensielle årsaker til setninger.

Hvite flekker

Hvite flekker på rørveggen skyldes som regel at rørveggen er eller har vært utsatt for en deformasjon. På ferske PP rør av moderne materialer oppstår dette for et godt ord. Små og store mekaniske belastninger gir hvite flekker. Men termoplastmaterialene tåler store, kortvarige tøyninger godt. Hvis det er en markant punkdeformasjon eller synlige sprekkdannelser i forbindelse med flekken, bør oppgraving vurderes.

Punktdeformasjoner

Det tillates noe deformasjon som enkeltpunkter, men det er vanskelig å måle disse. Om det er nødvendig med oppgraving vurderes fra tilfelle til tilfelle. Hva er sjansen for at det ligger en stor stein inntil røret? Er det få eller mange observasjoner av samme eller ulik art? Er det lettere å grave opp nå enn senere?

Deformasjonskontroll med tolk

Deformasjonskontroll med tolk er i stor grad erstattet av rørinspeksjon. Hvis bildene fra rørinspeksjonen viser store deformasjoner, så kan det være aktuelt å gjøre en slik øvelse. For kabelvernrør er dette fremdeles en vanlig kontroll, fordi disse rørene som regel ligger grunt.

En tolk kan være korstolk, kuletolk eller sylindrisk tolk. Den har feste for trekkesnor i begge ender – setter den seg fast, så må den kunne trekkes tilbake. Det er lurt å legge inn trekkesnor under legging av kabelrør og la trekkesnora som er trukket inn bak tolken ligge for senere bruk. Tolken må ha et utvendig mål som tilsvarer tillatt deformasjon målt ift. innvendig diameter av røret.

For eksempel for et 110 mm PVC SN 8 kabelrør med maksimum 9 % deformasjon:

$$D_{\text{tolk}} = 103,6 \text{ mm} \cdot \frac{100 \% - 9 \%}{100 \%} = 94,3 \text{ mm}$$

Kvalitetskontroll av sveiste skjøter

For speilsveiste og elektromuffesveiste rørskjøter i rørledninger av PE kan det utføres destruktiv prøving. Det kan for eksempel gjennomføres en såkalt prosedyresveis for rørledninger som speilsveises. Prosedyresveisen testes på et laboratorium. Og hvis testen er bestått, så følges samme prosedyre på alle andre skjøter på rørledningen. Det tar tid å få svaret fra en slik undersøkelse, så bruk av denne metoden må planlegges i god tid for at framdriften på anlegget ikke skal stoppe opp.

For elektromuffeskjøter har rørdelene oftest indikatorer som viser om det har vært nok sveisetrykk under prosessen. Sveisetrykk er svært viktig, men det kan gjøres flere feil som ikke avdekkes på denne måten.

For speilsveiste skjøter kan det gjøres en visuell bedømming av sveisevulsten. I enkelte underlag er det satt opp krav til utseende av og mål på vulsten. Faren med dette er at man jukser med prosedyren for å få en «pen sveisevulst» - noe som går ut over styrken av sveisen. Derfor har vi ikke tatt med en illustrasjon av den perfekte vulsten her.

Det aller, aller viktigste er at man bruker sertifiserte sveisere, som følger prosedyrene til punkt og prikke, og at utstyret er godt vedlikeholdt og kontrollert. God dokumentasjon av gjennomføringen av sveiseoperasjonen er mye mer verdt enn visuell bedømming av utseendet av skjøten.

I: Legging av plastrør i grøft

Det som gjøres under installasjonsfasen har svært stor betydning for rørledningens livsløpskostnader. Noe større ressursbruk her betaler seg i form av lengre levetid og færre driftsproblemer. Kvalifikasjoner, referanser, opplæring, oppfriskning, forberedelser, diskusjoner underveis og uavhengig kontroll er noen stikkord.

HMS er dessuten vitalt. Vi har ingen å miste! Arbeidstilsynet stiller krav. For arbeider i grøfter er kanskje jordras det vi frykter mest. Men faremomentene er mange og krever kontinuerlig oppmerksomhet. Se Arbeidstilsynets temaside om gravearbeid:

<https://www.arbeidstilsynet.no/tema/gravearbeid/>

Leggeanvisninger

Leggeanvisningene for plastrør, utgitt av NPG Norge, angir våre minimumskrav til utførelse – eventuelt med tilleggskrav og innskjerpsler fastsatt av ledningseier. Det foreligger en generell anvisning (for vann- og avløpsrør) og en for kabelvern. Leggeanvisningene finner du på nettet, for eksempel via linkene under, og de kan også fås som trykksak i lommeformat.

- Den generelle leggeanvisningen for plastrør (VA) [kan lastes ned her ...](#)
- Leggeanvisningen for kabelrør [kan lastes ned her ...](#)

Ved overdekning under 0,60 m for SN 8 rør eller under 0,40 m for SN 64 (PE SDR 11) rør, ved overdekning over 10 meter, ved større mekanisk belastning enn 15 tonn aksellast (offentlig vei) eller ved spesielle leggeførhold bør du ta kontakt med Pipelife Norge AS. Ellers gjelder leggeanvisningene. Ved sjøledninger bør det utarbeides egne senkeprosedyrer for hvert enkelt tilfelle.

I kapittelet «R: Belastninger på rør i grøft» ser vi på utregninger. Her og nå handler det om den praktiske utførelsen. Formler og teoretiske utledninger er viktig, men ikke i forhold til jobben som gjøres i grøfta. Feil utførelse reduserer tiden rørleningen vil fungere. Pass også på å gjennomføre en siste omhyggelig kontroll av produktene som installeres. Graves det ned produkter med godt synlige skader eller feil, så vil vi vurdere avkortning av reklamasjonskrav.

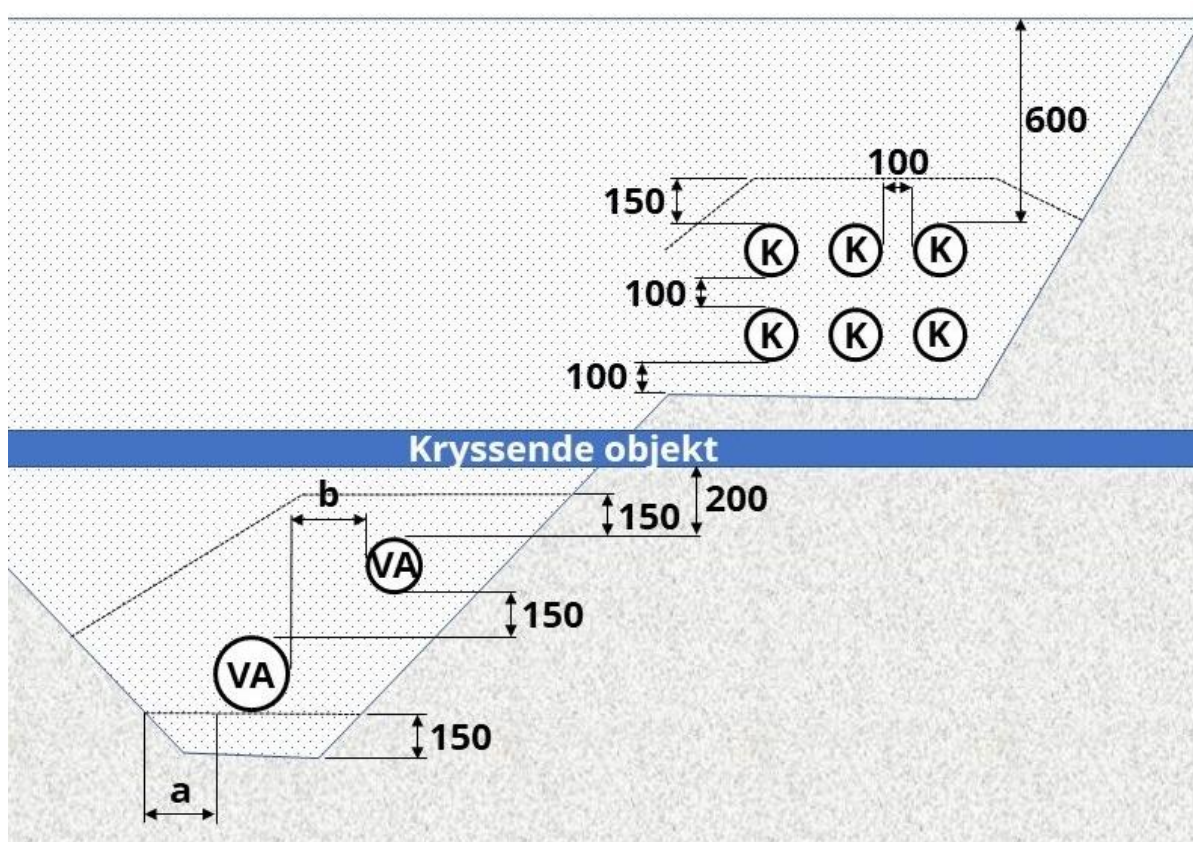
Den som installerer produkter bør ha dokumentert kompetanse eller overvåkes av personer med slik kompetanse. Et slikt kompetansekrav kan være gyldig ADK-sertifikat, utdanning som anleggsløsløgger eller tilsvarende. Sveising av PE-rør bør utføres av sertifisert operatør med kalibrert utstyr.

Pipelife stiller gjerne opp for å holde kurs for ledningseiere, rørleggere og entreprenører. Et slikt kurs er alltid lurt før oppstart av større rørlenningsprosjekter.

Avstandskrav

Det bør være visse avstander i ei rørgrøft av flere årsaker. Det bør være god avstand til objekter som kan overføre punktbelastninger til rørproduktene. Fundamentet bør ha en viss tykkelse for å unngå høye, konsentrerte materialspenninger i bunn av røret (knivlast). Avstanden til nabo-rør bør være stor nok til å kunne utføre arbeid på en ledning uten å skade/forstyrre den andre. Det må være plass nok til å putte massene innunder røret og til å komprimere massene når dette er nødvendig.

Konkrete krav til minimumsavstander varierer. Men i 2015 kom NS 3070 hvor flere av partene som har interesser under bakkenivå ble enige om noen sterke anbefalinger. Det er frivillig å følge slike standarder, men de blir gyldige når kjøper eller kjøpers representant stiller krav om at den skal følges. Og så kan det finnes særkrav i lokale VA-normer eller i forbindelse med anbudsbeskrivelser og -tegninger.



Normale minimumskrav til avstander for vann-, avløps- og drenerør (VA) og kabelvernrør (K) fra leggeanvisningene og NS 3070-1:2015.

Rørdimensjon DN	a [mm]	b [mm]
- 225	200	200
225 - 350	250	200
350 - 700	350	250

Rørdimensjon DN	a [mm]	b [mm]
700 - 1200	425	400
1200 -	500	500

Minimumsavstander fra NS 3070-1:2015, ref. illustrasjonen over.

Plastrørets oppførsel i grøft

Når det fylles masser ved siden av og over et plastrør vil det deformeres. Tyngden av massene og annen belastning på røret vil ovalisere røret inntil det oppnås likevekt mellom belastningene, rørets ringstivhet og støtten det får av massene ved siden av røret. Trykkrør som utsettes for høye belastninger fra relativt høye innvendige overtrykk, vil ikke ovaliseres i samme grad. Men de skal legges like omhyggelig som andre rør for ikke å utsettes for unødvendige tilleggsbelastninger. Historien viser at skjødesløs legging av rør kan medføre problemer senere.

Det skilles mellom to typer deformasjoner:

1. Generelle deformasjoner
2. Punktdeformasjoner

Generell deformasjon

Rørledningen får en deformasjon umiddelbart etter legging. Over tid vil setninger i massene gi en ytterligere ovalisering. Rør med høyere ringstivhet, masser med bedre støtteegenskaper og mindre belastninger gir mindre deformasjon enn lavere ringstivhet, dårligere masser og store belastninger.

Denne deformasjonen kan beregnes – se kapittelet «R: Belastninger på rør i grøft». Beregningene er basert på følgende inndata:

$$\text{Deformasjon} = \frac{\text{Belastning}}{\text{Rørstivhet} + \text{Jordstivhet}}$$

Men graden av deformasjon bestemmes av flere faktorer - og kan være vanskelig å forutsi helt nøyaktig. Feltforsøk med normale grøftedyp viser at cirka 80 % av deformasjonen skyldes det som skjer i leggefase - spesielt vil valg av masser i ledningssonen, komprimering og anleggstrafikk påvirke resultatet. Resten skyldes rørets ringstivhet, leggedybde m.m.

I og med at minste ringstivhet for rør i grøft i Norge vanligvis er 8,0 kN/m² (SN 8), er det mest sentrale massenes evne til å støtte røret. Unntaksvis bør større ringstivhet vurderes. Optimalt resultat fås ved bruk av riktig type masse rundt røret og korrekt utført komprimeringsarbeid.

Fundamentet skal verken gi for mye etter eller være for hardt. Det ideelle er et komprimert fundament hvor sonen under røret løsgjøres i 5 cm dybde med jernrive før legging. Et hardt fundament medfører konsentrert last i bunnen av røret (knivlast). Et godt plastrør vil kunne tåle denne tilleggslasten, men rør (uansett rørmateriale) skal ikke ligge på hardt fundament. Ved bruk av støpt plate ved dårlige grunnforhold, skal det legges et fundament av løsmasser mellom røret og plata. Skolinger eller avstandsholdere skal ikke brukes under noen omstendighet i grøft med løsmasser i ledningssonen.

Ved å følge NPG Norges leggeanvisninger er man sikret et resultat innenfor de maksimale grenseverdiene for deformasjon - samtidig som man får en indikasjon på når andre tiltak er nødvendig. Husk at anleggsperioden ofte er dimensjonerende og at det kan være nødvendig med tiltak i forbindelse med tung anleggstrafikk og tung komprimering over røret.

Grenseverdien for deformasjon av kabelrør er 9 % etter legging. For avløpsrør av termoplast gjelder følgende krav (NS 3420-U):

	Tid etter legging		
	0 år	2 år	5 år
Normale krav	5 %	8 %	10 %
Reduserte krav	8 %	11 %	13 %

Maksimal relativ deformasjon for plastrør i forhold til innvendig diameter.

I Norge er det innført to krav-nivå til deformasjon for avløpsrør – normale og reduserte krav. «Normale krav» er strengere enn det som er anbefalt i de internasjonale produktstandardene. Grunnen til dette er at man i Norge ofte benytter beste masse i ledningssonen, optimale grøftedybder i forhold til trafikk- og jordlaster og rør med relativt høy ringstivhet. Dermed inviterer det til slurv i leggefase når kravnivået er for lavt. Man skal slurve mye for å oppnå 8 % deformasjon når man benytter singel/pukk rundt røret ved vanlige leggedyp. 8 % er absolutt et relevant krav der man velger å bruke dårligere masser og når belastningen eller leggedybden er stor.

Inntil 15 % deformasjon representerer ingen fare for rørmaterialet, men ytterligere deformasjon kan vanskeliggjøre drift av rørnettet. For eksempel utgjør 15 % deformasjon bare noe over 2 % reduksjon av tverrsnittet.

Punktdeformasjoner

Punktdeformasjoner har normalt sin årsak i dårlig kvalitet i ledningssonen eller «uhell» i anleggsfasen. De oppstår for eksempel som følge av for stor stein nær røret, for liten overdekning over topp rør eller røret ligger inntil grøfteside eller -bunn i fjellgrøft. Det kan også hende at man ikke finner en god forklaring ved oppgraving, men «noe» må ha skjedd i anleggsperioden.

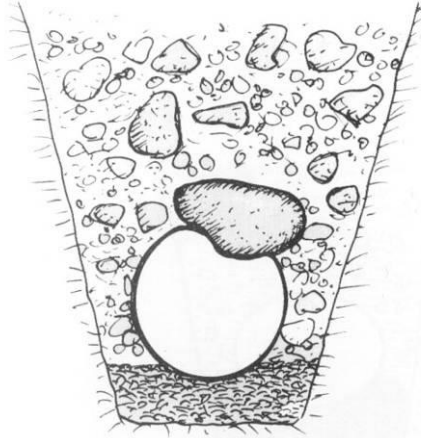
Utviklingen av en punktdeformasjon er høyst usikker. Stor stein over røret kan bli presset nedover. Svakt fundament, eller utvasking av fundament, kan føre til økte punktdeformasjoner nedenfra. Hvis massene er stabile vil mest sannsynlig ikke dette utvikle seg nevneverdig.

Når man kjenner lite til stabiliteten til objektet som forårsaker punktdeformasjonen - for eksempel en stein som trykker direkte/indirekte mot rørets øvre halvdel - er utviklingen av deformasjonen usikker.

I NS 3420 anbefaler man å tillate små punktdeformasjoner inntil 1/3 av kravene til generell deformasjon. Det anbefales også å observere utviklingen av deformasjonen før det forlanges utbedring. Ofte kan det være mest hensiktsmessig å utbedre punktdeformasjoner umiddelbart fordi man ikke ønsker oppgraving senere.

Avgjørelser i slike saker bør tas av de som kjenner forholdene på stedet godt. Hvor stabile er massene? Hvor sannsynlig er tilstedeværelsen av stor stein? Hvor på rørets omkrets er deformasjonen? Vil den bli til hinder for senere drift og vil den begrense rørets kapasitet og selvrensing? Hvor tilgjengelig er røret for oppgraving på et senere tidspunkt? Hvis man vurderer å la være å grave opp med en gang, kan vi gi følgende råd:

- Punktdeformasjoner skyldes vanligvis mangelfull utførelse i ledningssonen og skal generelt unngås.
- Punktdeformasjoner over grenseverdiene bør utbedres.
- Skjønn må nyttes og stedlige forhold må være godt kjent av den som vurderer.



Punktdeformasjon som følge av stor stein inntil røret. Hvordan vil denne utvikle seg?

Jordmasser i ledningssonen

Mange ulike typer jord kan brukes i ledningssonen – ikke bare singel og pukk. Det er begrensninger med hensyn på maksimum steinstørrelse avhengig av rørdimensjonen. Jord med høyt organisk innhold, ustabil jord og frosne masser skal ikke brukes rundt rør uten strekkfaste skjøter. Store belastninger, i form av liten overdekning og stor trafikklast eller stor overdekning, stiller krav til bedre kvalitet på jordmassene og mer komprimering.

Bearbeiding og transport av jordmasser er dyrt og miljøskadelig. Derfor bør man gjøre bevisste valg av masser og komprimering i ledningssonen basert på miljøbelastning, pris, egnethet og tilgjengelighet av masser. Gjør det til en regel å alltid vurdere bruk av stedlige masser i hele grøfta.

Slurv og mangler

Enhver part skal straks påpeke slurv og mangler som kan påvirke anleggets sluttkvalitet. Ledningseier/byggeledelse har det siste ordet, men produsent kan fraskrive seg ansvar hvis påpekte mangler ikke utbedres. Kontroller rørproduktene før installasjon. Hvis det legges/installeres rørprodukter med åpenbare feil eller skader, så kan reklamasjonskrav bli avkortet.

I: Levering, lossing, lagring og håndtering av plastrør

Dette kapittelet omhandler spesielt forhold omkring levering fra Pipelife direkte til et anleggssted, samt forhold på anleggsstedet. Andre produsenter og distributører kan ha andre retningslinjer. På større anlegg er det oftest både økonomisk gunstig og klimasmart å få leveransene direkte fra produsent.

Alle parter bør ha interesse i at kvaliteten på våre røranlegg blir best mulig. Det følgende ivaretar mye av dette. Såfremt anleggene i tillegg blir godt planlagt, utført av fagfolk og man har kontroll på driftsbetingelsene - så er mange forutsetninger på plass. I tillegg til normal håndtering og sunn fornuft, så finnes det anvisninger, instruksjonsvideoer og felles leveringsbetingelser - ASLEM for elektrobransjen og FL-VA/VVS/Kulde for VA- og VVS-bransjen. Dessuten har Pipelife egne rutiner, prosedyrer og instruksjoner som er tilpasset leveransene fra de ulike produksjonsstedene.

Viktig kontaktinformasjon:

Finn din kontaktperson på www.pipelife.no

Sentralbordet: (+47) 71 65 88 00

Salgskontoret: (+47) 924 92 200, ordre@pipelife.com

Bestillingen (installatør og distributør)

Det er smart, både med hensyn på økonomi, fremdrift og miljø, å planlegge leveransene godt og i god tid. Hva skal jeg ha, hva er leveringstidene på ulike varer, hvor mye skal jeg ha, når skal jeg ha det, hvordan ønsker jeg varene levert og hva er det lurt å fylle opp bilen med? Skal varene leveres ferdig losset, for eksempel med kranbil, kan leveringstiden bli lengre hvis det er liten tilgang på egnede biler. På små og store anlegg bidrar vi gjerne til en så god logistikk-løsning som mulig.

- Planlegg godt og bestill i god tid
- Sjekk ordrebekreftelsen fra Pipelife
- Oppgi navn og telefonnummer til kontaktperson på anlegget

Før levering til anlegg (anleggseier)

Forbered mottak av varer. Klargjør losseplass og lagringsområde og sørg for egnet losseutstyr og personell. Skaff til veie egnede planker for å legge løse rør og rørbunter på - Ikke bruk gamle paller o.l. med skarpe gjenstander som kan skade produktene. Løse rørdeler, kummer, paller og løse esker bør lagres tørt.

Er alle forhold omkring HMS ivaretatt? Har involvert personell nødvendig kompetansebevis og fått opplæring i sikkerhetsaspekter forbundet med lossing, løfting, transport, håndtering og lagring av tungt gods?

Området må være tilrettelagt for transportørens kjøretøy. Vurder veiens bæreevne og bredde - og rom for å snu. Eventuelt må lasten omlastes på egnet kjøretøy.

Ved lossing med kran må tilstrekkelig lagerareal være tilgjengelig innenfor kranens arbeidsområde. Husk også å tilpasse lagerarealet til mengden som skal leveres.

Pipelife tar kontakt før opplasting for å sikre at alt er klart for levering.

Under levering til anlegg (varemottaker)

HMS er viktigere enn alt annet!

- Personell må ha nødvendig sikkerhetsutstyr – for eksempel synlighetstøy, hjelm, hansker og vernesko.
- Det skal ikke være elektriske luft-ledninger eller andre farlige eller utsatte installasjoner i losseområdet.
- Bilen må stå helt vannrett eller ha helning fra åpningen.
- Lasterommet åpnes forsiktig – løse eller løsnede gjenstander kan falle ut.
- Sikre lasten med losseinnetning før lastesikringen løsnes. Lastesikring må løsnes og fjernes forsiktig og gradvis etter som bilen losses.
- Ved arbeid i høyden må det utvises spesiell aktsomhet. Benytt sikrede stiger eller trapper.
- Uvedkommende, for eksempel mindreårige, må holde seg på god avstand og under oppsyn. Alle må stå godt synlig for den som losses.
- Alle må holde sikker avstand fra last og losseinnetning. Etabler en god sikkerhetssone - for eksempel minst rørets lengde målt fra løftepunktet. En styrelines lengde må være større enn rørets lengde pluss løftehøyde.
VIKTIG: Det skal ikke bevegges på losseutstyr dersom det er personer innenfor sikkerhetssonen.
- Løfteutstyr må tilfredsstillende krav i «forskrift om kran og løft på flyttbare innretninger» og være egnet for oppgaven. Sjekk alltid om løfteutstyret er uskadet. Se spesielt etter om løftekrok er skadet!
- Løse rør og rørbunter skal løftes med to ubeskadige stropper av godkjent type.
- Spesielle regler som gjelder bedriften, anlegget eller lagerstedet skal følges!

Ved anleggslevering tar Pipelifes transportør kontakt en stund før ankomst. Mottaker skal anviser nøyaktig losseplass og være til stede under lossing. Denne skal kvittere på fraktbrev for at antall mottatte kolli stemmer - og bistå under lossing. Mottakerens underskrift må være lesbar eller navnet gjentas med blokkbokstaver.

Varene losses på ett sted, med mindre annet er avtalt på forhånd. Hvis transportør finner det nødvendig å stanse lossingen på grunn av utilfredsstillende forhold eller utstyr eller når lossingen tar uforholdsmessig lang tid (mer enn to timer), må mottaker bekoste transportørens ventetid og eventuelle ekstrakostnader.

Varene leveres ulosset om ikke annet er avtalt. Ved slik levering må mottaker ha egnet utstyr for lossing disponibelt. Ved levering med en del skapbiler kan ikke gravemaskin benyttes. Når bunter skal flyttes med truck eller annet losseutstyr med gafler, må strø hvile på strø under lagring, eventuelt benyttes tykkere strø, for at gaflene ikke skal slite på rørene.



Noen produkter skal flyttes, transporteres og lagres spesielt. Dette gjelder for eksempel engangstromler med fiberkabelrør og de store, tunge kveilene med Isoterm- eller Isovarm-rør som alltid skal flyttes, transporteres og lagres stående.

Paller egner seg ikke som underlag for tunge rør og rørbunter. Seks meter lange rør lagres med spikerfrie planker under bunterammene. Ved ujevnt underlag legges buntene på planker med ca 3 meter avstand. 12 – 15 meter lange PE-rør legges på 4 – 5 planker med minst 1 meter frie ender. Rør skal ikke hvile på muffe- eller spissende. Feil lagring kan gi bøyde rør. Kontakt Pipelife ved lagring av slep.

Maksimum lagringshøyde er i de fleste tilfeller to bunter. Hvis terrenget heller og/eller lagringsplassen ligger nært boområde, lekeplass, barnehage, skole eller lignende, bør buntene ikke lagres i to høyder. Vær også oppmerksom hvis det regner, snør eller det er frost med fare for ising. Plastrør har lav friksjon og tre mot plast glir lett. Når lagringsplassen er egnet (avstengt område med jevnt underlag) kan stablingshøyden være opp til 2,5 meter.

Husk å lagre buntene slik at man kan få tak i alle typer rør og dimensjoner på en enkel måte.

Mindre rørdeler og kummer bør lagres under tak – for eksempel i en låsbar container.

Link: [Film om lasting og lossing av PE-rør ...](#)

Mottakskontroll (varemottaker)

Mottakskontroll er viktig. Under lossing kontrolleres om antall kolli stemmer i henhold til pakkseddel og om det er åpenbare skader å se. En mer omfattende kontroll utføres senere. Innen 8 dager kontrolleres om varetypene og antall i lukket forpakning stemmer og om noe har skader av betydning for bruken.

Skader og andre uheldige forhold bør dokumenteres ved hjelp av bilder. Feil og skader meldes snarest til Pipelife via e-post til salgskontoret@pipelife.no – eventuelt via vår distributør.

Utdrag fra Pipelifes leveringsbetingelser:

«Reklamasjoner vedrørende ...

- a) transportskade eller manko i antall kolli skal skje straks ved varens ankomst. Kjøper må dokumentere slike skader eller manko for rette fraktfører.*
- b) manko i innhold av emballerte varer skal skje til Pipelife straks og senest innen 8 dager etter ankomst, med spesifikasjon av avvikene.*

c) mangelfull vare må skje hurtigst mulig og senest 8 dager etter at mangelen er eller burde ha vært oppdaget, dog i intet tilfelle senere enn 3 måneder fra varens mottakelse.
Alle reklamasjoner skal skje skriftlig.»

Etter levering til anlegg (installatør)

Senere håndtering og internttransport på anlegget må også skje pent og forsiktig. Last må sikres og rør må ikke ligge mot stein eller skarpe kanter under transport. Legg planker under rørveiler og løse rør og pass på at rør eller muffe ikke ligger an mot platt eller karm slik at de får unødvendige gnisseskader. Ikke kast eller tipp rør eller deler. Trykkør og -deler må aldri utsettes for støt. Uskarpe riper og små sår med dybde inntil 10 % av veggtykkelsen kan aksepteres.

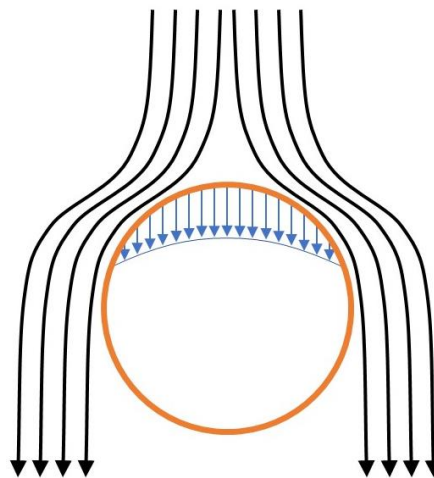
Retur

Pipelife kan ta imot retur av overskuddsmateriell fra anlegg. Forutsetningene for en slik retur er at vi får dekket våre omkostninger i forbindelse med dette og at varene er rene, pene og i salgbar stand. Varer som kan bli returnert bør derfor lagres og behandles ekstra skånsomt – tildekket, tørt og i originalemballasje. All retur skal på forhånd være avtalt med Pipelife og ha sitt eget retur-nummer.

I: Rør klamret under bunnplate

Normalt står bygninger på støpt bankett eller plate som hviler på stabil grunn. Da legges bunnledningene som rør i vanlig grøft og det oppstår ikke setninger i forbindelse med bygget som overføres til rørledningen. Men i en del tilfeller har ikke massene tilstrekkelig bæreevne og det settes ned pæler som overfører lastene til fjell.

Bunnledninger under bygg som står på pæler bør helst støpes inn i bunnplata eller legges i kulvert - spesielt når jordmassene under bygget er ustabile. Men i mange tilfeller er slike løsninger ikke hensiktsmessige. Da er det et alternativ å henge bunnledningen i klammer som er festet i bygningens bunnplate. Dette gir større laster på røret enn om det er nedgravd på tradisjonell måte.



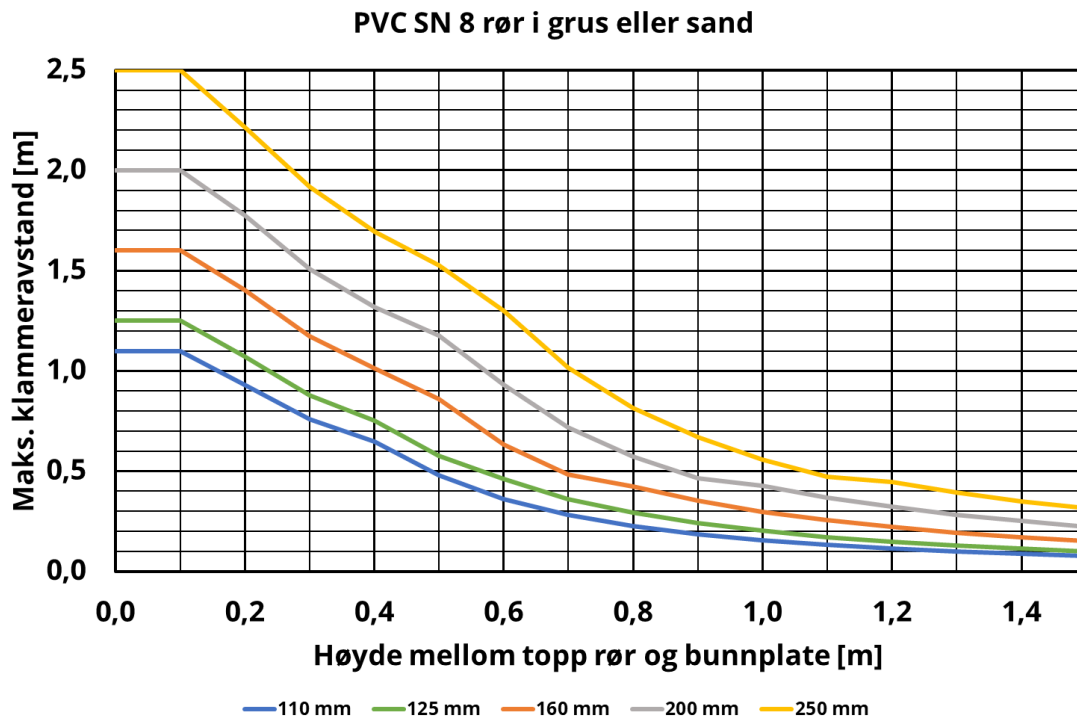
Opphengt under plate på jord vil jorden over røret skli rundt røret og røret har ingen støtte under

Klamringen må dimensjoneres for dette samt være forskriftsmessig utført slik at det ikke oppstår uønskede bevegelser med påfølgende utglidninger av skjøt og store avvinklinger i skjøter ved grenrør og retningsendringer. Fastklammer skal ikke bevege seg i noen retning. Overgangen mellom den opphengte bunnledningen og rørledning i grøft må sikres med hensyn på bevegelser – som kan være store der røret går ut av byggetomten.

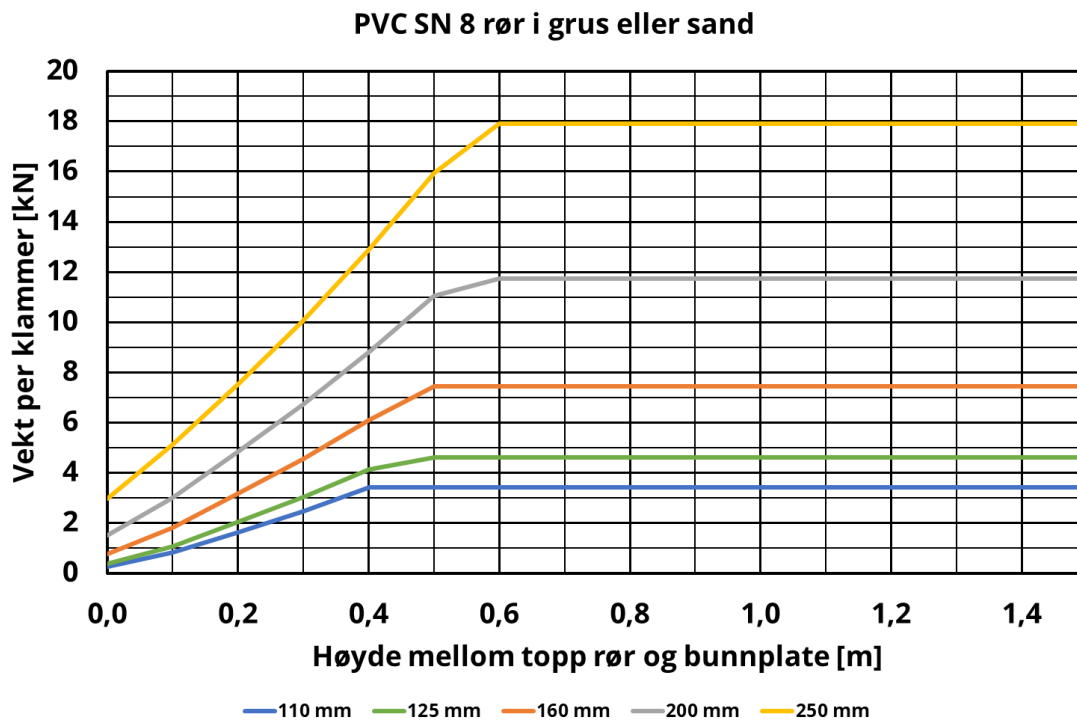
Maksimum klamringsavstander og vekter finner du i diagrammene under for ulike rørtyper og jordmasser. Beregningene som ligger til grunn er basert på en rapport utarbeidet av JM Geokonsult AB for den Nordiske Plastrørgruppen, NPG, og gjelder primært for trykkløse avløpsrørssystem med glatt, homogen rørvegg produsert av høyverdig PP og PVC. Rapporten forteller at belastningene består av rørets vekt med vann og vekten av jordmassen over røret. Ved opphenging i klammer fungerer røret hovedsakelig som en bjelke og klammeravstander bestemmes derfor i stor grad av rørets styrke i lengderetning. Men styrke i ringretning, avvinkling i skjøter m.m. kan også være dimensjonerende, sier rapporten som utreder dette grundig. Det gir knekkpunkter på kurvene der nye forhold blir dimensjonerende.

Diagrammer: Klamringsavstander og vekt per klammer for rør opphengt under bunnplate

Grus, pukk, singel eller sand mellom rør og bunnplate:

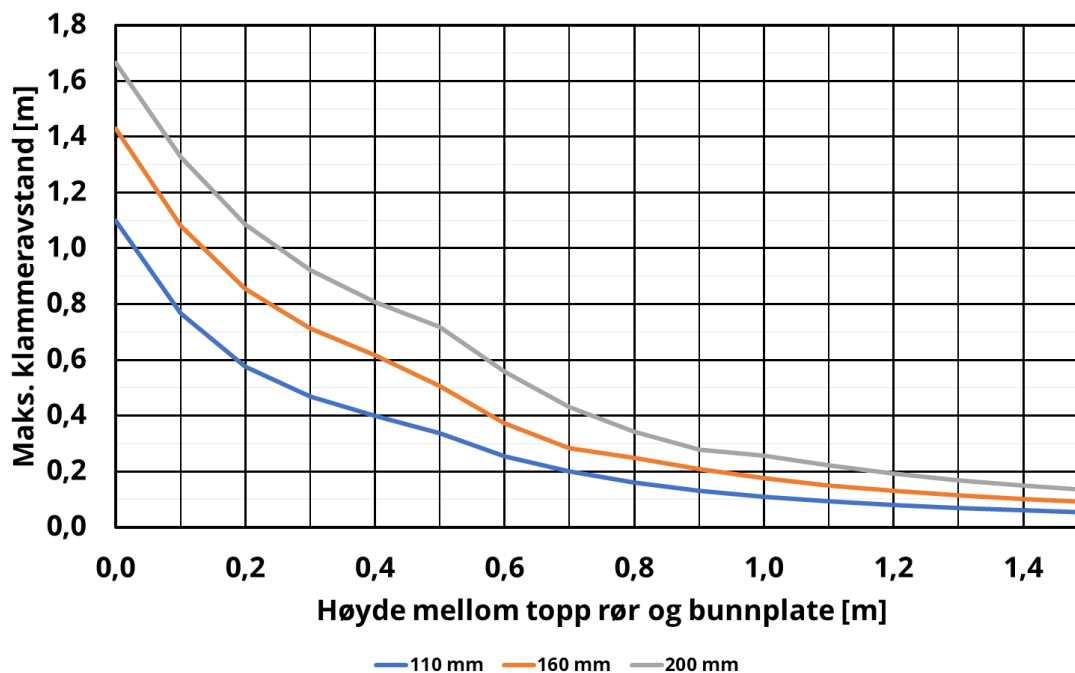


Maksimum klammeravstand i forhold til overdekning for PVC SN 8 avløpsrør i grus, pukk, singel eller sand



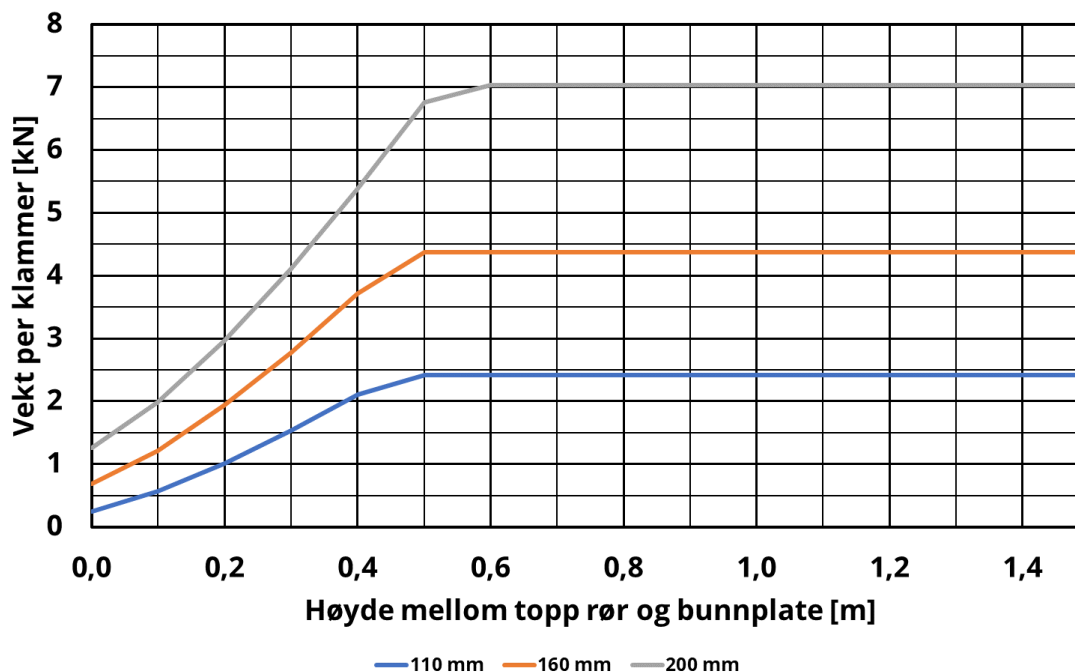
Vekt per klammer i forhold til overdekning og klammeravstand fra diagrammet foran for PVC SN 8 avløpsrør i grus, pukk, singel eller sand

PP SN 8 rør i grus eller sand



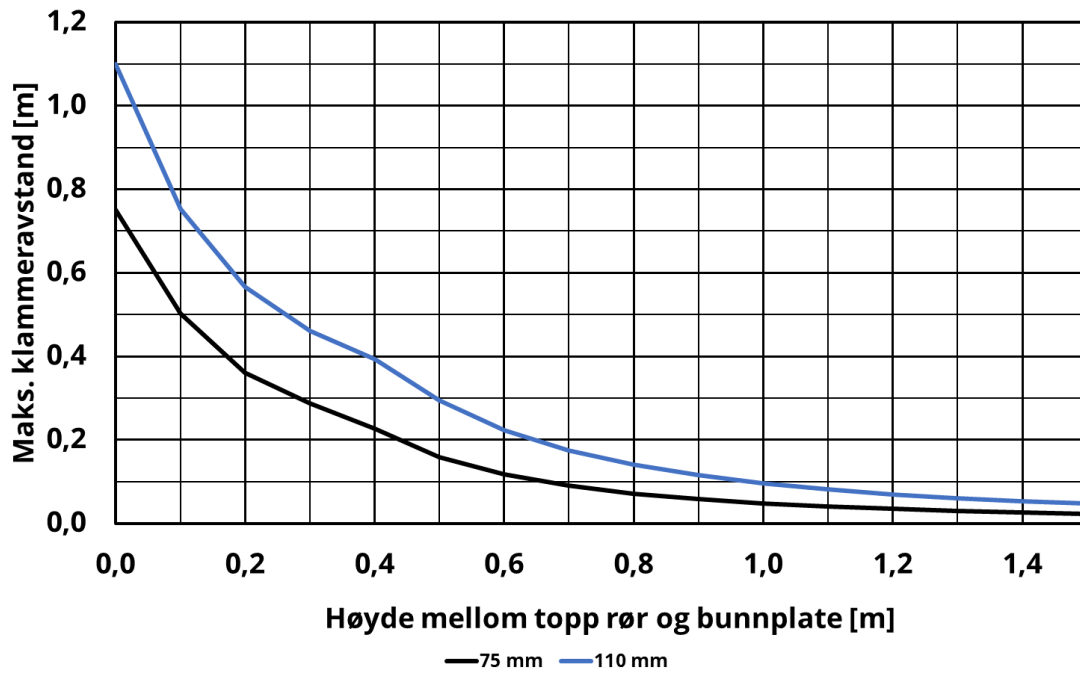
Maksimum klammeravstand i forhold til overdekning for PP SN 8 avløpsrør i grus, pukk, singel eller sand

PP SN 8 rør i grus eller sand



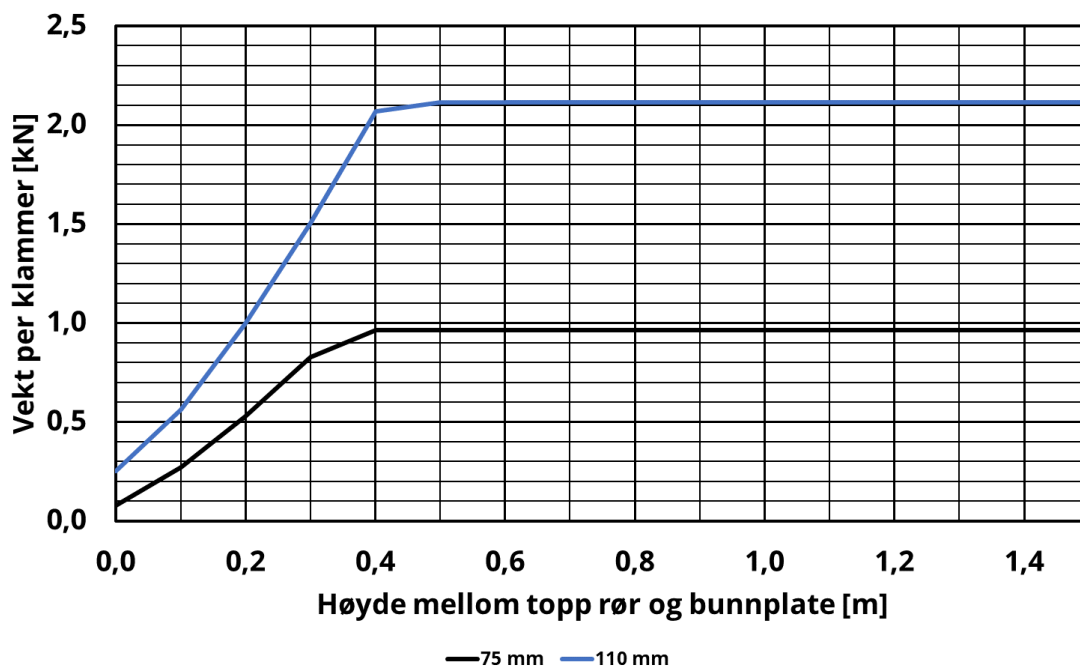
Vekt per klammer i forhold til overdekning og klammeravstand fra diagrammet foran for PP SN 8 avløpsrør i grus, pukk, singel eller sand

Smartline rør i grus eller sand



Maksimum klammeravstand i forhold til overdekning for Smartline avløpsrør i grus, pukk, singel eller sand

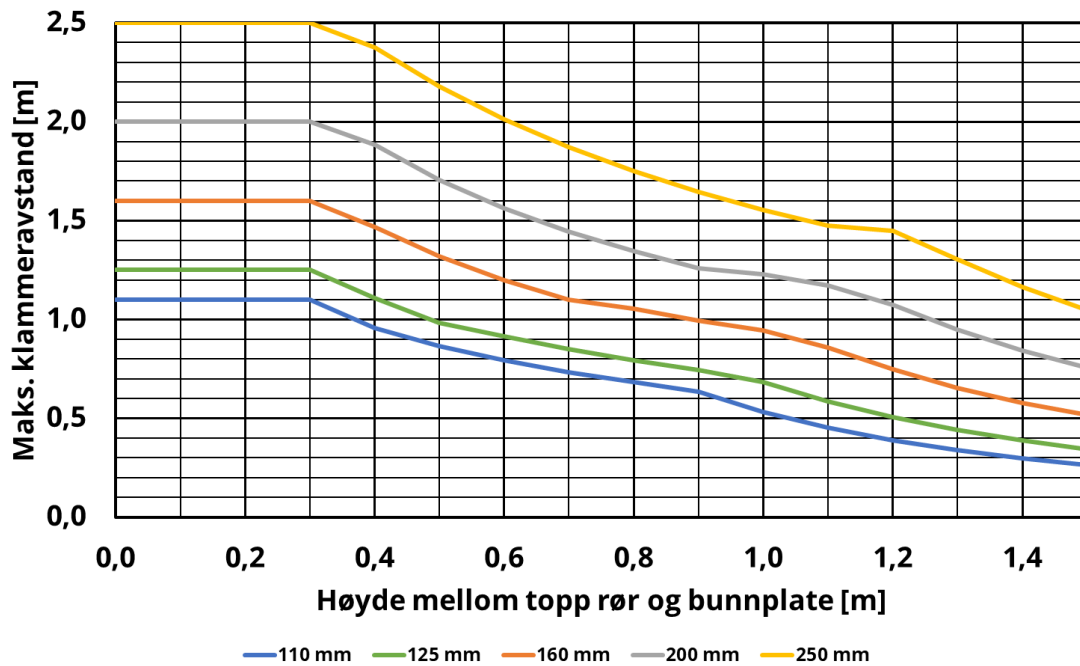
Smartline rør i grus eller sand



Vekt per klammer i forhold til overdekning og klammeravstand fra diagrammet foran for Smartline avløpsrør i grus, pukk, singel eller sand

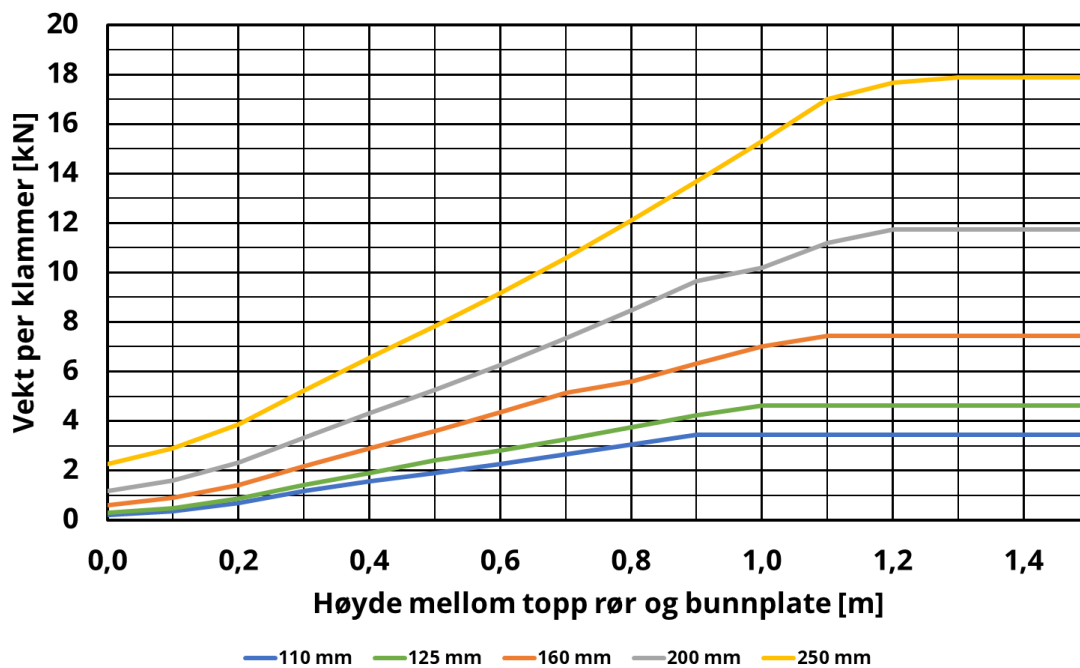
Lettklinker mellom rør og bunnplate:

PVC SN 8 rør i lettklinker



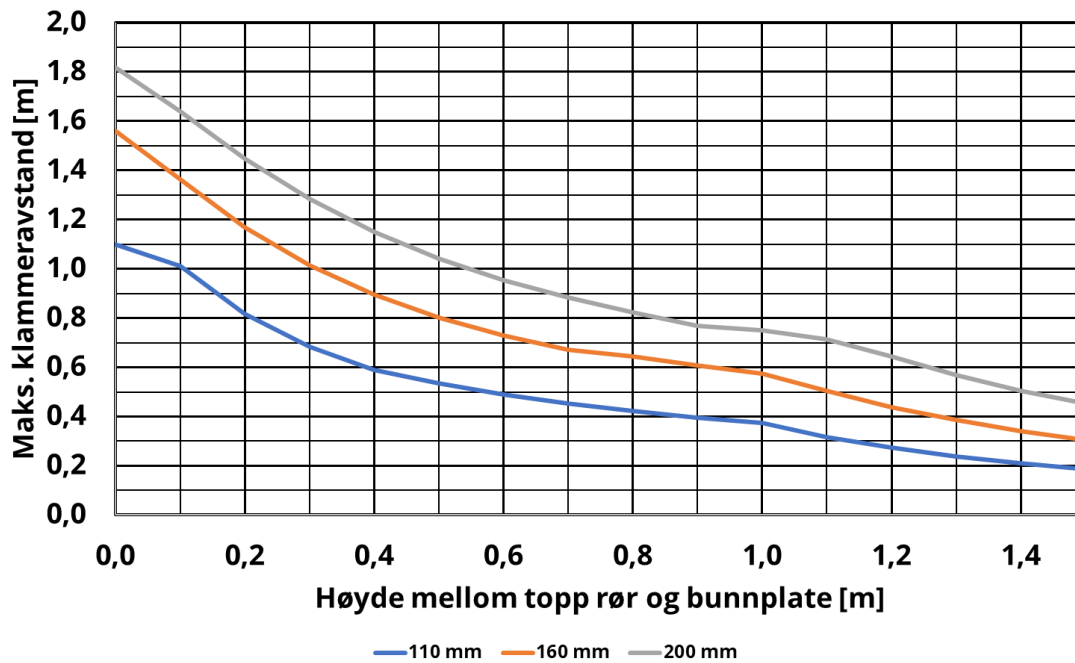
Maksimum klammeravstand i forhold til overdekning for PVC SN 8 avløpsrør i lettklinker

PVC SN 8 rør i lettklinker



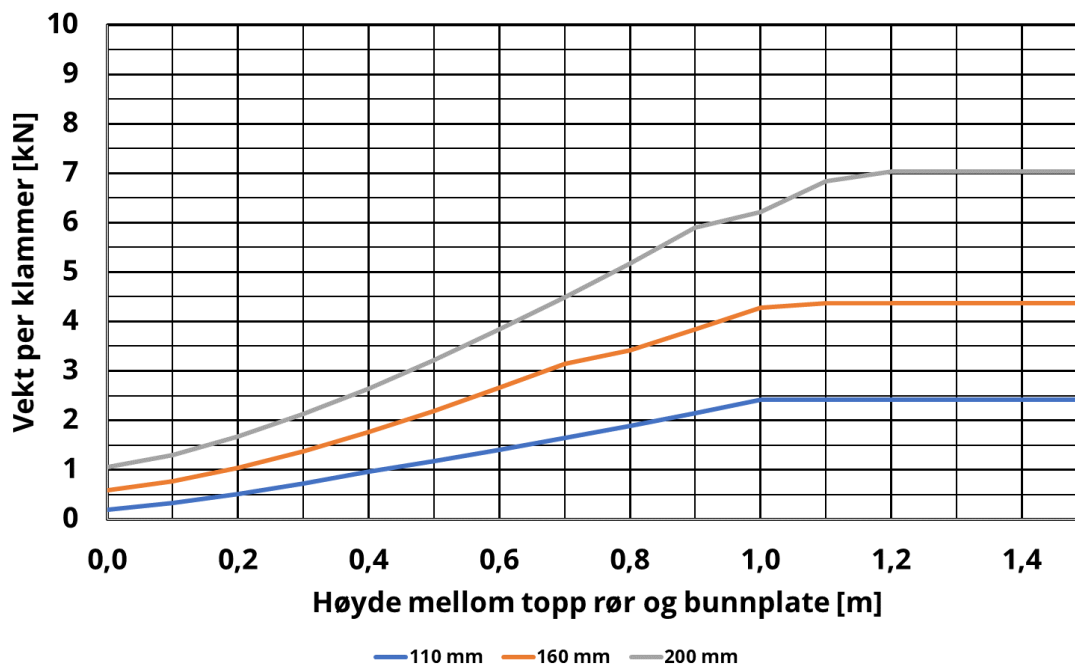
Vekt per klammer i forhold til overdekning og klammeravstand fra diagrammet foran for PVC SN 8 avløpsrør i lettklinker

PP SN 8 rør i lettklinker



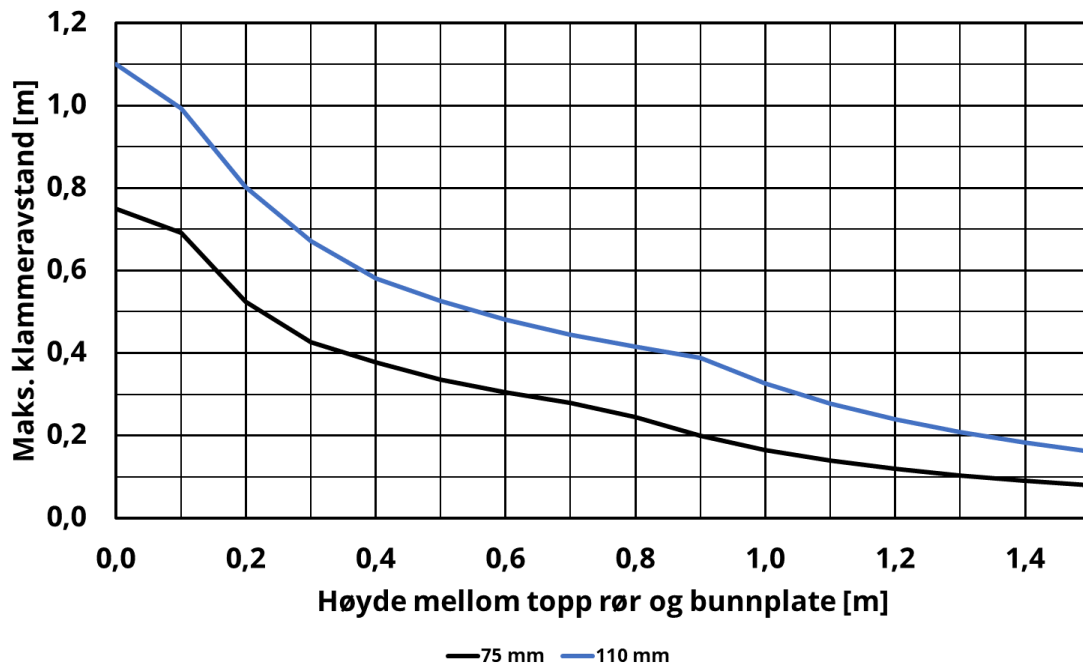
Maksimum klammeravstand i forhold til overdekning for PP SN 8 avløpsrør i lettklinker

PP SN 8 rør i lettklinker



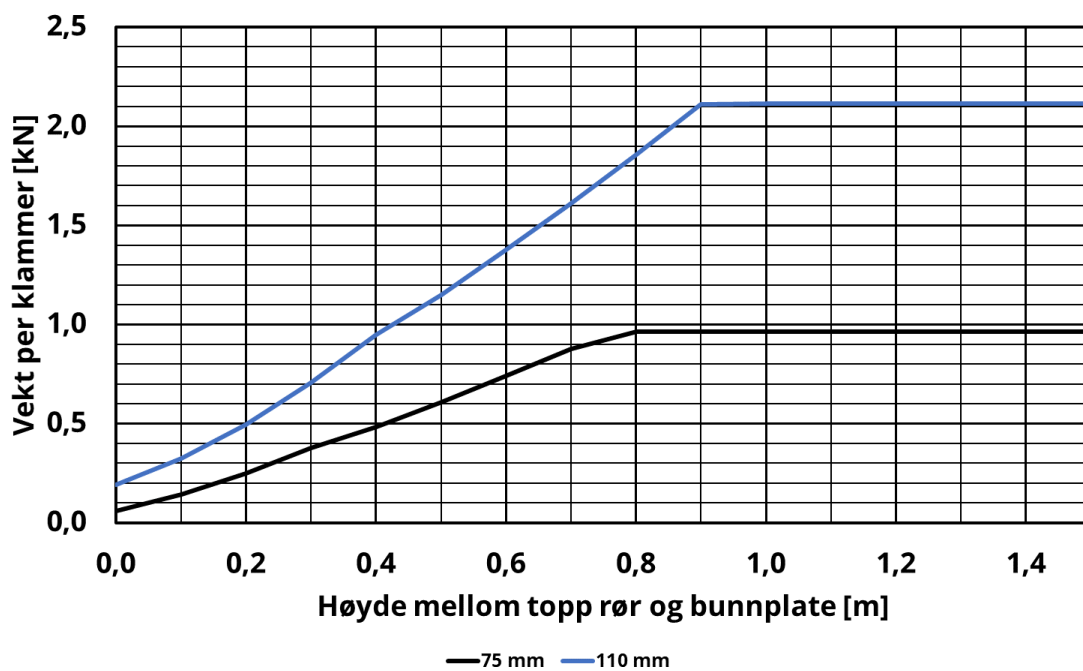
Vekt per klammer i forhold til overdekning og klammeravstand fra diagrammet foran for PP SN 8 avløpsrør i lettklinker

Smartline rør i lettklinker



Maksimum klammeravstand i forhold til overdekning for Smartline avløpsrør i lettklinker

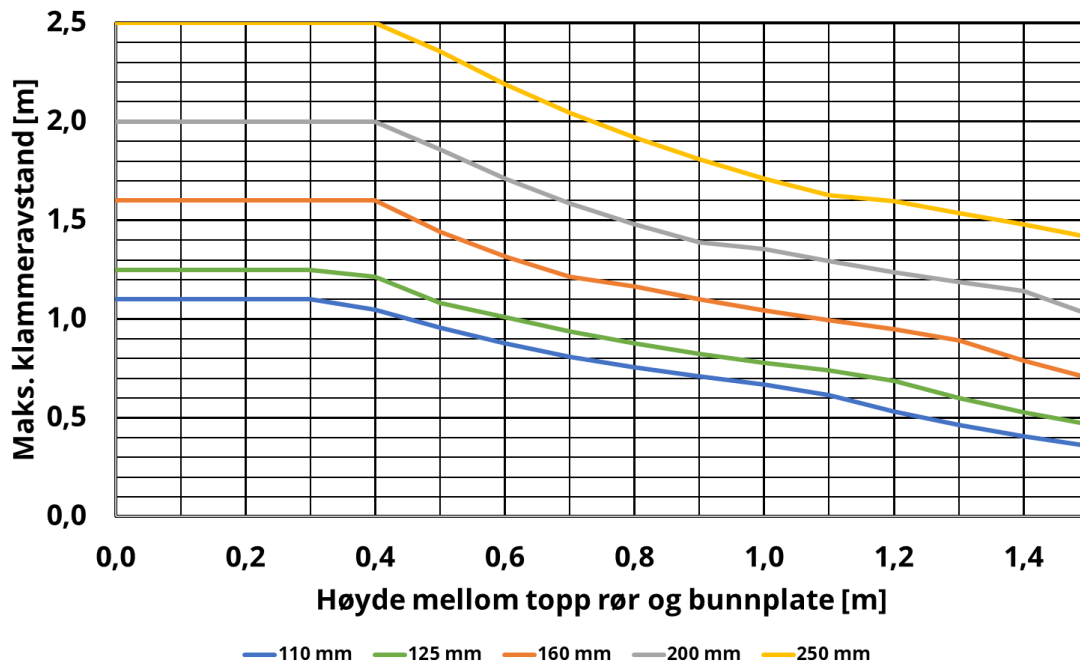
Smartline rør i lettklinker



Vekt per klammer i forhold til overdekning og klammeravstand fra diagrammet foran for Smartline avløpsrør i lettklinker

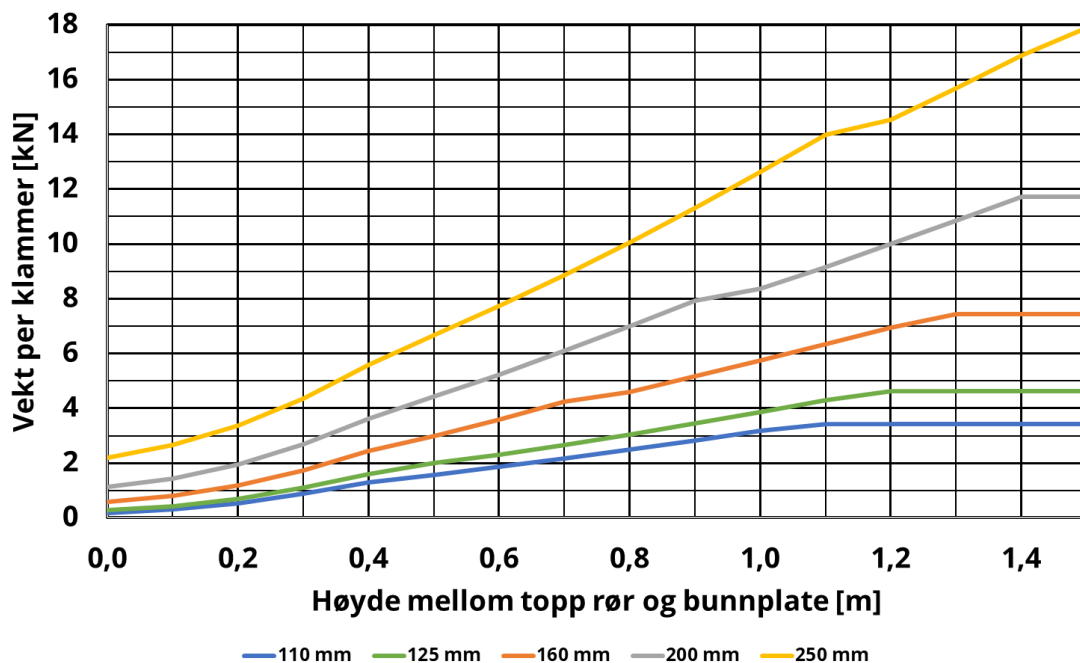
Skumglass mellom rør og bunnplate:

PVC SN 8 rør i skumglass



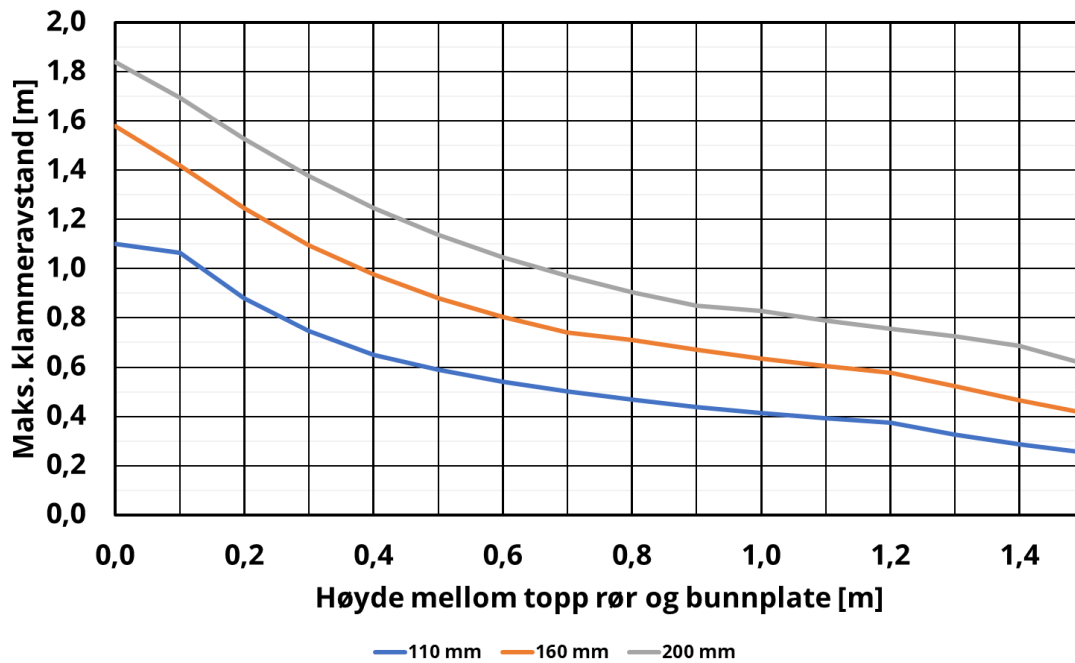
Maksimum klammeravstand i forhold til overdekning for PVC SN 8 avløpsrør i skumglass

PVC SN 8 rør i skumglass



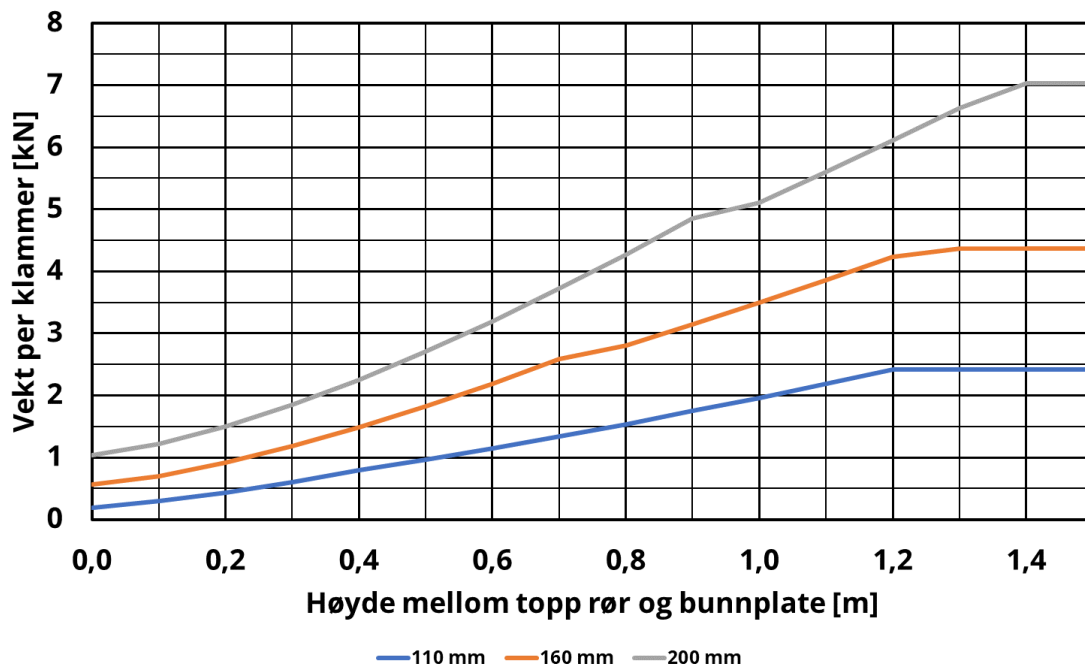
Vekt per klammer i forhold til overdekning og klammeravstand fra diagrammet foran for PVC SN 8 avløpsrør i skumglass

PP SN 8 rør i skumglass



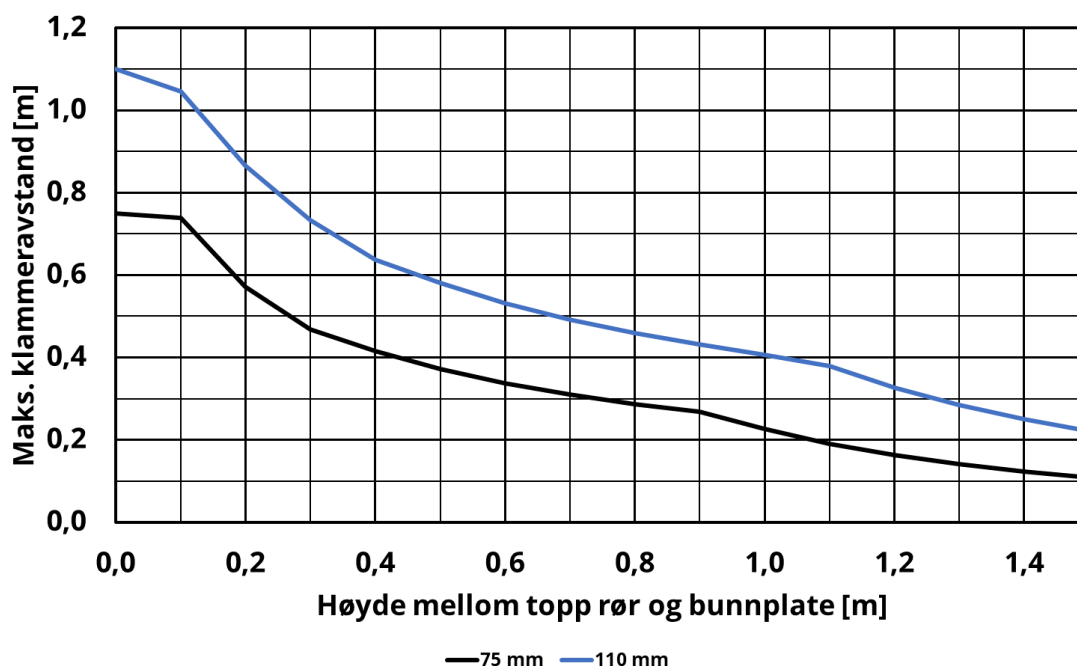
Maksimum klammeravstand i forhold til overdekning for PP SN 8 avløpsrør i skumglass

PP SN 8 rør i skumglass



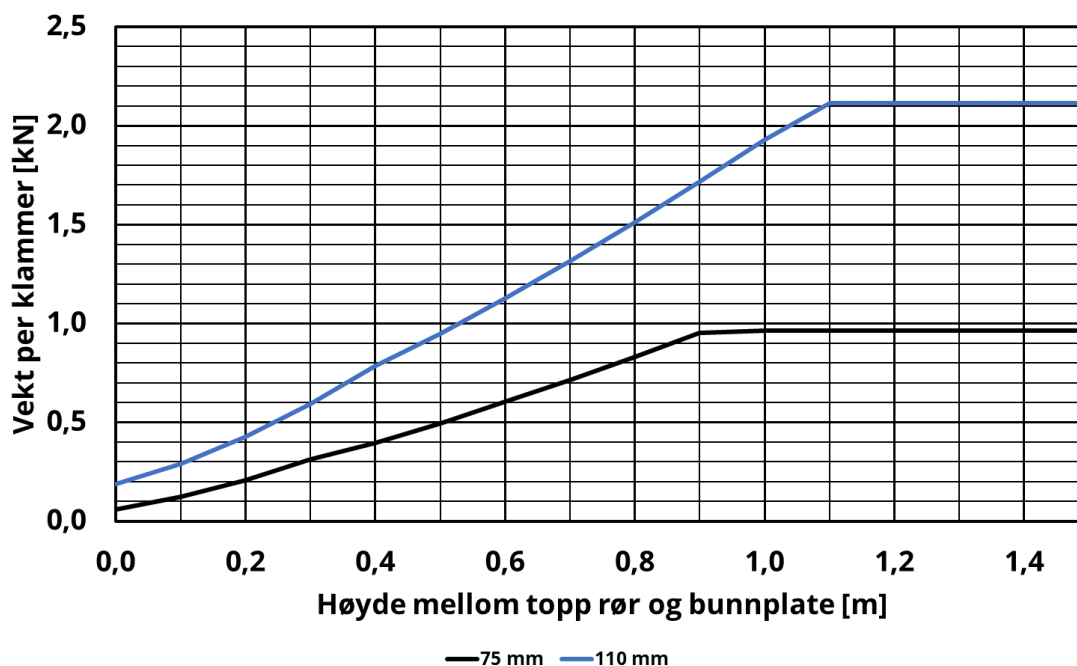
Vekt per klammer i forhold til overdekning og klammeravstand fra diagrammet foran for PP SN 8 avløpsrør i skumglass

Smartline rør i skumglass



Maksimum klammeravstand i forhold til overdekning for Smartline avløpsrør i skumglass

Smartline rør i skumglass



Vekt per klammer i forhold til overdekning og klammeravstand fra diagrammet foran for Smartline avløpsrør i skumglass

Senking av sjøledninger

Polyetylen, PE, er omtrent enerådende som rørmateriale i sjøledninger for vann og spillvann – som overføringsledninger, inntaksledninger og utslippsledninger. PE er i seg selv lettere enn vann. I tillegg kan det oppstå lommer med luft eller annen gass som bidrar til å løfte sjøledningen fra sjøbunnen. Derfor må rørledninger belastes med vekter som holder dem nede.

Se også kapittelet om beregninger i forbindelse med senking av sjøledninger og kapittelet om beregning av loddbelastning.

Generelt om sjøledningsprosjekter

Graden av vektbelastning varierer med graden av luftfylling – som vil være større i spillvannsledninger med lang oppholdstid enn i overføringsledninger for vann. I områder der ledninger aldri får lov til å flyte opp, for eksempel i et havnebasseng, så kan de bli vektbelastet for mer enn 100 % luftfylling. Det betyr at ledningen enten må ha oppdriftslegemer før og under senking eller at vekt påføres etter senking ved å ettermontere ekstra belastningslodd eller legge betongmadrasser over ledningen.

Den vektbelastede sjøledningen senkes kontrollert ved å fylle den med vann og evakuere luften. Ved å justere utstrømmingen av luft med en ventil og en kompressor eller ved å justere innpumpingen av vann, kan senkehastigheten justeres. I tillegg holdes bøyeradiene så store at røret ikke kollapser ved å trekke i rørenden på overflaten med en viss kraft. Belastninger på røret må holdes så lave at de ikke fører til rørbrudd.

Senkefasen er kritisk og forbundet med flere faremomenter underveis. Derfor er det viktig at senkingen er godt planlagt, at alt utstyr er i god stand og at alle som deltar tar sine forholdsregler når det gjelder sikkerhet. Det skal utarbeides en senkeprosedyre som sikrer at senkingen skjer kontrollert.

Men, før vi kommer så langt, så er det mye som skal kartlegges og klarlegges. Mange har kanskje inntrykk av at det er enklere å installere en sjøledning enn å grave ei grøft på land. Det er det definitivt ikke! Derfor bør man være enda mer opptatt av at de som gjør jobben har mye erfaring og godt utstyr – foruten nødvendige sertifikater for de ulike arbeidsoperasjonene som krever det. Det gjelder ikke bare den utførende, men også konsulent, byggherrerepresentant og andre involverte. Planleggingsfasen og god briefing av mannskapene er svært viktig.

Noen momenter som er spesielt viktige for sjøledninger:

- Nøye kartlegging av sjøbunnen er nødvendig
- Kartlegg også strøm- og bølgeførhold
- Er det andre installasjoner i sjøen eller på bunnen – for eksempel miner, strøm- og signalkabler, verneverdige vrak og så videre?
- Kartlegg forhold i forbindelse med oppdrettsanlegg, fiske og ankring

- Respekter strenge krav ved dykkeroperasjoner på dypt vann
- Det må foreligge en omfattende senkeprosedyre (senkeinstruks) som ivaretar alle forhold – også alle uønskede ting som kan skje underveis.
- Unngå ulykker!

Senkeprosedyre

Senkeprosedyre, også kalt senkeinstruks, er et omfattende dokument som skal utarbeides i forkant. Den skal inneholde svært mye informasjon som gjelder alle forhold i tilknytning til hele prosessen.

Eksempel på innhold i en senkeprosedyre:

- En innledende informasjon om prosjektet (Hva er oppgaven?)
- En oversikt over mannskap med sertifikater og dokumentert erfaring
- Krav til organisering og briefing
- En oversikt over utstyr med relevante kapasiteter
- En oversikt over lager-, kai-, rigg- og sveiseområde
- Noen ord om værforhold, bølgeforshold og strømmer i sjøen
- Krav til varsling
- En beskrivelse av forberedende arbeider før og på senkedagen
- En beskrivelse av senkeprosessen
- En oversikt over alle beregnede parametere
- Nødprosedyrer ved uønskede hendelser
- Krav til dokumentasjon

I tillegg bør entreprenøren utarbeide detaljerte arbeidsinstrukser for hver enkelt person.

Den kritiske startfasen

Hvis man begynner å ta inn vann i et rør uten et innvendig starttrykk vil vannet fosse ukontrollert inn i røret inntil balansetrykket gradvis etableres – forutsatt at den andre rørenden har blindflens med stengt ventil. Da kan en relativt lang lengde bli vannfylt ganske fort fordi luften komprimeres mye. En slik ukontrollert senking kan bli skjebnesvanger – spesielt for rør i store dimensjoner med høye SDR-verdier som er tungt belastet (dimensjonert for høy luftfyllingsgrad).

For å kunne starte kontrollert kan rørledningen påføres et ladetrykk tilsvarende trykket på den dybden selve senkingen starter. Skal for eksempel ledningen kobles til en flenseskjøt ved et inntak på 5 meter dybde, monteres en blindflens på sjøledningen først. Ladetrykket motsvarende ønsket dybde etableres via blindflensen på den andre enden med en kompressor. Rørenden som skal kobles på flensen senkes med makt til ønsket dybde og blindflensen tas av når trykket i røret tilsvarer trykket utenfor røret. Da er det likevektstilstand og blindflensen demonteres lett – uten kraftpåvirkning fra ulike trykk på inn- og utsiden. Man fortsetter senkingen ved å slippe luft kontrollert ut av røret via ventilen inntil røret er på plass og kan kobles til flensen på inntaket før senkeprosessen fortsetter.

En annen måte er å løfte ledningen opp på en flåte med en avstand fra rørenden som ikke gir store bøyeradier. Flåten må ha tilstrekkelig oppdrift til å kunne holde rørledningen over vannflaten. Da vil ledningen synke og vannet vil strømme inn til nivået i røret er det samme som utenfor røret. Ledningen kobles til flensen på bunnen og ladetrykket tilsvarende balansetrykket etableres før røret løftes av flåten og senkingen fortsetter kontrollert.

Senkefasen

Når startfasen er over er det viktigste at prosessen forløper jevnt og stabilt. Senkehastigheten kontrolleres jevnlig sammen med andre viktige og målbare parametere. Alle må være på sine stasjoner og være klare til å iverksette nødprosedyrer.

Skulle det oppstå en uventet stans på grunn av tilstopping eller lignende, så er det viktig å tilføre lufttrykk fra kompressor for å holde røret i bevegelse.

Den kritiske sluttfasen

Den mest kritiske fasen er når bøyen ved overflaten når enden på røret og røret slår rundt og blir stående i en J-form i vannet. Da er det viktig å opprettholde strekkraften i rørenden slik at røret ikke reiser seg og slår bakover i det den siste rest av luft forlater ledningen. Denne strekkraften opprettholdes helt til røret er nesten på bunnen. Så avlastes strekkraften forsiktig til røret lander og ligger i ro på sjøbunnen.

På dykkerdybder kan blindflens, ventil og slanger demonteres etter at ledningen er senket. På større dyp må utstyr fjernes og endearrangementer kobles på før ledningen senkes til bunnen. Dette er en adskillig mer komplisert operasjon som krever mye av entreprenøren.

I: Skjøting av rør

Det sies gjerne at skjøten er det svakeste leddet. Men levetiden på skjøten bør være den samme som for rørledningen for øvrig. Det er i hovedsak to forhold som sikrer varig god funksjon av en skjøt: Robuste produkter og riktig montering. Kravene til materialer og tetthet er ivaretatt i produktstandarder og gjennom sertifisering. Når det gjelder montering, så hjelper det å ha fått skikkelig opplæring og å kunne lese og forstå monteringsanvisninger. Noen metoder krever egen opplæring og sertifisering – for eksempel når det gjelder sveising av PE-rør.

Kapping av rør

En av de store fordelene med de aller fleste plastrørsystemene er at rørene enkelt kan kappes til riktig lengde og skjøtes. Dermed er det enkelt å plassere rørdeler og kummer der det er mest hensiktsmessig. Et riktig utført kapp er en forutsetning for rørledningens tetthet, kvalitet og levetid.

Bruk verneutstyr!

HMS først!: Gjør deg godt kjent med kappeutstyret, vær forsiktig, bruk egnet verneutstyr og sørg for at andre holder avstand.

Få avfallet inn i avfallsstrømmen

Ved all mekanisk bearbeiding av plastrørprodukter – kapping, fasing, boring osv. – må spon og avkapp samles opp og fjernes. Utendørs kan du gjerne legge en presenning under for enkel oppsamling. Vi må ikke bidra til mer mikroplast i naturen!

Kapp vinkelrett

Kapp i rett vinkel (90°). Dette er et absolutt krav for elektromuffeskjøter og en stor fordel ved speilsveising. Pene kapp etterlater et godt inntrykk uansett og er noe alle har tid til å gjøre. Gjærekasse er fortsatt en fin ting å bruke (hvis du fremdeles har). Eller du kan slå et papirark eller et bredt bånd av et uelastisk materiale rundt røret slik at endene møtes og merke langs kanten med en tusj – hvit tusj på svarte rør.

Bruk egnet kappeutstyr

Bruk utstyr som er egnet, for eksempel fintanna sag, fres eller annet sponbearbeidende utstyr. Utstyr som er basert på sliping og som gir høy friksjon, for eksempel vinkelsliper, skal ikke brukes. Friksjon kan gi svært høy temperatur som kan medføre nedbryting av rørmaterialet, som kan gi avgasser og som gjør at rørmaterialet utvider seg og klemmer fast kappeutstyret. Litt varmgang som gjør at røret klemmer fast kappeutstyret er uansett en utfordring og man bør bruke godt utstyr, bruke god tid og kanskje vann til avkjøling.

For tykkvegga PE-rør er det vanlig å bruke motorsag. Da må saga være helt ren og tom for kjedeolje.

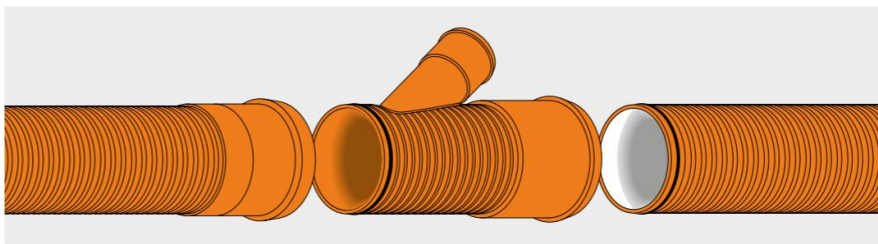
Og når du kapper må du sørge for at rørendene ligger an mot et underlag slik at røret ikke brekker når kappet er nesten fullført.

Fasing av spissende for muffeskjøt

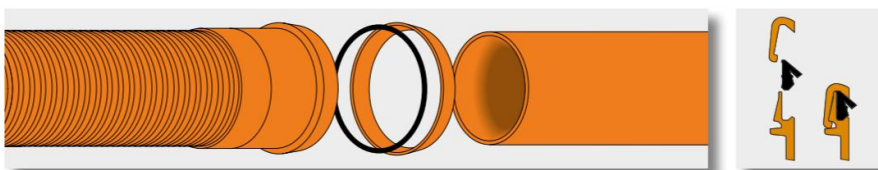
Kappa spissender som monteres sammen med rør, rørdeler eller kummer med tetningsring i mufte skal fases. En god fas skader ikke tetningsringen, reduserer monteringskraften og reduserer risikoen for innskyving av tetningsringen. Det finnes mange slags verktøy for fasing – spesielt for mindre rørdimensjoner. Men en god og ikke altfor grov rasp gjør også jobben.

Muffeskjøt med tetningsring

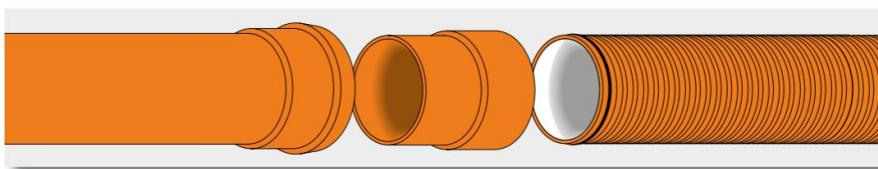
Mange ulike rørsystemer er basert på en muffeskjøt med et tetningselement. Dette er som regel ikke strekkfaste skjøter. Tetningselementet består av vulkanisert gummi eller termoplastisk elastomer som skal testes i henhold til og oppfylle materialkrav i standarden NS-EN 681-1 eller -2. Funksjonskrav er ivaretatt i den enkelte produktstandard for rørsystemene. De fleste glattvegga rørsystem i det norske markedet leveres i dag med fastsittende tetningsring i muffa. Dette har bakgrunn i at det før oppsto relativt mange lekkasjer som skyldtes at løse tetningsringer skled ut av posisjon før eller under montering. Men fortsatt er tetningsringen på spissenden av utvendig korrugerte rør løs – og krever mer oppmerksomhet under montering.



Pragma mufte-ende • Pragma rørdel • Pragma spissende
 Kontroller og rengjør mufte, gummiring og spissende. Påfør glidemiddel på innsiden av muffen. Skjøt sammen rørene for hånd eller med hjelpemiddel.



Pragma mufte-ende • klikkring inkl. tetningsring • spissende glatt rør/glatt rørdel
 Mufte og spissende rengjøres. Tetningsringen plasseres først i muffens ringspor, deretter trykkes klikkringen på plass. Påfør spissende glidemiddel. Skjøt sammen rørene for hånd eller med hjelpemiddel.



Mufte-ende glatt rør/glatt rørdel • overgangsdeler • Pragma spissende
 Ved overgang fra Pragma® spissende til mufte for glatte rør, skal overgangsdeler benyttes. Påfør glidemiddel på overgangsdelerens spissende og mufte-ende.

Monteringsanvisning for Pragma skjøter

Generelt gjelder at muffe og spissende alltid skal kontrolleres og gjøres rene før det påføres egnet smøremiddel. Sitter tetningsringen fast, så kan denne også smøres. Løse tetningsringer bør ikke smøres – smøremiddel kan trenge inn under ringen og redusere friksjonen slik at den glir ut av posisjon under montering. Sjekk at innstikksmerket stemmer eller sett et merke slik at du har kontroll på innstikkslengden. Glattvegga rør skal ha 10 mm ekspansjonsgap i bunnen av muffa, noe som er spesielt viktig under montering ved lavere temperatur enn driftstemperaturen. Rør med utvendige korrugeringer trenger ikke ekspansjonsgap fordi røret er låst i massene i grøfta.

Smartline innomhus avløpsrørsystem av PP skjøtes med en nippel med et fastsittende tetningselement. Stort sett gjelder samme prosedyre som for muffeør, men her må røret avgrades innvendig.

Sveising av plastrør

Det finnes mange metoder for å sveise plast. Alle metodene går ut på å bruke temperatur opp til smeltepunktet for å smelte sammen to flater av samme materialtype. De mest aktuelle sveisemetodene ute i felt, elektromuffesveising og speilsveising, er nærmere omtalt under. De andre metodene, som i større eller mindre grad brukes ved produsentenes produksjonssteder og svært sjelden ute i felt, er ikke nærmere omtalt. Det kan for eksempel være ekstrudersveising, trådsveising, muffesveising og rotasjonssveising/friksjonssveising – som også kan være kjente under andre betegnelser.

Sveisestandardene

NS 416-1:2008

Operatører for sveising av rør og rørdeler av polyetylen (PE) og polypropylen (PP)

Del 1: Sertifisering

Del 1 stiller krav til sveiseoperatøren, sertifiseringsorganet, opplæringscenteret, eksaminator og til kvalifiserende eksaminering med teoretisk og praktisk prøve. I tillegg er det bestemmelser for resertifisering samt suspensjon og tilbaketrekking av sertifiseringen. Sertifikat kan utstedes for speilsveising og elektromuffesveising for sveising av rørsystemer for vann og avløp samt for sveising av gassrørledninger.

NS 416-2:2008

Operatører for sveising av rør og rørdeler av polyetylen (PE) og polypropylen (PP)

Del 2: Opplæringsplan

Del 2 stiller krav til opplæringen – også med et tillegg for sveising av gassrørledninger. I informative tillegg er det gitt opplysninger om sveiseprosedyrer, sveiselogg og visuell kontroll – med henvisninger til den tilbaketrunkne DS/INF 70 som er erstattet av NS-INSTA 2072.

DS/INF 70-1, -2, -3, -4, -5, -6 og -7:1992 (Tilbaketrukket)

Plastic pipes - Butt fusion of polyolefine pipe systems

Del 1: Information, scope and definitions

Del 2: Fusion methodology

Del 3: Visual inspection

Del 4: Marking and documentation

Del 5: Test methods

Del 6: Inspection of fusion equipment

Del 7: Testing of procedure

Denne utførelsesstandarden gjaldt for speilsveising av polyetylen (PE) og polypropylen (PP) rør og deler og er erstattet av NS-INSTA 2072, del for del. Det henvises fortsatt til DS/INF 70 i eldre standarder og normer. Pipelife anbefaler at NS-INSTA 2072 brukes.

NS-INSTA 2072-1, -2, -3, -4, -5, -6 og -7:2021

Plastrør — Speilsveising

Del 1: Definisjoner og omfang

Del 2: Sveisemetode

Del 3: Visuell inspeksjon

Del 4: Merking — Dokumentasjon

Del 5: Definisjon av holdbarheten til sveiseskjøter — Destruktive testmetoder

Del 6: Kalibrering av sveiseutstyr

Del 7: Test av prosedyre

Denne utførelsesstandarden gjelder for speilsveising av polyetylen (PE) rør og deler og er i stor grad en oppdatering av den gamle DS/INF 70. I tillegg har den status som internordisk standard (INSTA) og er formelt sett gyldig for alle nordiske land.

NB:

Merk at det firesifrede tallet etter kolon er årstallet denne utgaven av standarden er gyldig fra. Ved en generell henvisning til standarden bør ikke årstallsreferansen angis. Da er det siste gjeldende utgave som gjelder. Ved henvisning til konkrete punkter i standardene må årstallet angis fordi innholdet kan få ny plassering eller bli fjernet etter revisjon av standardene.

Elektromuffeskjøt

Denne metoden er vanlig for rørsystemer av PE. Sveising med elektromuffer krever kunnskap om hvordan man lager en god skjøt. Metoden oppfattes som svært enkel, men det er den ikke. Det er fort gjort å gjøre en liten feil som kan få fatale konsekvenser. Derfor er det best at sveiseren har gjennomgått grundig opplæring og er sertifisert, slik Pipelife anbefaler.

Elektromuffesveising egner seg best for de små dimensjonene, på mindre anlegg med få skjøter, der få skjøter kan utføres om gangen eller der det er trangt.

I ei elektromuffe er det kalde og varme soner. I de varme sonene ligger det tett med varmetråder som kobles til en sveisetrafo med automatikk som styrer sveise- og kjøletid og som kontrollerer varmetrådets funksjon. Sveiseprosessen foregår ved at materialet varmes opp, utvider seg og materialene i rørdel og på rør smelter sammen. De kalde sonene holder smelten på plass slik at det opparbeides sveisetrykk i sveisesonen.

Kompleksiteten øker med dimensjonen. I dag kan du få svært store elektromufferørddeler som krever at ting blir gjort nøyaktig slik det er beskrevet av produsenten. Løsningene og prosedyrene varierer fra konsept til konsept. Da gjelder det at alt er gjort riktig! Ett råd gjelder over alle andre: Les den aktuelle produsenten sin monteringsanvisning/sveiseprosedyre nøye – og følg den!

NB! Bruk spesialverktøy som leverandør av rørdelen anbefaler eller krever.

Elektromufferørddeler er som regel sprøyttestøpte og trill runde, mens rør blir ekstruderte og er mer eller mindre ovale – og disse lar seg av og til ikke montere sammen. Løsningen er å gjøre rørene runde med makt – og holde de så runde at krav til spalteåpning mellom rør og muffe oppfylles. Det finnes egne verktøy, «re-rounding tool», for dette i handelen. Men det går an å lage enkle verktøy selv også.

Tørk først rør og rørdel tørre med en fille. Ikke tørk med åpen flamme. Dette kan skade rør/rørdel og det kan gi en dårlig sveis. Tørring med åpen flamme etter skraping må absolutt ikke skje.

Vask deretter rør/rørdel med engangsservietter med sprit eller med en fettfri rensevæske og en lofri klut. Vi anbefaler isopropanol eller tilsvarende rensevæske. Rødsprit, white spirit eller aceton må IKKE brukes.

Det oksiderte sjiktet i sveisesonen utvendig på rør/rørdel må fjernes rett før sveising. Skrap den delen av røret/rørdelen som skal sveises med en roterende skrape som er konstruert for dette. Sørg for at det fjernes minimum 0,2 mm av yttersjiktet på rør/rørdel. Merk halve elektromuffens lengde på røret og skrap minimum 10 mm lenger enn dette slik at man etter sveising kan se at det er skrapet. Etter skraping merkes halve muffelengden på nytt med en hvis tusj på enden(e) som skal sveises sammen – for å sikre at man får stukket rør/rørdel inn til stoppkanten i elektromuffen.

Spenn opp rør/rørdel og elektromuffe og følg produsentens sveiseprosedyre for den aktuelle elektromufferørddelen.

Elektromuffesveising ved lave temperaturer

Det er viktig at rørproduktene og elektrosvemaskinen har samme temperatur før man begynner. Maskinen måler omgivelsestemperaturen og regulerer sveiseparameterne, sveise- og kjøletid, i forhold til denne. Tar man for eksempel maskinen fra et varmt rom eller en varm bil må man vente til maskinen har samme temperatur som omgivelsene og rørproduktene.

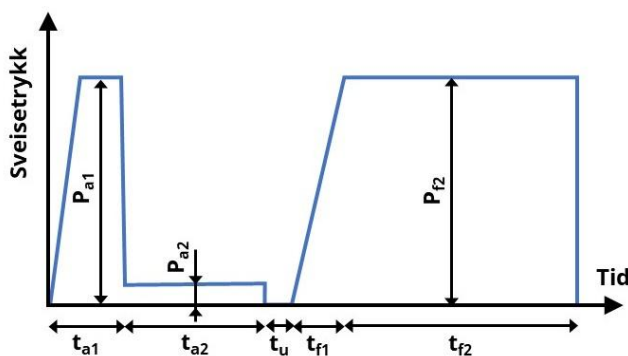
Maskinene er som regel programmerte for en minimumstemperatur og denne kan variere mellom -5°C og -15°C. Sjekk dette FØR du sveiser.

Speilsveis

Speilsveising, også kalt buttsveising, er den mest vanlige skjøtemetoden for rørsystemer av PE. Det at man må bruke en speilsveisemaskin som «inneholder» alt nødvendig utstyr for å kunne utføre en god sveis, gjør at det er svært få feil som skjer. I Norge har vi gode og godt regulerte utdanningsmuligheter som sammen med sertifiseringsordningen sikrer personell med svært god kompetanse. Gyldige sertifikater utstedt av NEMKO eller tilsvarende og kalibrerte sveisemaskiner bør alltid være et krav. Sveisestandarden, som beskriver det som skal til for å sveise riktig, er NS-INSTA 2072.

Speilsveising egner seg best der mange skjøter kan gjøres kontinuerlig. Jo større dimensjon – jo mer aktuell er denne metoden.

Først høvles de to rørendene som skal sveises sammen. Da fjernes det oksiderte belegget og flatene blir plane og helt parallelle. Selve sveiseprosessen er fremstilt i figuren under. Ved riktig utført sveis er skjøten så sterk at den ikke gir sprøbrudd i en destruktiv strekktest.



Diagrammet viser en typisk sveiseprosedyre

Sveiseparametere i henhold til figuren foran:

- t_{a1} : Tid for å opparbeide sveisevulst mot sveisespeilet
- P_{a1} : Sveisetrykk i smeltefasen
- t_{a2} : Oppvarmingstid uten nevneverdig sveisetrykk
- P_{a2} : Trykk for å opprettholde kontakt mot sveisespeilet
- t_u : Maksimal omstillingstid – frigjøre og ta ut sveisespeilet og føre rørendene sammen
- t_{f1} : Tid for å oppnå sveisetrykk
- t_{f2} : Kjøletid med sveisetrykk
- P_{f2} : Sveisetrykk i kjøletiden

Sveiseparameterne varierer med dimensjon og veggtykkelse og beregnes ut fra reglene i sveisestandarden NS-INSTA 2072-2 – som regel av sveiseren selv eller rørleverandøren.

Smeltet materiale vil tyte ut og danne sveisevulster inn- og utvendig. Noen ganger er det nødvendig å fjerne inn- eller utvendige vulster. Dette bør helst gjøres under kjøletiden mens vulsten ennå er passe varm og myk. Kald vulst må slipes eller freses ned og ikke slås vekk.

Speilsveising ved lave temperaturer

Minimumstemperaturen for speilsveising er normalt -10°C av rent praktiske årsaker. Rent sveiseteknisk er det mulig å sveise ved lavere temperaturer fordi tiden for oppbygging av forvarmingsvulst ikke er definert i NS-INSTA 2072. Denne tiden vil øke jo lavere temperaturen er – og sveisesonen vil få tilstrekkelig energi tilført, og sveisetemperaturen blir riktig.

Å sveise i et oppvarmet telt eller kontainer er behagelig, men det tar lang tid før rørendene har «romtemperatur». Et tak/skjul er nødvendig hvis det er nedbør – snø/vann må ikke komme inn i sveisesonen.

Flenseskjøt

Mot armatur og pumper i ledningsnett og mot endearrangementer på utslipps- og inntaksledninger i sjø er det ofte flenseforbindelser – og av og til mellom to lange rørlengder. I Norge befinner armatur og pumper seg vanligvis i store kummer. Den store fordelen med dette er at det er relativt enkelt å demontere en flenseforbindelse og flytte på det innmonterte utstyret. I en kum vil du også ha god kontroll på om forbindelsen er og forblir tett. Det er ikke forbudt å grave ned flenseforbindelser, men vi anbefaler å redusere bruken av denne skjøtemetoden i grøft mest mulig.

I dette avsnittet tar vi hovedsakelig for oss flenseskjøter i forbindelse med PE-rør. For mufferør av PVC benyttes normalt flensespiss, flensemuffe eller spareflens av metall for å koble rørledningen til flensedeler.

Flensemateriell av metall må være i en egnet korrosjonsklasse i forhold til miljøet. Varmgalvaniserte eller plastbelagte løsfleuser er mest brukt på land og i vann eller sjø. For spesielt korrosjonsutsatte miljøer kan en kombinasjon av varmgalvanisert stål og en offeranode av sink, aluminium eller magnesium ofte være en bedre og rimeligere løsning enn rustfritt eller syrefast stål.

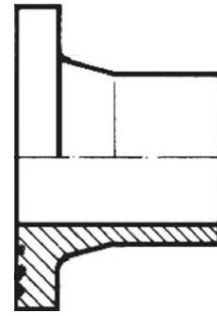
Vanlig PE-krage



PE-krage med lang ende for elektromuffesveis og speilsveis



PE-krage med kort ende for speilsveis



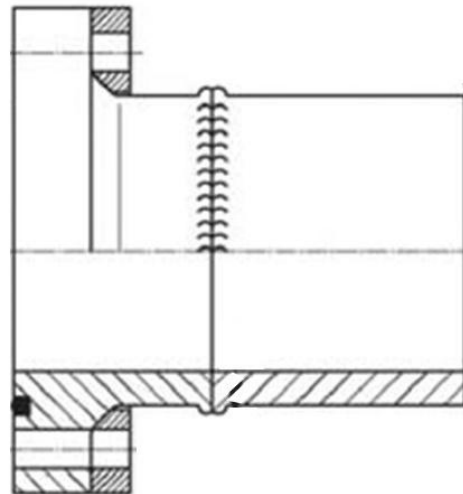
Prinsippskisse av PE-krage

PE-krager leveres enten med kort ende for speilsveis, med lang ende for elektromuffesveis eller med lang rørende ($L_{tot} = 1,05 \text{ m}$) for sveising utenfor kum. Flenser leveres separat. Det brukes flenser med lysåpning tilpasset kragens utforming slik at anleggsflaten mot PE-kragen er størst mulig.

Reduksjonskrage med flens



Reduksjonskrage med flens



Prinsippskisse av reduksjonskrage med flens

I en reduksjonskrage har flensen mindre dimensjon enn flensen for vanlige krager. Boltehullene går gjennom selve kragen og kan dermed kobles mot et utstyr med redusert flensemål. For eksempel vil en normal flenseskjøt for 200 mm rør ha DN 200 flens, mens reduksjonskrage for 200 mm rør vil ha DN 150 flens:

Rørdimensjon [mm]	DN flens reduksjonskrage []
140	100
200	150
250	200
315	250
355	300
400	350
450, 500	400
560, 630	500
710	600
800	700
900	800

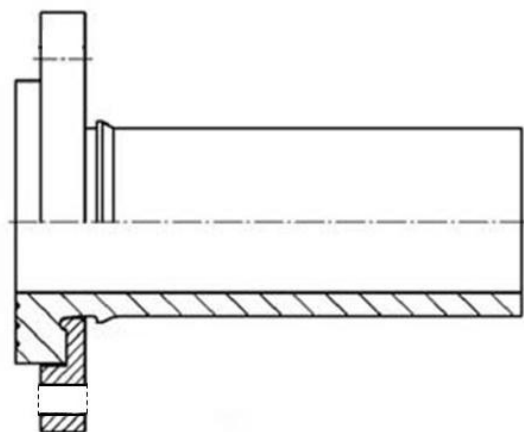
Flensen for reduksjonskragen vil være fiksert til røret og kan ikke vris – hele kragen/røret må vris for å få boltehullene i rett posisjon. Ved elektromuffesveising er det derfor en fordel å koble flensene sammen før sveising. Men da må man passe på at spissene på rør/rørdele er stukket inn til stoppkanten i elektromuffen når det sveises. Reduksjonskrage leveres også med lang rørende ($L_{tot} = 1,05 \text{ m}$).

Reduksjonskrager brukes normalt ikke ved skjøting av rør. Reduksjonskragen leveres med en o-ringstetning som ligger i et spor i kragens anleggsflate. Reduksjonskrager kan derfor ikke monteres mot hverandre, eller mot andre krager med o-ringstetning, uten tiltak: O-ringen må ha en flate å tette mot. Enten kan vi levere en eller begge krager med flate anleggsflater – og da anbefales flat, armert flensepakning med o-ringstetning – eller så kan ei flat skive av en egnet metallkvalitet plasseres mellom de to kragene.

HP-krage med flens



HP-krage med flens



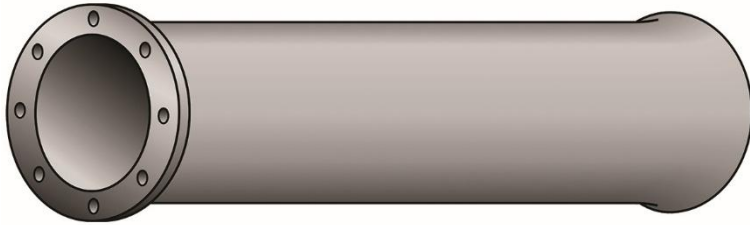
Prinsippskisse av HP-krage med flens

HP-krage (High Performance) brukes der kreftene er svært store. Den spesielle utformingen av kragen og flensen bidrar til et optimalt spenningsbilde i PE-materialet. Man bør spesielt vurdere

bruk av HP-krage der det er relativt lite kontaktareal mellom krage og flens – for eksempel for 630 mm rør med DN 600 flens. HP-krage leveres også med lang rørende ($L_{tot} = 1,05$ m).

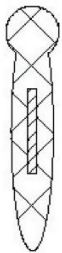
Vi anbefaler bruk av flate, armerte flensepakninger med o-ringstetning.

Styrerør



Styrerør benyttes en del der rørledningen går ut fra en kum i friluft eller ved dårlige grunnforhold – når rørledningen kan bevege seg. Et typisk bruksområde er i forbindelse med kummer på utslipps- og inntaksledninger i sjø. Styrerøret reduserer tverrlastene på røret. Styrerøret består av en flensedel med påsveist stålrør og tres på røret før en vanlig PE-krage sveises på røret. Styrerøret leveres normalt i galvanisert stål, men kan også leveres i andre stålkvaliteter.

Flensepakninger



Flensepakninger for PE bør kunne ta opp litt bevegelse – den bør være fleksibel. Den viskoelastiske oppførselen til PE gjør at materialet kan sige ved belastning. Vi anbefaler flensepakninger med stålarmering og med et separat tetningselement (O-ringstetning) som vist til venstre. Den stålarmede delen bidrar til kontrollert kompresjon av O-ringselementet som igjen bidrar til varig tette løsninger og lang levetid for flensepakningen. Denne typen pakninger er rett og slett lettere å få tett.

Montering av flenseforbindelser

En flensekobling påvirkes av ulike typer krefter. Disse kan i mange tilfeller være vanskelig å kvantifisere. Ulike typer krefter:

- Montasjekrefter
- Boltekrefter
- Friksjonskrefter
- Trykkrefter
- Temperaturkrefter
- Jordkrefter
- Tyngdekrefter

I tillegg har vi PE-kragens viskoelastiske oppførsel – det sier når «trykket» i PE-veggen blir høyt. Dette gjør det komplisert å oppgi et tiltrekkingsmoment i forbindelse med boltene som er riktig i alle situasjoner.

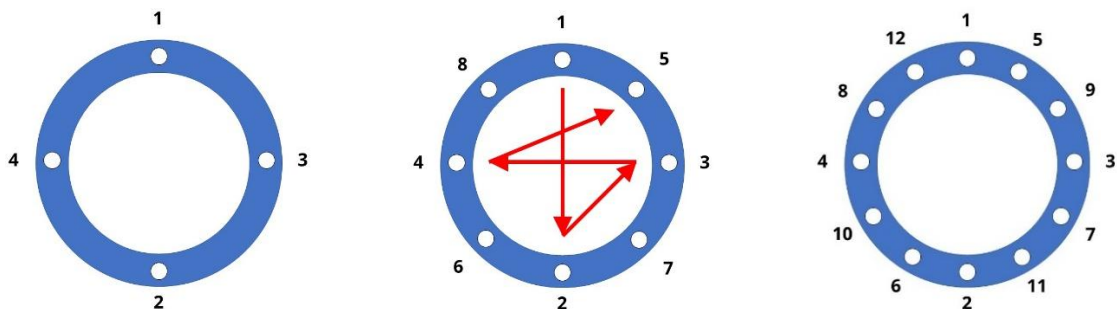
Når vi beregner teoretisk nødvendig moment i en flenseskjøt forsøker vi å ta hensyn til alle de kreftene som kan oppstå. Det vil likevel være store usikkerheter i hva som er nødvendig tiltrekkingsmoment for PE flenseskjøter og følgende faktorer kan påvirke dette:

- Friksjon i gjengene og mot skive. Vi forutsetter smurte varmgalvaniserte bolter, muttere og stoppskiver.
- Skjøteflatene på kragene er ikke planparallelle eller ikke i kontakt ved montering. Det vil si at flatene danner en vinkel med hverandre og/eller rørledningen må trekkes inntil full kontakt. Dette kan ved "riktig" moment i boltene gi for lite tetningskraft i pakningen.
- Rørledningen vil forsøke å bevege seg som følge av temperaturvariasjoner i rørveggen, tverrkontraksjon på grunn av innvendig trykk, setninger i grøfta osv. Dette kan i sum gi store strekkrefter i flenseforbindelsen.

PE-materialet siger ved stor belastning. Derfor må det ikke boltene strammes til for mye og tilstramming må skje i flere operasjoner over så lang tid som praktisk mulig. Start med 50-60 % av maksimum tiltrekkingsmoment ved første tiltrekking. En siste ettertrekking av boltene etter en ukes tid eller mer – og etter trykkprøving – er å foretrekke.

Kragen må plasseres parallelt mot og i full kontakt med motstående kontaktflate. Ikke bruk boltene til å trekke røret med krage på plass eller rette opp skjevheter. Det påfører store strekkrefter i PE-materialet. Der det er mulig bør man montere krage/flens før man sveiser sammen rør med kragen, dette gir normalt bedre kontroll på montering av flenseskjøt og moment.

Boltene trekkes til i diagonal rekkefølge. For eksempel som vist her:



Ved bruk av smøremidler må dette ikke være aggressivt mot materialene i bolt, rørmateriale og pakning.

Det finnes flere kilder som oppgir svært ulike tiltrekkingsmomenter avhengig av forutsetningene som er valgt. Vi advarer mot å bruke høye momenter. Høye tiltrekkingsmomenter kan gi uønsket sig i PE-materialet og kan gi for høy kompresjon av gummimaterialet i pakningen.

Verdiene i tabellen er veiledende og basert på teoretiske beregninger. Begynn lavt – og er det tett ved siste ettertrekking – etter relativt lang tid eller etter trykkprøving – så er det stramt nok.

Rørdimensjon [mm]	DN flens []	Maksimum tiltrekkingmoment ved bruk av flat stålmert flensepakning av gummi	
		SDR 17 [Nm]	SDR 11 [Nm]
110	100	10	16
125	100	10	16
140	125	14	24
160	150	20	35
180	150	22	35
200	200	35	60
225	200	36	60
250	250	37	60
280	250	38	60
315	300	50	80
355	350	40	60
400	400	70	120
450	450	70	120
500	500	90	145
560	600	135	220
600	600	135	220
630	600	135	220
710	700	150	260
800	800	200	380
900	900	230	410
1000	1000	310	550
1200	1200	450	
1400	1400	550	
1600	1600	750	

Veiledende maksimumsverdier for moment ved tiltrekking av smurte bolter i flenseforbindelser – vanlig PE-krage med flat, stålmert flensepakning med o-ring innerst

Reduksjonskrage Rørdimensjon [mm]	DN flens []	Tiltrekkingsmoment [Nm] Krage med enkel o-ring PN 10 / PN 16	* Tiltrekkingsmoment [Nm] Krage med armert profil- pakning inkl. o-ring PN 10 / PN 16
140	100	44	38
160, 180	125	61	50
200	150	72	66
250	200	114	63
315	250	91 / 109	75 / 90
355	300	98 / 146	86 / 123
400	350	147 / 175	118 / 158
450, 500	400	205 / 265	162 / 201
560, 630	500	206 / 371	163 / 275
710	600	268 / 562	210 / 404
800	700	312 / 361	240 / 274
900	800	427 / 501	318 / 379
1000	900	396 / 443	298 / 382
1200	1000	507 / 620	376 / 523

Veiledende verdier for moment ved tiltrekking av smurte bolter i flenseforbindelser – SDR 11 reduksjonskrage av PE med o-ring eller () veldig sjelden med flat, ståalarmert flensepakning med innebygd o-ringstetning*

HP-krage m/flens Rørdimensjon DN/OD []	DN flens []	Tiltrekkingsmoment [Nm] PE-krage mot stål PN 10 / PN 16	Tiltrekkingsmoment [Nm] PE-krage mot PE-krage PN 10 / PN 16
110	100	38	55
125	100	38	46
140	125	50	75
160	150	66	117
180	150	66	83
200	200	95	178
225	200	95	128
250	250	75 / 90	160 / 192
280	250	75 / 90	100 / 121
315	300	86 / 123	184 / 221
355	350	118 / 158	190 / 228
400	400	162 / 201	296 / 330
450	500	163 / 275	468 / 581
500	500	163 / 275	364 / 452
560	600	210 / 404	703 / 856
630	600	210 / 404	441 / 538
710	700	240 / 274	342 / 416
800	800	318 / 379	277 / 375
900	900	298 / 386	292 / 400
1000	1000	376 / 523	381 / 515

Veiledende verdier for moment ved tiltrekking av smurte bolter i flenseforbindelser – SDR 11 HP-krage av PE med flat, ståalarmert flensepakning med innebygd o-ringstetning

Mekanisk kobling

Mekaniske koblinger er mest vanlig å bruke i de aller minste dimensjonene. Fordelen er at de er raske å montere og krever minimalt med utstyr og kompetanse. Men det gjør også at det lett kan gå galt. Pass på at koblingen er tilpasset rørmaterialet, er beregnet for bruken og at den monteres riktig. Pipelife fraråder ikke bruk av mekaniske koblinger, men for PE-rør anbefaler vi sveiste forbindelser foran slike.

I noen anvisninger er det krav til bruk av støttehylse. Hvis det da blir lekkasje og det ikke er brukt støttehylse, så er det installatøren som sitter med ansvaret. Støttehylse bidrar uansett til økt strekkstyrke i skjøten over tid.

Du bør unngå å belaste mekaniske koblinger med unødvendige strekkrefter. Hvis røret legges i rett linje en varm sommerdag, så vil det påføres strekkrefter når temperaturen i rørvæggen synker og røret prøver å trekke seg sammen. Det innvendige vanntrykket bidrar også med strekkrefter i lengderetning. Strekkreftene reduseres ved å legge røret i en bue inn mot koblingen og ved å vente med å fylle igjen til temperaturen i rørvæggen har sunket.

I: Spyling av avløpsrør

Det følgende er basert på anvisninger utarbeidet av TEPPFA (The European Plastic Pipes and Fittings Association) for plastrørbransjen i Europa. Innholdet kan gjøres gjeldene for rør av alle rørmaterialer.

Spyling bør utføres av opplært personell. Det er selvsagt om å gjøre å ikke skade rørene, men HMS-forhold forbundet med spyling er også svært viktige. Norsk Vann og Rørinspeksjon Norge arrangerer kurs som gir operatørbevis når tilstrekkelig praksis er dokumentert. Dette kurset er åpent for alle som bør kunne en del om spyling.

Før man begynner å spyle er det viktig å kartlegge så mye som mulig. Hva er utfordringene i forhold til HMS? Hvorfor skal rørledningen spyles? Hvilken dimensjon er det, hva slags rør skal spyles og hvordan er tilstanden på disse? Hvordan ser avleiringer og blokkeringer ut?

Det bør brukes spyleutstyr som leverer store vannmengder ved lave trykk. Høytrykksutstyr som bruker lite vann bør ikke brukes – disse skader lett rørledningen. Velg dysestørrelse som egner seg for rørdimensjonen.

60 bar trykk ved dyse er vanligvis tilstrekkelig for å fjerne det meste. 80 – 120 bar må kanskje til for å fjerne mer gjenstridige avleiringer. Høyere trykk enn dette bør unngås. Nødvendig tilbaketrekkingshastighet vil variere, men 6 – 12 meter pr minutt er normalt.

Vannføring [l/min]	Slangedimensjon			
	12 mm (1/2")	20 mm (3/4")	25 mm (1")	32 mm (1 ¼")
25	0,5	-	-	-
50	2,8	0,1	-	-
80	7,0	0,7	-	-
100	-	1,1	-	-
120	-	1,6	-	-
140	-	2,2	-	-
150	-	2,5	0,8	-
180	-	4,4	1,2	-
200	-	-	1,5	-
250	-	-	2,3	0,7
300	-	-	3,4	1,0
350	-	-	-	1,3
400	-	-	-	1,8
450	-	-	-	2,3

Omtrentlig trykktap (bar) pr 10 meter slange

	80	180	310	500
--	----	-----	-----	-----

Anbefalt maksimum vannføring [l/min]

Kilde: Dansk Teknologisk Institutt

Etter spyling bør du sjekke tilstanden til den rengjorte rørledningen. Årsaken til en eventuell blokkering bør kartlegges ved hjelp av rørinspeksjon. Det bør utarbeides en omfattende rapport, med bilder, som ledningseier bør ta vare på med tanke på framtidig vedlikehold eller reovering.

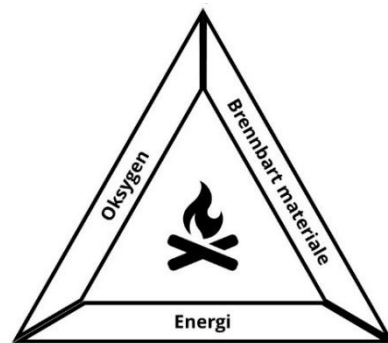
Vinters tid er det ikke uvanlig at stikkrenner og andre grunne avløpsledninger fryser og at rørledninger derfor må tines. Her brukes det gjerne varm damp under trykk (steam) for å fjerne isen. Hvis varmepåvirkningen varer lenge nok, så kan plastmaterialet bli så varmt og mykt at røret kolliderer. Derfor er det viktig at dysen ikke får stå i ro på samme plass, men stadig er i bevegelse under steaming.

Brann og plastrør

En brann er egentlig en rekke kjemiske reaksjoner som frigjør energi – flammer. Hvilke kjemiske forbindelser som oppstår og hvor godt det brenner, er avhengig av hvilke stoffer som er til stede og prosessbetingelsene. Man må betrakte all røykgass som giftig og all ukontrollert brann som farlig, selvsagt.

For eksempel er karbon (C) et grunnstoff som finnes i store mengder i mange materialer. I en brann reagerer karbon med oksygen (O₂) og det vil dannes karbondioksid (CO₂), som du også finner i pusten vår. CO₂ betraktes som relativt ufarlig i begrensede mengder for oss mennesker. Oksygenet i lufta forbrukes i en brann – og det blir knapphet ganske fort. Dermed dannes kullos (karbonmonoksid, CO), som er en luktløs gass som gir vage symptomer og som tar opp plassen for oksygen i blodet. Kullos er grunnen til at de fleste mennesker gradvis og umerkelig mister bevisstheten og dør i en brann fordi kroppen ikke får nok av det livsnødvendige oksygenet. Brannskader er sjelden den primære dødsårsaken. Man skulle tro at et stoff som kun består av harmløst oksygen og karbon var ufarlig. Men, nei ...

«Branntrekanten» er en enkel modell som sier noe om hva som skal til for at en brann skal oppstå. Fjerner du en av sidene, så vil det ikke oppstå brann. Å sprøyte på vann er effektivt i mange sammenhenger fordi vannet kjøler og dermed reduserer energien, det fjerner tilgangen til oksygen og det reduserer brennbarhet. I andre sammenhenger skal vann absolutt ikke brukes til brannslukking.



Hvordan oppfører plastmaterialene seg i en brann? Hva må vi tenke på, og hvilke forholdsregler må tas? I det følgende tar vi for oss rørmaterialene PVC, PP og PE.

Noen viktige brannegenskaper

I tabellen finner du veiledende data for brennbarhet, antennelsestemperatur og varmeutvikling.

Materiale	Brennbarhet LOI ISO 4589 [%]	Antennelse- temperatur ASTM D1929 [°C]	Varme- utvikling [MJ/kg]
Stivt polyvinylklorid, PVC-U	50	390	20
Polyetylen, PE	17	340	47
Polypropylen, PP	17	320	46
Tre	21-22	240	17
Mykgjort polyvinylklorid, myk PVC	21-36	330	20-30
Polyuretan, PUR	15	310	25
Polystyren, PS	17	350	42
Akrylnitril-butadien-styren, ABS	18	380	36
Polymetylakrylat, PMMA	17	300	26
Polyamid, PA	22	420	32
Teflon, PTFE	95	560	4,5

Brannegenskaper for ulike materialer – veiledende verdier

Når det gjelder brennbarhet, så ser vi på hvor mye oksygen som må til for å opprettholde en brann. Oksygeninnholdet i ren luft er cirka 21 %. Men det alene er ikke avgjørende for om et materiale er brennbart. Tre, som har en oksygenindeks på 21-22 %, brenner jo likevel. Saken er at du må ha minst to vedkubber for å få fyr. Da bidrar energien fra flammene i den ene kubben til å opprettholde flammen i den andre – og ved brenner lystig i ovner, peiser og på bål.

Materialer med en oksygenindeks godt over 21 % anses som selvslukkende, selv om de brenner når det tilføres energi. Slike materialer sprer ikke en brann og bidrar derfor til brannsikkerhet.

Antennelsestemperaturen sier noe om hvor lett det tar fyr. Jo høyere antennelsestemperatur, jo vanskeligere er det å starte en brann.

Høy varmeutvikling betyr at materialet avgir mye energi ved brann og sprer derfor brann effektivt - og brannen blir mer eksplosiv.

Jo dårligere brennbarhet, jo høyere antennelsestemperatur og jo lavere varmeutvikling et materiale har, jo bedre tid har du til å rømme.

Rørmaterialer og brann

Polyetylen (PE) og polypropylen (PP) brenner av seg selv i luft, sprer brennende dråper, har en betydelig høyere antennelsestemperatur enn tre og utvikler relativt mye varme. Røygassen er ikke sunn, men vil ikke inneholde høye konsentrasjoner av spesielt farlige forbindelser. Det finnes ingen krav til halogenfritt rørmateriale. Men PP og PE tilfredsstiller de samme kravene som stilles til halogenfrie kabler – der innholdet av halogener i branngassen ikke skal overstige et visst nivå (5 ppm).

Det går an å redusere brennbarheten til PP og PE. Det kan for eksempel tilsettes flammehemmere. Bromerte flammehemmere er mye brukt. Men Brom er et halogen. Skal rørmaterialet fremdeles per definisjon være halogenfritt, så er det en svært begrenset mengde som kan tilsettes. Men det er nok til å bremse brannforløpet såpass at rømning sikres. Når flammehemmeren er oppbrukt, så brenner PP og PE godt.

Stiv PVC er et selvslukkende materiale som ikke sprer brennende dråper. Antennelsestemperaturen er forholdsvis høy og varmeutviklingen lav. I en brann vil klor (Cl), som også er et halogen, reagere med andre stoffer og det vil dannes ulike klorerte forbindelser. Saltsyregass (HCl) dannes lett. Saltsyregass er like giftig for mennesker som kullos (CO). Mens kullos er luktfri og gir vage symptomer, er saltsyre en «ærlig» gass som høyt og tydelig sier fra om at den er til stede. Selv i lave konsentrasjoner har den en ualminnelig sterk lukt og fremkaller brekninger – og du vil sannsynligvis gjøre det du kan for å komme i frisk luft.

Myk PVC er ikke et rørmateriale, men brukes for eksempel i kabelisolasjon. Myknere (ftalater) endrer noen brannegenskapene radikalt. Men for eksempel en elektrisk kabel med PVC-isolasjon i et elektrisk rør eller kabelrør av stiv PVC sprer ikke brann så lett hvis det oppstår en kabelfeil. Det er flere eksempler på branner der en kabelfeil har fått vidtrekkende konsekvenser fordi man ikke har tenkt på materialvalg og brannsikkerhet i stor nok grad.

Brannsikkerhet

Brannsikkerhet handler om mange ting. For eksempel å forbygge brann, varsle brann, etablere gode og trygge rømningsveier, hindre spredning av brann og røygasser, forsinke brannforløp, brannslukking og gi informasjon om hva man skal gjøre hvis brann oppstår.

God brannsikkerhet angår alle. Rør krysser brannskiller. Rør er også kanaler for mer eller mindre giftige røygasser. Derfor har alle som prosjekterer og installerer rør og de som eier bygg- og anleggskonstruksjoner med røranlegg viktige oppgaver med hensyn til brannsikkerhet. Hvordan kan rørbransjen bidra til god brannsikkerhet? Hva er tiltakene som må til?

NB!

Den prosjekterende og den utførende må sette seg grundig inn i regelverket og følge det til punkt og prikke. I dette kapittelet gir vi kun en innføring i temaet og belyser det med noen få eksempler som ikke er dekkende for alle situasjoner.

Regelverk og begreper

I lovverket ivaretar kapittel 11 i byggt teknisk forskrift (TEK) med veiledning temaet brann – hjemlet i plan- og bygningsloven (PBL). Direktoratet for byggkvalitet (DiBk) forvalter det byggt tekniske regelverk opp imot Plan- og Bygningsloven (PBL) og Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) ivaretar myndighetsansvaret for brannsikkerhet i eksisterende byggningsmasse gjennom Forskrift om brannforebygging.

Det er fire **brannklasser** ifm. byggverk som sier noe om konsekvensene ved en brann. Brannklasse 1 betyr at konsekvensene er små og brannklasse 4 at konsekvensene er særlig store.

Det er i tillegg 6 **risikoklasser** som tar utgangspunkt i trusselen mot liv og helse avhengig av om bygningen er beregnet for mye eller lite personopphold, om rømningsveier er kjente og personene i stand til å evakuere seg selv, om bygningen er ment for overnatting og om bruken av det medfører stor eller liten brannfare. For eksempel vil sykehus og hoteller havne i risikoklasse 6, boliger som regel i risikoklasse 4 og kontorer typisk i risikoklasse 2.

Brannmotstand sier noe om hvor lenge en byggningsdel eller en komponent skal opprettholde en eller flere funksjoner i en brann – basert på normerte tester. Det er fire kriterier med følgende koder som gjelder:

R - Bæreevne: Gjelder typisk for søyler og bjelker

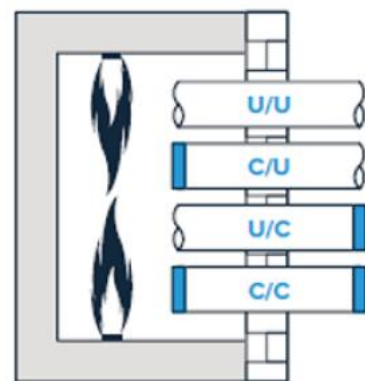
E - Integritet/tetthet: Brann skal ikke smitte gjennom brannskillet

I - Isolasjonsevne: Brann skal ikke kunne overføres ved varmegjennomgang. Kravet til en gjennomføring er at maksimum temperaturøkning på ueksponert side er maksimum 180°C.

M - Mekanisk motstandsevne: Bygningsdelen skal tåle en viss mekanisk belastning

Og så angis tiden funksjonen skal opprettholdes i minutter. Er brannskillet dimensjonert for 60 minutter må for eksempel brannmansjetten tette mot brann og begrense temperaturøkningen bak brannskillet i 60 minutter – og klassen for brannmotstand må minst være EI 60.

En viktig betingelse for testene for tiltak ifm. rør er om rørledningen er åpen i den ene eller begge ender eller lukket i begge ender. U (uncapped) betyr at rørenden er åpen og C (capped) at rørenden er lukket. U/U, som betyr at røret gjennom brannskillet er åpent i begge ender, er den mest krevende testen å bestå. Det er relevant for rør til lufting, for eksempel. U/C (uncapped/capped) betyr at røret er åpent på brannsiden og lukket på motsatt side - for eksempel når røret går fra et rom med brann til et utstyr med vannlås i nabobranncellen. C/U (capped/uncapped) er motsatt situasjon. C/C kan for eksempel være et rør som er vannfylt. Består oppsettet kravene til U/U, så vil det automatisk bestå testene for de øvrige situasjonene.



Illustrasjon fra Firesafe

Testoppsett	Avslutning rørende		Tillatt bruk			
	Brannside	Kald side	U/U	C/U	U/C	C/C
U/U	Åpent	Åpent	✓	✓	✓	✓
C/U	Lukket	Åpent	-	✓	✓	✓
U/C	Åpent	Lukket	-	-	✓	✓
C/C	Lukket	Lukket	-	-	-	✓

Man må altså også påse at brannettingen er godkjent for bruken – om røret er åpent i begge ender, åpent på siden brannettingen skal monteres og lukket på den andre siden osv.

Det er også viktig å vite hvilken rørtype som skal benyttes. Rørmateriale, dimensjon og ikke minst rørets veggtykkelse er viktig å kjenne til når det skal foretas en brannetting gjennom et brannskille - som tilfredsstillere kravene. Er røret isolert vil valg av tettingsløsning også måtte dokumentere funksjon for det aktuelle isolasjonsmateriale.

For brannceller er det viktig å ikke spre brann som oppstår i en celle til neste raskt. Du kjøper deg tid til å rømme og brannmannskaper tid til å slukke. Derfor må rør som krysser en vegg eller et dekke mellom to brannceller sikres med et tiltak.

Valg av løsning for en rørgjennomføring er avhengig av:

- Brannkrav/brannmotstand
- Om det er vegg eller gulv
- Byggemateriale(r) og tykkelse(r) i brannskillet
- Rørmateriale, rørdimensjon og rørets veggtykkelse
- Om det er isolerte eller uisolerte rør og evt. isolasjonsmateriale og -tykkelse
- Om røret er lukket i en eller begge ender eller åpent

En viktig forutsetning er riktig montasje. Den som monterer utstyr for brannsikring plikter derfor å sette seg godt inn i monteringsanvisningen – og følge denne nøye. Den som kontrollerer installasjonen må også vite hva som er rett og feil utførelse.

Plastrør blir myke og smelter ved relativt lave temperaturer. Et effektivt tiltak er derfor å bruke et stoff som ekspanderer når temperaturen er akkurat passe høy og plastrøret passe mykt slik at den ekspanderende massen lukker rørene – f.eks. en brannmansjett. Når det ikke er plass nok til en slik mansjett, så finnes det andre løsninger – f.eks. varmeekspanderende fugemasse eller rørpakning. Løsningen må være testet for den aktuelle rørtypen og installasjonen – og det skal gå frem av dokumentasjonen. Det er som regel enkelt å brannsikre en plastrørgjennomføring.

Rør og kanaler av jern leder varme godt. For å hindre brannspredning må avstanden til brennbart materiale ved brannskillet være minst 250 mm eller rørene må brannisoleres. Å bruke støpejernsrør i gjennomføringen for så å gå over til plastrør er en dårlig løsning. Da må du brannisolere støpejernsrørene hvis avstandskravet ikke er oppfylt og uansett brannsikre overgangene til plastrørene riktig.

Brannmansjetter og rørgjennomføringer i brannskiller

En tommelfingerregel, når du bruker plastrør og brannmansjetter, er at rørgjennomføringer brannsikres på undersiden av horisontale brannskiller og på begge sider av vertikale brannskiller. Brannmotstanden til brannmansjetten må tilsvare kravet til brannmotstand for brannskillet. Små rør, opptil 32 mm, kan i mange tilfeller føres gjennom brannskiller med bruk av tettemasse med samme brannmotstand som brannskillet – se veiledning fra DiBK.

Er en sjakt en egen branncelle, så må alle rørgjennomføringer gjennom vegger og eventuelle dekker i sjakten branntettes.

Plastrør og rømningsveier

For rømningsveier er den primære funksjonen å sikre gode forhold for rømning, selvsagt. Her er det derfor krav til svært begrenset bruk av materialer med god brennbarhet, høy varmeutvikling og materialer som utvikler giftige gasser. Plastrør bør ikke installeres i rømningsveier uten at de er brannisolerte. Dette gjelder også for rom der det er høye krav til brannsikkerhet av andre grunner – f.eks. tekniske rom der utstyret skal opprettholde sin funksjon lengst mulig under en brann. I rom med mye kostbar fin-elektronikk bør materialer som inneholder halogener unngås fordi røykgassene er ekstremt korrosive og ødelegger elektroniske komponenter.

Rør og røykgasser

Røykgass er helseskadelig og vil, i verste fall, ta liv. De kan også være korrosive. Varme røykgasser kan spre brann. Å hindre spredning av røykgasser er derfor også viktig - selv om rørene ikke passerer et brannskille. I en tunell for vei og bane er det ofte mye rør som røykgasser kan spres gjennom når de er åpne i endene. Det kan også oppstå kabelfeil som kan starte en brann inni rørene. Da er det en fordel å bruke rør og kabler av selvslukkende materialer og åpne rørender, med eller uten kabler, må tettes.

Designkoeffisient og sikkerhetsfaktor for trykkrør

Både designkoeffisient og sikkerhetsfaktor er forholdstall som angir en margin mellom bruddspenningen og en dimensjonerende spenning for et rørmateriale. Designkoeffisienten for trykkrør og trykkrørdeler ivaretar naturlige variasjoner knyttet til råvaren, produksjon av produktene og normale driftsforhold i rørledningens brukstid. Den omfatter altså ikke forhold knyttet til håndtering, installasjon og uforutsette hendelser. Det er ulike designkoeffisienter for trykkrør for væsketransport og trykkrør for gassforsyning – og for ulike rørmaterialer. Tillatt designkoeffisient for PVC-U trykkrør for væsker (NS-EN ISO 1452) større eller lik 110 mm er 2,0 og for PE trykkrør for væsker (NS-EN 12201) er den 1,25.

Designkoeffisienten eller sikkerhetsfaktoren (C) gir rørmaterialets dimensjonerende spenning (σ_{dim}) ut fra rørets bruddspenning (MRS – Minimum Required Strength) i henhold til denne formelen:

$$\sigma_{dim} = \frac{MRS}{C} \quad [N/mm^2]$$

Maksimum tillatt driftstrykk for et rørprodukt (PFA) finner du ved hjelp av denne formelen:

$$PFA = \frac{2 \cdot \sigma_{dim}}{SDR-1} \quad [N/mm^2]$$

Rørets trykklasser angis som PN med en tallverdi som representerer maksimum tillatt driftstrykk (PFA) i bar – for eksempel PN 10.

- C: Designkoeffisient []
- MRS: Bruddspenning, Minimum Required Strength [N/mm²]
- σ_{dim} : Dimensjonerende materialspenning [N/mm²]
- PFA: Maksimum tillatt driftstrykk for rørproduktet [N/mm²]
- SDR: Standard dimensjonsforhold, Standard Dimension Ratio (D/e) []
- D/e: Rørets nominelle utvendige diameter [mm] / rørets nominelle veggtykkelse [mm]

Eksempel:

Bruddspenningen for PVC-U er 25,0 N/mm² og designkoeffisienten er 2,0. Dimensjonerende spenning er da:

$$\sigma_{dim} = \frac{MRS}{C} = \frac{25,0 \text{ N/mm}^2}{2,0} = 12,5 \text{ N/mm}^2$$

For et PVC-U SDR 21 rør blir maksimum tillatt driftstrykk:

$$PFA = \frac{2 \cdot \sigma_{dim}}{SDR-1} = \frac{2 \cdot 12,5 \text{ N/mm}^2}{21-1} = 1,25 \text{ N/mm}^2 = 12,5 \text{ bar}$$

Maksimum tillatt driftstrykk er 12,5 bar og dette rørets trykklasser angis som PN 12,5.

Sikkerhetsfaktor er et velkjent begrep når man prosjekterer rørledninger. I vår sammenheng mener de fleste at denne normalt ivaretar alle variasjoner og uforutsette hendelser som skjer i alle faser. Ved spesielle forhold eller hvis et rørbrudd er forbundet med store konsekvenser, så bør man vurdere å sette en høyere sikkerhetsfaktor og/eller eventuelt iverksette tiltak som reduserer konsekvensene ved brudd. Det kan være å sikre tilførsel av vann fra to kanter, å legge rør i varerør under viktig infrastruktur osv.

I Norge har vi brukt en høyere sikkerhetsfaktor for rørproduktene enn det som er beskrevet i produktstandardene – for eksempel 2,5 for PVC trykkrør og 1,6 for PE trykkrør– og tenkt at denne normalt skal ivareta alle usikkerheter forbundet med rørledningene (inkludert det som designkoeffisienten ivaretar). Våre trykkrør er merket med to trykklasser: En basert på standardenes designkoeffisient og en basert på en den høyere sikkerhetsfaktoren vi er vant med. Det betyr at trykklasse ikke er entydig angivelse av et rørprodukt. SDR-klassen, som angir forholdet mellom nominell utvendig diameter og nominell veggtykkelse, er den eneste entydige angivelsen av trykkrørprodukter av termoplast.

Vanligvis er driftstrykket lavere enn rørets trykklasse. I tillegg er temperaturen i grøften lavere enn temperaturen som rør av termoplast er dimensjonert ved (20°C). Begge disse forholdene gir i praksis ytterligere sikkerhet.

I noen land er det vanlig å vurdere behovet for sikkerhet knyttet til hvert enkelt forhold rørledningen utsettes for – såkalte partialfaktorer. Dette er også vanlig for andre typer konstruksjoner i Norge – f.eks. brukonstruksjoner. Hvis et forhold er ansett å ikke være relevant, så er koeffisienten 1. For kritiske konstruksjoner i krevende miljøer vil partialfaktorene akkumuleres til en relativt høy total sikkerhetsfaktor. Men dette er ikke innarbeidet i norsk VA.

Designkoeffisienter og normale sikkerhetsfaktorer med tilhørende trykklasser (i bar) for de vanligste trykkrørene for væsketransport er:

Rørmateriale	Designkoeffisient []	Normal sikkerhetsfaktor []	Dim. spenning [N/mm ²]	SDR			
				21	17	13,6	11
PVC-U ≥ 110 mm	2,0		12,5	PN 12,5		PN 20	
		2,5	10,0	PN 10		PN 16	
PE 100	1,25		8,0		PN 10		PN 16
		1,6	6,25		PN 8		PN 12,5

Rørprodusenten produserer rør som tilfredsstillende alle krav relatert til standardenes designkoeffisienter. Men vi har ikke kontroll med hva som skjer under håndtering og installasjon, vi kjenner ikke til miljøet rørproduktene skal operere i eller har forutsetninger for å spå om uforutsette hendelser i driftsfasen – og konsekvenser. Byggherren, ledningseieren og/eller den ansvarlig prosjekterende må derfor i hvert enkelt tilfelle vurdere behovet for å bygge inn ekstra sikkerhet – og hvordan. Så langt er erfaringene at den normale sikkerhetsfaktoren og høy kompetanse i alle ledd i nyere tid har sikret det norske samfunnet gode vannforsyningssystemer med stabil drift og få ledningsbrudd.

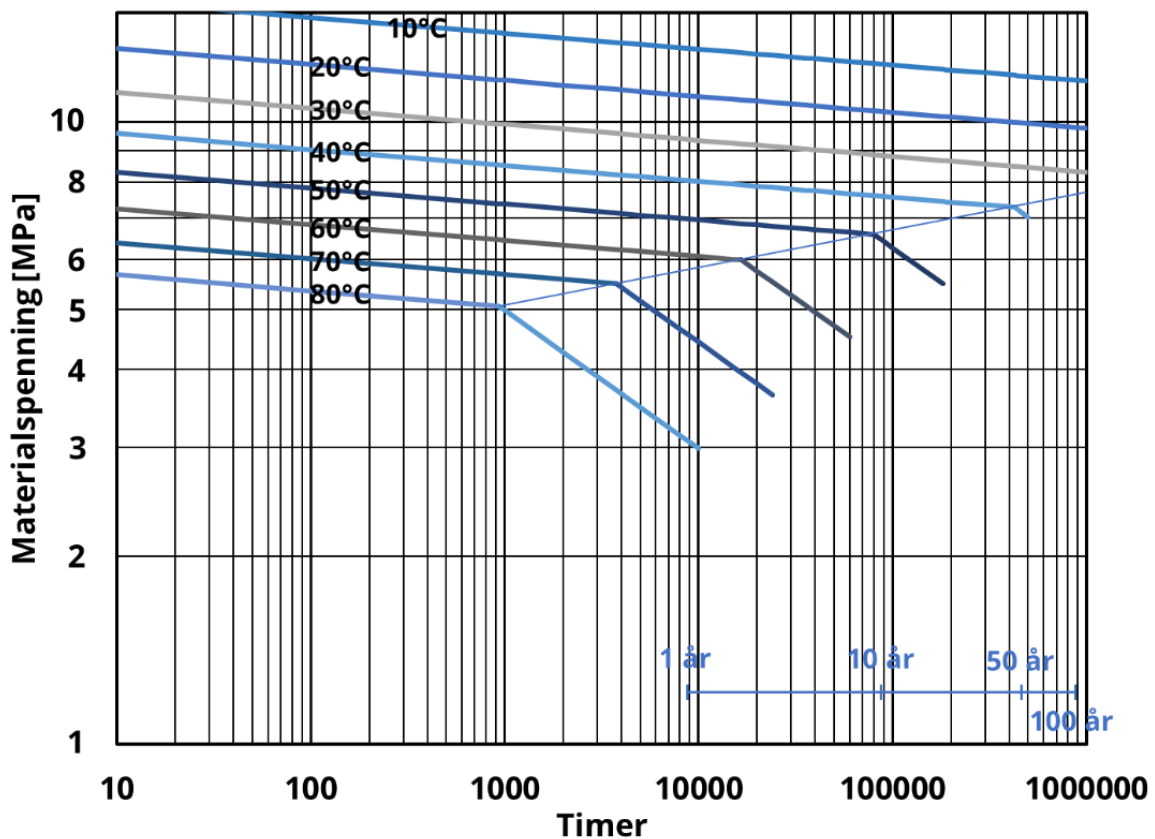
M: Levetid

Plastrør har svært lang levetid – sannsynligvis mer enn 100 år. Begrepet levetid har imidlertid ulik betydning i ulike sammenhenger – noe som stadig resulterer i misforståelser.

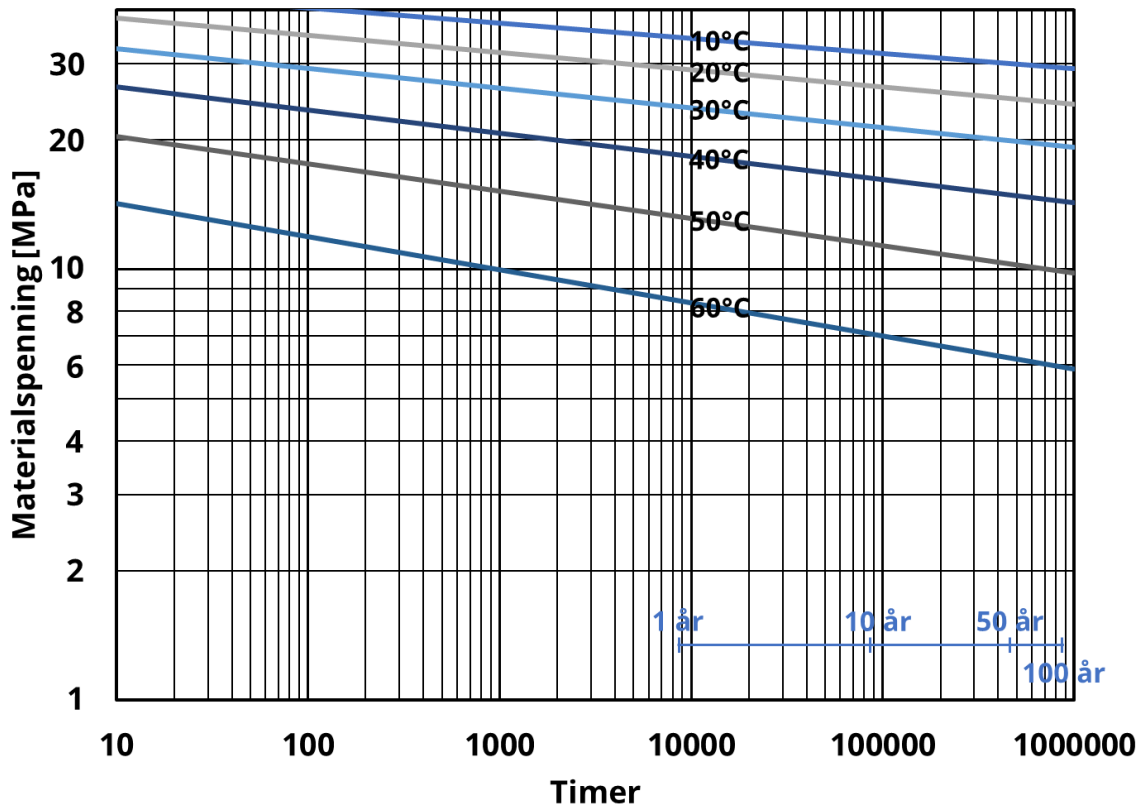
Tiden MRS defineres ved

I en sammenheng brukes begrepet «levetid» noe misvisende om tiden som materialenes MRS defineres ved. MRS er en forkortelse for «Minimum Required Strength» som gjerne oversettes til «bruddspenning» på norsk. Et plastmateriales MRS-verdi er avhengig av belastningstid og temperatur. Å finne materialenes MRS er en omstendelig prosess. Det gjennomføres relativt mange tester der rør utsettes for varierende innvendige trykk, som gir høye materialspenninger i rørveggen, og tiden til brudd måles. Høye temperaturer og høye trykk brukes for å akselerere tiden til brudd og testene utføres ved ulike temperaturer – fra 20 °C og oppover.

Basert på de akselererte testene kan kurven for 20 °C ekstrapoleres ved hjelp av Arrhenius' ligning. I et dobbellogaritmisk diagram blir bruddkurvene for plastrørmaterialer rette linjer.



Regresjonskurver for PE 100 (ref. DIN 8075). MRS er 10 MPa ved 20°C og 50 år belastningstid.



Regresjonskurver for PVC-U (ref. DIN 8062). MRS er 25 MPa ved 20°C og 50 år belastningstid.

I de aller fleste produktstandarder for plastrørsystemer skal MRS bestemmes ved 20 °C og 50 år. På den rette linjen for 20 °C i et dobbellogaritmsk diagram blir det marginal forskjell i MRS ved 50 år og ved 100 år. For rørmaterialer er slike tester viktige for å sikre riktig materialkvalitet.

Men det eneste dette forteller oss om levetid, er at relativt høye materialspenninger gir kortere reell levetid enn lavere materialspenninger - og at driftstemperaturer lavere enn 20 °C er gunstig. Det er heller andre forhold som i praksis begrenser den faktiske levetiden - eller brukstiden - for en rørledning.

Virkelig levetid

Alle parter må bidra til at rørledninger får lang levetid. Det er i årenes løp utført mange undersøkelser i hele verden på rørprodukter av ulik alder. Konklusjonen er at plastrørsystemer sannsynligvis har en levetid på mer enn 100 år når de er riktig produsert, prosjektert, håndtert, installert og driftet.

I de nordiske landene er forutsetningene for lang levetid bedre enn i mange andre land:

- Vi krever sertifiserte rørprodukter
- Vi stiller strenge krav til installasjon (leggeanvisninger)
- Vi stiller kompetansekrav til den prosjekterende og den utførende
- Vi gjennomfører tredjepartskontroll av installerte rørledninger
- Vi praktiserer høy sikkerhet ved valg av sikkerhetsfaktor for trykkrør – 1,6 for PE og 2,5 for PVC
- Grøfte- og medietemperaturene er en god del lavere enn 20 °C

Faktorer som reduserer levetid, men som vi bør ha kontroll på, er:

- Høyere trykk enn det rørproduktene er dimensjonerte for
- Hyppige og store trykkstøt ut over det rørproduktene er dimensjonerte for
- Høyere driftstemperaturer enn 20 °C
- Kjemisk nedbrytning i forbindelse med store industrielle utslipp av aggressive kjemikalier
- Høye materialspenninger påført på grunn av dårlig utført installasjon
- Dårlig materialkvalitet i usertifiserte rørprodukter

Alle må bidra i dugnaden for varig fungerende røranlegg. Det starter gjerne med at ledningseier stiller krav. Men det er den enkelte sitt ansvar å sørge for å ha god kompetanse og kjenne til begrensninger. Våre bidrag i så måte er denne rørhåndboka og vår tilstedeværelse i markedet. Det er flere kilder til kunnskap – i utdanningsinstitusjoner, normer, retningslinjer, lærebøker og «beste praksis»-blader.

Vi bidrar gjerne mer til å øke din kompetanse!

M: Materialdata

Verdier for ulike egenskaper

Tabellen gjengir veiledende verdier for de viktigste materialegenskapene for de mest brukte plastmaterialene brukt i rørsystemer. I spesielle tilfeller bør man sjekke verdien for den konkrete råvaren. Dette gjelder spesielt PP.

Egenskaper	Enhet	PVC	PP	PE 100
Densitet	kg/m ³	1 400	900	955
Bruddspenning ved 20 °C og 50 år kontinuerlig belastning, MRS	N/mm ²	25	10	10
Dimensjonerende spenning - sikkerhetsfaktor (høy)	N/mm ²	10	6,3	6,3
Dimensjonerende spenning - designkoeffisient (lav)	N/mm ²	12,5	8,0	8,0
Strekfasthet ved flyt	N/mm ²	55	30	22
E-modul (korttids)	N/mm ²	3 000	1 250 - 1 700	1 000
Krypmodul (50 års belastning)	N/mm ²	ca. 1 000	ca. 300 - ca. 400	ca. 200
Krypforhold (EN-ISO 9967, 50 års ekstrapolasjon)		ca. 3	ca. 4,2	ca. 5
Lengdeutvidelse	$\frac{\text{mm}}{\text{m}^\circ\text{C}}$	0,08	0,13	0,16
Tverrkontraksjons-koeffisient		0,40	0,45	0,45
Slagfasthet Notch Izod ved 23 °C (ISO 178)	kJ/m ²	> 5	> 40	> 50
Maks. brukstemperatur kontinuerlig belastning	Disse plastmaterialene tåler normalt temperaturer mellom 20 °C og 45 °C godt, men i trykkrør må tillatt trykk reduseres – se tabell under. Ved temperaturer over 45 °C kontinuerlig i selvføllsledninger bør du kontakte Pipelifes eksperter for å diskutere materialvalg og valg av løsninger.			
Maks. brukstemperatur korttids belastning * (trykkløst rørsystem)	°C	95	100	95
Varmeledningsevne	$\frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$	0,19	0,20	0,40

* Korttids belastning: mindre enn 30 liter i løpet av maksimum ett minutt

Lengdeendring ved temperaturendring

De aller fleste materialer utvider seg med stigende temperatur og trekker seg sammen ved synkende temperatur. Graden av bevegelse oppgis gjerne som temperaturutvidelseskoeffisient – for rør i oppgitt som mm bevegelse pr meter rør og pr °C. For praktiske formål oppgis denne som en materialkonstant.

Det er ofte nødvendig å regne ut hvor mye en rørlengde kan bevege seg. Det kan være for å øke ekspansjonsgapet i bunnen av muffen, for å finne oppstående krefter ved nektet lengdeendring eller lignende. Formelen for å finne lengdeendring på grunn av temperaturendring:

$$\Delta L = k \cdot L \cdot \Delta T$$

- ΔL : Lengdeendring [mm]
 k : Temperaturutvidelseskoeffisient [mm/(m·°C)]
 L : Lengden i utgangspunktet [m]
 ΔT : Temperaturforskjell [°C]

Eksempel:

Det er målt +60°C midt i en rørvegg som lå i sola. Hvor mye kortere er et 200 meter langt PE 100 rør ved 5°C?

$$\Delta L = k \cdot L \cdot \Delta T = 0,16 \frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 200 \text{ m} \cdot 55^\circ\text{C} = 1760 \text{ mm} = 1,76 \text{ meter}$$

Eksempel:

Et 200 mm PP-rør har minste tillatte utvendige diameter, 200,0 mm, ved romtemperatur. Hvor stor er diameteren ved 0°C?

$$\Delta L = k \cdot L \cdot \Delta T = 0,13 \frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,200 \text{ m} \cdot 15^\circ\text{C} = 0,39 \text{ mm} \approx 0,4 \text{ mm}$$

Diameteren blir altså 0,4 mm mindre, 199,6 mm, når temperaturen er 20°C lavere. Dette er nok til at det kan være vanskelig å montere en varm rørdel i ei kald rørmuffe.

Reduksjonsfaktor for trykk ved høye temperaturer

Tabellen gjelder for vann, vanlig kommunalt spillvann og vann med andre ikke-aggressive tilsetninger. Faktoren multipliseres med tillatt driftstrykk ved 20 °C. For eksempel er tillatt trykk ved 35 °C for et PN 10 rør: 10 bar · 0,80 = 8,0 bar.

	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C
Reduksjonsfaktor for PE 100	1,0	0,93	0,87	0,80	0,74	-
Reduksjonsfaktor for PVC-U	1,0	1,0	0,90	0,80	0,71	0,63

Kjemisk bestandighet

Plastrørmaterialene har generelt god kjemikaliebestandighet og vil være så godt som upåvirket under normale forhold. Er det snakk om utslipp av store mengder av en bestemt kjemisk forbindelse, så bør man sjekke påvirkningsgraden. ISO/TR 10358 viser kjemisk resistens for plastrørmaterialer ved langvarig påvirkning fra en lang rekke forbindelser. Det finnes kjemikalibestandighetstabeller på nettet (<https://tools.pipelife.com/Chemres>). Enkeltutslipp på grunn av uhell påvirker som oftest ikke levetiden for rørledningen. Det er ofte lurt å konferere med kompetente folk hos produsenten.

Følgende må kartlegges:

- Den entydige betegnelsen på den kjemiske forbindelsen
- Konsentrasjon
- Temperatur
- Varighet av utslipp

Ikke glem å sjekke bestandighet til tetningsringen i muffersystem!

Biologisk bestandighet

Det er ikke påvist biologisk nedbrytning av plastrørmaterialer eller syntetisk gummi. Før cirka 1970 ble naturgummi brukt i tetningsringer. Under spesielle forhold er det påvist biologisk nedbrytning av naturgummi. Større organismer, for eksempel rotter, kan finne på å spise plast. Men plasten tas ikke opp i kroppen og gir ingen næring.

I alle rør for vann- og spillvannstransport oppstår biologisk aktivitet på rørveggen. Næringen hentes hovedsakelig fra mediet – og forsvinnende lite fra rørmaterialet.

M: Rørmaterialer

PVC, PE og PP er de vanligste materialene for rørprodukter innen vannforsyning, avløp og kabelbeskyttelse og er plastmaterialene det fremstilles mest av i verden. Det benyttes gode kvaliteter som gir rørprodukter med lang levetid. Grunnstoffene karbon (C) og hydrogen (H) er viktige bestanddeler i alle tre materialene og hentes fra naturgass eller andre organiske materialer. PVC, PE og PP tilhører gruppen termoplast. Produktene formes ved 180°C til 220°C. Etter endt livsløp kan materialene brukes i nye produkter – resirkulering.

Bruksområdene er overlappende og i mange tilfeller kan man velge mellom ulike rørmaterialer. Egnetheten må vurderes i hvert enkelt tilfelle ved å veie de ulike fordelene og begrensningene opp mot hverandre.

PVC – polyvinylklorid

PVC har kjemisk formel $[C_2H_3Cl]_n$. I tillegg til karbon og hydrogen inngår klor (Cl) som utgjør 57 % av PVC-molekylet og som utvinnes fra salt. Molekylene er som lange tråder som vikles inn i hverandre og som ligger ganske tett. PVC-molekylet er polart på grunn av at klor er mer elektronegativt enn karbon. Tettheten og polariteten gjør at få stoffer kan diffundere gjennom rørvæggen og at tilsetningsstoffer ikke lekker ut. PVC deles gjerne inn i myk og hard PVC. I myke PVC-produkter tilsettes mykgjørere. Rørprodukter er av hard PVC som benevnes PVC-U (uten mykgjørere). PVC-U har høy materialstyrke. Bruddspenningen (MRS) er minst 25,0 N/mm² ved 20°C og 50 års belastningstid. PVC er enkel å varmforme og lime. Typiske produkter er glattvegga rør for vannforsyning, avløp og kabelbeskyttelse, korrugerte rør for elektroinstallasjoner og varmformede rørdeler (for eksempel langbend).

PE – polyetylen

PE har kjemisk formel $[C_2H_4]_n$. Molekylene er som lange tråder med avgreninger. Antallet avgreninger og lengden på dem bestemmer styrken til materialet. Et optimalt antall og optimale lengder av disse gir krystallinske områder som gir høy styrke. I mange rørprodukter benyttes PE 100 – der tallet betyr at bruddspenningen (MRS) er minst 10 N/mm² ved 20°C og 50 års belastningstid. Prosessbarheten gir mulighet for store rør og tykke rørvegger. Vi produserer rør med homogen rørvegg med tykkelse inntil 12-13 cm med diameter opp til 2,5 m. Et stort prosessvindu gir god sveisbarhet.

PE tilsettes antioksidant for å hindre oksidativ nedbrytning. Den svarte fargen skyldes tilsatt carbon black som gir en meget god UV-stabilitet. Derfor er PE-rør veldig ofte svarte. Typiske produkter er rør og rørdeler for vannforsyning, korrugerte rør og store rør med konstruert rørvegg.

PP – polypropylen

PP har kjemisk formel $[C_2H_3CH_3]_n$. Her også er molekylene som lange tråder med avgreninger. I rørprodukter brukes en type PP med korte lenker av polyetylen satt inn i det lange PP-molekylet. Denne typen kalles PP blokk kopolymer og er mer robust enn ren PP (homopolymer). PP har god sveisbarhet og er enkel å sprøytstøpe som rørdeler og kummer. PP er også meget godt egnet til dobbelvegga rør – og er i dag så godt som enerådende i Norden for denne rørtypen. PP har god varmebestandighet og er det foretrukne rørmaterialet for avløpsrørssystem i bygninger. Typiske produkter er glattvegga og dobbelvegga rør samt små og store sprøytstøpte rørdeler og kummer.

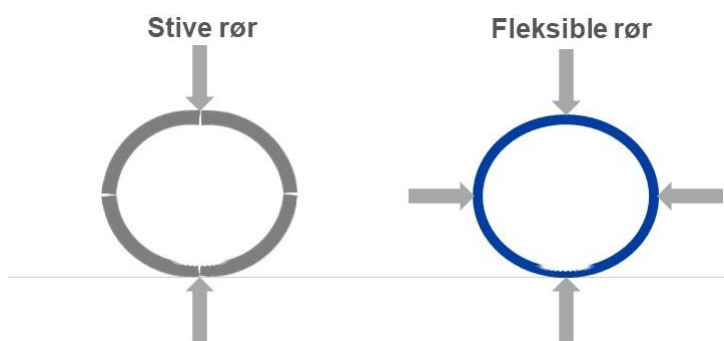
M: Slitestyrke

Plastrør er svært slitesterke og tåler også slitasje godt. Derfor blir de brukt der slitasjen er stor. For eksempel for transport av fiskefôr i oppdrettsindustrien og slurry i gruveindustrien – og for overvann med høyt innhold av sand og grus. Plastrør har lengre levetid enn alternativene når de blir brukt i slike sammenhenger.

Årsaken til at de ikke blir mer brukt til transport av tørt stoff over bakken, er at det lett dannes statisk elektrisitet. Det oppstår utladninger, små lyn, som kan antenne støv og føre til eksplosjoner. Slike utladninger gir også elektriske støt som kan være helsefarlige. Det er mulig å redusere statisk elektrisitet i plastrør, men det er komplisert og kostbart.

Det skal mye til og det tar lang tid å slite hull i plastrør. Mest utsatt er stikkrenner og overvannsledninger med mye grustransport – og spesielt utsatt er retningsendringer. Det er ekstremt sjelden vi hører om utslitte plastrør. Den store fordelen for nedgravde plastrør utsatt for slitasje, er at sidestøtten fra omliggende masser opprettholder styrken i samvirkekonstruksjonen. Derfor vil ikke rør-ringen kollapse og røret opprettholder sin funksjon – selv om rørveggen blir svært tynn.

Rør av stive rørmaterialer er mer utsatt fordi rørets styrke skal bære all last. Slitasje vil svekke rørets evne til å tåle belastningene – og det går til brudd.

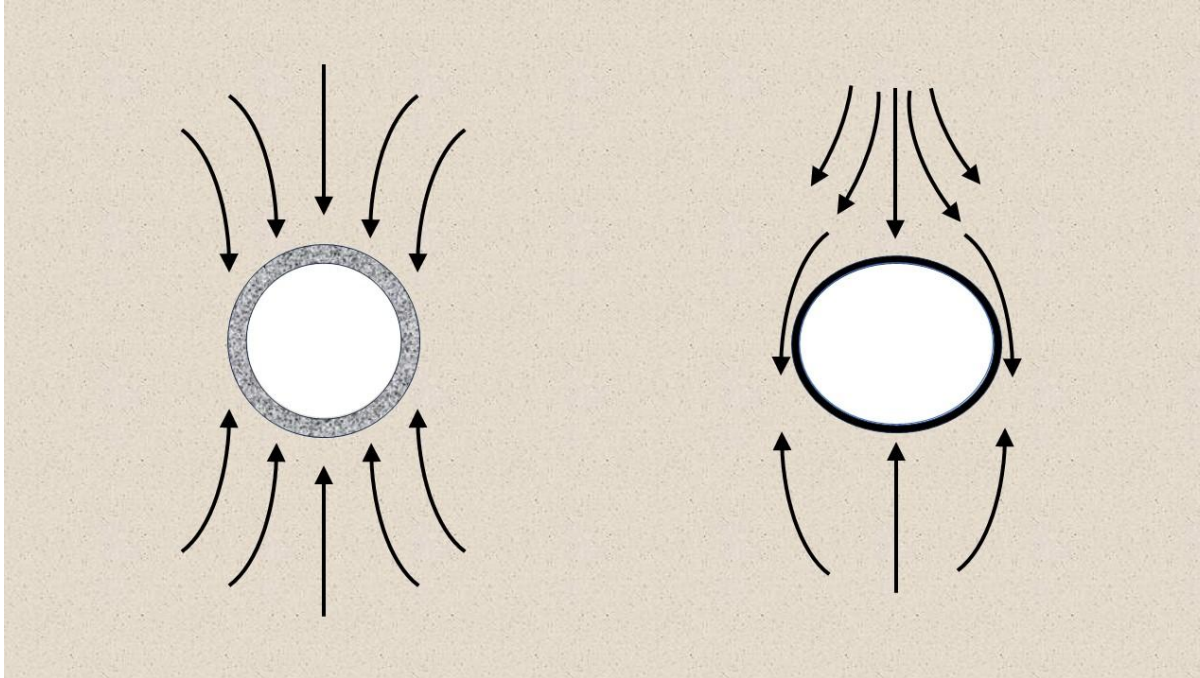


Fleksible rør tåler slitasje bedre

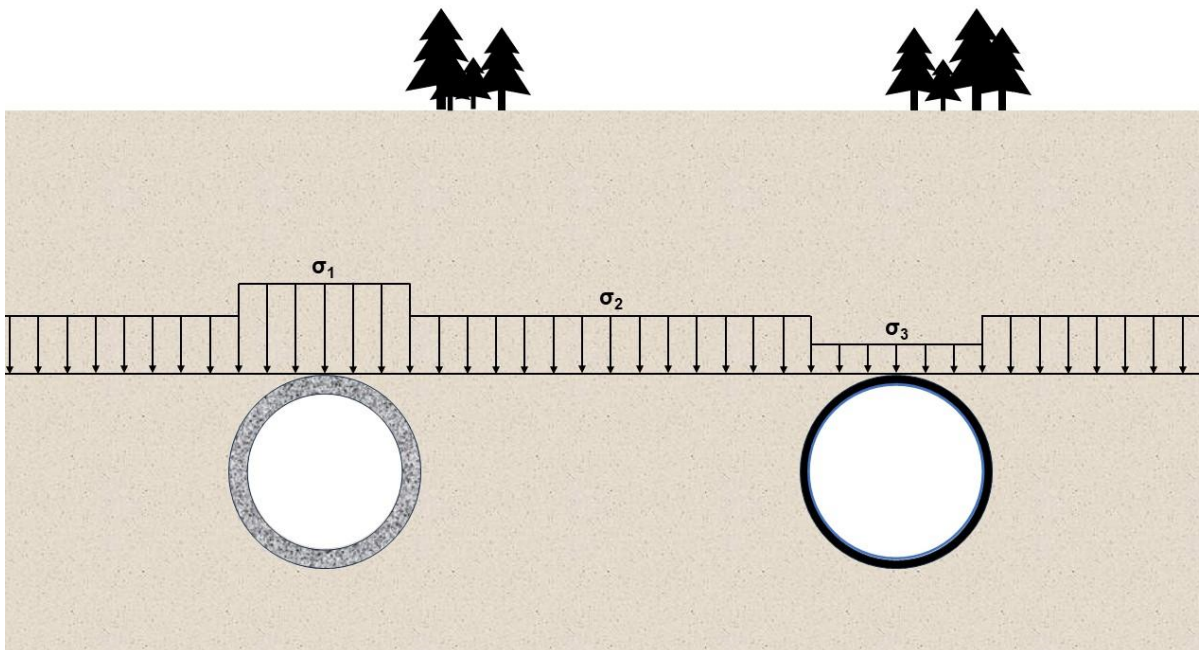
Har du en rørledning der det er fare for stor slitasje, så er den beste løsningen å legge et tykkvegga PE-rør og unngå brå retningsendringer. PE er dessuten den mykeste av de vanlige rørmaterialene og har derfor best slitasjemotstand. Gode tips er i tillegg å installere sandfang, som tømmes når de er halvfulle, og eventuelt installere energidreper/fallkummer hvis det er svært stort fall på ledningen.

R: Belastninger på rør i grøft

«Styrken ligger i fleksibiliteten», sier man gjerne om plastrør. I grøft vil fleksible rør deformere og få støtte fra massene ved siden av røret. I dette kapitlet ser vi nærmere på hvordan nedgravde fleksible rør oppfører seg og hvordan man gjør beregninger på dette.



Stive rør trekker til seg last og fleksible rør gir en omlagring av jordtrykket.



Jordtrykket blir større mot et stivt rør enn et fleksibelt rør

Fleksible rør som ligger i jord deformeres mer eller mindre i takt med massene rundt. Hvor mye røret blir deformert avhenger av rørets styrke (ringstivhet), kvaliteten på massene og jordtrykket. Jordtrykket er igjen avhengig av overdekningen, jordens egenvekt i og over grunnvann og belastninger fra trafikk og andre laster. Jo mindre stivt røret er, jo nærmere vil det horisontale jordtrykket bli det vertikale – likevekt.

For rør i ringstivhetsklasse SN 8 er tillatt deformasjon oftest begrensende. Men det kan også være relevant å se på tøyning i materialet og faren for kollaps pga. høye trykkspenninger i ringretning.

I de aller fleste tilfeller er det ikke behov for å regne på dette, men følge NPG Norge sine leggeanvisninger for plastrør.

Disse tilfellene kan kreve spesiell prosjektering:

- Tyngre trafikk enn tungtrafikk på offentlig vei, Bk10. F.eks. gods-/havneterminaler, jernbane, flyplasser osv.
- Ekstremt høye laster fra tunge konstruksjoner eller utstyr.
- Store rørdimensjoner i offentlig vei, DN \geq 2500.
- Svært høy overdekning, > 10 m.
- Rør med ringstivhet under SN 8.
- Usertifiserte rør med konstruert rørvegg som ikke klarer kravet til ringfleksibilitet.

Generelt om deformasjoner på rør

Det finnes flere metoder for å beregne deformasjon av fleksible rør i jord. De vi kjenner til bygger på samme grunnlag, Spanglers modeller. I Norge har vi ofte brukt «den skandinaviske metoden» utarbeidet av Lars-Eric Janson og Jan Molin for flere tiår siden. Den har vist seg å gi gode, konservative resultater – altså er den trygg å bruke. Denne tar utgangspunkt i rør i fylling – at røret legges og så fylles terrenget opp til ønsket nivå. Når røret deformere får du en hvelvirkning i massene over. For et rør i en ganske smal grøft vil hvelvirkningen forsterkes. Hvelvet over avlaster det fleksible røret – og deformasjonen reduseres. Dette er også en grunn til at det er smart i fyllinger å fylle opp og komprimere med tungt utstyr først, og så grave grøfta og legge rør til slutt.

Vi skal straks se nærmere på den skandinaviske beregningsmetoden. I dag finnes det også muligheter for å bruke avanserte metoder, f.eks. iht. SN-CEN/TR 1295-3, eller kjøre datasimuleringer og finne et svar med mange desimaler. Men her, som ellers, kan det være stor forskjell på teori og praksis: Alt er til syvende og sist avhengig av jobben som blir gjort i grøfta! Sluttresultatet kan både bli bedre og dårligere enn det teoretiske beregninger tilsier.

Begrensningene i disse beregningene er ofte av praktisk art. For plastmaterialer er tillatt tøyning i materialet en begrensning, men det skal store deformasjoner til for å nå opp i grenseverdiene. 15 % deformasjon for rør i ringstivhetsklasse SN 8 er ikke levetidsbegrensende for plastmaterialer med den kvalitet vi har i rørprodukter i dag.

For rør med konstruert rørvegg iht. NS-EN 13476-2 og -3, kjent som dobbelvegga rør, profilerte rør, spiralspunnede rør m.m., så er ringfleksibilitet en viktig egenskap med tanke på å tåle belastninger et nedgravd rør utsettes for. Ringfleksibilitet testes ved å deformere røret med jevn hastighet. Kraften måles og skal ikke avta før deformasjonen har nådd 30 %. Etter testen skal rørveggen ikke vise tegn til kollaps. Alle rør som er sertifisert og merket med Nordic Poly Mark består denne testen og kan trygt legges iht. leggeanvisningen – eller iht. prosjektering utført av kompetente ingeniører.

I Norge er grensene for tillatt deformasjon rett etter gjenfylling mellom 5 % og 9 %. Det strengeste kravet er ment for normale grøfter med gode masser i ledningssonen og moderat overdekning – der det skal mye slurv til for at det skal gi store deformasjoner. 8 % gjelder for avløpsrør i svært grunne grøfter i vei, svært dype grøfter eller med dårlige masser i ledningssonen - og 9 % gjelder for kabelrør som ofte ligger svært grunt og med kabelsand i ledningssonen.

Leggeanvisningen er den samme for trykkløse rørsystemer som for trykkrørledninger – selv om styrken i trykkrør kan være mange ganger større enn for avløpsrør og kabelrør. Grunnen til dette er at trykkrør utsettes for store materialbelastninger på grunn av det innvendige trykket – og av den grunn bør legges omhyggelig og pent. Erfaringer fra gamle dager, der trykkrør kunne bli lagt skjødesløst, bekrefter dette.

Plastrør behøver ikke alltid legges i tilkjørt singel, pukk eller sand. Stedlige masser kan også brukes. Er de av dårlig kvalitet, så vil det kreve mer av personen i grøfta. Men bruk av stedlige masser, når de er egnet eller kan behandles slik at de blir egnet, har en god miljømessig effekt og reduserer kostnadene. Bruk av stedlige masser må ikke gå på bekostning av kvalitet og levetid.

Legger man rør i henhold til leggeanvisningene, så skal resultatet bli bra. Teorien bak er som følger:

Formel for beregning av deformasjon av fleksible rør i grøft

Slik beregnes deformasjon på rør i grøft eller fyllinger med den skandinaviske metoden:

$$\frac{\delta}{D} = \frac{0,083 \cdot q}{16 \cdot SN + 0,122 \cdot E'_s} \quad [\quad]$$

- δ: Deformasjon [mm]
- D: Utvendig diameter [mm]
- q: Belastning fra jord, trafikk m.m. (vertikalt jordtrykk), $q = q_{\text{jord}} + q_{\text{trafikk}} + q_{\text{annet}}$ [kN/m²]
- SN: Rørets ringstivhet [kN/m²]
- E'_s: Sekantmodul for massene i ledningssonen [kN/m²]

Lavere jordtrykk, høyere ringstivhet og høyere sekantmodul bidrar til redusert deformasjon. Og så opererer den skandinaviske metoden med tillegg avhengig av ulike forhold i grøfta, ringstivhet og tid.

Se eksempel på utregning på side 11 og om tilleggsfaktorer på side 12.

Formelen gir greie resultater i de fleste sammenhenger – ved overdekning inntil 10 meter og SN 8 rør eller bedre. Men den tar ikke hensyn til den hvelvirkningen som reduserer belastningen mot røret. Slik hvelvirkning oppstår som oftest ifm. rør med stor overdekning, avhengig av beskaffenheten til massene over røret, slik at jordlasten ikke øker lineært. Men det er det vanskelig å ha kontroll på. Med bruk av EPS, som beskrevet på slutten av dette kapitlet, fjernes de usikre variablene slik at rør trygt kan legges med enda større overdekning.

Belastning fra jord, q_{jord}

Her bruker vi vekten av jorden over røret for å finne jordtrykket ved topp rør. Er egenvekten av massene ikke kjent, så kan du bruke verdiene 18 kN/m³ for vanlige jordmasser og 20 kN/m³ for steinfyllinger. Hvis det er grunnvann over rørledningen, så reduseres egenvekten av jordmassene i vann i henhold til Arkimedes' lov med 10 kN/m³. Grunnvannet utøver et hydraulisk trykk mot røret, som skal inkluderes i beregningene med hensyn på trykket som kan gi kollaps av rørringen. Vekten av jorden, og dermed jordtrykket, øker lineært med overdekningshøyden – har vi bestemt. Det er nødvendigvis ikke sant, som sagt, men for sikkerhets skyld ...

$$q_{jord} = \gamma_{jord} \cdot H \quad [\text{kN/m}^2]$$

Og hvis det står grunnvann over rørledningen:

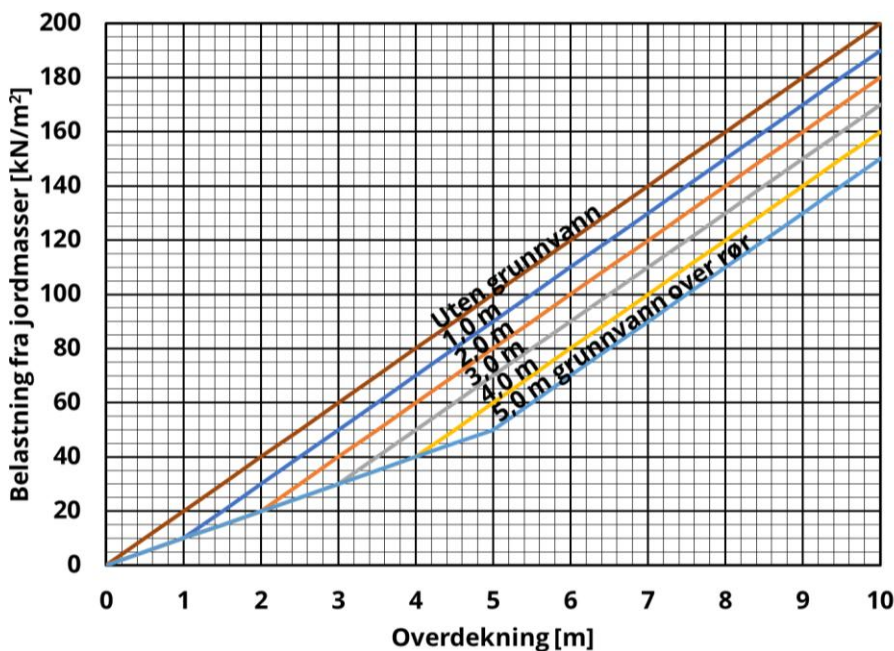
$$q_{jord} = (\gamma_{jord} - \gamma_{vann}) \cdot h + \gamma_{jord} \cdot (H - h) \quad [\text{kN/m}^2]$$

γ_{jord} : Jordens tyngdetetthet, normalt 18 – 20 kN/m³

γ_{vann} : Vannets tyngdetetthet, normalt 10 kN/m³

h : Laveste grunnvannshøyde over topp rør [m]

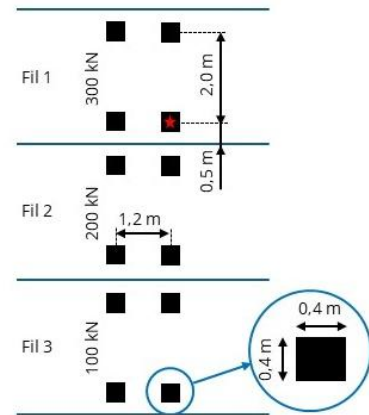
H : Overdekning [m]



Jordtrykk mot rør avhengig av overdekning og grunnvannshøyde for masser med tyngdetetthet 20 kN/m³.

Belastning fra trafikk, $q_{trafikk}$

For offentlig vei med bruksklasse 10 (Bk10) er dimensjonerende trafikklast definert som tre definerte kjøretøy med to akslinger med en senteravstand i lengderetning på 1,2 meter og hjul med en senteravstand på 2,0 meter per aksling i tre definerte filer med en bredde på 3,0 meter hver. Aksellasten til kjøretøyet i fil 1 er 300 kN inklusive støttillegg, i fil 2 er den 200 kN og i fil 3 er den 100 kN. Hjulene får da en vekt på henholdsvis 150 kN, 100 kN og 50 kN. Hjulene har en kontaktflate på $0,4 \text{ m} \cdot 0,4 \text{ m} = 0,16 \text{ m}^2$.

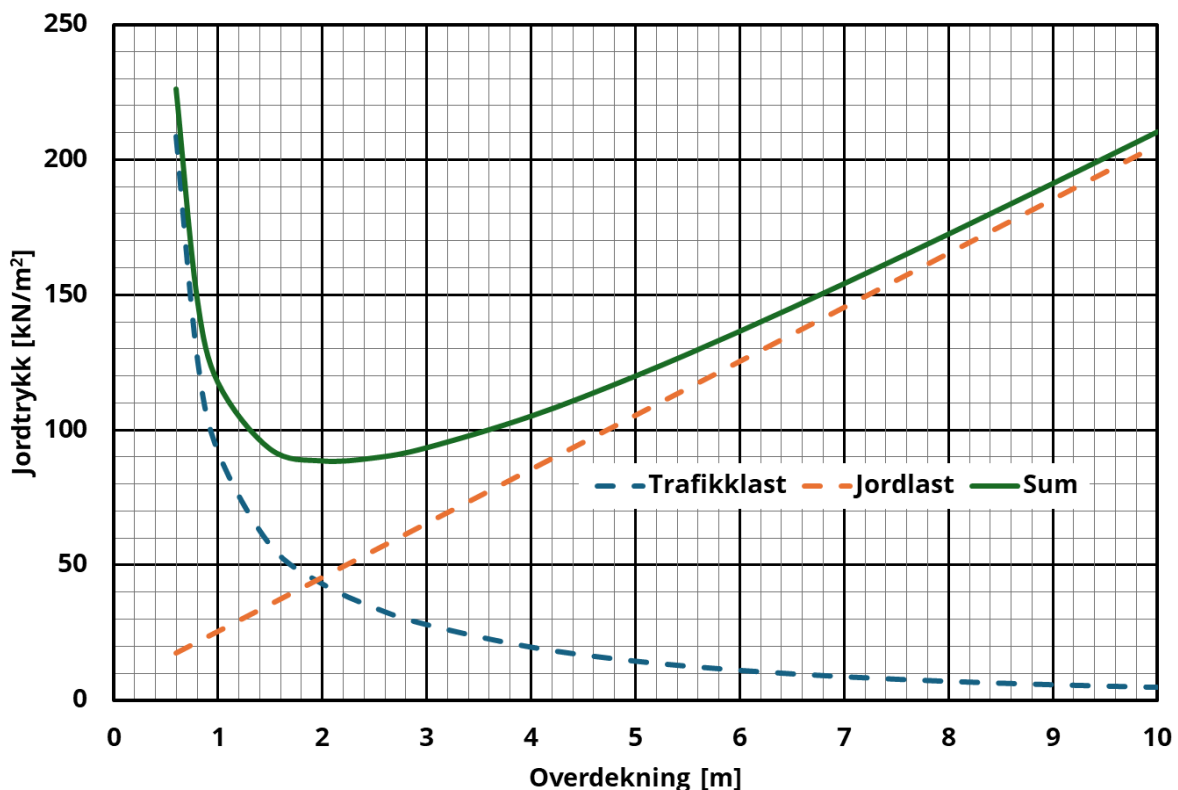


I tillegg er det en jevnt fordelt last på $5,4 \text{ kN/m}^2$ i felt 1 og på $2,5 \text{ kN/m}^2$ i felt 2 og 3.

Dimensjonerende trafikklast på offentlig vei

Jordtrykket vil bli størst rett under ett av hjulene med 150 kN vekt som er nærmest fil 2 – markert med rød stjerne i illustrasjonen.

Etter hvert som overdekningen øker, vil vektpåvirkningene fra de andre hjulene gradvis slå inn. Når overdekningen er over 0,6 meter kan vi betrakte lastene fra hvert hjul som punktlaster og benytte Boussinesq sin metode for å finne jordtrykket mot røret fra trafikklasten - se om Boussinesq i neste kapittel.



Dimensjonerende laster i offentlig vei (Bk10)

Den tunge trafikken vi har på flyplasser, havneterminaler, godsterminaler og jernbanespor krever spesielle beregninger – se neste avsnitt. Ved for stor deformasjon kan løsningen være større

overdekning, rør med høyere ringstivhet eller at rør støpes inn eller installeres med avlastningsplate over.

I anleggsperioden kan trafikklastene overstige normale laster mye, samtidig som overdekningen ofte er mindre enn for ferdig vei. For eksempel er det målt støtt tillegg på 3 – 400 % på ujevn anleggsvei. Her kan det være nødvendig å gjøre lastbegrensende eller lastfordelende tiltak. Streng hastighetsbegrensning over rør-traseer, som reduserer støtene, er et svært effektivt tiltak.

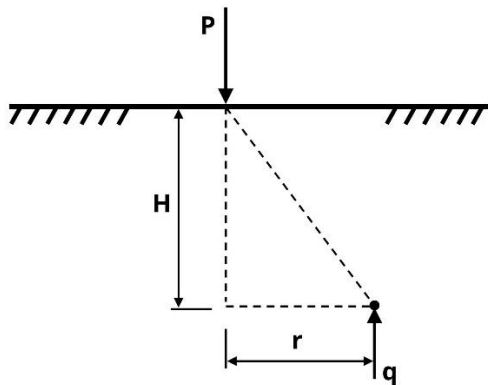
Jordtrykk fra andre typer mer eller mindre jevnt fordelte statiske laster, i kN/m^2 , kan legges til jordlasten – se også neste avsnitt.

Jordtrykk fra andre laster på overflaten – Boussinesq formel

Hvis deformasjon av rør skal skje, så må det oppstå en setning. Så hvis f.eks. en bygning siger, så vil det påvirke røret. Tunge bygg overfører krefter via bunnplata og/eller søylefundamenter. Normalt tilpasses jordtrykket grunnforholdene slik at grunnen ikke gir etter – trykket fra lasten, i kN/m^2 , må begrenses. Står bygningen i ro, så vil røret også være stabilt.

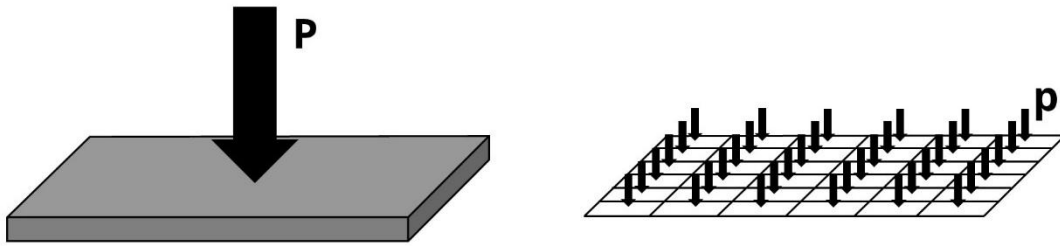
Kanskje røret ligger under en jernbane, ei mobilkran må plassere labben over et rør eller det er snakk om ekstraordinære trafikklaste fra utstyr med store hjul? Da kan vi med hjelp av Boussinesq sin formel finne jordtrykket mot røret. Hvis lasten er dynamisk, for eksempel fra en trafikklast, så må du vurdere et støtt tillegg. Høye hastigheter og ujevne overflater gir høye støtt tillegg.

Med Boussinesq sin formel kan vi beregne jordtrykket på røret (q) fra en punktlast (P) med horisontal avstand (r) i en vertikal dybde (h).



Vertikalt jordtrykk (q) i jordmasser fra punktlast (P) i dybde (H) og med horisontal avstand (r)

Det er som regel ikke snakk om en punktlast i ordets egentlige forstand, men en last som fordeler seg over ei flate – et marktrykk. Da kan vi dele flaten opp i mange rektangler og finne punktlasten for hvert rektangel. Da blir bildet mer riktig.



Fra en stor punktlast P på ei flate til mange mindre punktlaster p over samme areal

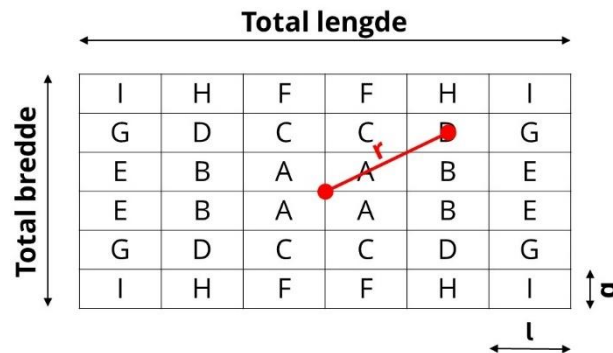
Eksempel:

Labben på ei mobilkran overfører 60 tonn, eller 600 kN, via ei plate med lengde 1,2 meter og bredde 1,0 meter – altså et areal på $1,2 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} = 1,2 \text{ m}^2$.

Den jevnt fordelte lasten, marktrykket, blir $600 \text{ kN} / 1,2 \text{ m}^2 = 500 \text{ kN/m}^2$.

Vi velger i dette tilfellet å dele flaten inn i et rutenett med seks rektangler i lengde og bredderetning – totalt 36 rektangler. Punktlasten i hvert rektangel (p) blir $600 \text{ kN} / 36 = 16,7 \text{ kN}$. Lengden på hvert rektangel (l) blir $1,2 \text{ m} / 6 = 0,2 \text{ m}$ og bredden (b) blir $1,0 \text{ m} / 6 = 0,167 \text{ m}$.

Nå trenger vi å finne avstanden (r) fra senter av flaten, der jordtrykket mot røret antas å bli størst, til senter av hvert rektangel.



Rektangler i illustrasjonen med samme bokstav har samme avstand r fra senter – der jordtrykket altså antas å bli størst. Overføres det laster fra flere nærliggende flater, så må man finne det området der jordtrykket blir størst ved den gitte overdekningen. I illustrasjonen over er lengden fra senter av flaten til senter av rektangel D lik 1,5 ganger lengden av ett rektangel – og bredden er også 1,5 ganger bredden av ett rektangel. Da blir formelen for å finne avstanden r for D-rektanglene:

$$r_D = \sqrt{(1,5 \cdot l)^2 + (1,5 \cdot b)^2}$$

Eksempel:

Rektanglene i forrige eksempel har lengde (l) 0,2 meter og bredde (b) 0,167 meter. Lengden fra senter flate til senter D-rektangler (r_D) er

$$r_D = \sqrt{(1,5 \cdot l)^2 + (1,5 \cdot b)^2} = \sqrt{(1,5 \cdot 0,2 \text{ m})^2 + (1,5 \cdot 0,167 \text{ m})^2} = 0,391 \text{ meter}$$

Avstanden r regnes ut for alle rektanglene:

Rektangel	r [m]
A	0,130
B	0,311
C	0,270
D	0,391
E	0,507

Rektangel	r [m]
F	0,429
G	0,559
H	0,514
I	0,651

Ut fra avstandene ($r_{A, B, C, D osv.}$) beregnes jordtrykkene ($q_{A, B, C, D osv.}$) fra hver enkelt punktlast ($p_{A, B, C, D osv.}$) ut for aktuell overdekning (H). Boussinesq sin formel for jordtrykk:

$$q_{A, B, C, D osv.} = \frac{3 p_{A, B, C, D osv.}}{2 \cdot \pi \cdot H^2} \cdot \frac{1}{[1 + (r/H)^2]^{5/2}}$$

Merk at det i dette tilfellet er fire rektangler med samme avstand til senter av flaten. Husk å multiplisere jordtrykkene med 4. Til slutt summeres alle jordtrykkene og denne summen brukes som jordtrykk mot røret.

For dette formålet er et regneark et veldig nyttig verktøy – som du kanskje har forstått.

Eksempel:

Jordtrykket fra ett D-rektangel (q_D), fra forrige eksempel, med en punktlast (p) på 16,7 kN i en avstand (r) 0,391 meter fra senter ved 1,0 meter overdekning (H) er

$$q_D = \frac{3 \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot H^2} \cdot \frac{1}{[1 + (r/H)^2]^{5/2}} = \frac{3 \cdot 16,7 \text{ kN}}{2 \cdot \pi \cdot (1,0 \text{ m})^2} \cdot \frac{1}{[1 + (0,391 \text{ m}/1,0 \text{ m})^2]^{5/2}} = 5,6 \text{ kN/m}^2$$

Jordtrykket (q) regnes ut for alle rektanglene:

Rektangel	q per rektangel [kN/m ²]	Rektangel	q per rektangel [kN/m ²]
A	7,6	F	5,2
B	6,3	G	4,0
C	6,7	H	4,4
D	5,6	I	3,3
E	4,5	Sum	47,7

Summen blir 47,7 kN/m² og dette tallet multipliseres med 4, i og med at det er fire rektangler med samme avstand r til senter, for å finne det totale jordtrykket fra flaten kraften virker på – ved 1,0 meter overdekning:

$$q = 4 \cdot 47,7 \text{ kN/m}^2 = 190,8 \text{ kN/m}^2$$

Når vi legger til jordlasten blir det totale jordtrykket på høyde med det du får fra trafikk på en offentlig vei med minimum overdekning 0,6 meter. I og med at forskjellen er marginal, så vil det gå bra. Deformasjonen vil sannsynligvis gå tilbake fordi denne lasten er veldig temporær og jordlasten veldig liten og røret sterkt nok til løfte jorden etterpå. Det er enkelt å redusere jordtrykket mot røret ved å øke arealet lasten fordeler seg over og dermed redusere marktrykket – ved rett og slett å legge ei større plate under labben.

Ringstivhet, SN

Ringstivhet er et empirisk tall for rør-ringens styrke. Tallet sier ikke noe om hva røret tåler av jordtrykk. For de fleste trykløse rørsystemer deles rørene inn i klasser etter ringstivhet etter en definert tallserie, for eksempel SN 4, SN 8, SN 16, SN 32 og SN 64. Den virkelige ringstivheten kan være betydelig høyere. For eksempel vil et PE 100 kabelrør SN 64 ha en reell ringstivhet på mer enn 80 kN/m².

For termoplastrør representerer tallet minimum ringstivhet i kN/m². Tallet for ringstivhet er anvendelig i visse beregninger, for eksempel for å beregne deformasjon av nedgravde rør og evne til å tåle undertrykk.

De oppgitte ringstivhetsverdiene er korttidsverdier. Det meste av deformasjonen skjer raskt under gjenfylling av grøfta. Unntaksvis er det behov for å beregne med langtidsverdier. Dette gjelder for eksempel når vi skal beregne hvor høyt undertrykk røret tåler over lang tid.

Å måle ringstivhet for en rørdel er litt komplisert. Ringstivheten vil øke på grunn av rørdelens geometriske utforming. For rørdeler med konstruert rørvegg er ringstivhet en klassebenevnelse. For rørdeler med glatt, homogen rørvegg er ringstivhet ikke en klasse. Her bruker vi SDR, $SDR = D/e$, eller S, $S = (SDR-1)/2$.

Reell ringstivhet for trykkrør:

SDR	41	33	26	21	17	13,6	11	9	7,4
PE 100	1,3	2,5	5,3	10,4	20	42	83	163	318
PVC		8,0		32		120			

Sammenheng mellom SDR-verdi, rørmateriale og reell ringstivhet [kN/m²] for trykkrør

Jordmassenes sekantmodul, E',

Massenes sekantmodul er et uttrykk for jordtypen sin evne til å absorbere krefter. Høy sekantmodul betyr at jordmassene deformeres lite – og massene vil støtte røret godt. Friksjonsjord med høy sekantmodul påvirkes lite av vanninnholdet. Er massene svært dårlige og har høyt vanninnhold, så kan støtteevnen settes til null. Da oppstår det heller en situasjon der det som befinner seg rundt røret overfører et jevnt fordelt hydraulisk trykk mot røret. Leggedybden begrenses i slike tilfeller av rørets evne til å tåle utvendig overtrykk. Ved bruk av stedlige eller kortreiste masser i ledningssonen må egnethet vurderes fra gang til gang.

Jordmassenes sekantmodul øker med komprimeringsgraden og reduseres med vanninnholdet.

Normalt benyttes svært konservative verdier for jordtypenes sekantmodul. I spesielle tilfeller kan man bruke mer riktige verdier, men det krever god geoteknisk kompetanse og god kunnskap om stedlige forhold.

Veiledende verdier for sekantmodul for masser som kan brukes i ledningssonen:

Jordtype	Komprimering	Sekantmodul [kN/m ²]
Finpukk eller singel (4/16, 8/22, 4/22 e.l.) *	Ingen	2000
Finpukk med øvre nominell kornstørrelse mellom 4 og 8 mm *	Lett	2000
	Ingen	1500
Velgradert grus med nedre nominell kornstørrelse 2 mm	Normal	2000
	Lett	1500
	Ingen	1000
Grusholdig sand/grov sand med nedre nominell kornstørrelse 0,2 mm	Normal	1500
	Lett	1000
	Ingen	500
Silt- eller leirholdige grove friksjonsmasser **	Normal	1000
	Lett	500
	Ingen	250
Fin sand og silt **	Normal	500
	Lett	250
Andre «dårlige» masser **		0

* Best egnet ved fare for frost

** Uegnet ved fare for frost

Eksempel:

Hva er beregnet deformasjon for et SN 8 rør lagt i pukk med 8 meter overdekning i en steinfylling?

$$\frac{\delta}{D} = \frac{0,083 \cdot q}{16 \cdot SN + 0,122 \cdot E'_s} = \frac{0,083 \cdot 8 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m}^3}{16 \cdot 8 \text{ kN/m}^2 + 0,122 \cdot 2000 \text{ kN/m}^2} = 0,036 = 3,6 \%$$

Blir jobben i grøfta gjort godt, så blir det et lite tillegg – og et større tillegg for dårlig utført jobb (se neste avsnitt). Ved normale forhold kan en i denne grøfta forvente deformasjoner mellom 4 til 7 %.

Tilleggsfaktorer

Den skandinaviske metoden opererer med større eller mindre tillegg for å finne endelig deformasjon.

$$\frac{\delta}{D} = L_f \cdot \left(\frac{0,083 \cdot q}{16 \cdot SN + 0,122 \cdot E'_s} \right) + I_f + G_f$$

- L_f: Langtidsfaktor. For å finne endelig deformasjonen, etter at massene har satt seg ferdig, multipliseres selve formelen med en langtidsfaktor. I gode, godt komprimerte masser i ledningssonen blir denne faktoren liten. Verdier fra 1,5 til 2,0 er vanlig å bruke.
- I_f: Installasjonsfaktor. 1 – 2 % legges til når det for eksempel mangler egenkontroll under legging eller når det foregår tung anleggstrafikk ved liten overdekning eller når det komprimeres med relativt tungt utstyr rett over rørledningen.
- G_f: Grøtdefaktor. 1 – 5 % legges til avhengig av om utførelsen er svært god og massene er gode eller dårligere.

Det sier seg selv at beregningen ikke blir særlig nøyaktig. Praksis viser imidlertid at metoden gir en god pekepinn om sluttresultatet blir innenfor krav eller ikke. Det er uansett jobben som blir gjort i grøfta som er det viktigste faktoren.

Kollaps

Ved faste grunnforhold vil en eventuell kollaps av rør-ringen, på grunn av overbelastning, skje plutselig. Tillatt jordtrykk med tanke på kollaps:

$$q_{\text{tillatt}} = 5,63 \cdot \beta \cdot \sqrt{SN \cdot 2 \cdot E'_s} \quad [\text{kN/m}^2]$$

- β: Reduksjonsfaktor mht. ovalitet, $1 - 3 \cdot \frac{\delta}{D}$ []
- SN: Rørets ringstivhet [kN/m²]
- E'_s: Jordmassenes sekantmodul [kN/m²]

Eksempel:

Hva er maksimum tillatt jordtrykk for et SN 8 rør som er lagt i pukkg og som har inntil 5 % deformasjon?

$$q_{\text{tillatt}} = 5,63 \cdot \beta \cdot \sqrt{SN \cdot 2 \cdot E'_s} = 5,63 \cdot (1 - 3 \cdot 0,05) \cdot \sqrt{8,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 2 \cdot 2000 \text{ kN/m}^2} = 856 \text{ kN/m}^2$$

856 kN/m² tilsvarer jordtrykket for et rør med cirka 40 meter overdekning. Det er med andre ord ekstremt sjelden vi ser denne typen kollaps for rørtypene vi bruker i Norge.

Ved beregning mht. kollaps skal trykket fra eventuelt grunnvann tas med.

Tøyning i rørveggen ved deformasjon

Normalt trenger vi ikke å tenke på tøyninger i materialet på grunn av deformasjon. Men ved tykkvegga rør med svært høy ringstivhet lagt med ekstremt høye overdekninger, så kan tøyningen på grunn av deformasjon bli dimensjonerende. Tillatt materialtøyning for PVC er 2,5 % og for PP og PE 5 %.

Tøyning i rørveggen for rør med glatt homogen rørvegg regnes ut ved hjelp av følgende formel:

$$\epsilon = D_f \cdot \frac{\delta}{D} \cdot \frac{1}{SDR - 1}$$

D_f : Tøyningsfaktor, settes til 6 for rør med glatt homogen rørvegg []

$\frac{\delta}{D}$: Relativ deformasjon [%]

SDR: $\frac{D}{e}$ []

Eksempel:

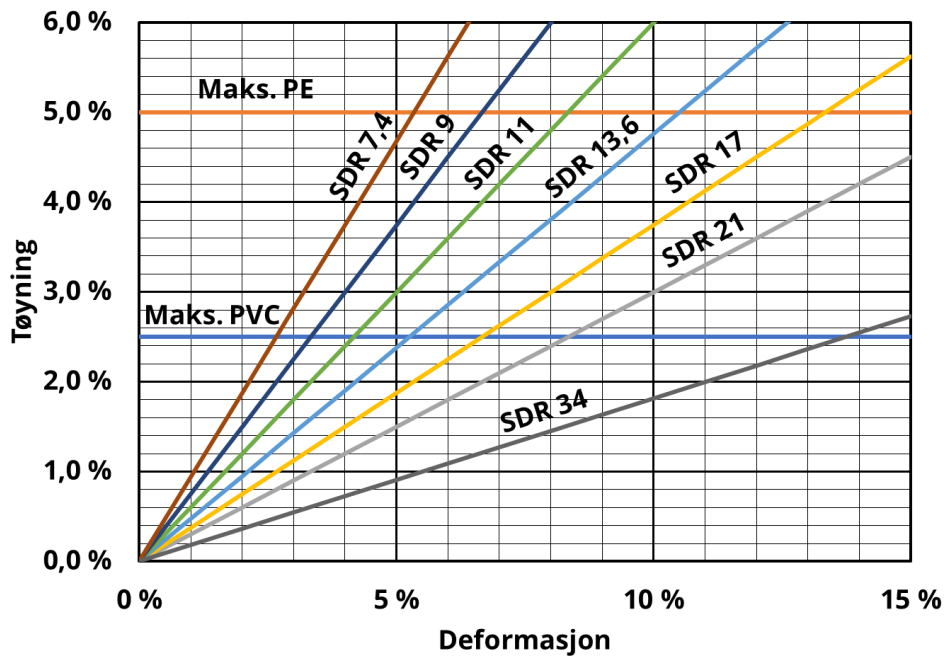
Hva er tøyningen i rørveggen for et PE SDR 11 rør som deformeres 10 %?

$$\epsilon = D_f \cdot \frac{\delta}{D} \cdot \frac{1}{SDR - 1} = 6 \cdot \frac{10}{100} \cdot \frac{1}{11 - 1} = 0,06 = 6 \%$$

10 % deformasjon gir en tøyning over 5 % for et PE SDR 11 rør. PE 100 SDR 11 rør har en veldig høy ringstivhet og må ha svært stor belastning for å få en så stor deformasjon.

Tøyning i rør med konstruert rørvegg er ikke komplisert å beregne. Men du må vite nøytralaksediameteren for veggkonstruksjonen – som er informasjon som kan være vanskelig å skaffe. Sertifiserte rør tilfredsstiller høyeste kravnivå ifm. ringfleksibilitetstesten og anses å være trygge fordi rørveggen må tåle stor tøyning for å bestå kravene.

Beregnet materialtøyning i rørveggen for PVC SN 8 rør er 1,5 %, for Pipelife sine PP SN 8 rør 1,7 % og for Pipelife sine dobbelvegga rør (DN/OD Pragma og DN/ID Pragma Infra) er den mellom 3,3 % og 3,9 % ved 8 % deformasjon.



Tøyning i rørvegg i forhold til deformasjon for rør med glatt homogen rørvegg

Legging av rør med stor overdekning

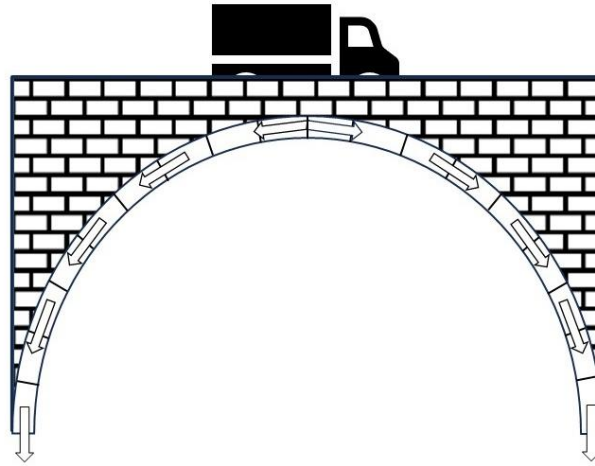
Den generelle leggeanvisningen gjelder for overdekning inntil 10 meter. Denne tar utgangspunkt i «worst case»: Rør i fylling uten ekstraordinære tiltak og med en jordlast som øker lineært i takt med høyden av overdekningen. Med enkle tiltak kan rør legges mye dypere:

- Det kan benyttes rør med høyere ringstivhet enn SN 8
- Det er gunstig å grave ut ei smal grøft etter at en del av fyllingen er etablert og disse massene er komprimert med veldig tungt komprimeringsutstyr – som ikke er tillatt rett over røret
- Det kan legges et lag av kompressibelt materiale over røret for å etablere større hvelvirkning

Tiltakene kan selvsagt kombineres. Pipelife anbefaler at slike rørledninger prosjekteres spesielt og at den utførende har klare retningslinjer for arbeidet.

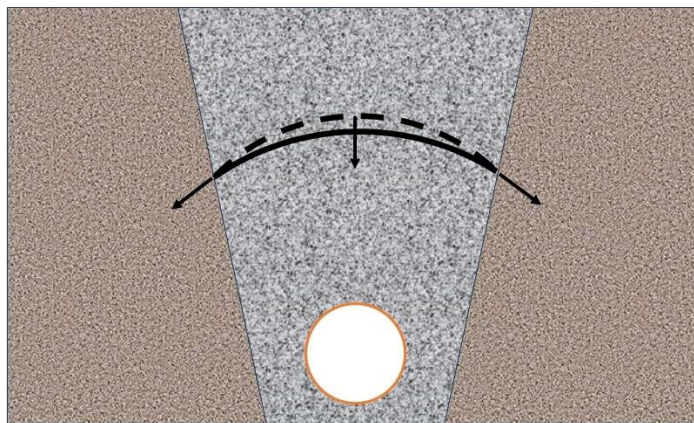
Fleksible rør deformeres og dermed oppstår det en omlagring av jordtrykket fra massene over. Hvis det er friksjonsmasser over røret, så kan jordtrykket mot røret blir veldig lavt. Stive rør deformeres ikke og må dimensjoneres for å bære all last. Stive rør trekker dessuten til seg kreftene når massene rundt røret konsolideres. Se innledningen til dette kapitlet (side 1).

En hvelvkonstruksjon overfører kreftene fra toppen til sidene. Ved å grave ei relativt smal grøft og/eller legge ei myk plate over røret, blir hvelvirkningen større og rør kan legges med større overdekning.



Prinsippet med hvelvirkning er velkjent og for eksempel brukt i forbindelse med gamle bruer og bygg.

I ei relativt smal grøft i konsoliderte masser vil massene i gjenfyllingen sette seg og kreftene overføres til grøftesidene. Her er det mange parametere å holde styr på og derfor er det vanskelig å beregne hvelvirkningen.



Hvelvirkning blir større i ei relativt smal grøft i konsoliderte masser ved bruk av grove masser i gjenfyllingen over det fleksible plastrøret.

Hvelvirkningen tas inn i beregningen av vertikalt jordtrykk mot røret ved å bruke en hvelvirkningsfaktor:

$$q_{\text{jord}} = N_A \cdot \gamma_{\text{jord}} \cdot H \quad [\text{kN/m}^2]$$

N_A : Hvelvirkningsfaktor []

γ_{jord} : Jordens tyngdetetthet [kN/m^3]

H: Overdekning [m]

Hvelvirkningsfaktoren er større enn 1,0 for stive rør uten kompressibel plate over røret. For fleksible rør er hvelvirkningsfaktoren alltid mindre enn 1,0 fordi røret deformeres. Den reduseres ytterligere i relativt smale grøfter og med et lag av kompressibelt materiale over røret.

Hvelvirkning ved bruk av et kompressibelt lag over rørledningen

Veiblokker av EPS (ekspandert polystyren/isopor) er meget godt egnet som kompressibelt lag. EPS har lite fuktopptak (normalt mindre enn 3 %) og brytes ikke ned. Før i tiden ble det brukt andre materialer som har vist seg å være uegnet.

Et 0,5 meter tykt lag med veiblokker av EPS med minimum bredde $1,5 \cdot \text{rørdiameteren}$ legges minimum $0,2 \cdot \text{rørdiameteren}$ over røret. EPS-platene sin trykkstyrke må være mindre enn trykket massene over gir mot plata for at den skal deformeres tilstrekkelig. For eksempel må ei plate med trykkstyrke 100 kN/m^2 ha minst 5 meter overdekning for å deformeres tilstrekkelig når fyllingen består av sprengtstein med tyngdetetthet 20 kN/m^3 : $5 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m}^3 = 100 \text{ kN/m}^2$

EPS med høy trykkstyrke må derfor ikke brukes!

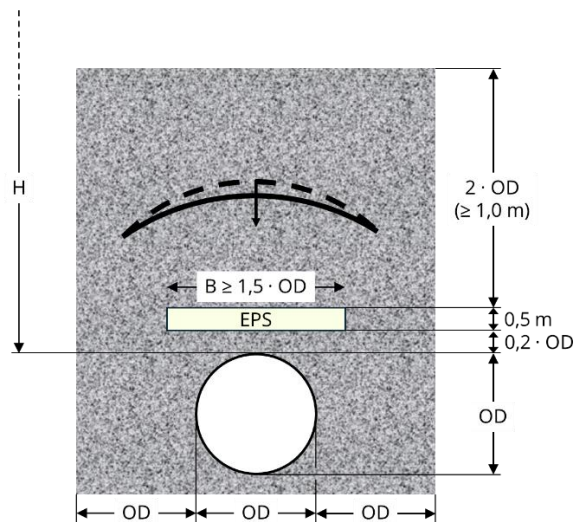
Trykkstyrke EPS	Tyngdetetthet jordmasser		
	15 kN/m ³	18 kN/m ³	20 kN/m ³
60 kN/m ²	4,0 m	3,3 m	3,0 m
100 kN/m ²	6,7 m	5,6 m	5,0 m
150 kN/m ²	10,0 m	8,3 m	7,5 m

Minimum overdekning over EPS-lag med angitt trykkstyrke og ved ulik tyngdetetthet av jordmassene

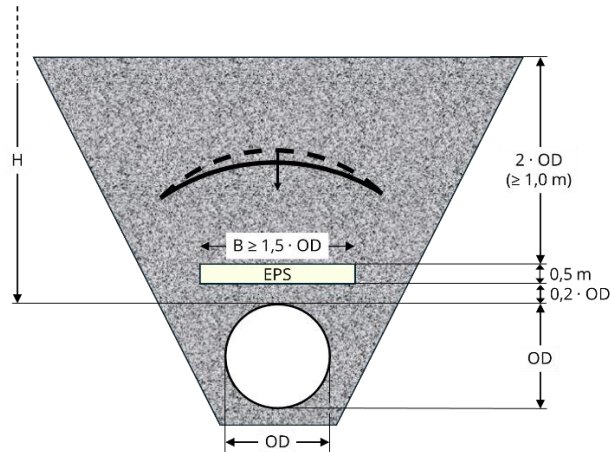
Et større område ved siden av og over røret defineres som ledningssonen når denne metoden brukes. I Norge ønsker vi å bruke godt komprimerte friksjonsmasser av høy kvalitet i denne utvidede ledningssonen.

Hvis gjenfyllingen også består av grove, komprimerte friksjonsmasser, for eksempel i en fylling for vei eller bane, så kan denne utgjøre en del av den utvidede ledningssonen – over et 600 mm tykt beskyttelseslag over veiblokkene.

Midlertidig spunt og grøftkasser bør unngås fordi det løsgjør jorden når de fjernes.



EPS-plater lagt over en rørledning i fylling for å etablere hvelvirkning og avlasting – med angivelse av den utvidede ledningssonen som må bestå av godt komprimerte friksjonsmasser (Standard Proctor 97 %).



EPS-plater lagt over en rørledning i grøft for å etablere hvelvirkning og avlasting – med angivelse av den utvidede ledningssonen som må bestå av godt komprimert friksjonsjord (Standard Proctor 97 %).

Beregning av vertikalt jordtrykk mot røret ved bruk av EPS-plater for å etablere hvelvirkning:

$$q_{\text{jord}} = N_A \cdot \gamma_{\text{jord}} \cdot H$$

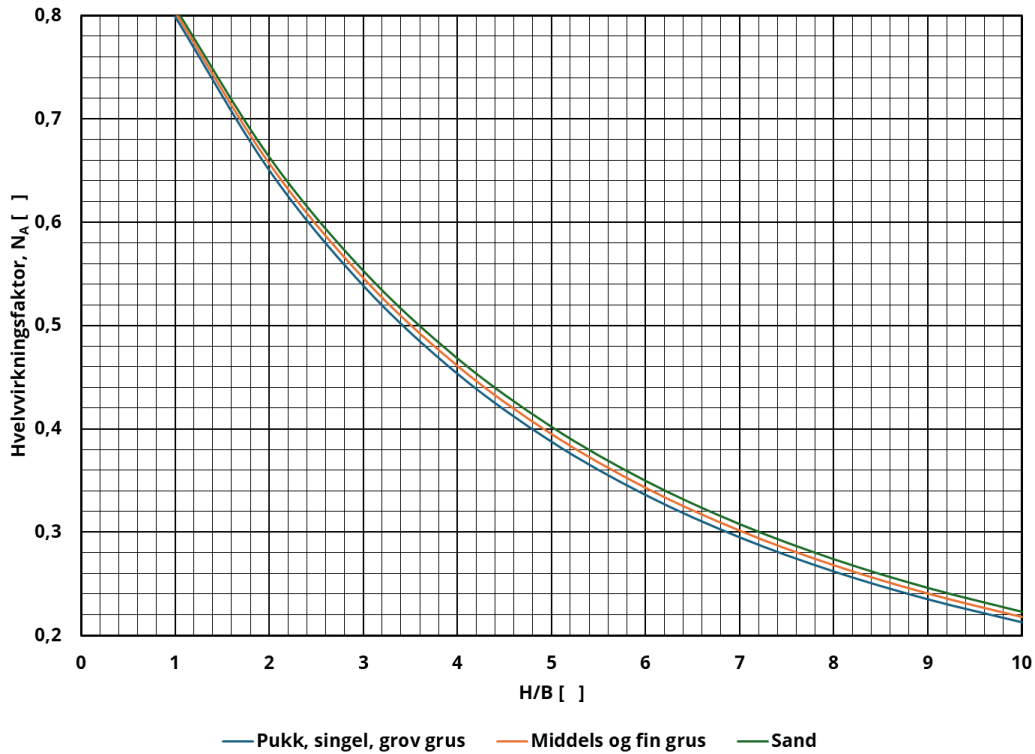
N_A : Hvelvirkningsfaktor []

γ_{jord} : Massene i gjenfyllingen sin tyngdetetthet [kN/m^3]

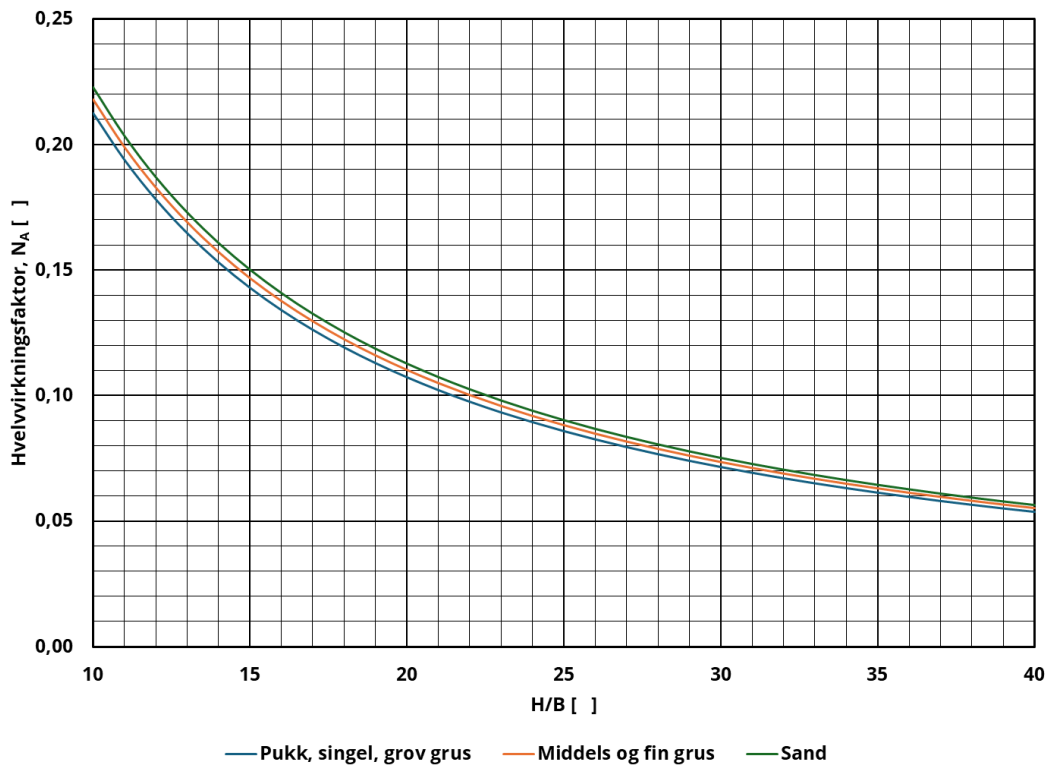
H: Høyden av overdekningen (over røret) [m]

EPS har forsvinnende liten tyngdetetthet og massene i ledningssonen kan ha en annen tyngdetetthet enn massene over, men vi velger her å se bort fra det lille bidraget det utgjør. Selvsagt kan man beregne jordtrykket spesielt når det er flere lag masser med ulik tyngdetetthet over røret.

Ved bruk av friksjonsmasser som er komprimert til Standard Proctor 97 % i den utvidede ledningssonen, så kan hvelvirkningsfaktoren (N_A) hentes ut fra diagrammene:



Hvelvirkningsfaktor (N_A) ved ulike forholdstall mellom overdekning over røret (H) og bredde på EPS-lag (B) når det er friksjonsmasser komprimert til Standard Proctor 97 % i den utvidede ledningssonen, $H/B \leq 10$.



Hvelvirkningsfaktor (N_A) ved ulike forholdstall mellom overdekning over røret (H) og bredde på EPS-lag (B) når det er friksjonsmasser komprimert til Standard Proctor 97 % i den utvidede ledningssonen, $H/B \geq 10$.

Eksempel:

Hva blir jordtrykket (q_{jord}) hvis det legges EPS veiblokker, som beskrevet foran, over et DN/ID 1400 Pragma Infra rør med overdekning (H) 30 meter i en sprengtsteinfylling når det er grov grus komprimert til Standard Proctor 97 % i den utvidede ledningssonen? Bredden (B) av EPS veiblokker er 2,4 meter.

Hvis vi regner ut jordtrykket ut fra vekten av jordsøyla rett over røret, blir det $q_{jord} = \gamma_{jord} \cdot H = 20 \text{ kN/m}^3 \cdot 30 \text{ m} = 600 \text{ kN/m}^2$. 60 tonn per kvadratmeter er et drøyt jordtrykk. Men hva blir det når vi legger EPS veiblokker over røret? Først regner vi ut forholdstallet H/B:

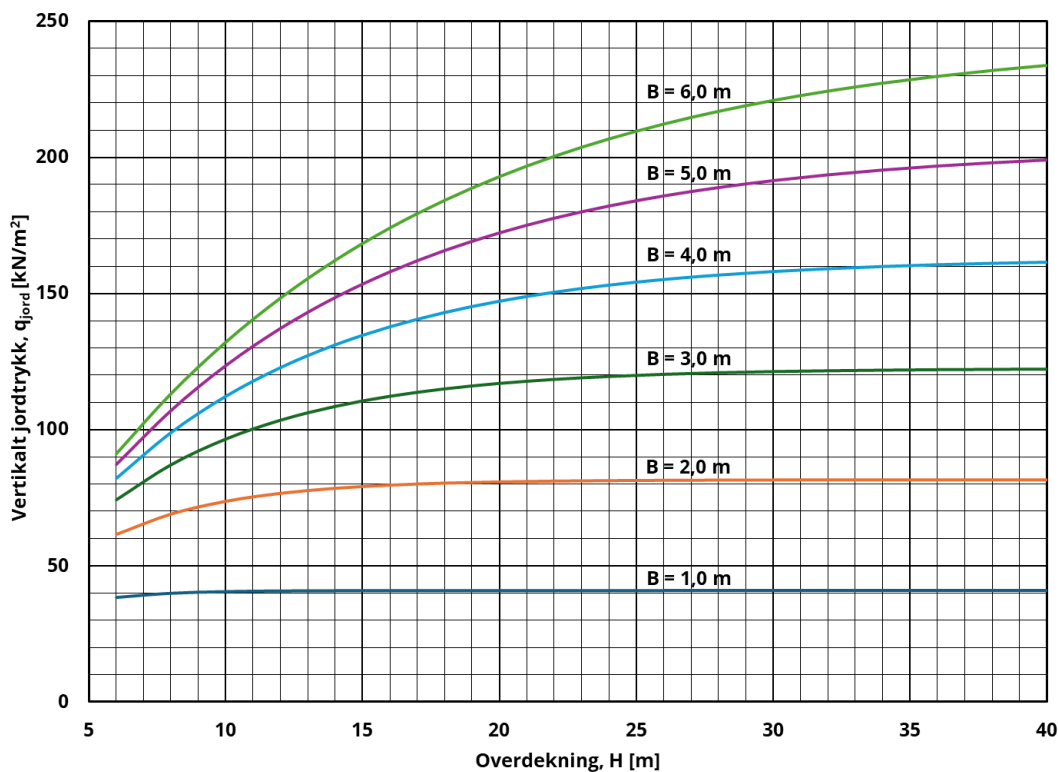
$$\frac{H}{B} = \frac{30 \text{ meter}}{2,4 \text{ meter}} = 12,5$$

Ut fra diagrammet foran er hvelvirkningsfaktoren i dette tilfellet 0,17.

Det vertikale jordtrykket blir da

$$q_{jord} = N_A \cdot \gamma_{jord} \cdot H = 0,17 \cdot 20 \text{ kN/m}^3 \cdot 30 \text{ m} = 102 \text{ kN/m}^2$$

Dette jordtrykket tilsvarer en overdekning på cirka 5 meter uten EPS.



Jordtrykket (q_{jord}) mot røret når det er godt komprimert pukk, singel eller grov grus i den utvidede ledningssonen og det er brukt EPS veiblokk med ulik bredde (B) som kompressibelt lag. Tyngdetettheten av massene i gjenfyllingen er 19 kN/m^3 .

Formel for hvelvirkningsfaktor

I det følgende tar vi for oss det teoretiske grunnlaget. Hvelvirkningsfaktoren er en funksjon av høyden av overdekningen (H), bredden av det kompressible laget (B) samt egenskapene til massene i den utvidede ledningssonen. Metoden kan i teorien også brukes når det er leire eller silt i ledningssonen – noe som ikke er vanlig.

Uttrykket for hvelvirkningsfaktoren er:

$$N_A = \frac{1 - e^{-A}}{A} \quad [\quad]$$

Der

$$A = 2 \cdot S_v \cdot \frac{H}{B} \quad [\quad]$$

S_v : Friksjonstall

H: Overdekning over røret [m]

B: Bredden av det kompressible laget [m]

e: Eulers tall, $\approx 2,71828$

Friksjonstallet S_v uttrykkes ved:

$$S_v = |r| \cdot \tan \varphi_d \cdot K_A \quad [\quad]$$

r: ruhet, normalt $r = 0,8$ []

$\tan \varphi_d$: mobilisert friksjon []

K_A : Aktiv jordtrykkskoeffisient []

Mobilisert friksjon:

$$\tan \varphi_d = f \cdot \tan \varphi \quad [\quad]$$

f: Mobiliseringsgrad, normalt $f = 0,71$ []

φ : Friksjonsvinkel [°]

Aktiv jordtrykkskoeffisient:

$$K_A = \frac{1}{(\sqrt{1 + \tan^2 \varphi_d} + \tan \varphi_d \cdot \sqrt{1 - |r|})^2} \quad [\quad]$$

Formelen for aktiv jordtrykkskoeffisient er basert på plan skjærflate og gir andre verdier enn det som er vanlig i andre sammenhenger.

Massetype	Friksjonsvinkel φ	Mobilisert friksjon $\tan\varphi_d$ []	Aktiv jordtrykkskoeffisient K_A []	Friksjonstall S_v []	Ruhet r []	Mobiliseringsgrad f []
Pukk, singel, grov grus	40°	0,60	0,49	0,23	0,8	0,71
Middels og fin grus	37°	0,54	0,53	0,23	0,8	0,71
Sand	35°	0,50	0,56	0,22	0,8	0,71

Veiledende verdier ved utregning av hvelvirkningsfaktor for aktuelle masser i ledningssonen. Aktiv jordtrykkskoeffisient er basert på plan skjærflate og gir andre verdier enn det som er vanlig i andre sammenhenger.

Eksempel:

Hva blir jordtrykket (q_{jord}) hvis det legges EPS veiblokker, som beskrevet foran, over et DN/ID 1400 Pragma Infra rør med overdekning (H) 30 meter i en sprengtsteinfylling når det er grov grus komprimert til Standard Proctor 97 % i den utvidede ledningssonen?

Dette røret har en utvendig diameter på 1583 mm. Det legges et lag med 0,5 m tykke EPS veiblokker i en bredde (B) på 2,4 meter 0,35 meter over røret.

Friksjonsvinkelen (φ) for massene både i ledningssonen og i gjenfyllingen er 40°. Med så gode masser i gjenfyllingen kan denne utgjøre en del av den utvidede ledningssonen over veiblokkene.

Tangens til 40° er 0,84. Med mobiliseringsgrad (f) 0,71 blir mobilisert friksjon $\tan\varphi_d = f \cdot \tan\varphi = 0,71 \cdot 0,84 = 0,60$. Ruhet (r) settes til 0,8 og aktiv jordtrykkskoeffisient (K_A) kan regnes ut:

$$K_A = \frac{1}{\left(\sqrt{1 + \tan^2\varphi_d} + \tan\varphi_d \cdot \sqrt{1 - |r|}\right)^2} = \frac{1}{\left(\sqrt{1 + 0,60^2} + 0,60 \cdot \sqrt{1 - 0,8}\right)^2} = 0,49$$

Friksjonstallet (S_v) blir:

$$S_v = |r| \cdot \tan\varphi_d \cdot K_A = 0,8 \cdot 0,60 \cdot 0,49 = 0,23$$

Når overdekningen (H) er 30 meter og bredden (B) på det kompressible lager er 2,4 meter, blir A- en i formelen for hvelvirkningsfaktor:

$$A = 2 \cdot S_v \cdot \frac{H}{B} = 2 \cdot 0,23 \cdot \frac{30 \text{ m}}{2,4 \text{ m}} = 5,75$$

Hvelvirkningsfaktoren blir da:

$$N_A = \frac{1 - e^{-A}}{A} = \frac{1 - e^{-5,75}}{5,75} = 0,17$$

Jordtrykket mot røret blir:

$$q_{\text{jord}} = N_A \cdot \gamma_{\text{jord}} \cdot H = 0,17 \cdot 20 \text{ kN/m}^3 \cdot 30 \text{ m} = 102 \text{ kN/m}^2$$

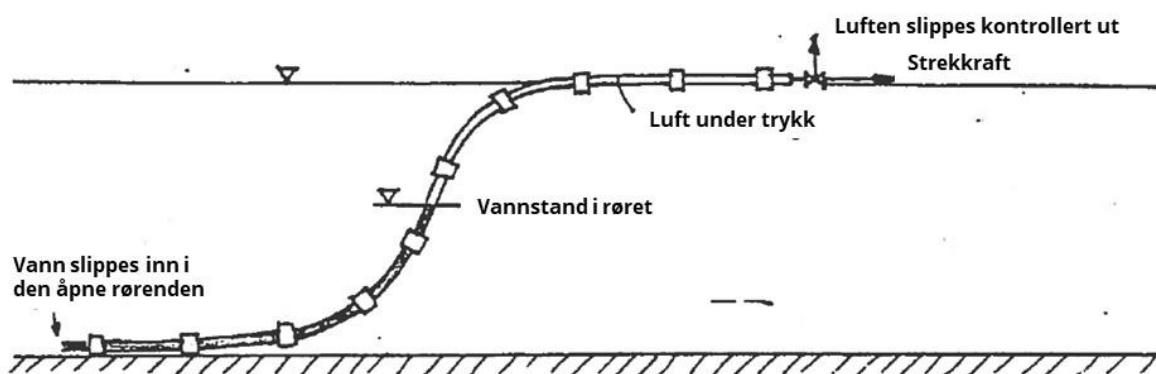
Ringstivheten (SN) til dette røret er 8,0 kN/m² og sekantmodulen til massene (E'_s) settes til 2000 kN/m². Teoretisk beregnet deformasjon, uten tillegg, blir da:

$$\frac{\delta}{D} = \frac{0,083 \cdot q_{\text{jord}}}{16 \cdot SN + 0,122 \cdot E'_s} = \frac{0,083 \cdot 102 \text{ kN/m}^2}{16 \cdot 8,0 \text{ kN/m}^2 + 0,122 \cdot 2000 \text{ kN/m}^2} = 0,023 = 2,3 \%$$

Her der det rimelig å forvente, i verste fall, en maksimumsdeformasjon på 3-4 % etter legging og inntil 4-6 % deformasjon etter lang tid.

R: Beregninger ved senking av sjøledninger

Under senking av en sjøledning vil den bøyes ved overflaten og når den treffer sjøbunnen – som en S-kurve. Blir bøyen på røret for krapp er det risiko for at røret kollapser. Det vil også oppstå strekkrefter i røret. Derfor må vi regne på dette for å bestemme trekkekraft og riktig senkehastighet slik at vi unngår kollaps og for store strekkrefter over for lang tid.



Hovedprinsipper ved senking av sjøledninger

Men senkeprosessen er kritisk og mer komplisert enn bare å kontrollere bøyeradier og krefter på enkelt vis – spesielt i start- og slutfasen. Vi anbefaler derfor at beregninger i forbindelse med senking av rørledninger utføres og senkeprosedyre utarbeides av kompetente personer. Jo større dimensjon og SDR-klasse, jo mer krevende er det. I praksis brukes det gjerne beregningsprogrammer for dette som ivaretar kompleksiteten ved slike installasjoner. I dette kapitlet tar vi for oss de grunnleggende beregningsprinsippene.

Med bakgrunn i beregninger og andre praktiske forhold skal det utarbeides en senkeinstruks som sikrer riktig senkeprosess. Denne skal også inneholde prosedyrer som sikrer riktige tiltak når uforutsette hendelser oppstår – for eksempel ved loddras eller når senkeprosessen må avbrytes av en eller annen grunn. Se eget kapittel om dette. Senking av sjøledninger er komplisert – spesielt ved store leggedyp, ved store rør eller ved rør med høy SDR-klasse.

Det er hovedsakelig to metoder som benyttes:

- Mest vanlig er gravitasjonsmetoden - der vannet strømmer inn i den åpne rørenden og tilfører vekt som gjør at ledningen synker. Senkehastigheten justeres ved å evakuere luften gjennom en regulerbar ventil på en blindflens.
- En sjelden brukt metode, som ikke omtales nærmere, er å pumpe vann inn i ledningen. Men mange av de samme beregningene brukes. Blindflenser monteres i hver ende med påkoblede ledninger for kontrollert innpumping av vann og evakuering av luft. Metoden er mest aktuell for mindre dimensjoner fordi nødvendig pumpekapasitet da er av en rimelig størrelse. Denne metoden er mer skånsom når den gjøres riktig.

Metodene kan også kombineres – for eksempel når senkingen skal starte på dypt vann. Da pumpes vann inn i startfasen for å få ledningen ned til ønsket dyp. Etter tilkobling går man over til vanlig gravitasjonssenking.

Høye belastningsgrader kompliserer senkeprosessen. Og er rørledningen dimensjonert med loddbelastning for mer enn 100 % luftfylling vil den synke når den er helt luftfylt. I slike tilfeller må ledningen påmonteres oppdriftselementer som fjernes etter at rørledningen er senket – eller ytterligere vekt, i form av flere lodd eller betongmadrasser, ettermonteres. Beregning av loddbelastning er omtalt i et eget kapittel.

Balansetrykk og drivende trykk

Senkehastigheten justeres ved å slippe luften ut kontrollert slik at vannet fyller røret og den vannfylte delen av røret med belastningslodd synker. Det skal være et visst lufttrykk i røret for at forholdet mellom tyngde (neddrift) og oppdrift er riktig og rørledningen senkes kontrollert. Dette lufttrykket øker lineært med sjødybden. Ved balansetrykket er det likevekt mellom neddrift og oppdrift og rørledningen vil stå helt i ro. Det drivende trykket er et lite undertrykk, i forhold til balansetrykket, som tillater at vannet strømmer inn.

Man må også koble til en luftkompressor slik at man kan fylle luft inn i røret ved behov – for eksempel hvis senkeprosessen må avbrytes og røret må heves igjen. Det er viktig at rørledningen beveger seg og står minst mulig i ro. Lufttrykket måles med et manometer. Det er en omfattende manøver å etablere trykket i ledningen for å hindre at vannet fyller ledningen for raskt i startfasen.

Balansetrykk

Nødvendig innvendig overtrykk for å balansere ledningen, balansetrykk:

$$p = a \cdot H \text{ [mVs]}$$

a: Ledningens luftfyllingsgrad (belastningsgrad) []

$$a = \frac{\text{Vekt av lodd i sjø+vekt av ledning i luft}}{\text{oppdrift av luftfylt ledning}}$$

H: Vanndyp [m]

Eksempel:

Hva er balansetrykket for en 500 mm PE 100 SDR 11 rørledning med en belastningsgrad på 30 % når sjødybden er henholdsvis 10 meter, 15 meter og 20 meter?

Ved 10 meter: $p_{10} = a \cdot H = 0,30 \cdot 10 \text{ m} = 3,00 \text{ mVs} = 0,294 \text{ bar}$

Ved 15 meter: $p_{15} = a \cdot H = 0,30 \cdot 15 \text{ m} = 4,50 \text{ mVs} = 0,441 \text{ bar}$

Ved 20 meter: $p_{20} = a \cdot H = 0,30 \cdot 20 \text{ m} = 6,00 \text{ mVs} = 0,588 \text{ bar}$

Drivende trykk

For at vann skal kunne fylle ledningen må lufttrykket være litt lavere enn balansetrykket. Trykkforskjellen (Δh), det drivende trykket, finner vi ut fra tradisjonelle kapasitetsberegninger med hensyn på vannføring i rør. Jo lengre distanse rørledningen er vannfylt, jo større må trykkforskjellen være for at vannet skal renne like raskt og ledningen synke med jevn hastighet. Også fordi sjødybden ikke er konstant vil nødvendig lufttrykk i ledningen variere under så å si hele senkeprosessen.

Fordi det er usikkerheter forbundet med alle beregninger og fordi det er krevende å kontrollere lufttrykket under senkeprosessen, er løpende måling av senkehastigheten best for å kontrollere prosessen – se eget avsnitt. I starten er det drivende trykket svært lite. I praksis starter man senkingen med liten hastighet og opparbeider riktig hastighet gradvis.

I denne forbindelsen er det to forhold som man også må tenke på. Det ene er rørets evne til å motstå undertrykket. Bli undertrykket for stort kan rørledningen kollapse. Det andre er at bevegelsesenergien kan bli stor – spesielt for store rør. Oppstår det for eksempel en blokkering av innløpet kan det oppstå store trykkslag med store undertrykk som kan føre til kollaps av rør med høy SDR-verdi – tynnvegga rør. En lavere senkehastighet er gunstig med tanke på slik uønskede hendelser.

Beregningsprogrammer brukes naturligvis i praksis. Men for å se sammenhengen mellom trykkforskjell (drivende trykk, Δh), hastighet, lengde og diameter kan vi ta utgangspunkt i den enkle Darcy-Weisbachs formel:

$$\Delta h = f_D \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + k_s \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

f_D : Darcy-Weisbachs friksjonsfaktor fra Moodys diagram []

L : Vannfylt rørlengde [m]

d : Rørets innvendige diameter [m]

v : Vannhastigheten [m/s]

g : Tyngdeakselerasjonen – 9,81 m/s²

k_s : Singulærtapskoeffisient []

Eksempel:

Hva er de drivende trykkene og de totale lufttrykkene for en 500 mm PE 100 SDR 11 rørledning som skal senkes med en hastighet på 0,3 m/s når sjødybden er henholdsvis 10 meter etter 500 m rørlengde, 15 meter etter 1000 m rørlengde og 20 meter etter 1500 m rørlengde?

Vi setter friksjonsfaktoren f_D til 0,025 og singulærtapskoeffisienten k_s ved innløpet til 1,5. Innvendig diameter for 500 mm SDR 11 rør er cirka 409 mm.

Drivende trykk:

$$\Delta h_{500} = f_D \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + k_s \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,025 \cdot \frac{500 \text{ m}}{0,409 \text{ m}} \cdot \frac{(0,3 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} + 1,5 \cdot \frac{(0,3 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$\Delta h_{500} = 0,147 \text{ mVs} = 0,014 \text{ bar}$$

$$\Delta h_{1000} = 0,025 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{0,409 \text{ m}} \cdot \frac{(0,3 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} + 1,5 \cdot \frac{(0,3 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,287 \text{ mVs} = 0,028 \text{ bar}$$

$$\Delta h_{1500} = 0,025 \cdot \frac{1500 \text{ m}}{0,409 \text{ m}} \cdot \frac{(0,3 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} + 1,5 \cdot \frac{(0,3 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,427 \text{ mVs} = 0,042 \text{ bar}$$

Vi henter balansetrykkene fra forrige eksempel og finner totalt lufttrykk ved de angitte lengdene ved å trekke det drivende trykket fra det aktuelle balansetrykket:

$$p_{10} - \Delta h_{500} = 0,294 \text{ bar} - 0,014 \text{ bar} = 0,280 \text{ bar}$$

$$p_{15} - \Delta h_{1000} = 0,441 \text{ bar} - 0,028 \text{ bar} = 0,413 \text{ bar}$$

$$p_{20} - \Delta h_{1500} = 0,588 \text{ bar} - 0,042 \text{ bar} = 0,546 \text{ bar}$$

Når sjøbunnen har jevn helning vil trykket øke lineært.

Minimum bøyeradius under senking

Når røret bryter overflaten og når det treffer sjøbunnen vil det bøye seg. Hvis det bøyer seg for mye vil røret kollapse. Men ved å trekke i røret med riktig kraft vil vi ha kontroll på rørets bøyeradius. Vi må derfor beregne tillatt bøyeradius og nødvendig strekkraft for å kontrollere denne for det aktuelle røret. For store rør vil nødvendig trekkekraft bli for stor for vanlige taubåter og belastningsgrad, sjødybde og senkehastighet blir avgjørende for bøyeradien.

Praktiske forsøk viser at rør med høy SDR-klasse kolliderer når deformasjonen er cirka 8 %. For mer tykkvegga rør er materialspenning i rørveggen dimensjonerende for bøyeradius. Avstivningsringer i form av betonglodd og innvendig støttettrykk bidrar positivt. Normalt tar vi

ikke hensyn til effekten av støtten fra stive ringer og innvendig overtrykk – og beregner tillatt bøyeradius med en sikkerhetsfaktor på 2,0. Grunnen til dette er at det kan oppstå problemer som fører til en midlertidig stans under senkingen og at det vil oppstå planlagt stans under start- og sluttfasen. Slik stans er en tilleggsbelastning for et viskoelastisk materiale der spenning og tøying er tidsavhengig. Stans under senkeprosessen må derfor tidsbegrenses.

Rørmaterialets temperatur er også en faktor. En sjøledning på overflaten en soldag kan bli temmelig varm på oversiden. Men normalt vil sikkerhetsfaktoren ved beregning av bøyeradius, stive avstivningsringer i form av betonglodd og innvendig støttettrykk samlet gi tilfredsstillende sikkerhet. Beregningene forutsetter derfor maksimum 20°C i rørvæggen.

For rør med høy SDR-klasse (slanke rør – SDR 17 og høyere) er deformasjonen som oppstår ved bøying bestemmende for bøyeradius. Forsøk viser at rør kollapser ved cirka 8 % deformasjon. Vi beregner tillatt bøyeradius med en sikkerhetsfaktor 2,0 – altså ved 4 % deformasjon.

For rør med lav SDR-klasse (tykkvegga rør – SDR 17 og lavere) er tøyingen i aksial retning dimensjonerende. Tillatt tøying for PE er 5 % – og her benytter vi fortsatt en sikkerhetsfaktor på 2,0 og beregner bøyeradius ved 2,5 % tøying.

Bøyeradien er avhengig av rørdimensjonen og for PE-rør med homogen rørvegg er dette forholdet konstant for hver SDR-verdi. Denne konstanten kaller vi bøyetall (k).

$$k = \frac{R}{D} [\quad]$$

R: Bøyeradius [m]

D: Utvendig diameter [m]

Så, for å finne bøyeradius når bøyetall og rørdimensjon er kjent:

$$R = k \cdot D [m]$$

Anbefalte bøyetall for PE trykrør ved inntrekking av rør via trekkegrop og ved senking av sjøledninger:

Rørklasse	SDR 33	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 9	SDR 7,4
Bøyetall, $k = \frac{R}{D} [\quad]$	40	31	25	20	20	20	20	20

I andre sammenhenger anbefaler vi bøyetallet 30 for trykkløse rørledninger og rørledninger under installasjon og bøyetallet 60 for rør med innvendig trykk. For SDR 21 og høyere bør man ifølge tabellen bruke høyere bøyetall. Vi kan tillate lavere bøyetall i forbindelse med inntrekking og senking fordi bøyepåkjenningen er kortvarig.

Eksempel:

Hva er maksimum bøyeradius for et 250 mm PE 100 SDR 17 rør ved senking av sjøledninger?

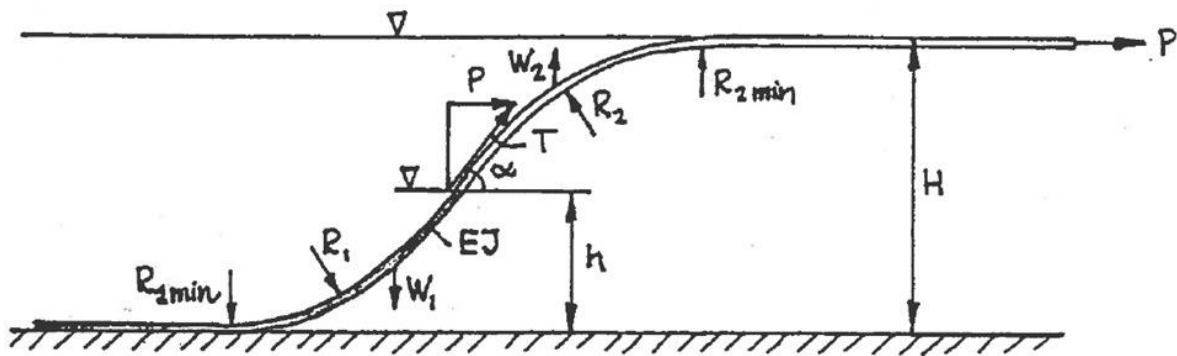
Bøyetallet for SDR 17 rør er 20: $k = \frac{R}{D} = 20$

Vi løser formelen med hensyn på R og regner ut:

$$R = k \cdot D = 20 \cdot 0,250 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

Strekkefter, materialspenninger m.m. under senking

For å forhindre at bøyeradiene blir for krappe trekker vi i rørledningen med en strekkraft. Bøyeradiene ved overflaten og ved sjøbunnen vil være ulike og den minste vil være dimensjonerende.



Faktorer som bestemmer bøyeradier og krefter

- H: Sjødybde [m]
- h: Vannstanden i røret [m]
- W_1 : Vekt av vannfylt rør i sjø [N/m]
- W_2 : Oppdrift av luftfylt rør i sjø [N/m]
- R: Bøyeradier [m]
- T: Aksiell strekkraft i vendepunktet [N]
- P: Horisontal strekkraft [N]
- α : Rørets vinkel i vendepunktet [°]
- EJ: Rørets stivhet

Som sagt er dette kompliserte beregninger. Det er utarbeidet en enkel metode som vi gjengir her for å vise prinsippene. Metoden kan brukes ved enkle senkeprosesser ved dimensjoner opp til cirka 500 mm.

Formeloversikt, enkel metode:

Horisontal strekkraft ved gitt minimum tillatt bøyeradius ved sjøbunnen: $P = R_{1\min} \cdot W_1$ [N]

Horisontal strekkraft ved gitt minimum tillatt bøyeradius ved overflaten: $P = R_{2\min} \cdot W_2$ [N]

Hvis rørledningen er dimensjonert for en belastningsgrad mindre enn 50 % vil oppdriften (W_2) være større enn «neddriften» (W_1) og minimum bøyeradius vil oppstå ved overflaten – og denne strekkraften (P) blir den største.

Vekten («neddriften») av den vannfylte delen av røret (W_1) kan tilnærmet bestemmes av uttrykket:

$$W_1 = a \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \varphi_{\text{sjø}} \text{ [N/m]}$$

a: Luftfyllingsgrad []

D: Rørets utvendige diameter [m]

$\varphi_{\text{sjø}}$: Sjøvannets tyngdetetthet [N/m^3]

Sammenhengen ved likevekt mellom oppdrift og den vannfylte delens «neddrift», når luftfyllingsgraden (a) er større enn 20 %, er:

$$W_2 = W_1 \cdot \frac{1 - a}{a}$$

Vannstanden i røret ved balansetrykket: $h = (1 - a) \cdot H$ [m]

Strekraft i vendepunktet: $T = P + W_1 \cdot h$ [N]

Strekraften i vendepunktet vil være den største røret blir utsatt for. Denne kraften gir en aksial materialspenning (σ_a). I tillegg vil det oppstå materialspenninger i ringretning (σ_t) på grunn av lufttrykket i røret. Ut fra disse beregner vi den resulterende materialspenningen i rørveggen (σ_{res}) – som ikke må være for stor. Summen av disse sammenholdes med materialets bruddspenning som reduseres med belastningstiden. Se også kapittelet om Hookes lov.

En stans under senkeprosessen vil være kritisk både fordi materialspenningen i rørveggen overskrider kritisk nivå med hensyn på tid og fordi tøyningen i røret reduserer diameteren nok til at loddene kan rase.

Aksial materialspenningen i rørveggen (σ_a) finner vi ved å dividere strekkraften i vendepunktet (T) med rørveggenes tverrsnittareal ($A_{\text{rør}}$):

$$\sigma_a = \frac{T}{A_{\text{rør}}} = \frac{4 \cdot T}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \text{ [MPa]}$$

d: Rørets innvendige diameter [m]

I ringretning (tangentiell retning) vil det oppstå spenninger på grunn av innvendig trykk og tverrkontraksjon.

Materialspenning på grunn av innvendig trykk: $\sigma_{t,trykk} = \frac{p}{2} \cdot (SDR - 1)$ [MPa]

p: Innvendig overtrykk [MPa]

Materialspenning på grunn av tverrkontraksjon: $\sigma_{t,tverrk.} = \frac{\sigma_a}{\vartheta}$ [MPa]

ϑ : Rørmaterialets tverrkontraksjonskoeffisient, Poissons tall []

Summen av materialspenningene i tangentiell retning er: $\sigma_t = \sigma_{t,trykk} + \sigma_{t,tverrk.}$ [MPa]

Resultantspenning for rør i henhold til von Miseses teori: $\sigma_{res} = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_a^2} - \sigma_t \cdot \sigma_a$ [MPa]

Materialets bruddspenning er avhengig av tid og temperatur. Sjøtemperaturen er normalt under 20°C, så vi ser bort fra denne og konsentrerer oss om tiden. Bruddspenningen ved uendelig lang belastning (MRS) er 10,0 MPa ved 20°C for PE 100. Under senking er tiden rørvæggen har størst spenning svært kort – forutsatt at senkingen skjer med riktig og jevn hastighet. Vi anbefaler at beregnet resultantspenning under senking ikke overstiger 12,0 MPa.

Rørets vinkel i vendepunktet er gitt ved: $\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{p}{p+W_1 \cdot h} \right)$ [°]

Eksempel:

En 315 mm PE 100 SDR 17 sjøledning dimensjonert for 30 % luftfylling (belastningsgrad) skal senkes til 50 meters dybde i sjø. Hva er balansetrykket og minimum bøyeradius? Hvor stor strekkraft i horisontal retning er påkrevet? Hva blir materialspenningen i rørvæggen? Og hvor stor er rørets maksimale helningsvinkel?

Balansetrykket (p) er:

$$p = a \cdot H = 0,30 \cdot 50 \text{ m} = 15 \text{ mVs} = 1,47 \text{ bar} = 0,15 \text{ MPa}$$

Minste tillatte bøyeradius – med sikkerhetsfaktor 2,0 – under senking er:

$$R = k \cdot D = 20 \cdot 0,315 = 6,3 \text{ m}$$

For å finne nødvendig horisontal strekkraft må vi kjenne tyngden av vannfylt rørledning (W_1) og oppdriften (W_2). Sjøvannets tyngdetetthet settes her til 1025 kg/m³ – altså 10055 N/m³:

$$W_1 = a \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \varphi_{sjø} = 0,30 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,315 \text{ m})^2 \cdot 10055 \text{ N/m}^3 = 235 \text{ N/m}$$

$$W_2 = W_1 \cdot \frac{1-a}{a} = 235 \text{ N/m} \cdot \frac{1-0,30}{0,30} = 548 \text{ N/m}$$

W_2 er størst og blir dimensjonerende for den horisontale strekkraften:

$$P = R \cdot W_2 = 6,3 \text{ m} \cdot 548 \text{ N/m} = 3452 \text{ N}$$

Strekraften i vendepunktet blir:

$$T = P + W_1 \cdot h = P + W_1 \cdot (1 - a) \cdot H = 3452 \text{ N} + 235 \text{ N/m} \cdot (1 - 0,3) \cdot 50 \text{ m} = 11677 \text{ N}$$

Ut fra dette kan vi beregne materialspenningen i rørveggen i aksial retning. Innvendig diameter (d) er 277,6 mm:

$$\sigma_a = \frac{T}{A_{\text{rør}}} = \frac{4 \cdot T}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} = \frac{4 \cdot 11677 \text{ N}}{\pi \cdot ((315 \text{ mm})^2 - (277,6 \text{ mm})^2)} = 0,67 \text{ MPa}$$

Når tverrkontraksjonskoeffisienten (ϑ) settes til 0,45 blir materialspenningen i ringretning:

$$\sigma_t = \sigma_{t,\text{trykk}} + \sigma_{t,\text{tverrk.}} = \frac{p}{2} \cdot (\text{SDR} - 1) + \frac{\sigma_a}{\vartheta} = \frac{0,15 \text{ MPa}}{2} \cdot (17 - 1) + \frac{0,67 \text{ MPa}}{0,45} = 2,69 \text{ MPa}$$

Vi benytter formelen for resultantspenning for å finne den totale materialspenningen. Alle spenninger er strekkspenninger og settes inn med positivt fortegn i formelen:

$$\sigma_{\text{res}} = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_a^2} - \sigma_t \cdot \sigma_a = \sqrt{(2,69 \text{ MPa})^2 + (0,67 \text{ MPa})^2} - 2,69 \text{ MPa} \cdot 0,67 \text{ MPa} = 2,43 \text{ MPa}$$

Resultantspenningen i dette eksempelet er svært lav og sikkerheten mot rørbrudd stor.

Rørets helningsvinkel i vendepunktet blir:

$$\begin{aligned} \alpha &= \cos^{-1} \left(\frac{P}{P + W_1 \cdot h} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{P}{P + W_1 \cdot (1 - a) \cdot H} \right) \\ &= \cos^{-1} \left(\frac{3452 \text{ N}}{3452 \text{ N} + 235 \text{ N/m} \cdot (1 - 0,30) \cdot 50 \text{ m}} \right) = 72,8^\circ \end{aligned}$$

Senkehastighet

Senkeprosessen bør foregå med jevn hastighet mellom 0,15 m/s og 0,3 m/s – eller 0,5 km/time til 1 km/time. Senkehastigheten reguleres ved å åpne og strupe ventilen som slipper luften ut av ledningen. Senkehastigheten er en viktig kontrollparameter og måles enkelt ved å ta tiden mellom hver gang ett eller et antall betonglodd dukker under vannflaten. Ved å måle tiden mellom flere lodd om gangen blir målingen sikrere.

Formelen for å regne ut tiden mellom lodd som forsvinner når hastigheten er valgt er enkel:

$$t = \frac{x \cdot c - c}{v} \text{ [sekunder]}$$

- x: Antall lodd i løpet av tiden t [stk]
 c-c: Senteravstanden mellom loddene [m/stk]
 v: Hastigheten [m/s]

Eksempel:

Hvor lang tid tar det mellom hvert belastningslodd som forsvinner når senkehastigheten er 0,2 m/s og senteravstanden mellom loddene er 5,5 meter? Og hva er tiden mellom hvert 5. lodd?

Mellom hvert lodd er tiden $t = \frac{x \cdot c - c}{v} = \frac{1 \text{ stk} \cdot 5,5 \text{ m} / \text{stk}}{0,2 \text{ m/s}} = 27,5 \text{ sekunder}$

Mellom hvert 5. lodd er tiden $t = \frac{x \cdot c - c}{v} = \frac{5 \text{ stk} \cdot 5,5 \text{ m} / \text{stk}}{0,2 \text{ m/s}} = 137,5 \text{ sekunder} \approx 2 \text{ minutter og } 18 \text{ sekunder}$

R: Dimensjonering av vannledninger for få hus eller små felt

Ofte blir dimensjonering av rørledninger i forbindelse med små anlegg overlatt til rørlegger eller entreprenør. Avløpsrør i 110 mm tar som regel unna hvis det er nok fall. Men dessverre finnes det ingen svært enkel måte å finne rett dimensjon for vannrøret. Du kommer langt med en dose sunn fornuft, som egentlig handler om å ta i litt, og en kalkulator for å finne riktig dimensjon. For større prosjekter bør man bruke en profesjonell rådgiver.

Samtidighet er et nøkkelord: Hvor mange utstyr er i bruk samtidig? Jo færre utstyr eller personer – jo større er sannsynligheten for at flere bruker vann samtidig. For større anlegg oppgis det gjerne samtidighetsfaktorer. Man tar utgangspunkt i et gjennomsnittlig vannforbruk over et helt år – for eksempel 150 liter per person per døgn – og bruker faktorer for det døgnet med mest forbruk og den timen med mest forbruk. For små anlegg er det vanskelig å finne brukbare tall for disse faktorene i tilgjengelig litteratur. Men vi har kommet frem til et par ulike måter å dimensjonere etter.

Dimensjonerende vannmengde for ett eller få hus

Først må man finne maksimum samtidig vannforbruk. Og på små anlegg med ett eller svært få hus må man rett og slett bruke sunn fornuft. Som regel legges 32 mm vannrør – og det går fint. Men er det dårlige trykkforhold, store høydeforskjeller i terrenget og lange avstander, så kan det bli lavt trykk og lite vann per tidsenhet. Forestill deg hvor mange utstyr som kan være i bruk samtidig. Kanskje to personer dusjer samtidig som oppvaskmaskin og vaskemaskin går og noen bruker en servant? Hvor mange liter vann per sekund er det? Ved dimensjonering kan disse vannmengdene benyttes:

Utstyr	Vannmengde
WC-cisterne	0,1 l/s
Servant	0,2 l/s
Bidé	
Oppvaskmaskin	0,4 l/s
Oppvaskbatteri	
Utslagsvask, skylle-/vaskekar	
Dusj	
Vaskemaskin	
Hagekran	

Eksempel:

Det skal etableres vannledning til tre eneboliger. Her bor det en barnefamilie, ett ektepar og en enslig pensjonist. Men det er grunn til å tro at pensjonisten vil selge huset, kanskje til en barnefamilie, om noen år.

Vi sier at maksimum vannforbruk innebærer at to personer dusjer samtidig som en person går på toalettet og ei oppvaskmaskin og to vaskemaskiner går. Dessuten er det sommer og en bil vaskes.

2 dusj a 0,4 l/s:	0,8 l/s
1 WC a 0,1 l/s:	0,1 l/s
1 oppvaskmaskin a 0,2 l/s:	0,2 l/s
2 vaskemaskin a 0,4 l/s:	0,8 l/s
1 hagekran a 0,4 l/s:	<u>0,4 l/s</u>
Sum:	<u>2,3 l/s</u>

Dimensjonerende vannmengde for små felt

Ved små hyttegrender, mindre boligfelter, større brakkerigger o.l. må man beregne på en annen måte.

En måte er å anta at gjennomsnittlig vannforbruk (q) er høyt, for eksempel 200 liter per person per døgn, og bruke høye samtidighetsfaktorer. Du bør opp i 5 for maksimum døgnforbruk (f_{maks}) og 5 for maksimum timeforbruk (k_{maks}). Denne metoden kan benyttes inntil noen hundre personekvivalenter (pe).

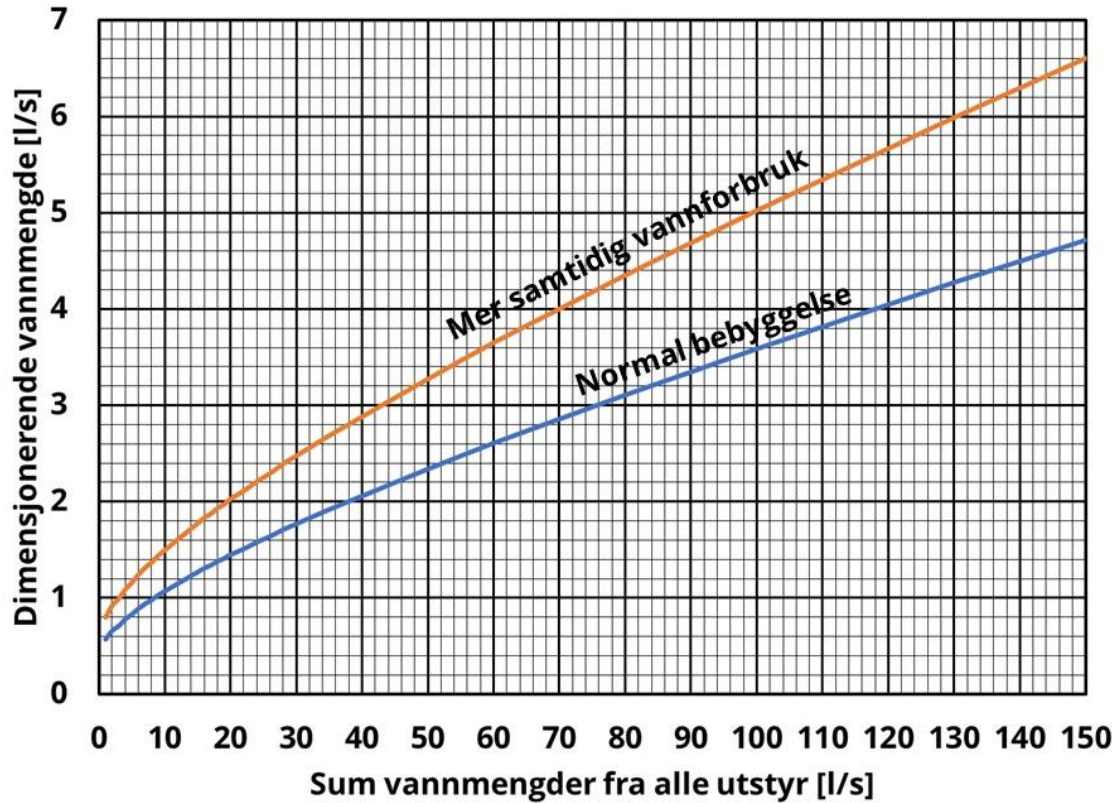
$$Q = \frac{q \cdot f_{maks} \cdot k_{maks} \cdot pe}{24 \frac{h}{d} \cdot 60 \frac{min}{h} \cdot 60 \frac{s}{min}}$$

Eksempel:

Det skal etableres vannledning til et lite felt med 12 eneboliger. Vi går ut fra at det bor 4 personer i hver boenhet – altså 48 personekvivalenter (pe) totalt. Hvis vi går ut fra et gjennomsnittlig forbruk (q) på 200 l/pe·d, en maksimum døgnfaktor (f_{maks}) på 5 og en maksimum timefaktor (k_{maks}) på 5, blir formelen

$$Q = \frac{q \cdot f_{maks} \cdot k_{maks} \cdot pe}{24 \frac{h}{d} \cdot 60 \frac{min}{h} \cdot 60 \frac{s}{min}} = \frac{200 \frac{l}{pe \cdot d} \cdot 5 \cdot 5 \cdot 48 pe}{24 \frac{h}{d} \cdot 60 \frac{min}{h} \cdot 60 \frac{s}{min}} = 2,8 \frac{l}{s}$$

En annen måte er å summere vannmengdene fra alle utstyr og største samtidige vannmengde finnes ved hjelp av et diagram. Ved for eksempel hyttegrender nært alpinanlegg eller på brakkerigger er det sannsynlig at graden av samtidighet er større – flere dusjer til samme tid.

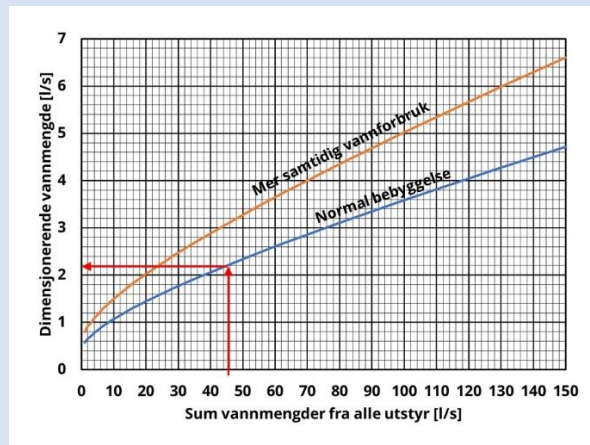


Dimensjonerende vannmengde som funksjon av sum vannmengder mht. samtidighet

Eksempel:

Det skal etableres vannledning til et lite felt med 12 eneboliger. En normal enebolig har en hagekran, to dusjer, to WCer, fire servanter, en oppvaskkum, en oppvaskmaskin, en vaskemaskin og ett skyllekar. Ut fra tabellen foran er summen av vannmengdene fra alle disse utstyrene er 3,8 l/s. Ved 12 boliger blir totalsummen 45,6 l/s.

Finn 45,6 l/s på x-aksen, gå opp til du treffer kurven og gå rett til venstre og les av tallet på y-aksen:



Største samtidige vannmengde er 2,2 l/s.

Du kan få litt forskjellige svar avhengig av beregningsmetoden og forutsetningene som velges. En sjelden gang vil det skje at det brukes mer vann. Har du noe trykk og/eller kapasitet til gode når du dimensjonerer vannledningen, så vil det sannsynligvis gå bra. Det kan hende at utstyret ikke leverer så mye vann som forutsatt, men det er knapt merkbart. Er du altfor gjerrig, så kan det hende at utstyr lengst vekk og høyest opp mister vanntilførselen en gang i ny og ne.

Du har kanskje erfart at vannstrålens styrke reduseres merkbart umiddelbart etter at du har åpnet en kran? Da er det statiske trykket høyt nok, men strømningsmotstanden i rørledningen stor - vannledningen er underdimensjonert.

Dimensjonering av vannledningen

Hvor mange hus dekker et 50 mm rør? Det er et typisk spørsmål vi ofte får. Ved hjelp av beregningsprogrammet på pipelife.no kan du selv finne trykktap, kapasitet eller dimensjon.

Skal du finne rørdimensjonen må du først finne ut hvor mye vann ledningen bør kunne levere, som vist foran. Så må du kartlegge følgende:

- Hva er trykket på tilkoblingspunktet på hovedvannledningen?
- Hvor høyt trykk bør det være ved husveggen?
- Hva er rørlengden?
- Hvor stor er høydeforskjellen mellom tilkoblingspunktet og enden av røret?

Så finner du beregningsprogrammet for kapasitetsberegning av full rørledning på Pipelife sin hjemmeside (<https://www.pipelife.no/snarveier/beregningsprogrammer/kapasitetsberegning-full-roerledning.html>) – velger trykkrør, klikker diameter og kapasitet i nedtrekksmenyen og fyller inn.

Eksempel:

Vannledningen bør kunne levere 3,7 l/s. Trykket ved påkoblingspunktet er 5 bar, det bør være minst 2 bar ved husveggen, rørledningen er 200 meter lang og enden på rørledningen ligger 15 meter høyere enn påkoblingspunktet.

Finn [beregningsprogrammet](#), merk av for trykkrør under «Beregn» og velg «Diameter og hastighet» i nedtrekksmenyen til høyre.

Videre fyller du inn/velger ...

Ruhet: 0,1

Rørledningens lengde: 200 m

Vanntemperatur: 10°C

Trykk ved innløp: 5 bar

Minimum trykk ved utløp: 2 bar

Kotehøyde innløp: 0 m

Kotehøyde utløp: 15 m

Ønsket kapasitet: 3,7 l/s

Inn-data

Beregn

Avløpsrør (trykløst) Diameter og hastighet ▾
 Trykkrør

Rørdata

Ruhet μ 0.1 [mm] Råd

Rørledningens lengde L 200 [m]

Vanntemperatur 10 ▾ [°C]

Opplysninger om trykkforhold

Trykk ved innløp P1 5 bar ▾

Minimum trykk ved utløp P2 2 bar ▾

Kotehøyde innløp h1 0 [m]

Kotehøyde utløp h2 15 [m]

Ønsket kapasitet Q 3,7 l/s ▾

Beregnete verdier

Resultater

Strømningshastighet V 1.76 [m/s]

Innvendig diameter D 51.8 [mm]

Innvendig diameter må være minst 51,8 mm og nærmeste aktuelle rørdimensjon er 63 mm.

R: Forankring av trykrør i grøft

Forankring av ledning er nødvendig der hvor systemet utsettes for krefter som har mulighet for å forskyve ledningen.

Dette gjelder spesielt mufferrør med bend i horisontal- og vertikalplanet ved innvendig overtrykk. Ledninger i brattere hellinger (Tommelfingerregel: > 250 ‰ i grove masser eller fjellgrøft og > 150 ‰ i finere masser) forankres også for å unngå utglidninger. Ved tvil bør det foretas en geoteknisk vurdering av massenes stabilitet – om de vil sige eller ikke.

Helsveiste PE-rør må forankres i hver ende. For trykrør ivaretas forankringen normalt med en flenseforbindelse mot en forankret armatur eller et annet strekkfast punkt med flens. For trykløse rørledninger av PE hvor man ikke har en flens i et strekkfast punkt å koble seg til, kan dette løses ved å støpe inn et PE-rør med innmuringskrage eller elektroforankringer i en kumvegg eller i en forankringskloss av betong i grøft.

Annen forankring er svært sjelden nødvendig fordi kreftene overføres via strekkfaste skjøter til rør og friksjonsmasser i grøfta.

Forankring kan altså utføres på to prinsipielt forskjellige måter.

1. Bruk av forankringskloss
2. Strekkfaste skjøter

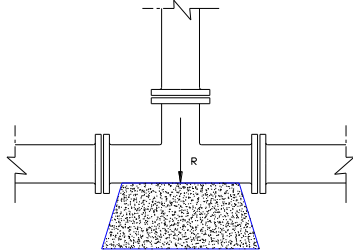
Ved begge metodene er det først nødvendig å kjenne kraften for å dimensjonere tiltakene.

Normalt dimensjoneres forankringene ut fra prøvetrykket. Prøvetrykket skal i henhold til NS-EN 805 beregnes ut fra maksimum opptredende driftstrykk. Men mange ledningseiere krever at prøvetrykket skal settes i forhold til trykklassen til rørledningen. Det kan resultere i en uforholdsmessig stor forankringskloss eller lang forankringslengde – noe som er unødvendig kostbart og noen ganger komplisert.

Vi skal i det etterfølgende ta for oss forankring av rørledninger med innvendig overtrykk. I andre tilfeller kan kapittelet om Hookes lov være til hjelp.

Resultantkraft for T-rør og rørender med blindflens

Følgende formel gjelder for beregning av resultantkraft (R) i forbindelse med T-rør og rør med tett ende:



T-rør med forankringskloss

$$R = p \cdot A = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \text{ [N]}$$

p: Dimensjonerende innvendig overtrykk [N/mm²]

A*: Areal = $\frac{\pi \cdot D^2}{4}$ [mm²]

D*: Inn- eller utvendig rørdiameter [mm²]

* For mufferrør regnes arealet ut fra utvendig rørdiameter. Ved beregninger av speilsveiste PE-rør brukes innvendig rørdiameter.

Eksempel:

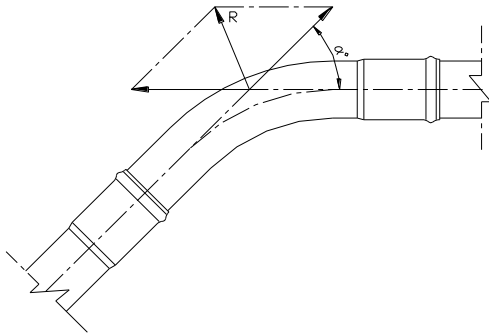
Resultantkraften for et 160 mm T-rør for PVC SDR 21 rør med maksimum opptredende trykk 7 bar finnes på følgende måte:

p = innvendig trykk = 7,0 bar = 0,7 N/mm²

$$R = 0,7 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{\pi \cdot (160 \text{ mm})^2}{4}$$

R = 14 074 N = 14,1 kN (Vannet skyver med en kraft tilsvarende 1,4 tonn!)

Resultantkraft for bend



Et muffebend utsatt for krefter fra innvendig trykk

Følgende formel gjelder for beregning av resultantkraft, både i vertikal- og horisontalplanet, for bend med muffe:

$$R = 2 \cdot p \cdot A \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2 \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \text{ [N]}$$

p: Dimensjonerende innvendig overtrykk [N/mm²]

A: Areal = $\frac{\pi \cdot D^2}{4}$ [mm²]

D: Utvendig rørdiameter [mm]

α: Bendets vinkel [°]

Eksempel:

Resultantkraften for et 110 mm 45° bend i PVC SDR 21 utsatt for 7 bars trykk finnes på følgende måte:

$$p = \text{innvendig trykk} = 7,0 \text{ bar} = 0,7 \text{ N/mm}^2$$

$$R = 2 \cdot p \cdot A \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2 \cdot 0,7 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{\pi \cdot (110 \text{ mm})^2}{4} \cdot \sin\left(\frac{45^\circ}{2}\right)$$

$$R = 5\,091 \text{ N} = 5,1 \text{ kN}$$

Tabell over resultantkrefter for muffør

I tabellen finner du resultantkraften i kN for muffør med 1 bar innvendig trykk, kN/bar. Dette tallet må multipliseres med maksimum oppredende trykk, for eksempel prøvetrykket, i bar.

Utv. Diameter	Resultantkraft [kN/bar]							
	T-rør og blindflens	5° bend	11° bend	22° bend	30° bend	45° bend	60° bend	90° bend
63 mm	0,312	0,027	0,060	0,119	0,161	0,239	0,312	0,441
75 mm	0,442	0,039	0,085	0,169	0,229	0,338	0,442	0,625
90 mm	0,636	0,055	0,122	0,243	0,329	0,487	0,636	0,900
110 mm	0,950	0,083	0,182	0,363	0,492	0,727	0,950	1,34
160 mm	2,01	0,175	0,385	0,767	1,04	1,54	2,01	2,84
225 mm	3,98	0,347	0,762	1,52	2,06	3,04	3,98	5,62
280 mm	6,16	0,537	1,18	2,35	3,19	4,71	6,16	8,71
315 mm	7,79	0,680	1,49	2,97	4,03	5,96	7,79	11,0
400 mm	12,6	1,10	2,41	4,80	6,50	9,62	12,6	17,8

Eksempel:

Resultantkraften for et 110 mm 45° bend ved et trykk på 7 bar finner du ved å ta tallet fra tabellen, 0,727 kN/bar, og multiplisere det med 7 bar:

$$0,727 \text{ kN/bar} \cdot 7 \text{ bar} = 5,1 \text{ kN}$$

Dimensjonering av forankringskloss

Horisontale bend og endeavslutninger

Dimensjonering av forankringskloss for resultantkrefter i horisontalplanet tar utgangspunkt i:

- Kraftresultanten
- Grøftesidens fasthet

Ved horisontale bend, T-rør og overganger må de opptredende kreftene fordeles i jordmassene bak. For å få til dette må de overføres på et areal som er stort nok i forhold til massenes evne til å absorbere trykk. Dette gjøres ved at kreftene forplanter seg til bakenforliggende masser via en stiv betongkloss med et visst areal mot jordmassene. Det er dette arealet som må beregnes ut fra jordmassenes beskaffenhet og resultantkraft som oppstår på grunn av det innvendige trykket.

Mellom rør og betong legges et lag av papir eller papp. Dette for at betongen ikke skal hefte mot platen.

$$\text{Nødvendig betongareal: } A_{\text{betong}} = \beta \cdot \frac{R}{\sigma_{\text{jord}}} [\text{m}^2]$$

β : Sikkerhetsfaktor – normalt 1,5 []

R: Resultantkraft [kN]

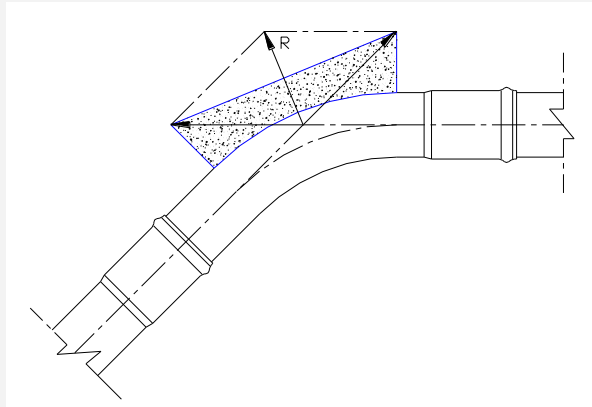
σ_{jord} : Skjærfasthet eller tillatt jordtrykk for jordtypen [kN/m²] (se tabell)

Skjærfasthet eller tillatt jordtrykk (σ_{jord}) for ulike jordtyper

Jordtype	Skjærfasthet [kN/m ²]	Merknader
Bløt leire	25 - 50	Leira formes med et lett fingertrykk
Middels leire	50 - 150	Leira er fuktig og noe plastisk. Formes med moderat fingertrykk.
Stiv leire	150 - 300	Leira er tørr og relativt fast. Kan formes med hardt fingertrykk.
Meget stiv leire	300 - 500	Leira er tørr og fast. Kan ikke formes med fingertrykk.
	Tillatt jordtrykk [kN/m²]	
Fin sand - løst lagret	100	
Fin sand - komprimert	200	
Grov sand - komprimert	300	

σ_{jord} (skjærfasthet eller tillatt jordtrykk) for ulike jordarter

Eksempel:



Bend med kraftvektorer og forankringskloss

Horisontalt bend

p: 15 bar

Rør: 160 mm PVC SDR 21

α: 45°

σ_{jord}: 200 kN/m²

β: Sikkerhetsfaktor 1,5

NB! Ved 10 bar driftstrykk er prøvetrykket 15 bar. Derfor benyttes p = 15 bar i beregningen. Å sette inn driftstrykket ville gitt for lite areal på forankringsklossen under trykkprøvingen. Prøvetrykket for et PVC SDR 21 rør kan også være 17,5 bar - noe som gir en enda større forankringskloss.

Resultantkraft fra tabell over:

$$1,54 \text{ kN/bar} \cdot 15 \text{ bar} = 23,1 \text{ kN}$$

... eller utregnet:

$$R = 2 \cdot p \cdot A \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2 \cdot 1,5 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{\pi \cdot (160 \text{ mm})^2}{4} \cdot \sin\left(\frac{45^\circ}{2}\right) = 23\,083 \text{ N} = 23,1 \text{ kN}$$

Nødvendig betongareal:

$$A_{\text{betong}} = \beta \cdot \frac{R}{\sigma_{\text{jord}}} = 1,5 \cdot \frac{23,1 \text{ kN}}{200 \text{ kN/m}^2} = 0,173 \text{ m}^2$$

Velger h = 0,30 m høyde på betongkloss - som gir bredde:

$$b = \frac{A_{\text{betong}}}{h} = \frac{0,173 \text{ m}^2}{0,30 \text{ m}} = 0,58 \text{ m}$$

Vertikalt bend

Summen av nedoverretta vertikale krefter må være større enn eller lik oppoverretta kraftresultant fra bend. Det betyr at massen av overliggende jord med belastningsplate minst må tilsvare kraftresultanten. Vær oppmerksom på massenes deformasjonsegenskaper og retningen av resultantkraften. Et 90° bend vil skyves med en vinkel på 45°. Multipliser nødvendig tyngde på belastningsplate med 1,5 som sikkerhet.

Eksempel:

Resultantkraften fra forrige eksempel er 23,1 kN. For å holde bendet på plass behøves en masse tilsvarende:

$$m = \beta \cdot \frac{R}{g} = 1,5 \cdot \frac{23100 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 3532 \text{ kg} \approx 3,5 \text{ tonn}$$

Vekten av betongplata og jorden over må være større eller lik vekten som kreves:

$$m \leq \rho_{\text{betong}} \cdot A \cdot h_{\text{betong}} + \rho_{\text{jord}} \cdot A \cdot h_{\text{jord}} \text{ [kg]}$$

ρ_{betong} : Betongens tyngdetetthet [kg/m³]

ρ_{jord} : Jordens tyngdetetthet [kg/m³]

A: Betongplatas areal [m²]

h_{betong} : Betonplatas høyde [m]

h_{jord} : Høyden av jord over betongplata [m]

Total høyde av masser som overfører vekt: $H = h_{\text{betong}} + h_{\text{jord}}$ [m]

Vi løser formelen med hensyn på A:

$$A \geq \frac{m}{\rho_{\text{betong}} \cdot h_{\text{betong}} + \rho_{\text{jord}} \cdot h_{\text{jord}}} \text{ [m}^2\text{]}$$

Det forutsettes at høyden fra bunn betongplate til topp terreng (H) er kjent og at tyngdetettheten til massene er noenlunde kjent. Vi prøver med en høyde på betongplata (h_{betong}) – og ser om arealet av betongplata er hensiktsmessig.

Eksempel:

I eksempelet foran er tyngden som kreves minst 3532 kg. Høyden fra bunn betongplate til terreng er 1,2 meter. Vi bruker 2400 kg/m³ som tyngdetetthet for betong og 1500 kg/m³ for jord – og så prøver vi oss først med ei betongplate med høyde 0,2 m:

$$A \geq \frac{m}{\rho_{\text{betong}} \cdot h_{\text{betong}} + \rho_{\text{jord}} \cdot h_{\text{jord}}}$$

$$A \geq \frac{3532 \text{ kg}}{2400 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,2 \text{ m} + 1500 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,0 \text{ m}}$$

$$A \geq 1,78 \text{ m}^2$$

I dette tilfellet er det nødvendig at ei betongplate med høyde 0,2 m har et areal på 1,78 m² – altså med volum 0,356 m³ og vekt 854 kg.

Hvis det er praktisk mulig, så er det lurt å plassere betongplata under bendet og klamre bendet fast i denne. Hvis det blir nødvendig å grave seg ned på bendet senere, så slipper du å pigge betong.

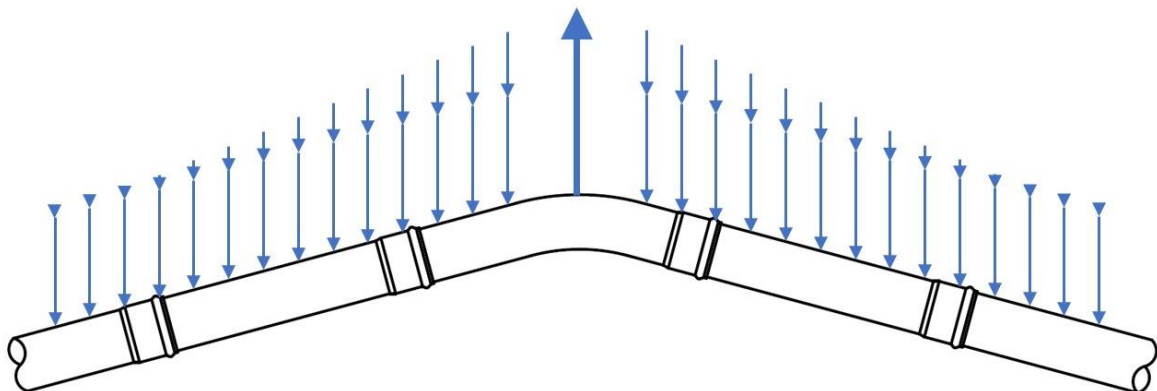
Dimensjonering ved strekkfaste skjøter

Det finnes flere typer strekkfaste skjøter: Sveiste skjøter, strekkfaste muffe/koblinger og muffesikringer. Ved bruk av muffesikring er det viktig å bruke en type som er tilpasset røret og muffas geometri. For strekkfaste koblinger på PE-rør må det fastslås om støttehylse er påkrevet. Det er uansett svært viktig å sette seg godt inn i monteringsanvisningen. Er ledningen helsveist og forankret i endene, så er det ikke behov for å forankre bend og T-rør på ledningen ytterligere. Det er alltid en fordel og legge til rette for å redusere strekkrefter i rørledning. For eksempel bør temperaturen i rørveggen og grøftetemperaturen utlignes mest mulig før endene låses. For PE-rør i mindre dimensjoner er det fordelaktig å legge røret i en bue mot en kobling.

I dette avsnittet tar vi for oss forankring av muffeør av PVC med et antall strekkfaste skjøter.

Laborrietester og krav for strekkfaste skjøter for PVC trykkrør er omtalt i produktstandardens del 5, NS-EN ISO 1452-5. Det skal gjennomføres egne langtidstester med et statisk prøvetrykk ved gitte temperaturer og langtidstester med dynamisk kraftpåvirkning i skjøten. Det gir en sertifisert skjøt.

Prinsippet for dimensjonering ved strekkfaste skjøter er delvis det samme som for forankringskloss: Kreftene må overføres til massene bak. I tillegg utnyttes friksjonen mellom jordmassene og røret til å ta opp strekkrefter. Det vi må finne ut er hvor mye rørledning det må til for å fordele trykket tilstrekkelig til massene bak og for å utnytte friksjonen mellom rør og jordmasser. Viktige parametere i forbindelse med beregningene er rørdimensjon, rørmateriale (friksjon), vanntrykk, masser og komprimering i ledningssonen, de stedlige jordmassenes beskaffenhet og overdekning (jordtrykk).



Friksjonen mellom rør og jord og jordmassene bak røret tar opp kreftene på den delen av rørledningen som har strekkfaste skjøter

I myr og ved tilsvarende dårlige grunnforhold bør skjøtene forankres til rørledningen ligger trygt i bedre grunn.

Beregningsmetoden er en videreutvikling av en metode utviklet i USA for støpejernsrør og kalles gjerne Alabama-metoden. Jordmassene er gruppert i henhold til internasjonale standarder.

Strekfast rørlengde for horisontale bend

Forankringslengde, L_{bend}

$$L_{\text{bend}} = \beta \cdot \frac{100 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot p \cdot A \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{F + \frac{1}{2} \cdot T} \text{ [m]}$$

L_{bend} : Forankringslengde = minimum rørlengde som må forankres på hver side av bendet [m]

β : Sikkerhetsfaktor – minimum 1,5 []

p : Maksimum trykk [bar]

A^* : Areal = $\frac{\pi \cdot D^2}{4}$ [m²]

D^* : Rørdiameter [m]

α : Bendets vinkel [°]

F : Friksjonskraft per meter rør [kN/m]

T : Jordens trykkfasthet per meter rør [kN/m]

* For mufferrør regnes arealet ut fra utvendig rørdiameter.

OBS!

- For bend som installeres vertikalt («med ryggen opp»), så kan man ikke overføre kreftene til jordmassene bak. Det er bare friksjonen mellom rør og jordmasser som kan utnyttes. Jordtrykket (T) settes derfor til 0 i slike tilfeller.
- Det mest kompliserte her er å bestemme friksjonskraften (F) og jordens trykkfasthet (T). Har man lite grunnlag for å bestemme disse, bør man benytte en større sikkerhetsfaktor – eller bruke laveste sannsynlige verdier.
- Massene i grøfta bør komprimeres godt i en lengde tilsvarende forankringslengden på hver side av bendet, slik at friksjonen og jordtrykket blir optimalt.

Vi begynner med å regne ut F og T :

Friksjonskreftene, F

Friksjonen mellom masser og rør tar opp strekkreftene. Men er ikke skjøtene strekkfaste, så glir de fra hverandre fordi lengden av rør med tilstrekkelig friksjon er for liten. Poenget er å finne ut hvor lang rørstrekning som må ha strekkfaste skjøter for å oppnå likevekt mellom strekkrefter og friksjonskrefter. Ved horisontale bend regner vi bare med halve røromkretsen – fordi kreftene mot bendet vil presse rørene sideveis. Vi forutsetter at det brukt friksjonsmasser i ledningssonen og at massene er komprimerte i området av ledningen som må være strekkfast.

$$F = A_r \cdot f_c \cdot c + (2W_j + W_r + W_v) \cdot \tan(f_\varphi \cdot \varphi) \text{ [kN/m]}$$

- A_r : Overflateareal for 1 meter rør. For beregninger av bend: $A_r = \frac{\pi \cdot D}{2}$ [m²/m]
 D : Utvendig rørdiameter [m]
 f_c : Koeffisient for modifikasjon av kohesjon, se tabell []
 c : Jordens kohesjon, se tabell [kN/m²]
 W_j : Normalkraft fra vekten av jordsøylen over røret [kN/m]
 W_r : Normalkraft fra vekten av røret [kN/m]
 W_v : Normalkraft fra vekten av vannet i røret [kN/m]
 f_φ : Koeffisient for modifikasjon av friksjonsvinkel []
 φ : Jordens indre friksjonsvinkel [°]

Rør-dimensjon	Effektivt areal for rør pr m, A_r (bend) [m ² /m]	Vekt av jordsøylen over rør, W_j [kN/m]	Vekt av rør med vann, W_r+W_v [kN/m]
63 mm	0,099	1,134 · H	0,033
75 mm	0,118	1,350 · H	0,047
90 mm	0,141	1,620 · H	0,068
110 mm	0,173	1,980 · H	0,102
160 mm	0,251	2,880 · H	0,215
225 mm	0,353	4,050 · H	0,425
280 mm	0,440	5,040 · H	0,658
315 mm	0,495	5,670 · H	0,833
400 mm	0,628	7,200 · H	1,343

Tabell med nødvendige rørrelaterte data for å regne ut friksjonstallet. H er overdekning [m].

Jordtype	f_c	c [kN/m ²]	f_φ	φ [°]
Velgradert sand, grusholdig sand, grus, singel og pukk med lite finstoff	0	0	0,7	36
Dårlig gradert sand, grusholdig sand, grus, singel og pukk med lite finstoff	0	0	0,7	31
Siltholdig sand og grus og blandinger av grus, sand og silt	0	0	0,7	30
Uorganisk silt, meget fin sand, steinmel og silt- eller leireholdig finsand	0	0	0,6	29
Leireholdig sand og grus og blandinger av grus, sand og leire	0,2	10,8	0,6	25
Uorganisk leire med lav til middels plastisitet og grus-, sand- og siltholdig leire.	0,3	12,0	0,5	20

Tabell med nødvendige jordrelaterte data for å regne ut friksjonstallet.

Eksempel:

Vi skal finne friksjonskraften for en 160 mm PVC trykkrørsledning med et 90° bend, med 1,25 m overdekning. Rørledningen skal dimensjoneres for et prøvetrykk på 15 bar. Vi bruker gode og godt komprimerte masser i ledningssonen. f_c og c er 0 fordi dette ikke er kohesjonsjord. Så første ledd i formelen faller ut i dette eksemplet. Vi setter inn verdiene fra de to tabellene foran.

$$F = A_r \cdot f_c \cdot c + (2W_j + W_r + W_v) \cdot \tan(f_\varphi \cdot \varphi)$$

$$F = 0,251 \text{ m}^2/\text{m} \cdot 0 \cdot 0 \text{ kN}/\text{m}^2 + (2 \cdot 3,60 \text{ kN}/\text{m} + 0,215 \text{ kN}/\text{m}) \cdot \tan(0,7 \cdot 36) = 3,49 \text{ kN}/\text{m}$$

Jordens trykkfasthet, T

Jorden bak rørledningen absorberer trykkraften fra rørledningen (som ved bruk av forankringskloss). Jordens evne til å absorbere beskrives som trykkfasthet, T. Det forutsettes at massene i ledningssonen er homogene og komprimerte i området med trykkraftfordeling og at de stedlige massene absorberer kreftene.

$$T = D \cdot K_n \cdot (\gamma \cdot H_s \cdot K_p + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}) \text{ [kN/m]}$$

D: Utvendig rørdiameter [m]

K_n : Faktor avhengig av masser og komprimering i ledningssonen []

- Ledningssone type 3: Ukomprimerte friksjonsmasser
- Ledningssone type 4: Lett komprimerte gode friksjonsmasser
- Ledningssone type 5: Normalt komprimerte gode friksjonsmasser

γ : Jordens tyngdetetthet - kan settes til 18,0 kN/m³ hvis den ikke er kjent [kN/m³]

H_s : Gjennomsnittshøyde fra rørets senterlinje til jordoverflate, $H_s = H + \frac{1}{2}D$ [m]

H: Overdekning [m]

D: Rørdiameter [m]

K_p : Rankins koeffisient for passivt jordtrykk, $\tan^2(45+\varphi/2)$ []

φ : Jordens indre friksjonsvinkel [°]

c: Jordens kohesjon [kN/m²]

Jordtype	c [kN/m ²]	φ [°]	K _p	K _n		
				3	4	5
Velgradert sand, grusholdig sand, grus, singel og pukk med lite finstoff	0	36	3,85	0,6	0,85	1,0
Dårlig gradert sand, grusholdig sand, grus, singel og pukk med lite finstoff	0	31	3,12	0,6	0,85	1,0
Siltholdig sand og grus og blandinger av grus, sand og silt	0	30	3,00	0,6	0,85	1,0
Uorganisk silt, meget fin sand, steinmel og silt- eller leireholdig finsand	0	29	2,88	0,4	0,6	0,85
Leireholdig sand og grus og blandinger av grus, sand og leire	10,8	25	2,46	0,6	0,85	1,0
Uorganisk leire med lav til middels plastisitet, grus-, sand- og siltholdig leire.	12,0	20	2,04	0,4	0,6	0,85

Tabell med nødvendige jordrelaterte data for å regne ut jordens trykkfasthet.

Eksempel:

Vi følger opp forrige eksempel og skal nå finne jordens trykkfasthet for en 160 mm PVC trykkrørsledning med ett 90° bend og med 1,25 m overdekning og som skal dimensjoneres i forhold til et prøvetrykk på 15 bar. Vi bruker godt komprimerte gode friksjonsmasser (pukk, singel, grov grus eller grov sand). c er 0 fordi dette ikke er kohesjonsjord. Så siste ledd i parentesene i formelen faller ut i dette eksemplet. Vi setter inn de øvrige verdiene fra tabellen over.

$$T = D \cdot K_n \cdot \left(\gamma \cdot H_s \cdot K_p + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p} \right)$$

$$T = 0,160 \text{ m} \cdot 1,0 \cdot \left(18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot \left(1,25 + \frac{1}{2} \cdot 0,160 \right) \text{ m} \cdot 3,85 + 2 \cdot 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \sqrt{3,85} \right) = 14,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Forankringslengde for bend, L_{bend}

Da gjenstår det bare å fylle inn i hovedformelen. Vi har satt inn en omregningsfaktor 100, slik at trykket kan settes inn i bar i stedet for kN/m². 1 bar = 100 kN/m².

$$L_{\text{bend}} = \beta \cdot \frac{100 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot p \cdot A \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{F + \frac{1}{2} \cdot T} \text{ [m]}$$

L_{bend}: Minimum rørlengde som skal forankres på hver side av bendet [m]

β: Sikkerhetsfaktor – minimum 1,5 []

p: Maksimum trykk [bar]

A: Areal = $\frac{\pi \cdot D^2}{4}$ [m²]

D: Rørdiameter [m], OBS! For mufferrør regnes arealet ut fra utvendig rørdiameter

α: Bendets vinkel [°]

F: Friksjonskraft pr meter rør [kN/m]

T: Jordens trykkfasthet pr meter rør [kN/m]

Rør- dimensjon	Rørets tverrsnittsareal, A [m ²]
63 mm	0,00311
75 mm	0,00441
90 mm	0,00636
110 mm	0,00950
160 mm	0,02011
225 mm	0,03976
280 mm	0,06158
315 mm	0,07793
400 mm	0,12566

Eksempel:

Da fullfører vi arbeidet som er lagt ned i de to forrige eksemplene og finner nødvendig forankringslengde på hver side av dette 90° bendet. Rørledningen består fortsatt av 160 mm PVC trykrør og trykket vi skal dimensjonere ved er 15 bar. F er beregnet til 3,49 kN/m og T til 14,75 kN/m. Rørets tverrsnittsareal A kan settes inn fra tabellen over.

$$L_{\text{bend}} = \beta \cdot \frac{100 \text{ kN/bar} \cdot p \cdot A \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{F + \frac{1}{2} \cdot T}$$

$$L_{\text{bend}} = 1,5 \cdot \frac{100 \text{ kN/bar} \cdot 15 \text{ bar} \cdot 0,02011 \text{ m}^2 \cdot \tan\left(\frac{90}{2}\right)}{3,49 \text{ kN/m} + \frac{1}{2} \cdot 14,75 \text{ kN/m}} = 4,2 \text{ m}$$

Hvis det monteres en seks meter lang rørlengde på hver side av bendet, så holder det å gjøre skjøtene mot bendet strekkfaste – altså 2 stk strekkfaste skjøter.

Tabeller over strekkfast lengde ved gunstige og ugunstige forhold

I tabellen under finner du minimum strekkfast lengde på hver side av horisontale PVC trykrørsbend i SDR 21 når det er brukt gode masser i ledningssonen med god komprimering, grunnforholdene er svært gode (godt komprimert sand, grus og morene og fjell), overdekningen er 1,5 meter, trykket er 15 bar og sikkerhetsfaktoren er 1,5.

Rør- dimensjon	Minimum forankringslengde på hver side av et bend under gitte forhold					
	11° bend	22° bend	30° bend	45° bend	60° bend	90° bend
63 mm	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,4
75 mm	0,2	0,3	0,4	0,7	1,0	1,7
90 mm	0,2	0,4	0,5	0,8	1,2	2,0
110 mm	0,2	0,5	0,7	1,0	1,4	2,4
160 mm	0,3	0,7	0,9	1,4	2,0	3,5
225 mm	0,5	0,9	1,3	2,0	2,8	4,8
280 mm	0,6	1,2	1,6	2,5	3,4	5,9
315 mm	0,6	1,3	1,8	2,7	3,8	6,6
400 mm	0,8	1,6	2,2	3,4	4,8	8,2

I tabellen under finner du minimum strekkfast lengde på hver side av horisontale PVC trykkrørsbend i SDR 21 når det hovedsakelig er brukt ukomprimerte friksjonsmasser i ledningssonen og stedlige masser er leire med lav til middels plastisitet med høy fuktighet, når overdekningen er 1,5 meter, trykket er 15 bar og sikkerhetsfaktoren er 2,0 (på grunn av de dårlige massene i ledningssonen og grunnen ellers).

Rør- dimensjon	Minimum forankringslengde på hver side av et bend under gitte forhold					
	11° bend	22° bend	30° bend	45° bend	60° bend	90° bend
63 mm	0,5	0,9	1,3	2,0	2,8	4,8
75 mm	0,5	1,1	1,5	2,4	3,3	5,7
90 mm	0,7	1,3	1,8	2,8	3,9	6,8
110 mm	0,8	1,6	2,2	3,4	4,8	8,3
160 mm	1,2	2,3	3,2	5,0	6,9	12,0
225 mm	1,6	3,2	4,5	6,9	9,6	16,7
280 mm	2,0	4,0	5,5	8,5	11,9	20,6
315 mm	2,2	4,5	6,2	9,5	13,3	23,0
400 mm	2,8	5,6	7,7	12,0	16,7	28,9

Forankring av sveiste rørledninger

Rørledninger av PE med sveiste, strekkfaste skjøter må forankres i enden(e). En situasjon, som vi ser nærmere på i eksempelet under, er når et medierør ligger i varerør og påvirkes av temperaturendringer. Andre situasjoner kan være rørledninger som ligger i dårlige masser hvor friksjonskrefter mellom rør og masser ikke låser røret, rørledninger i bratte skråninger der massene kan sige osv. Her kan kreftene oppstå av ulike grunner og dette krever geoteknisk kompetanse og mer omfattende beregninger. I kapitlet om Hookes lov omtales flere situasjoner som gir kraftpåvirkninger som må ivaretas.

Eksempel:

Vi skal finne arealet til forankringsklosser for et 400 mm PE 100 SDR 17 trykløst medierør som ligger fritt i et varerør og som utsettes for temperaturendringer på 20 °C. Rørledningen må forankres i begge ender.

Først må vi finne relativ utvidelse (ϵ), som er et dimensjonsløst tall (eller med enhet m/m eller mm/mm), for røret når det er uforankret. Utvidelseskoeffisienten (k) for PE 100 er 0,16 mm/m °C og temperaturendringen (ΔT) i dette eksemplet er 20 °C:

$$\epsilon = k \cdot \Delta T = 0,16 \frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 20^\circ\text{C} \cdot 0,001 \frac{\text{m}}{\text{mm}} = 0,0032$$

For å finne opptredende materialspenning (σ) i et rør som ligger fast innspent mellom to forankringer må vi bruke Hookes lov med korttidsverdi for E-modul (E). Vi forutsetter da at temperaturendringen skjer plutselig (worst case):

$$\sigma = E \cdot \epsilon = 1000 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,0032 = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

Tverrsnittsarealet av rørvæggen ($A_{\text{rørvegg}}$) er:

$$A_{\text{rørvegg}} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (400,0^2 - 352,6^2) = 28\,018 \text{ mm}^2$$

Kraften (R) som røret skyver/trekker med blir da:

$$R = \sigma \cdot A_{\text{rørvegg}} = 3,2 \text{ N/mm}^2 \cdot 28\,018 \text{ mm}^2 = 89\,658 \text{ N} = 89,7 \text{ kN} \text{ (9,1 tonn)}$$

Arealet av forankringsklossen mot massene (A_{betong}) beregnes ut fra forutsetninger om et tillatt jordtrykk (σ_{jord}) på 200 kN/m² og med en sikkerhetsfaktor (β) på 1,5:

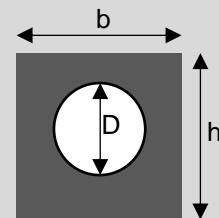
$$A_{\text{betong}} = \frac{R}{\sigma_{\text{jord}}} \cdot \beta = \frac{89,7 \text{ kN}}{200 \text{ kN/m}^2} \cdot 1,5 = 0,673 \text{ m}^2$$

For å finne riktig bredde (b) og høyde (h) på forankringsklossen må vi legge til arealet røret stjeler ($A_{\text{rør}}$). Her forutsetter vi en kvadratisk kloss:

$$A_{\text{tot}} = A_{\text{betong}} + A_{\text{rør}} = 0,673 \text{ m}^2 + \left((0,4 \text{ m})^2 \cdot \frac{\pi}{4} \right) = 0,799 \text{ m}^2$$

$$b, h = \sqrt{A_{\text{tot}}} = \sqrt{0,799 \text{ m}^2} = 0,89 \text{ m}$$

Klossen i dette eksempelet må minst være 89 cm bred og 89 cm høy.

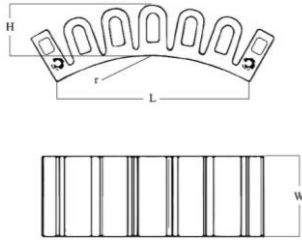


Elektroforankring

Elektroforankringen brukes ved forankring av PE trykkrør i betong. Kraftene fra røret overføres via elektroforankringene til betongveggen. Antallet som normalt er nødvendig per dimensjon og rørklasse finner du i tabellen under. Ved svært høye belastninger bør antallet beregnes. Forankringene er dimensjonert for en last på 42,3 kN (4,3 tonn) per stk.

Elektroforankringen stropes stramt til rørveggen før sveising. Normal prosedyre for elektroforankring må følges. Blant annet er det viktig med skraping av rørveggen for å fjerne oksidert belegg. Etter kjøletiden kan stroppen fjernes og røret støpes inn i betong.

Rørdimensjon [mm]	Antall for SDR 11 rør [stk]	Antall for SDR 17 rør [stk]
160 - 280	2	2
315	3	2
355	4	3
400	5	3
450	6	4
500	7	5
560	8	6
630	10	7
710	13	9
800	17	11
900	21	14
1000	26	18
1200	37	25



L: 152 mm
H: 40 mm
W: 63 mm

Eksempel:

I forrige eksempel ble resultantkraften 89,7 kN (9,1 tonn) for et 400 mm PE 100 SDR 17 rør. Når hver elektroforankring tar inntil 42,3 kN, blir regnestykket

$$\text{Antall elektroforankringer} = \frac{89,7 \text{ kN}}{42,3 \text{ kN/stk}} = 2,1 \text{ stk, som i praksis betyr 3 stk - som i tabellen over.}$$

R: Hookes lov

Spenning og tøyning

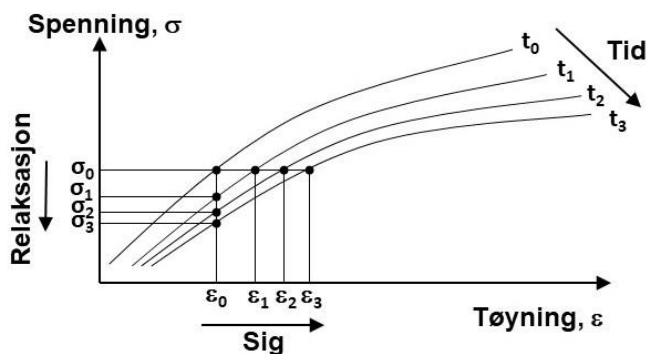
Hookes lov dreier seg om forholdet mellom spenning og tøyning for et materiale og er sentral i mange sammenhenger når rør styrkeberegnes. Du kan for eksempel bestemme hvor mye tøyning du får når du påfører en viss kraft.

Materialspenning er kraft per arealenheter – for eksempel i N/mm² (MPa) mens tøyning er en relativ størrelse – enten dimensjonsløs eller i m/m eller mm/mm.

Elastisitetsmodulen (E-modulen) er ikke en konstant for viskoelastiske materialer. Når tøyningen er konstant avtar spenningen med tiden (relaksasjon) og når spenningen er konstant øker tøyningen med tiden (sig). Det betyr at E-modulen reduseres med tiden belastningen står på.

Fjernes belastningen for så å bli påført igjen, så har vi et nytt belastningstilfelle – vi begynner på null igjen. Belastningens varighet må man derfor vite noe om. Faktisk er det slik at E-modulen i plastmaterialer øker med tiden – materialet blir sterkere. Men det ser vi bort fra ved lastberegning.

Under belastningstiden vil det oppstå tøyning. Er tiden kort før belastningen fjernes, vil tøyningen gå helt tilbake og materialet har en tilnærmet elastisk oppførsel. Er belastningstiden lang nok, vil materialet ha en varig tøyning – det endrer form som en væske. Derav viskoelastisk – der «visko» henspiller på væske.



Relaksasjon og sig som funksjon av tid

For viskoelastiske materialer, som for eksempel termoplastene, krever derfor bruk av Hookes lov et bevisst valg av størrelse av parameterne - ettersom egenskapene er tidsavhengige. I spesielle tilfeller må vi også ta hensyn til at materialeegenskapene i tillegg er avhengige av temperatur og spenningsnivå.

Hookes lov:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad [\text{N/mm}^2]$$

- E: Elastisitetsmodul [N/mm²]
- σ : Materialspenning [N/mm²] = Kraft (F)/Areal (A)
- ϵ : Relativ tøyning [m/m, mm/mm]

Hvilken E-modul skal vi velge?

Normalt kan vi forholde oss enten til korttidsverdien eller langtidsverdien for E-modul ved romtemperatur. Veiledende verdier for disse oppgis som konstanter for ulike materialer. Korttidsverdier benyttes ved belastninger med noen få minutters varighet, mens langtidsverdiene benyttes ellers.

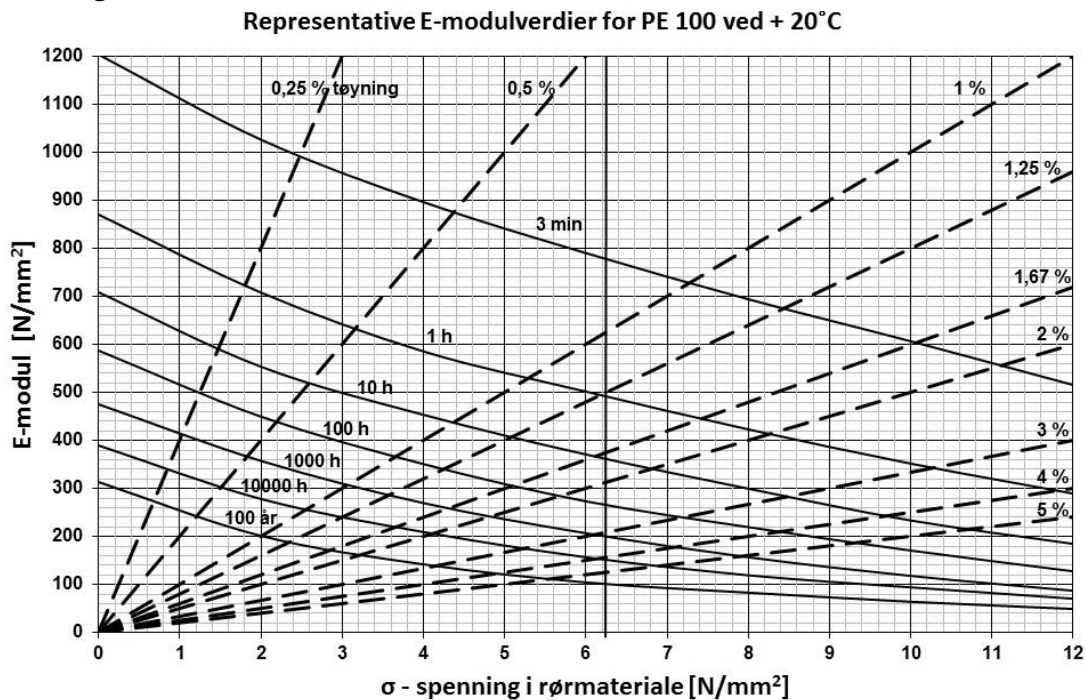
I virkeligheten er E-modul avhengig av spenningsnivå i tillegg til varighet og temperatur- og man må passe på at tøyningen ikke overstiger grenseverdiene (se egne diagram for PVC-U og PE 100). I spesielle tilfeller bør man derfor velge en annen verdi for E-modul. I vår sammenheng er dette stort sett bare aktuelt i forbindelse med svært spesielle tilfeller ettersom dette er ivaretatt i ulike standarder og preaksepterte løsninger er brukt.

Veiledende verdier for kort- og langtids E-modul for vanlige rørmaterialer:

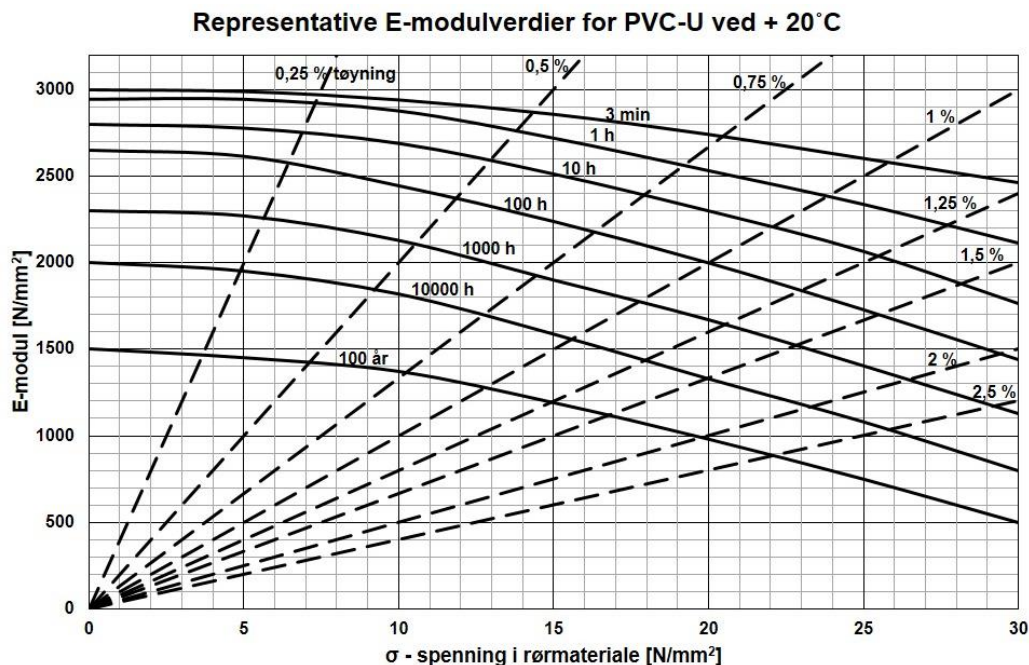
Rørmateriale	Korttids E-modul	Langtids E-modul
PVC-U	3000 N/mm ²	1000 N/mm ²
PE 100	1000 N/mm ²	200 N/mm ²
PE 80	800 N/mm ²	160 N/mm ²
PP*	1250 N/mm ²	300 N/mm ²

* PP leveres med ulike E-moduler. De oppgitte verdiene er konservative.

Veiledende verdier for E-modul avhengig av tid, belastningens varighet, spenningsnivå og tøyning gis av diagrammene:



E-modul for rørmaterialet PE 100 som funksjon av tid, spenning og tøyning ved 20°C. Tillatt langtidstøyning for PE 100 er 5,0 %. Bruddspenningen ved 50 år er 10,0 N/mm². Dimensjonerende spenning for en langtidsbelastning er 6,3 N/mm² ved sikkerhetsfaktor 1,6 og 8,0 N/mm² ved designkoeffisient 1,25.



E-modul for rørmaterialet PVC-U som funksjon av tid, spenning og tøyning ved 20°C. Tillatt langtidstøyning for PVC-U er 2,5 %. Bruddspenningen ved 50 år er 25,0 N/mm². Dimensjonerende spenning for en langtidsbelastning er 10,0 N/mm² ved sikkerhetsfaktor 2,5 og 12,5 N/mm² ved designkoeffisient 2,0.

Materialspenning i ringretning som følge av innvendig trykk

Når røret utsettes for et innvendig trykk, så oppstår det spenninger i ringretning (tangensielt). Denne spenningen kan beregnes slik:

$$\sigma_t = \frac{p \cdot d_m}{2 \cdot e} = \frac{p}{2} (\text{SDR} - 1) \quad [\text{N/mm}^2]$$

p: Innvendig trykk [N/mm²]
1 bar = 0,1 N/mm²

d_m: Middeldiameteren, d_m=D-e [mm]

SDR - Standard Dimension Ratio eller standard dimensjonsforhold: SDR=D/e []

D: Utvendig diameter [mm]

e: Vegtykkelse [mm]

Eksempel:

Hvis trykket er 10 bar (1,0 N/mm²) for et 225 mm SDR 11 PE 100 rør med vegtykkelse 20,5 mm, så blir resultatet:

$$\sigma_t = \frac{1,0 \text{ N/mm}^2 \cdot (225 \text{ mm} - 20,5 \text{ mm})}{2 \cdot 20,5 \text{ mm}} = 5,0 \text{ N/mm}^2$$

Eller

$$\sigma_t = \frac{1,0 \text{ N/mm}^2}{2} \cdot (11 - 1) = 5,0 \text{ N/mm}^2$$

Materialspenning i lengderetning som følge av innvendig trykk

Tverrkontraksjon:

Hvis man setter trykk på en frittliggende (ikke forankret) ledning vil diameteren øke litt og den vil krympe i lengderetning. Dette kalles tverrkontraksjon. Forholdet mellom spenning eller tøyning i ringretning og lengderetning er for praktiske formål en konstant for plastrør som kalles tverrkontraksjonskoeffisienten, $\nu = -\frac{\epsilon_{\text{aksielt}}}{\epsilon_{\text{tangensielt}}} = -\frac{\sigma_{\text{aksielt}}}{\sigma_{\text{tangensielt}}}$. Når tøyningen i ringretning er positiv (strekk) blir lengdeendringen negativ (krymp) og tverrkontraksjonskoeffisienten et positivt tall.

I en fastspent (forankret) ledning vil det oppstå materialspenninger i lengderetning i rørveggen i og med at røret ikke kan bevege seg. Materialspenningen i lengderetningen for fastspente ledninger på grunn av påført trykk finnes ved å multiplisere spenningen i ringretning med tverrkontraksjons-koeffisienten: $\sigma_a = \nu \cdot \sigma_t$ [N/mm²]. Vi kan normalt bruke tverrkontraksjonskoeffisienten 0,45 for PE og PP og 0,40 for PVC.

Eksempel:

I dette tilfellet blir strekkspenningen i lengderetning: $\sigma_a = \nu \cdot \sigma_t = 0,45 \cdot 5,0 \text{ N/mm}^2 = 2,25 \text{ N/mm}^2$

Materialspenning i lengderetning som følge av temperaturendring og nektet lengdeendring

Et fastspent rør som utsettes for temperaturvariasjoner vil gi skyve- og trekkekrefter mot forankringene – ettersom det nektes å endre lengde. Nektet lengdeendring gir også tøyning i rørmaterialet vi må ta hensyn til. Utvidelseskoeffisienten for PE 100 er 0,16 mm/m°C – eller 0,00016 m/m°C. Kraft og tøyning er derfor kun avhengig av temperaturdifferansen – ikke rørlengden. En temperaturdifferanse på 30 °C gir for eksempel en relativ tøyning på 0,00016 m/m°C · 30 °C = 0,0048 (m/m) for et fastspent PE 100 rør. Er det ikke fastspent blir lengdeendringen 0,0048 m/m – eller 4,8 mm/m. Ved hjelp av Hookes lov kan vi finne hvor store spenninger - og dermed krefter - som oppstår når røret er fastspent.

For fastspente PE-rør er det lurt å legge røret i bue(r) for å redusere spenninger og krefter.

Eksempel

Et 200 meter langt PE 100 rør vil krympe 960 mm i lengderetning hvis det ikke er forankret og temperaturen i rørveggen faller 30 °C fra det ligger i sola til det er gjenfylt. Hvis det er forankret i begge ender, ville det oppstå tøyning med tilhørende spenninger i rørveggen på grunn av nektet lengdeendring. Tøyningen er konstant og spenningene avtar med tiden (relaksasjon).

Tøyningen, eller den relative lengdeendringen, ville blitt: $\varepsilon = \frac{0,96 \text{ m}}{200 \text{ m}} = 0,0048 \frac{\text{m}}{\text{m}}$, altså det samme som vi får når vi multipliserer 0,00016 m/m°C med 30 °C.

Dette tallet representerer altså tøyningen i det forankrede røret og det er denne verdien vi må bruke i Hookes lov for å regne ut spenningene som oppstår.

Vi velger langtids E-modul for PE 100, som er 200 N/mm², fordi temperaturendringen er varig - og benytter Hookes lov:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$\Downarrow$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = 200 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,0048 = 0,96 \text{ N/mm}^2$$

Materialspenningen i lengderetning (aksielt) etter lang tid, som følge av at røret ikke får bevege seg, er 0,96 N/mm².

Umiddelbart etter installasjon blir spenningen større. For å beregne denne må en bruke korttids E-modul for PE 100, som er 1000 N/mm², i formelen. Da blir materialspenningen 4,8 N/mm². I praksis blir spenningen noe lavere fordi tiden det tar å redusere temperaturen er lengre enn noen få minutter. Til tross for den relativt høye spenningen er ikke dette så ille - som vi skal se senere. Spenningsrelaksasjonen går raskt i begynnelsen - i løpet av noen timer er spenningen kraftig redusert.

Men summen av maksimumspenninger i lengderetning blir dimensjonerende for forankringene. De faktiske kreftene som oppstår kan bli store. I dette eksempelet vil et 200 mm SDR 11 rør umiddelbart dra med en kraft på 4,8 N/mm² · rørveggens areal i mm²: 4,8 N/mm² · 10 395 mm² = 49 895 N = 49,9 kN - som tilsvarer 5,1 tonn. Dette er nærmere forklart senere.

Resulterende materialspenning

Gitt et tilfelle med en forankret og trykksatt rørledning med en temperaturreduksjon, så har vi flere spenninger som virker både i ringretning (σ_t) og i lengderetning (σ_a). For å finne den samlede spenningen - resultantspenningen - benyttes von Mises teori for spenninger i et plan:

$$\sigma_{res} = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_a^2 - \sigma_t \cdot \sigma_a} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Ved overtrykk i ledningen blir spenningen i ringretning en positiv strekkspenning. Spenningen i lengderetning blir en positiv strekkspenning ved tverrkontraksjon og ved temperaturreduksjon. Spenningen på grunn av temperaturøkning blir en negativ trykkspenning. Av formelen ser vi at resultantspenningen blir større om spenningene har motsatt fortegn enn om spenningene har samme fortegn.

Eksempel:

Vi bruker verdier fra eksemplene over.

- Positiv strekkspenning i ringretning pga. innvendig overtrykk: 5,0 N/mm²
- Positiv strekkspenning i lengderetning pga. tverrkontraksjon: 2,25 N/mm²
- Positiv strekkspenning i lengderetning pga. varig temperaturreduksjon: 0,96 N/mm²
- Summen av de positive spenningene i lengderetning: 2,25 N/mm² + 0,96 N/mm² = 3,2 N/mm²

$$\sigma_{res} = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_a^2 - \sigma_t \cdot \sigma_a}$$

↓

$$\sigma_{res} = \sqrt{(5,0 \text{ N/mm}^2)^2 + (3,2 \text{ N/mm}^2)^2 - (5,0 \text{ N/mm}^2) \cdot (3,2 \text{ N/mm}^2)} = 4,4 \text{ N/mm}^2$$

OBS!

- Trykkspenninger, for eksempel ved undertrykk eller ved temperaturøkning, er negative. Pass på fortegnene!
- Ved beregning av sikkerhetsfaktor med tanke på levetid benyttes langtidsspenning som følge av temperaturendringen, mens korttidsspenning benyttes ved dimensjonering av forankring. Det tillates høyere spenning for en kortidsbelastning enn for en langtidsbelastning. Hvor langvarig er belastningene?
- Maksimum kraft som virker på en forankring finnes ved å multiplisere korttids resultantspenning i lengderetning med tverrsnittsarealet av rørveggen – se neste avsnitt.

Bruddspenningen (MRS) for PE 100 er 10 N/mm². Sikkerhetsfaktoren for eksemplet over blir da:

$$S_f = \frac{MRS}{\sigma_{res}} = \frac{10 \text{ N/mm}^2}{4,4 \text{ N/mm}^2} = 2,3$$

Altså høyere enn om vi bare hadde tatt hensyn til spenningen i ringretning som følge av det innvendige overtrykket.

Maksimum dimensjonerende spenning for PE 100 materialet er 8,0 N/mm² for 50 års belastningstid, mens minimum bruddspenning (MRS) er 10,0 N/mm² for 50 års belastningstid -

noe som gir en designkoeffisient på 1,25. For en korttidsbelastning vil bruddspenningen være høyere og man kan tillate høyere opptredende spenning. Man bør uansett sørge for at sikkerhetsfaktoren er tilfredsstillende - noe som bør vurderes fra gang til gang. Men det advares mot ikke å ta hensyn til uforutsette tilleggslastninger som påføres under installasjon eller drift.

I Norge har det vært vanlig å dimensjonere i forhold til vanntrykket og ha en høy sikkerhetsfaktor (1,6 for PE) til disposisjon for kjente og ukjente tilleggsspenninger. Vi ser at dette er i endring og det er viktig at den prosjekterende er kjent med ulike forhold og at den utførende ikke påfører unødvendige tilleggsspenninger i installasjonsfasen - for eksempel ved å spenne fast røret før det er akklimatisert eller ved å tvinge røret i riktig posisjon ved montering med flenser.

Hvor store krefter oppstår på grunn av materialspenningene?

Den største kraften røret vil virke med finner vi ved å multiplisere korttidsspenningene i lengderetning med tverrsnittsarealet av rørveggen.

Tverrsnittsarealet av rørveggen er:

$$A_{\text{rør}} = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \quad [\text{mm}^2]$$

D: utvendig diameter [mm]

d: innvendig diameter [mm]

Kraften er:

$$F = \sigma_a \cdot A_{\text{rør}} \quad [\text{N}]$$

Eksempel:

Når røret er et 225 mm SDR 11 rør med veggtykkelse 20,5 mm er innvendig diameter 184,0 mm. Da er tverrsnittsarealet

$$A_{\text{rør}} = \frac{\pi}{4} [(225 \text{ mm})^2 - (184,0 \text{ mm})^2] = 13170 \text{ mm}^2$$

Hvis summen av de strekkraftene i lengderetning (σ_a) er 7,3 N/mm² blir kraften mot forankringene

$$F = \sigma_a \cdot A_{\text{rør}} = 7,3 \text{ N/mm}^2 \cdot 13170 \text{ mm}^2 = 96141 \text{ N} = 96,1 \text{ kN (som tilsvarer 9,8 tonn)}.$$

Husk å legge på en sikkerhetsfaktor når du dimensjonerer forankringene.

R: Hydraulisk dimensjonering

Vannmengder

Ved dimensjonering av nyanlegg og ved utskifting av rør bør det foretas målinger og vurderinger av framtidige endringer i vannmengdene. Det kan imidlertid være vanskelig å forutsi utviklingen i dette behovet. Behovet anslås ut fra ønsket om utvikling av samfunnet. Det vil si befolkningsvekst, utvikling i lekkasjer, framtidige utbygginger, klimaendringer osv. Hvor mye kapasitet skal settes av til framtidige behov?

Vann

Ved dimensjonering av vannledninger brukes Q_{maks} , det vil si maksimalt timeforbruk i det døgnet i året med størst døgnforbruk, som dimensjonerende vannmengde:

$$Q_{maks} = Q_{mid} \cdot f_{maks} \cdot k_{maks} + Q_{brannvann} + Q_{industri} + Q_{off. bygg} + Q_{jordbruk} + \dots$$

Q_{mid} : Midlere døgnforbruk, $q \cdot pe$

q : Midlere spesifikt døgnforbruk pr personekvivalent, eventuelt inkludert lekkasjevann. Verdier mellom 140 til 180 l/pe per døgn er vanlige for bo-områder.

pe : Antall personekvivalenter – enten som antall beboere eller omregnet til forbruk per person

f_{maks} : Maksimal døgnfaktor

k_{maks} : Maksimal timefaktor

$Q_{brannvann}$: Brannvesenets krav til vannmengde

$Q_{industri}$: Lokal industris behov for vann

$Q_{off. bygg}$: Behov for vann til offentlige bygg (skole, rådhus osv.)

$Q_{jordbruk}$: Behov for vann til ulike primærnæringer

Spillvann

Spillvannsmengden i avløpsrør beregnes på samme måte som vannforsyning ved nyanlegg, men forbruk som ikke går til avløp utelates:

$$Q_{maks} = Q_{mid} \cdot f_{maks} \cdot k_{maks} + \dots + Q_{inf}$$

Q_{inf} : Lekkasjevann inn i rørledningen

Overvann

Å finne nøyaktig overvannsmengde er komplisert og krever mye kartlegging. Hvor stort er nedslagsfeltet, hvor store er flatene med ulik avrenningsfaktor, hva er helningene, hva er regnintensiteten og hvilket gjentagelsesintervall skal vi bruke, hvor stor klimafaktor må vi regne med, må vi ta hensyn til grunnvann, får vi større avrenning på islagt mark m.m.? I tillegg må vi tenke på om vi kan fordrøye og/eller infiltrere og ikke minst kartlegge de alternative flomveiene.

I prinsippet trenger vi å ta følgende steg for å finne dimensjonerende vannmengde: Først må vi anslå hvor lang tid det tar for en dråpe å renne fra nedslagsfeltets ytterste grense til oppsamlingspunktet vi skal dimensjonere fra. Ved et konstant regn med denne varigheten er vannmengden størst. Da finner vi den dimensjonerende regnskura som har så lang varighet i forhold til ønsket gjentagelsesintervall. Da har vi en regnintensitet i l/s·ha som kan multipliseres med arealene og med hensyn til avrenningsfaktorene – og vi har en vannmengde.

Gjentagelsesintervallet sier hvor ofte en så kraftig regnskur oppstår – statistisk sett. Med andre ord: Hvor sterkt ønsker du at oversvømmelse/floam kan unngås? Når konsekvensene er store bør det velges lange gjentagelsesintervaller. For veldig kritisk infrastruktur kan gjentagelsesintervallet være 200 år, mens korte gjentagelsesintervaller gir mindre behov for investeringer i tiltak. Hvor stor skade skjer hvis det renner over?

Kapasitetsberegning

Det finnes flere formler for kapasitetsberegning. Å ha kjennskap til disse og mekanismene bak er nødvendig for forståelsen. Men omfattende beregninger utføres i dag ved hjelp av avanserte modeller og er utført av personer med god kompetanse. Kapasitetsdiagrammer og nettbaserte programmer kan brukes av de fleste – for å gjøre enkle overslag. Det er flere usikkerheter forbundet med slike beregninger. I alle sammenhenger er det nødvendig med reservekapasitet.

Følgende formel kan brukes ved kapasitetsberegninger (Colebrook/White):

$$Q = -2 \cdot A_{\text{vann}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot Dh \cdot I} \cdot \log \left(\frac{k}{3,71 \cdot Dh} + \frac{2,51 \cdot \vartheta}{Dh \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot Dh \cdot I}} \right)$$

Q: Vannføring [m³/s]

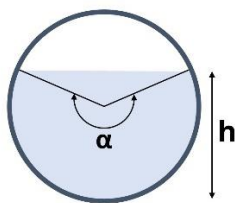
A_{vann}: Tverrsnittsarealet av vannstrømmen [m²]

For et fullt rør er tverrsnittsarealet $\frac{\pi}{4} \cdot d^2$

For et delfyllt rør er tverrsnittsarealet $\frac{d^2}{8} \cdot \left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180} - \sin \alpha \right)$

d: Rørets innvendige diameter [m]

α: Vinkelen til sirkelbuen avgrenset av korden som vannets overflate danner [°]



$$\alpha = 2 \cdot \cos^{-1} \left(1 - \frac{2 \cdot h}{d} \right)$$

h: Fyllingshøyden [m]

Fyllingsgraden $\frac{h}{d}$ kan også settes inn i prosent eller som desimaltall – 70 % fyllingsgrad = 0,7

g: Tyngdeakselerasjonen – 9,81 m/s²

Dh: Hydraulisk diameter [m]

For et fullt rør tilsvarer hydraulisk diameter den innvendige diameteren – d

For et delfyllt rør er hydraulisk diameter $\frac{4 \cdot A_{\text{vann}}}{P}$

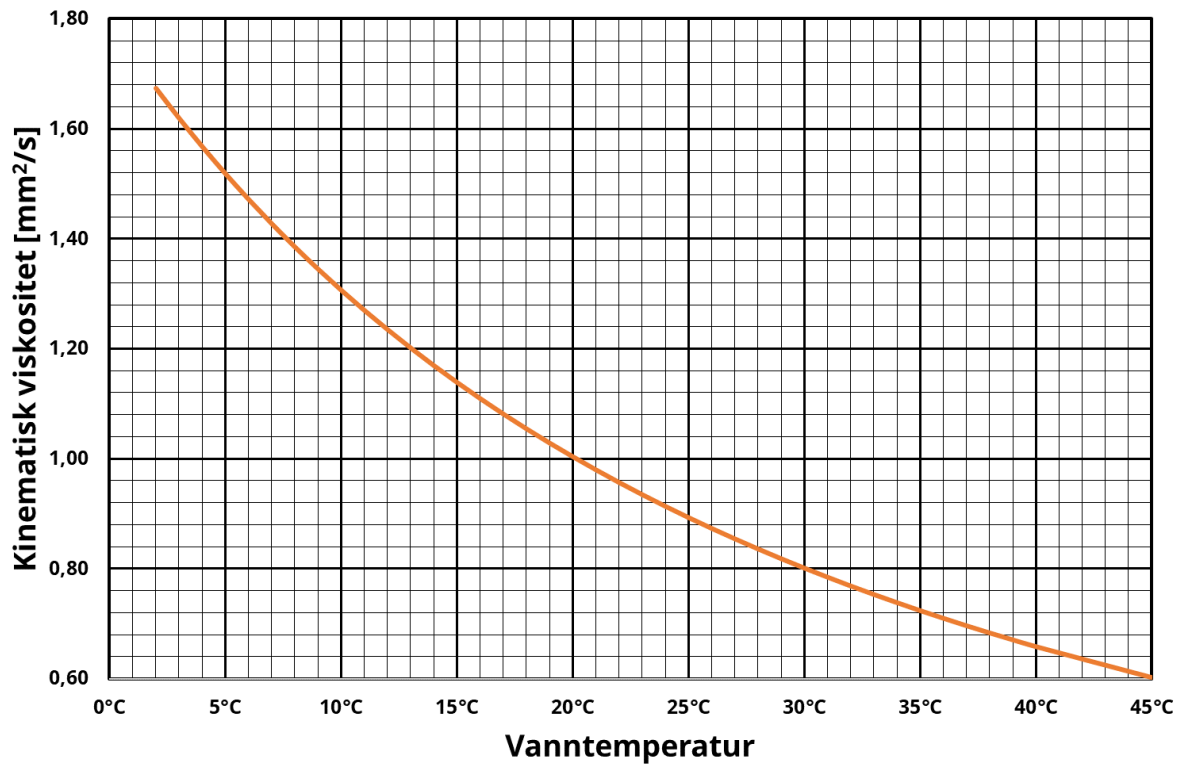
P: Fuktet omkrets $\frac{d \cdot \pi \cdot \alpha}{360}$ [m]

I: Fall for en selvfallsledning eller trykktap/trykklinjens fall for en trykkrørsledning [m/m]

k: Ledningens ruhet [m]

u: Væskens kinematiske viskositet [m²/s]. Kinematisk viskositet er avhengig av temperatur. Det er vanlig å beregne ved 10°C for VA-ledninger. Se verdier for rent vann i diagram og

tabell under:



Kinematisk viskositet [mm²/s] for vann ved ulike temperaturer

Vann-temperatur [°C]	Kinematisk viskositet u for vann [m²/s]
2	1,6736·10 ⁻⁶
4	1,6191·10 ⁻⁶
6	1,4716·10 ⁻⁶
8	1,3849·10 ⁻⁶
10	1,3063·10 ⁻⁶
12	1,2347·10 ⁻⁶
14	1,1692·10 ⁻⁶
16	1,1092·10 ⁻⁶
18	1,0541·10 ⁻⁶
20	1,0034·10 ⁻⁶

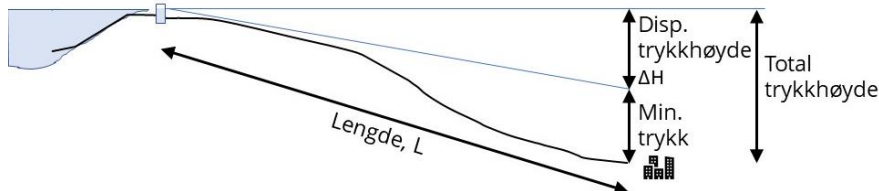
Vann-temperatur [°C]	Kinematisk viskositet u for vann [m²/s]
22	0,9565·10 ⁻⁶
24	0,9131·10 ⁻⁶
26	0,8729·10 ⁻⁶
28	0,8355·10 ⁻⁶
30	0,8007·10 ⁻⁶
32	0,7682·10 ⁻⁶
34	0,7379·10 ⁻⁶
36	0,7095·10 ⁻⁶
38	0,6828·10 ⁻⁶
40	0,6579·10 ⁻⁶

Kinematisk viskositet [m²/s] for vann ved noen temperaturer

Dimensjonering av trykkørsledninger

Ved vanlig dimensjonering er nødvendige data:

- Disponibel trykkehøyde/maksimalt ønsket trykktap (ΔH) [m]
- Ledningens lengde (L) [m]
- Ledningsprofil og kotehøyder eller høydeforskjell mellom ledningens begynnelse og slutt [m]
- Ønsket vannmengde (Q_{maks}) [l/s] eller innvendig diameter på eksisterende rør (d) [m]
- Krav om vannhastighet (v) [m/s]



Skisse av en rørledning som skal transportere en ønsket vannmengde fra kilde til høydebasseng eller forbrukssted.

$I = \frac{\Delta H}{L}$: Disponibel trykkehøyde (ΔH) dividert med ledningens lengde (L) gir oss energigradient (I) - også kalt disponibelt trykktap eller fall i m/m, %, ‰, m/km eller mm/m.

Eksempel:

På en 1,2 kilometer lang ledning kan vi tillate oss et trykktap på 1,5 bar. Hva blir den disponible trykkehøyden i m/m?

Vi benytter kryssmultiplisering for å regne ut trykktapet i meter vannsøyle – x mVs forholder seg til 1,5 bar som 10,2 mVs forholder seg til 1 bar (10,2 mVs = 1,0 bar):

$$\frac{x \text{ mVs}}{1,5 \text{ bar}} = \frac{10,2 \text{ mVs}}{1,0 \text{ bar}}$$

$$\downarrow$$

$$x \text{ mVs} = \frac{10,2 \text{ mVs} \cdot 1,5 \text{ bar}}{1,0 \text{ bar}} = 15,3 \text{ mVs}$$

1,5 bar tilsvarer 15,3 mVs og 1,2 kilometer er 1200 meter. Da blir disponible trykkehøyde i m/m for bruk i formelen:

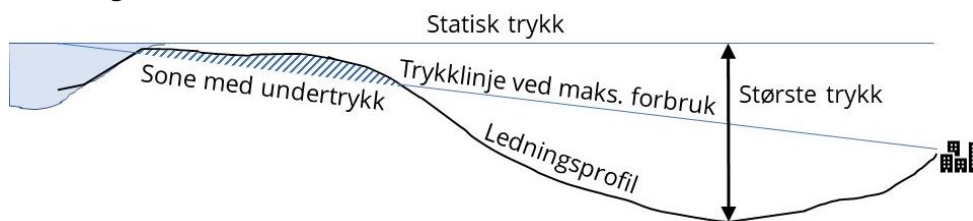
$$I = \frac{\Delta H}{L} = \frac{15,3 \text{ m}}{1200 \text{ m}} = 0,01275 \text{ m/m}$$

Total trykkehøyde dividert på ledningens lengde er ledningens virkelige fall. Beregninger basert på denne verdien gir maksimal kapasitet, men med null trykk på vannet ved endepunktet for trykkledninger.

Prinsippene er de samme for pumpeanlegg. Da løfter pumpen trykkehøyden slik at situasjonen blir lik den som er skissert for høyreliggende kilde over.

Pumper som starter og stopper og ventiler som åpner og stenger kan gi trykkstøt som begrenses med trykkstøtdempende tiltak. Trykksvingningene må beregnes i egnede beregningsprogrammer – og maksimum og minimum trykk og hyppighet må være innenfor begrensningene. Uforutsette trykkstøt som kan oppstå en sjelden gang er normalt ikke dimensjonerende, men bør uansett forebygges/reduceres.

Lange rørledninger kan ha en ledningsprofil som gir svært høye trykk eller kraftige undertrykk på deler av ledningen. Det er viktig å undersøke om trykksituasjoner i rørledningen kan være utenfor grenseverdiene.



Normalt anbefales vannhastigheter mellom 0,5 - 2,0 m/s i kommunale vannledninger. Vannhastigheter inntil 3,5 m/s kan i enkelte tilfeller godtas. Ønsket trykk ved utløpet er normalt mer enn 2 bar. Ved trykk større enn 4 bar ved en bygning må det monteres trykkreduksjonsventiler. Utstyr i hus er beregnet for trykk mindre enn 4 bar.

Nyproduserte plastrør har lav ruhefaktor og betraktes ofte som hydraulisk glatte. Men skjøter og litt belegg innvendig i rørene vil føre til at den virkelige verdien blir større. Vi anbefaler å benytte følgende k-verdier både for trykkrør av PE og PVC for **vannforsyning**:

Dimensjon	k-verdi [mm]
d ≤ 200mm	0,01
d > 200mm	0,05

Disse verdiene gjelder rør uten mange bend, tilknytninger og ventiler. Hvis det er mye utstyr på nettet brukes 5 - 10 % lavere disponibelt trykktap (energigradient). Se neste avsnitt. Ved hastigheter over 2,0 m/s og marginal dimensjonering anbefaler vi å utføre en beregning av singulærtapene.

I trykkrør for spillvann (kloakkpumpeledninger) vil det dannes en kloakkhud som vil øke ruheten ytterligere. Inntaks- og utslippsledninger i saltvann kan få kraftig begroing og dermed svært høye k-verdier. Korrosjon i metallrør og mangan i råvannet vil også gi høye k-verdier.

Kapasitetsberegningsprogram for trykkrør

På våre hjemmesider www.pipelife.no har vi et enkelt [beregningsprogram for kapasitetsberegning av fulle rør](#). Programmet er enkelt å bruke og det er en stor fordel at du raskt kan prøve ut ulike parametere og se effekten av endringene du gjør. Bruk av programmet krever at man har god basiskunnskap om kapasitetsberegninger og de ulike parameterne som inngår. Kompliserte anlegg bør prosjekteres av kvalifisert personell.

Inn-data

Beregn

- Avløpsrør (trykkløst) Kapasitet og hastighet ▼
 Trykkrør

Rørdata

- Utvendig diameter Du [mm] SDR [-]
 Innvendig diameter Di [mm]
 Ruhet μ [mm] Råd
 Rørledningens lengde L [m]
 Vanntemperatur ▼ [°C]

Opplysninger om trykkforhold

- Trykk ved innløp P1 bar ▼
 Minimum trykk ved utløp P2 bar ▼
 Kotehøyde innløp h1 [m]
 Kotehøyde utløp h2 [m]

Beregnete verdier

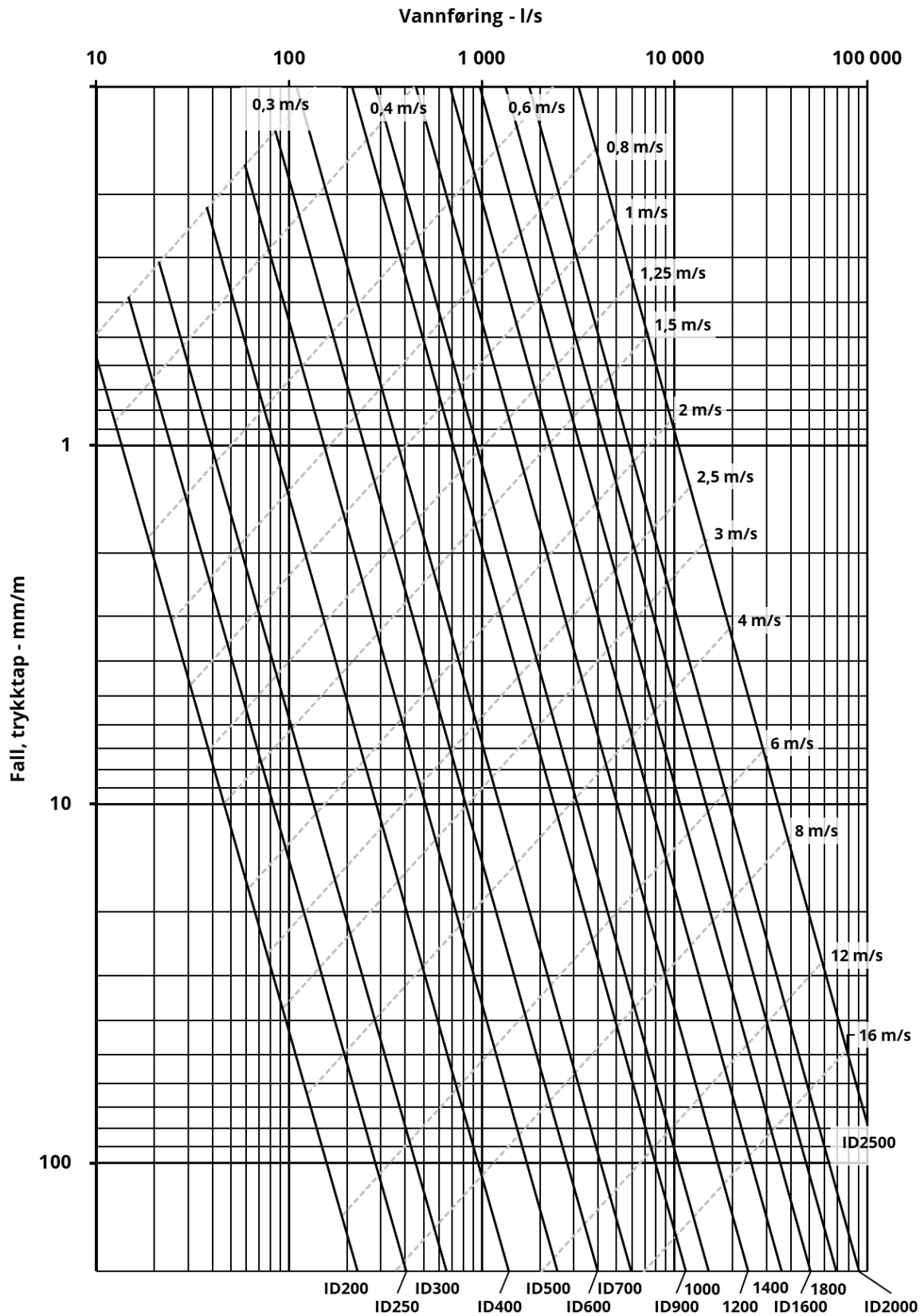
Resultater

- Strømningshastighet V 2.68 [m/s]
 Kapasitet Q 171 ▼

Dette programmet er et supplement til Pipelifes øvrige brosjyrer, kataloger og innhold på hjemmesiden. Vi forventer at brukeren har forståelse for beregningene og prinsippene bak - hva de skal brukes til og begrensningene. Bruk av programmet erstatter ikke de vurderinger og det skjønnet en kompetent ingeniør utfører. Vi gjør spesielt oppmerksom på at singulærtap kan være betydelige ved store vannhastigheter. Selv om vi har tilstrebet å gjøre den informasjonen som inngår så nøyaktig som mulig, så kan vi ikke garantere for denne. Alt innhold må kun betraktes som anbefalinger. Anbefalingene gitt ved bruk av dette programmet er ikke overførbare til produkter produsert av andre.

Velg «Trykkrør» under «Beregn» øverst. Velg hva du vil beregne i nedtrekksmenyen: Trykktap og hastighet, kapasitet og hastighet eller diameter og hastighet. Hvilke inndata som kreves vil endre seg avhengig av valget i nedtrekksmenyen.

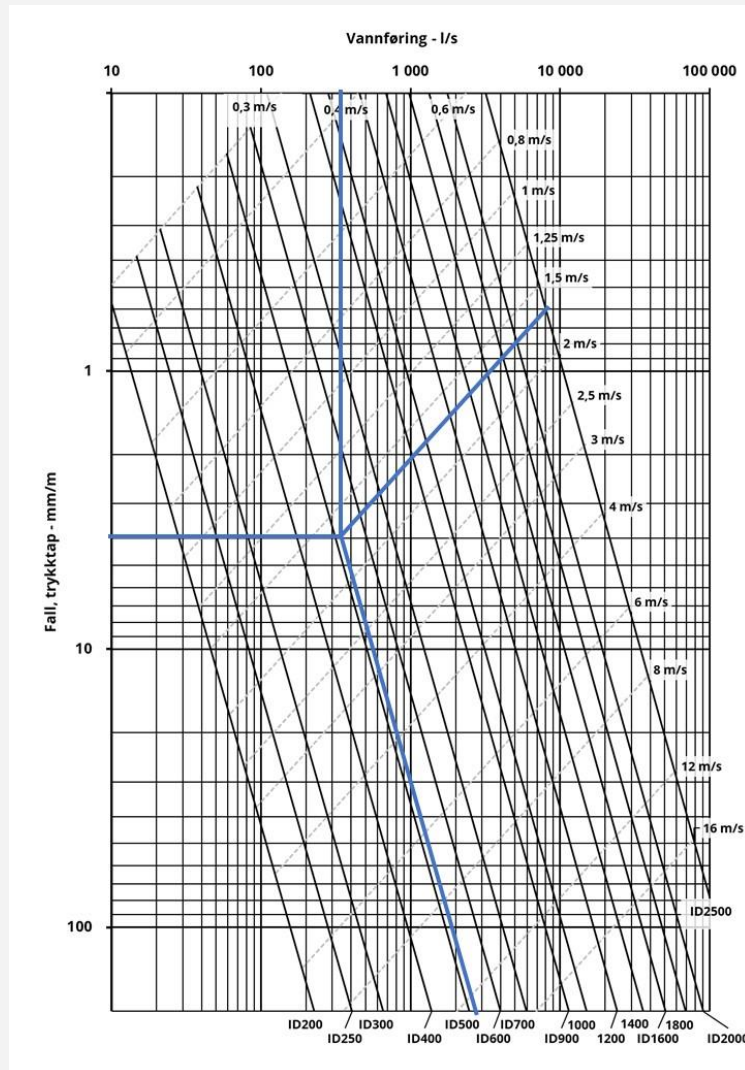
Vannføringsdiagram for trykkrør, $k = 0,05 \text{ mm}$



Vannføringsdiagram for rør med innvendig diameter fra 200 mm til 2000 mm ved 10°C. $k = 0,05 \text{ mm}$

Eksempel:

Vann skal forsynes gjennom et 2900 meter langt rør fra en kilde til et tettsted. Kilden ligger 100 meter over havet (kote 100) og tettstedet ligger 30 meter over havet (kote 30). Vannforbruket i den timen i den dagen i året med mest forbruk er beregnet til 325 l/s. Hvilken rørdimensjon skal vi velge?



Vi tegner en loddrett linje i diagrammet fra 325 l/s. Hastigheten bør ligge under 2,0 m/s.

Merk at de skrå linjene for rørdimensjon er tegnet ut fra rørets innvendige diameter. I dette tilfellet er trykkehøyden ved kilden 100 mVs og ved forbrugsstedet 30 mVs. Det statiske trykket ved forbrugsstedet blir da $100 \text{ mVs} - 30 \text{ mVs} = 70 \text{ mVs} = 6,9 \text{ bar}$. Vi prøver med 630 mm PE 100 SDR 11 som har en innvendig diameter på ca. 515,6 mm – og tegner en strek til denne krysser streken for 325 l/s.

Fra krysningspunktet tegnes strek for hastighet på skrå opp til høyre og strek for fall (trykkfall) vannrett ut til venstre. Det ser ut til at vi traff ved første forsøk: Hastigheten er under 2,0 m/s og trykktapet er ca 4 mm/m – eller m/km.

Trykket ved forbruksstedet ved 325 l/s finner vi ved å trekke trykkfallet i rørledningen fra det statiske trykket: $70 \text{ mVs} - (4 \text{ mVs/km} \cdot 2,9 \text{ km}) = 58,4 \text{ mVs} = 5,7 \text{ bar}$ ved 325 l/s. Dette ser lovende ut! Men trykket må reduseres fordi det statiske trykket, 6,9 bar, er et for høyt trykk for husinstallasjoner.

Dimensjonering av selvfallsledninger for avløpsvann

Strømning i trykkløse avløpsrør defineres som kanalstrømning - eller strømning med fritt vannspeil. Dette betyr at den hydrauliske trykklinjen faller sammen med vannspeilet - eller rørets fall, om du vil. Ved dimensjonering er utgangspunktet at ledningen skal kunne lede bort en vannmengde Q_{maks} uten ukontrollert oppstuvning. For å ta høyde for usikkerheter og fremtidig behov beregner man med en større eller mindre fyllingsgrad. For overvann er det som regel vanskelig å anslå vannmengdene nøyaktig og man velger derfor ofte å dimensjonere med en lavere fyllingsgrad. I tillegg bør skjærspenningen sikre selvrens en gang pr døgn i minimumsdøgnet - se bakerst i avsnittet.

For korte ledninger, for eksempel stikkrenner, vil innløpstep være den største begrensningen for kapasiteten til røret. Utforming av innløpet er derfor avgjørende.

Ved hydraulisk dimensjonering av selvfallsledninger benyttes vanligvis ulike ruhetsfaktorer - eller k-verdier - avhengig av rørmateriale.

Kapasiteten er også avhengig av:

- Avleiringer
- Avgreninger
- Deformasjon
- Singulærtap
- Ujevnt fall
- Andre hindringer

I noen tilfeller kan ruheten (k-verdien) bli større enn normalt. Dette gjelder spesielt ved inntaks- og utslippsledninger i saltvann og der avløpsvannets sammensetning er slik at det blir mye avleiringer på rørveggen.

Man må vurdere driftstilstand etter en tid og ytre påvirkning. Under gode forhold antas lav faktor og under dårlige forhold tilsvarende høy faktor. Ved normale forhold anbefaler vi å bruke de gamle verdiene angitt av SFT (Statens Forurensningstilsyn).

Anbefalte bruksruhetsverdier fra SFT:

Rørmateriale	k-verdi for rette rørstrekninger uten tilknytninger.	k-verdi for rørstrekninger med tilknytninger og bend.
Plast	0,25	0,4

SFT's anbefalte bruksruhetsverdier

Kapasitetsdiagrammer gjelder helt fulle rør og her er gjengitt med disse k-verdiene. Hvordan man finner kapasiteten for en viss delfylling er omhandlet etter diagrammene.

Kapasitetsberegningsprogram for selvfallsledninger

På våre hjemmesider www.pipelife.no har vi et enkelt [beregningsprogram for kapasitetsberegning av delfylte rør](#). Se også avsnittene om delfylling og selvrensing. Programmet er enkelt å bruke og det er en stor fordel at du raskt kan prøve ut ulike parametere og se effekten av endringene du gjør. Bruk av programmet krever at man har god basiskunnskap om kapasitetsberegninger og de ulike parameterne som inngår. Kompliserte anlegg bør prosjekteres av kvalifisert personell.

Inndata

Beregn

- Kapasitet og hastighet
- Diameter og hastighet

Rørdata

- Pragma/Infra rør
- Vanlige glatte rør
 - Utvendig diameter Du [mm] SDR
 - Innvendig diameter Di [mm]

Ruhet μ [mm]

Fall α ‰

Vanntemperatur [°C]

Resultater

Beveg musepekeren over figuren for å velge en verdi for fyllingshøyden

Resultater

Inndata:

Innvendig diameter 235.2941176470588 mm

Ruhet 0.25 mm


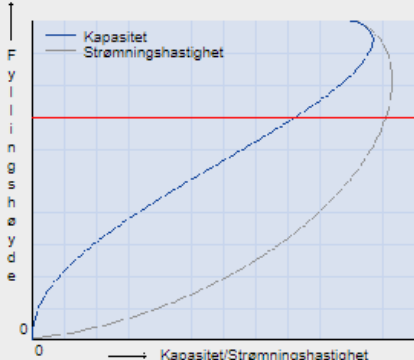
Fall 10 ‰

Valgt verdi:

Fyllingshøyde 70.0 %

Kapasitet 53.7 l/s

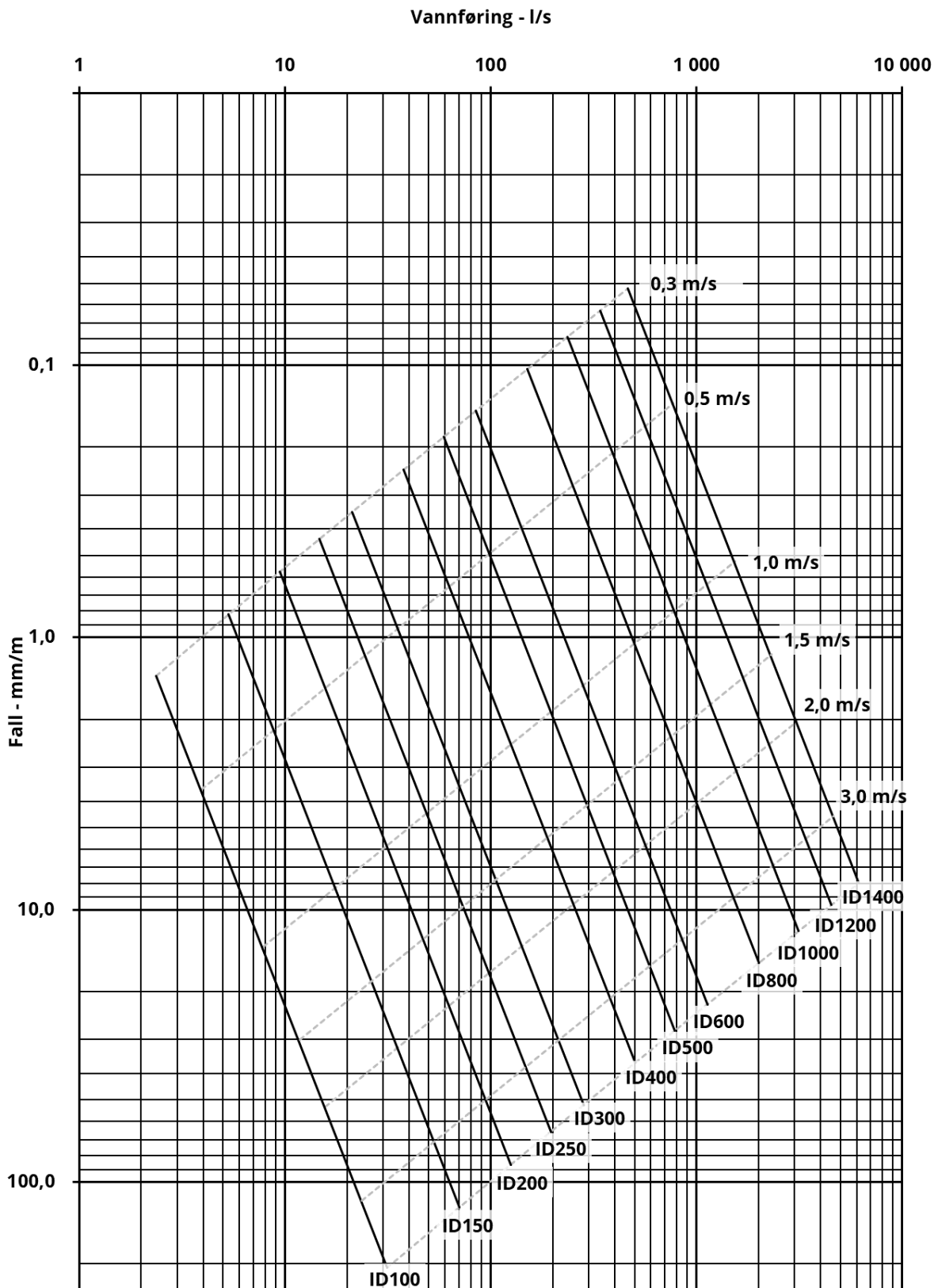
Strømningshastighet 1.65 m/s

Dette programmet er et supplement til Pipelifes øvrige brosjyrer, kataloger og innhold på hjemmesiden. Vi forventer at brukeren har forståelse for beregningene og prinsippene bak - hva de skal brukes til og begrensningene. Bruk av programmet erstatter ikke de vurderinger og det skjønner en kompetent ingeniør utfører. Vi gjør spesielt oppmerksom på at singulærtap kan være betydelige ved store vannhastigheter. Selv om vi har tilstrebet å gjøre den informasjonen som inngår så nøyaktig som mulig, så kan vi ikke garantere for denne. Alt innhold må kun betraktes som anbefalinger. Anbefalingene gitt ved bruk av dette programmet er ikke overførbare til produkter produsert av andre.

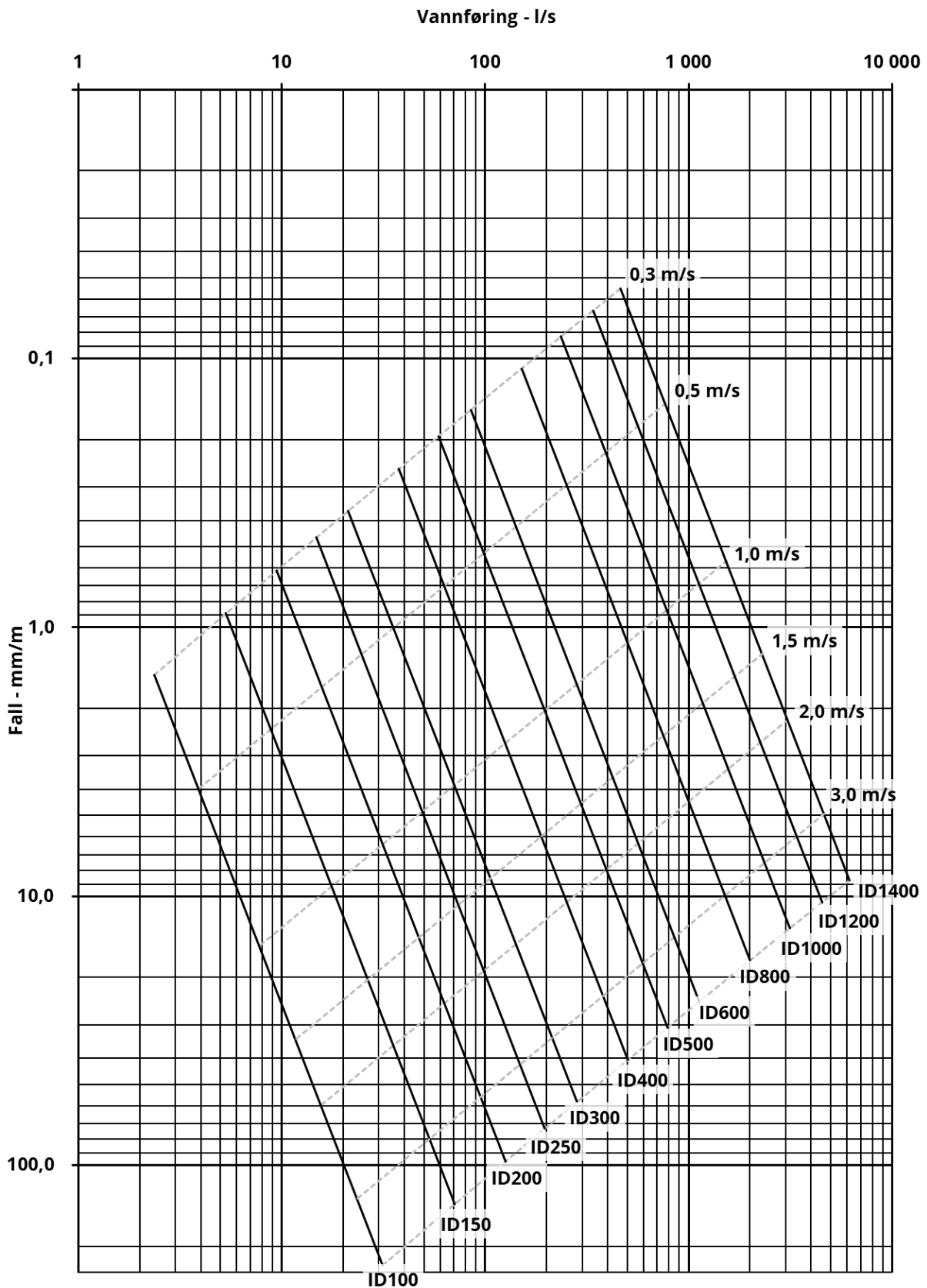
Velg om du vil beregne kapasitet og hastighet eller diameter og hastighet øverst. Fyll inn de opplysningene programmet trenger. Ved beregning av kapasitet får du et diagram som du kan bevege musepekeren over og med det variere fyllingsgraden og lese av kapasitet.

Vannføringsdiagram for avløpsrør, $k = 0,25 \text{ mm}$



Kapasitetsdiagram for avløpsrør uten mange bend og tilknytninger ved 10°C , $k = 0,25 \text{ mm}$

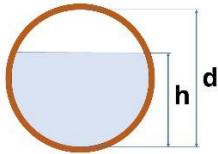
Vannføringsdiagram for avløpsrør, $k = 0,40 \text{ mm}$



Kapasitetsdiagram for avløpsrør med mange bender og tilknytninger ved 10°C , $k = 0,40 \text{ mm}$

Delfylling

I vårt beregningsprogram for delfylte rør har vi brukt formelen til Colebrook/White som regner med hydraulisk diameter D_h avhengig av fyllingsgraden, h/d .



h : Fyllingshøyde [mm, m]

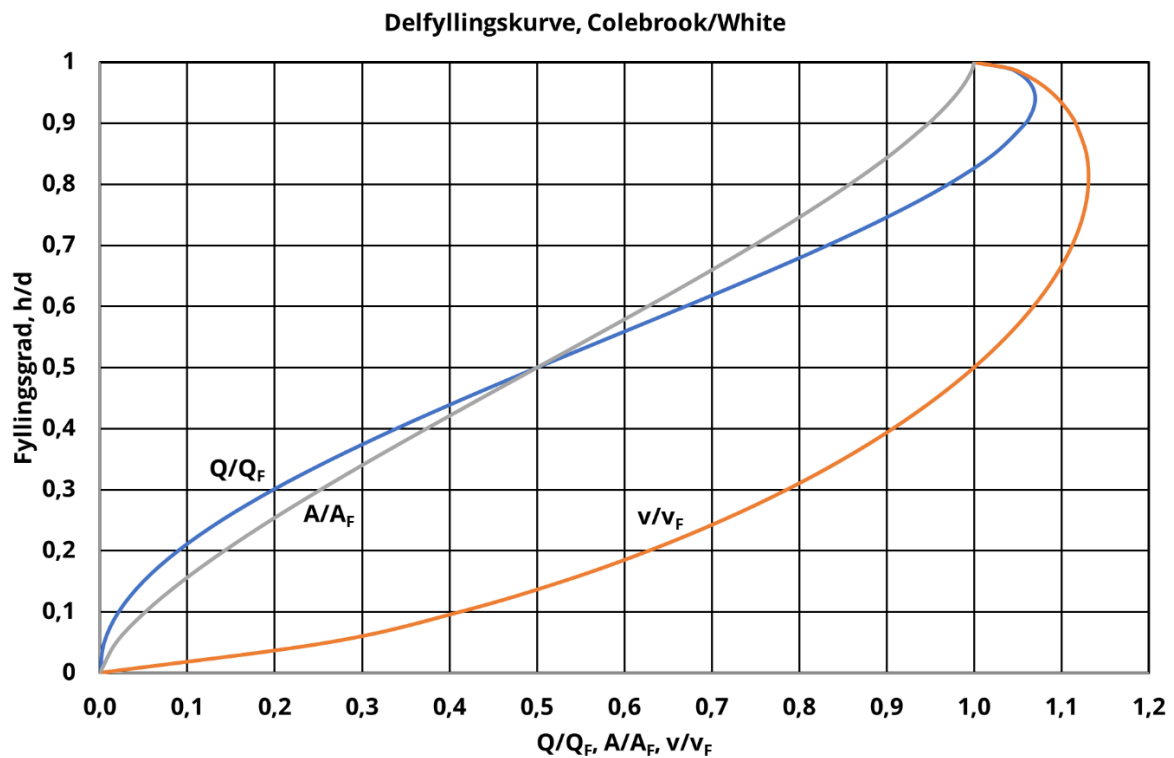
d : Innvendig diameter [mm, m]

h/d : Fyllingsgrad [%]

Q/Q_F : Vannføring i delfylt rør i forhold til i fullt rør [%]

v/v_F : Vannhastighet i delfylt rør i forhold til i fullt rør [%]

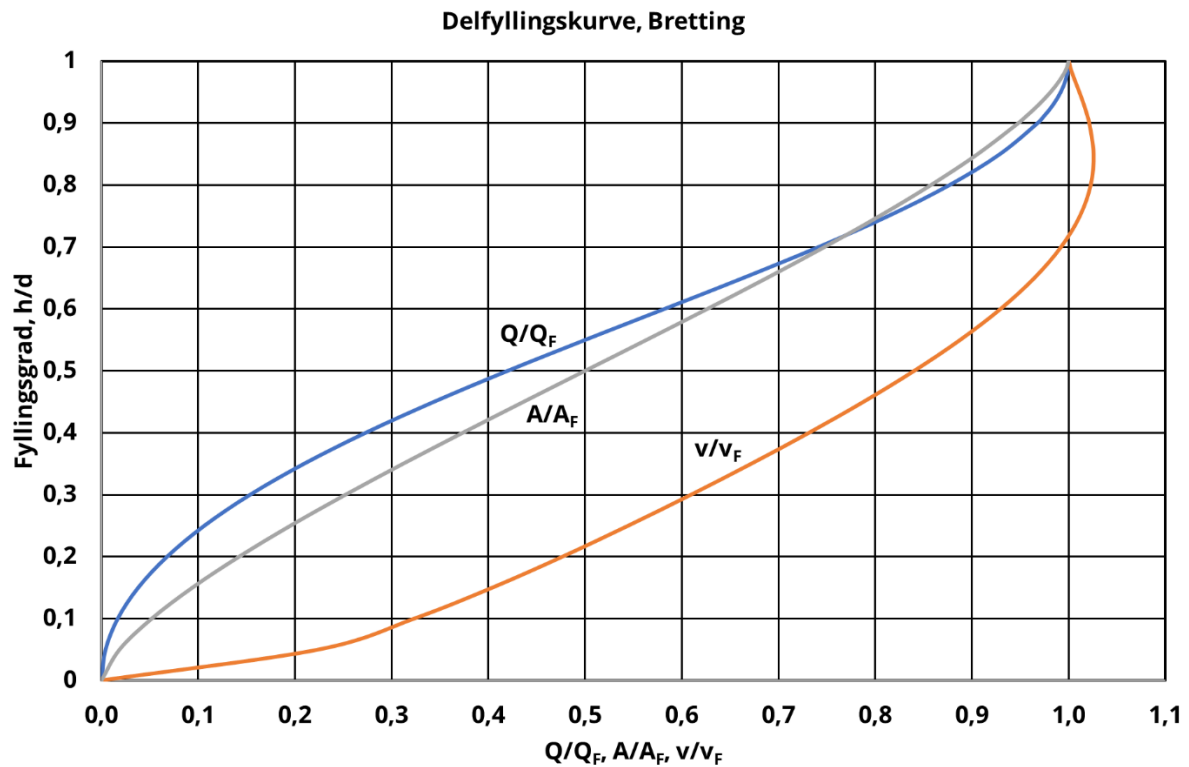
A/A_F : Vannstrengens tverrsnittsareal i delfylt rør i forhold til i fullt rør [%]



Delfyllingskurve, Colebrook/White

For delvis fylte rør er Brettings formel for delfylling også en del brukt. Denne gir mer konservative verdier.

$$\text{Brettings formel for delfylte rør: } \frac{Q}{Q_F} = 0,46 - 0,5 \cdot \cos(180^\circ \cdot \frac{h}{d}) + 0,04 \cdot \cos(360^\circ \cdot \frac{h}{d})$$



Delfyllingskurve, Bretting

Eksempel:

Ifølge delfyllingskurve «Colebrook/White»: Ved 70 % delfylling ($h/d = 0,7$) er vannføringen 83 % av kapasiteten ved fylt rør (Q/Q_F) og hastigheten 111 % av hastigheten ved fullt rør (v/v_F).

Ifølge delfyllingskurve «Bretting»: Ved 70 % delfylling ($h/d = 0,7$) er vannføringen 74 % av kapasiteten ved fylt rør (Q/Q_F) og hastigheten 99 % av hastigheten ved fullt rør (v/v_F).

De gamle gudene er altså ikke helt enige. Vi bør uansett ikke dimensjonere marginalt.

Eksempel:

En spillvannsledning med 10 ‰ fall og mange påkoblinger og bænd skal ha en vannføring på 20 l/s. I og med at dette er en spillvannsledning fra et kjent område med liten usikkerhet i beregningene velges en maksimal delfylling på 70 %.

I delfyllingskurven, eller i eksemplet over, ser vi at kapasiteten ved 70 % delfylling er henholdsvis 83 % og 74 % av kapasiteten ved fylt rør fra Coolebrook/White og Bretting sine formler. Ved fylt rør er kapasitetene henholdsvis

$$Q_F = \frac{Q}{83 \%} = \frac{20 \text{ l/s}}{83 \%} = 24 \text{ l/s}$$

og

$$Q_F = \frac{Q}{74 \%} = \frac{20 \text{ l/s}}{74 \%} = 27 \text{ l/s}$$

Vi benytter et beregningsprogram med angitte forutsetninger:

Inndata	Inndata
<p>Beregn</p> <p><input type="radio"/> Kapasitet og hastighet</p> <p><input checked="" type="radio"/> Diameter og hastighet</p> <p>Rørdata</p> <p>Ruhet μ Lokalt nett - 0.4 [mm]</p> <p>Fall α 10 ‰</p> <p>Vanntemperatur 10 [°C]</p> <p>Ønsket kapasitet og fyllingshøyde</p> <p>Ønsket kapasitet Q 24 l/s</p> <p>Fyllingshøyde h 70 [%]</p> <p>Beregnete verdier</p>	<p>Beregn</p> <p><input type="radio"/> Kapasitet og hastighet</p> <p><input checked="" type="radio"/> Diameter og hastighet</p> <p>Rørdata</p> <p>Ruhet μ Lokalt nett - 0.4 [mm]</p> <p>Fall α 10 ‰</p> <p>Vanntemperatur 10 [°C]</p> <p>Ønsket kapasitet og fyllingshøyde</p> <p>Ønsket kapasitet Q 27 l/s</p> <p>Fyllingshøyde h 70 [%]</p> <p>Beregnete verdier</p>
<p>Resultater</p> <p>Strømningshastighet V 1.31 [m/s]</p> <p>Innvendig diameter D 177 [mm]</p>	<p>Resultater</p> <p>Strømningshastighet V 1.35 [m/s]</p> <p>Innvendig diameter D 185 [mm]</p>

Minste innvendige diameter blir henholdsvis 177 mm og 185 mm for de to beregningsmodellene. Dette er bare en av usikkerheten forbundet med kapasitetsberegninger. Er konsekvensene forbundet med knapp kapasitet store, så må man vurdere en høyere sikkerhetsmargin.

Selvrens

I det store og hele er det relativt sjelden at rørledninger går tette på grunn av sedimentering og avleiringer. 5 ‰, eller 5 mm/m, er ofte angitt som minimumsfall. Det er lite. I praksis er det svært krevende å legge rørledninger med så lite fall uten at svanker gir strekninger med motfall. Ofte vil beregninger av selvrensningsevnen gi et dårlig bilde – og så går det bra likevel. Men vi bør tilstrebe å unngå å legge rørledninger med så lite fall. Spesielt gjelder dette lange ledninger i mindre dimensjoner og lite eller sesongavhengig vannforbruk.

Sesongledninger for spillvann er utsatt fordi det blir liggende «stoff» i ledningen som tørker ut og blir hardt etter endt sesong. Å skylle ledningen godt før man avslutter sesongen er et enkelt forebyggende tiltak.

Overvanns- og drensledninger er vanskelige å forholde seg til når det gjelder selvrensing. Først og fremst bør man forebygge tilstopping ved å hindre stor tilførsel av partikler – gjerne ved å bruke riktig dimensjonerte sandfang med utløpsdykker – og som tømmes i tide.

Ledninger som kan være utsatt bør ha adkomstmulighet for spyling, for eksempel kummer, på strategiske steder.

Metoden for å beregne selvrensing ble i Norge utviklet av en gruppe ledet av Dr. Ing. Dagfinn Kåre Lysne på 70-tallet og publisert i PRA-rapport nr. 9. I årenes løp er det gjort noen erfaringer og vurderinger som har endret litt på betingelsene som legges til grunn, men selve metoden er uendret.

Først bestemmes rørdimensjonen ut fra maksimal vannføring (Q_{maks}), fyllingsgrad (h/d) og fallet (l) på rørledningen. Vi forutsetter nå at rørtype og rørets innvendige diameter (d) er kjent.

Selvrensing av ledning skal ideelt sett skje minst en gang pr døgn – med en viss varighet. Dimensjonerende vannføring for selvrensberegningen finner vi ved hjelp av følgende formel:

$$Q_{dim} = \alpha \cdot f_{min} \cdot Q_{mid}$$

α : For mindre enn 200 pe kan Q_{dim} settes til 0,5 l/s

$$200 - 3000 \text{ pe} \rightarrow \alpha = 1 + \frac{23}{\sqrt{pe}}$$

Mer enn 3000 pe $\rightarrow \alpha = 1,43$

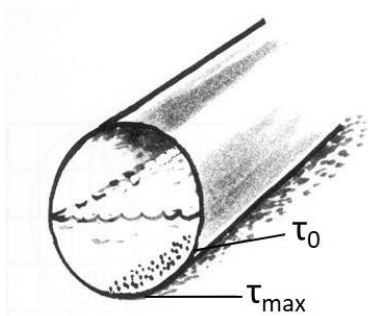
pe: Antall personekvivalenter tilknyttet rørledningen

f_{min} : Faktor for årets døgn med minimum vannforbruk

Q_{mid} : Beregnet midlere vannføring basert på antall personekvivalenter (pe) og gjennomsnittlig døgnforbruk som går til avløp pr pe (q): $Q_{mid} = q \cdot pe$.

Fyllingsgraden (h/d) ved dimensjonerende vannføring (Q_{dim}) leses ut fra en delfyllingskurve ut fra forholdet Q_{dim}/Q_{fylt} .

Som selvrenskriterium benyttes vanligvis krav til minimum skjærspenning langs bunnen av røret.



Jevnt fordelt skjærspenning og skjærspenning langs bunnen av røret

Skjærspenningen langs bunnen (τ_{max}) er større enn den jevnt fordelte (τ_0) på grunn av sedimenter.

For å finne den større skjærspenningen i bunnen av røret benyttes følgende formel:

$$\tau_{\text{maks}} = \rho \cdot g \cdot k_1 \cdot \frac{d}{4} \cdot I \quad [\text{N/m}^2]$$

ρ : Vannets densitet = 1000 kg/m³

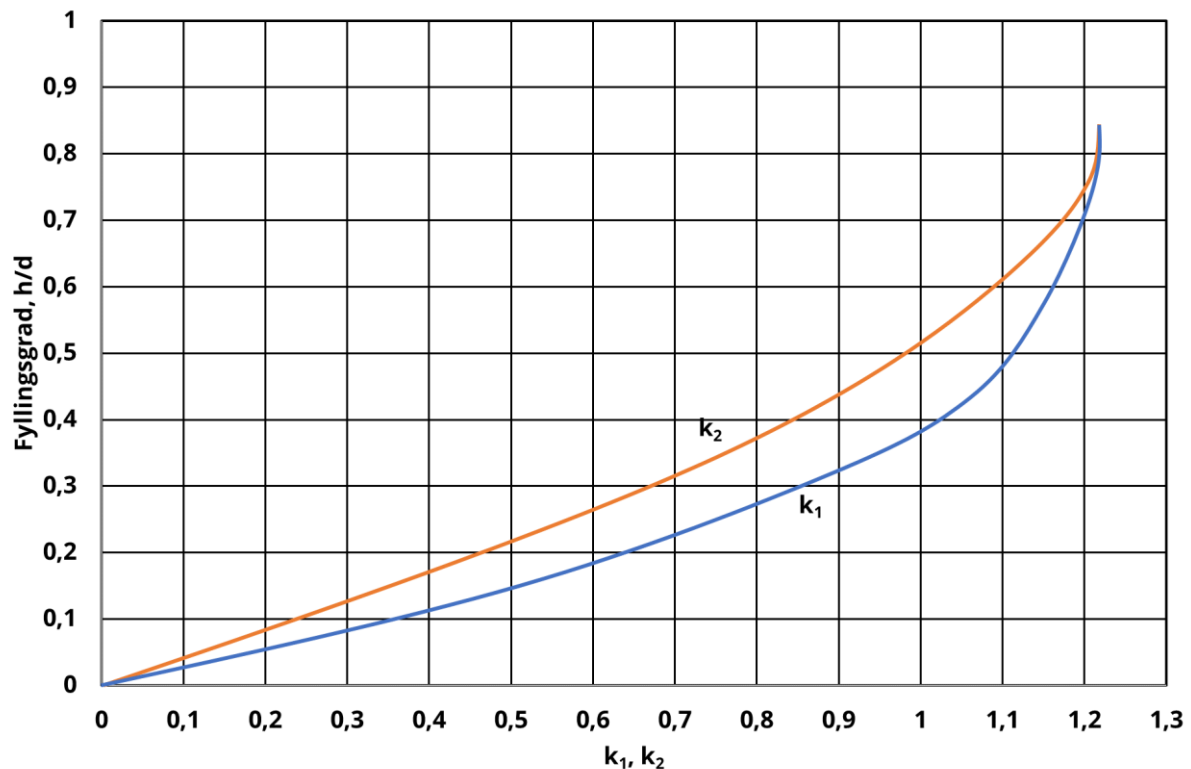
g : Tyngdeakselerasjonen = 9,81 m/s²

k_1 : Faktor med hensyn på fyllingsgrad

$\frac{d}{4}$: Hydraulisk radius (R) for fylte rør er $d/4$ [m], $R = \frac{A_{\text{vann}}}{P} = \frac{\pi \cdot \frac{d^2}{4}}{\pi \cdot d} = \frac{d}{4}$

I : Ledningens fall [m/m]

Korreksjonsfaktor k_1 er en funksjon av fyllingsgraden h/d i røret. Se figuren.



Korreksjonsfaktor for maksimal skjærspenning (k_1) og jevnt fordelt skjærspenning (k_2) i delvis fylte rør. (Kilde PRA 9)

For å oppnå selvrensing bør skjærspenningen langs bunnen av røret (τ_{maks}) være:

- > 1,5 N/m² for plastrør for spillvann – med jevnt fall og med jevn og god vannføring
- > 2 N/m² generelt for plast- og betongrør for spillvann
- > 3 N/m² for plastrør for overvann og fellesledninger under gunstige forhold
- > 4 N/m² for plastrør for overvann og fellesledninger under ugunstige forhold og når sandfang ikke fungerer godt

Eksempel:

Det skal prosjekteres en spillvannsledning fra et område med 300 pe. Gjennomsnittsforkonsumet vurderes til å bli 160 l/pe·d. Maksimum døgnfaktor (f_{maks}) settes til 2,0 og maksimum timefaktor (k_{maks}) settes til 3,0. Infiltrasjonen bør være minimal og settes i dette tilfellet lik null.

Maksimum spillvannsmengde i den timen i det døgnet med mest vannføring:

$$Q_{maks} = Q_{mid} \cdot f_{maks} \cdot k_{maks} + Q_{inf} = 160 \frac{l}{pe \cdot d} \cdot 300 pe \cdot 2,0 \cdot 3,0 + 0 = 288\,000 \frac{l}{d} = 3,3 \text{ l/s}$$

Ledningen fører avløpsvannet fra området i en overføringsledning uten mange bender og grenrør og med et fall på 10 ‰ – 0,010 m/m. Det blir valgt et 160 mm PVC grunnavløpsrør SN 8 med innvendig diameter 150,6 mm. Kapasiteten ved fullt rør (Q_{fylt}) er 20,0 l/s og delfyllingen (h/d) ved maksimum spillvannsmengde er 0,27 – eller 27 %. Det betyr at rørledningen er kraftig overdimensjonert. Men i mange kommuner skal hovedledningen være minst 160 mm. Vil det gi utfordringer med tanke på selvrensing?

For å finne skjærspenningen ved selvrensende vannføring trenger vi korreksjonsfaktoren k_1 for maksimal skjærspenning. Da trenger vi først fyllingsgraden ved selvrensende vannføringen. I dette tilfellet er faktoren for vannføring i minimumsdøgnet (f_{min}) satt til 0,5.

Dimensjonerende vannføring for selvrensing er:

$$Q_{dim} = \alpha \cdot f_{min} \cdot Q_{mid} = \left(1 + \frac{23}{\sqrt{pe}}\right) \cdot f_{min} \cdot Q_{mid} = \left(1 + \frac{23}{\sqrt{300}}\right) \cdot 0,5 \cdot 160 \frac{l}{pe \cdot d} \cdot 300 pe = 55\,870 \frac{l}{d} = 0,65 \text{ l/s}$$

Forholdet mellom dimensjonerende vannføring for selvrensing (Q_{dim}) og vannføring ved fullt rør (Q_F) er:

$$\frac{Q_{dim}}{Q_F} = \frac{0,65 \text{ l/s}}{20,0 \text{ l/s}} = 0,03$$

Fyllingsgraden (h/d) ved dimensjonerende vannføring for selvrensing er cirka 0,12 (12 %) ifølge Colebrook/White sitt delfyllingsdiagram.

Av figuren foran ser vi at korreksjonsfaktoren k_1 for maksimal skjærspenning er ca 0,43.

Nå kan vi begynne å fylle inn i formelen for å finne opptredende skjærspenning ved dimensjonerende vannføring:

$$\tau_{maks} = \rho \cdot g \cdot k_1 \cdot \frac{d}{4} \cdot I = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,43 \cdot \frac{0,1506 \text{ m}}{4} \cdot 0,01 \text{ m/m} = 1,6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

For spillvannsledninger av plast bør τ_{maks} være større enn 1,5 N/m² når ledningen har jevnt fall og jevn belastning – hvis vi forutsetter at det er tilfellet her. Ledningen i eksemplet vil derfor sannsynligvis være selvrensende.

Kapasitet ved drenering/infiltrasjon gjennom rør

Hvor mye vann renner ut av eller inn i drenerør, er et spørsmål som ofte dukker opp – og som ikke er enkelt å gi et entydig svar på. Mange forhold påvirker drene-/infiltrasjonsvannmengden og røret er sjelden en begrensende faktor. Grunnens evne til å transportere vann, rørets vannføringskapasitet og trykket på vannet i eller utenfor røret er noen viktige faktorer.

Slissearealet per meter rør er relativt stort i forhold til rørets tverrsnittsareal. Det skal ikke mange meter rør til før slissearealet er like stort som tverrsnittsarealet. Men motstanden i slissene kan være betydelig. Et enkelt forsøk vi utførte viste at et 110 mm dobbelvegga drenerør, med et slisseareal på omlag 3500 mm² per meter, slipper ut cirka 1,2 l/s vann per meter rør når rørledningen er full.



Måling av vannmengden som lekker ut av drenerør

Vannføringskapasiteten til røret er cirka 4,3 l/s ved 5 ‰ fall. Teoretisk trenger man da knapt fire meter rør for å fylle eller tømme et fullt rør. Større fall gir større vannmengde og behov for en lengre rørstrekning. Samtidig er tverrsnittsarealet for dette røret 7390 mm². Ved litt mer enn to meter rør tilsvarer slissearealet tverrsnittet på røret. I dette tilfellet trenger du altså dobbelt så mye rør som tverrsnittsarealet i forhold til slissearealet tilsier.

Er det noe trykk på vannet, så øker mengden som tas inn eller slippes ut raskt.

Det er fremdeles vanskelig å gi et svar med to streker under, men dette viser at det sannsynligvis er andre forhold enn rørets inntaks-/utslippskapasitet som er begrensningen. Ikke minst er det rørets vannføringskapasitet, men også grunnforholdene.

Dimensjon DV drenerør	Slisseareal [mm ² /m]	Rørets tverrsnittsareal/ lysåpning [mm ²]
DN/OD 75	5000	3220
DN/OD 110	3500	7390
DN/OD 160	7500	15170
DN/OD 200	8000	24330
DN/OD 250	8000	38700
DN/OD 315	7000	60700
DN/ID 300	3800	70200
DN/ID 400	2700	124400

R: Loddbelastning av sjøledninger

Om loddbelastning av sjøledninger

Et PE-rør som installeres i vann eller våt og løs myr må belastes slik at det ikke flyter opp. Oftest benyttes betonglodd for å få stor nok vekt. Man må ta hensyn til rørets oppdrift, maksimal andel luft eller annen gass i røret (luftfyllingsgrad, belastningsgrad) samt strøm- og bølgekrefter.

Dimensjonerende luftfyllingsgrad vil variere med mediet i røret og ønsket sikkerhet. Normalt oppstår det lite luft eller gass i sjøledninger. Luft kan tilføres ledningen på grunn av feil utforming av pumpearangementet. Er hastigheten på mediet stor nok vil gassen rives med fra ansamlinger i høybrekk.

I havnebassenger, i bølgesonen og på steder med mye strøm kan det være nødvendig å belaste røret mye – kanskje for mer enn 100 % luftfylling. Svært stor belastning kompliserer senkeprosessen. Ved mer enn 100 % belastning vil røret synke selv om det er helt luftfylt og midlertidige oppdriftslegemer må benyttes før og under senking. Det er et godt alternativ å tilføre belastning etter senking – ved å ettermontere lodd eller legge betongmadrasser over ledningen.

Det kan også være nødvendig å bruke oppdriftslegemer og/eller fjerne belastning der røret ligger på tvers av forsenkninger på sjøbunnen.

Normalt hentes opplysninger om loddbelastning fra tabeller, som du finner på de neste sidene, eller beregningsprogrammer på nettet. Etter tabellene ser vi på teorien bak når det gjelder beregninger av nødvendig belastning som følge av rørets oppdrift og luftfyllingsgrad. I svært spesielle tilfeller og ved luftfylling/ belastningsgrad over 90 % bør man utføre mer nøyaktige beregninger – for eksempel kan betongens tyngdetetthet variere og selve loddets tyngdetetthet variere med andelen jern i loddet.

Betonglodd produseres i henhold til NS 3124, «Sjøledninger - Belastningslodd av betong». Produsentene av betonglodd har egne monteringsanvisninger man må sette seg nøye inn i og følge.

Tabeller loddbelastning

Loddbelastning for PE 100 rørledninger med ferskvann i åpent hav:

DN/OD	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 7,4
32			0,03+a·1,08	0,04+a·1,02	0,05+a·0,93	0,04+a·0,74
40		0,06+a·1,79	0,07+a·1,71	0,07+a·1,60	0,06+a·1,47	0,06+a·1,16
50	0,09+a·2,92	0,10+a·2,82	0,09+a·2,68	0,10+a·2,51	0,09+a·2,30	0,10+a·1,81
63	0,18+a·4,65	0,16+a·4,49	0,15+a·4,24	0,18+a·3,97	0,16+a·3,65	0,14+a·2,9
75	0,23+a·6,62	0,24+a·6,35	0,21+a·6,02	0,26+a·5,63	0,23+a·5,21	0,24+a·4,09
90	0,33+a·9,52	0,34+a·9,16	0,33+a·8,67	0,38+a·8,11	0,33+a·7,49	0,33+a·5,91
110	0,49+a·14,3	0,54+a·13,7	0,50+a·13,0	0,52+a·12,2	0,52+a·11,2	0,50+a·8,80
125	0,67+a·18,4	0,69+a·17,7	0,66+a·16,8	0,68+a·15,7	0,72+a·14,4	0,66+a·11,4
140	0,83+a·23,1	0,87+a·22,2	0,83+a·21,0	0,85+a·19,7	0,86+a·18,2	0,85+a·14,3
160	1,09+a·30,1	1,16+a·28,9	1,10+a·27,5	1,16+a·25,7	1,11+a·23,6	1,05+a·18,7
180	1,43+a·38,2	1,46+a·36,6	1,43+a·34,8	1,49+a·32,5	1,43+a·30,0	1,36+a·23,6
200	1,78+a·47,1	1,82+a·45,2	1,82+a·42,9	1,77+a·40,2	1,75+a·37,0	1,68+a·29,1
225	2,25+a·59,7	2,30+a·57,2	2,23+a·54,3	2,39+a·50,9	2,22+a·46,8	2,26+a·36,9
250	2,80+a·73,6	2,80+a·70,7	2,73+a·67,1	2,83+a·62,8	2,86+a·57,9	2,65+a·45,6
280	3,53+a·92,4	3,59+a·88,6	3,51+a·84,2	3,60+a·78,8	3,65+a·72,6	3,41+a·57,2
315	4,47+a·117	4,51+a·112	4,46+a·107	4,57+a·99,7	4,51+a·91,9	4,12+a·72,4
355	5,72+a·149	5,66+a·143	5,63+a·135	5,69+a·127	5,49+a·117	5,22+a·92,0
400	6,67+a·189	6,43+a·181	6,19+a·172	6,03+a·161	5,59+a·148	4,64+a·117
450	8,37+a·239	8,29+a·229	7,87+a·217	7,60+a·204	7,10+a·187	5,86+a·148
500	10,3+a·295	10,1+a·283	9,95+a·268	9,54+a·251	8,82+a·231	
560	12,9+a·370	12,6+a·355	12,3+a·337	11,9+a·315	10,9+a·290	
630	16,5+a·468	16,1+a·449	15,4+a·426	15,0+a·399	15,6+a·367	
710	21,1+a·594	20,5+a·570	19,7+a·541	19,2+a·507	18,2+a·467	
800	26,9+a·754	26,0+a·724	25,8+a·687	24,3+a·644	23,1+a·593	
900	32,4+a·955	33,2+a·916	31,8+a·870	30,5+a·815	29,4+a·750	
1000	40,3+a·1179	40,8+a·1131	40,0+a·1074	42,7+a·1006	36,3+a·926	
1100	50,7+a·1425	49,5+a·1369	47,9+a·1300	46,2+a·1217		
1200	58,1+a·1698	58,7+a·1629	59,7+a·1547	54,8+a·1448		
1400	80,1+a·2311	80,5+a·2218	82,2+a·2105	74,8+a·1971		
1600	106+a·3018	105+a·2897	107+a·2750	97,0+a·2576		
1800	133+a·3820	134+a·3665	135+a·3481			
2000	163+a·4717	165+a·4526	168+a·4296			
2100	181+a·5199	181+a·4990				
2300	217+a·6237	217+a·5986				
2500	256+a·7370	258+a·7071				
DN/OD	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 7,4

Loddbelastning ($M_{\text{belastning luftvekt}}$) i kg/m ($\rho_{\text{betong}} = 2400 \text{ kg/m}^3$) for PE 100 sjøledning i saltvann ($\rho_{\text{sjø}} = 1035 \text{ kg/m}^3$) og med ferskvann ($\rho_{\text{vann}} = 1000 \text{ kg/m}^3$) i røret. «a» er luftfyllingsgraden.

Loddbelastning for PE 100 rørledninger med ferskvann i fjord:

DN/OD	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 7,4
32			0,02+a·1,08	0,03+a·1,02	0,03+a·0,93	0,03+a·0,74
40		0,03+a·1,78	0,04+a·1,70	0,05+a·1,59	0,03+a·1,46	0,04+a·1,16
50	0,06+a·2,91	0,06+a·2,81	0,06+a·2,66	0,07+a·2,49	0,06+a·2,29	0,07+a·1,80
63	0,12+a·4,62	0,10+a·4,47	0,10+a·4,22	0,12+a·3,95	0,11+a·3,63	0,08+a·2,88
75	0,15+a·6,58	0,16+a·6,32	0,13+a·5,99	0,18+a·5,59	0,15+a·5,18	0,16+a·4,07
90	0,22+a·9,47	0,22+a·9,11	0,22+a·8,62	0,27+a·8,06	0,22+a·7,45	0,21+a·5,88
110	0,32+a·14,2	0,37+a·13,6	0,34+a·12,9	0,35+a·12,1	0,35+a·11,1	0,33+a·8,75
125	0,45+a·18,3	0,47+a·17,6	0,44+a·16,7	0,46+a·15,6	0,50+a·14,4	0,44+a·11,3
140	0,56+a·22,9	0,60+a·22,0	0,56+a·20,9	0,58+a·19,6	0,58+a·18,1	0,58+a·14,2
160	0,73+a·29,9	0,80+a·28,7	0,74+a·27,3	0,80+a·25,6	0,76+a·23,5	0,69+a·18,6
180	0,98+a·38,0	1,01+a·36,4	0,98+a·34,6	1,04+a·32,3	0,97+a·29,8	0,90+a·23,5
200	1,22+a·46,8	1,26+a·44,9	1,26+a·42,7	1,21+a·40,0	1,19+a·36,8	1,12+a·29,0
225	1,54+a·59,3	1,60+a·56,9	1,53+a·54,0	1,68+a·50,6	1,51+a·46,5	1,55+a·36,7
250	1,92+a·73,2	1,92+a·70,3	1,86+a·66,8	1,95+a·62,5	1,99+a·57,5	1,77+a·45,3
280	2,44+a·91,9	2,49+a·88,1	2,41+a·83,7	2,50+a·78,4	2,55+a·72,2	2,31+a·56,9
315	3,08+a·116	3,12+a·112	3,07+a·106	3,18+a·99,2	3,12+a·91,3	2,74+a·72,0
355	3,96+a·148	3,89+a·142	3,86+a·134	3,92+a·126	3,73+a·116	3,46+a·91,5
400	4,43+a·188	4,20+a·180	3,95+a·171	3,80+a·160	3,36+a·147	2,41+a·116
450	5,53+a·237	5,46+a·228	5,04+a·216	4,77+a·202	4,27+a·186	3,04+a·147
500	6,76+a·293	6,57+a·281	6,46+a·267	6,05+a·250	5,33+a·230	
560	8,52+a·368	8,21+a·353	7,88+a·335	7,54+a·314	6,51+a·289	
630	11,0+a·465	10,6+a·447	9,84+a·424	9,44+a·397	10,0+a·365	
710	14,1+a·591	13,5+a·567	12,7+a·538	12,2+a·504	11,2+a·464	
800	17,9+a·750	17,1+a·720	16,9+a·684	15,4+a·640	14,1+a·589	
900	21,1+a·950	21,9+a·911	20,4+a·865	19,2+a·810	18,1+a·746	
1000	26,4+a·1172	26,8+a·1125	26,0+a·1068	28,7+a·1001	22,4+a·921	
1100	33,8+a·1417	32,6+a·1361	31,0+a·1292	29,3+a·1210		
1200	38,0+a·1688	38,6+a·1620	39,6+a·1538	34,7+a·1440		
1400	52,7+a·2298	53,1+a·2205	54,8+a·2093	47,4+a·1960		
1600	70,2+a·3001	69,2+a·2880	71,3+a·2734	61,3+a·2561		
1800	87,3+a·3798	88,5+a·3645	90,0+a·3461			
2000	108+a·4690	109+a·4500	112+a·4272			
2100	120+a·5170	120+a·4962				
2300	143+a·6202	143+a·5952				
2500	168+a·7328	170+a·7031				
DN/OD	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 7,4

Loddbelastning ($M_{\text{belastning luftvekt}}$) i kg/m ($\rho_{\text{betong}} = 2400 \text{ kg/m}^3$) for PE 100 sjøledning i en fjord ($\rho_{\text{sjø}} = 1025 \text{ kg/m}^3$) og med ferskvann ($\rho_{\text{vann}} = 1000 \text{ kg/m}^3$) i røret. «a» er luftfyllingsgraden.

Loddbelastning for PE 100 rørledninger med ferskvann i ferskvann:

DN/OD	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 7,4
32			-0,02+a·1,05	-0,01+a·0,99	0,00+a·0,91	-0,01+a·0,72
40		-0,02+a·1,74	-0,01+a·1,66	-0,01+a·1,55	-0,02+a·1,43	-0,02+a·1,13
50	-0,03+a·2,84	-0,02+a·2,74	-0,03+a·2,60	-0,02+a·2,44	-0,03+a·2,24	-0,02+a·1,76
63	-0,01+a·4,52	-0,04+a·4,36	-0,04+a·4,12	-0,01+a·3,86	-0,03+a·3,55	-0,05+a·2,82
75	-0,04+a·6,43	-0,03+a·6,17	-0,06+a·5,85	-0,02+a·5,47	-0,04+a·5,06	-0,03+a·3,97
90	-0,06+a·9,25	-0,06+a·8,90	-0,06+a·8,42	-0,01+a·7,88	-0,06+a·7,28	-0,06+a·5,74
110	-0,09+a·13,9	-0,05+a·13,3	-0,08+a·12,6	-0,06+a·11,8	-0,07+a·10,9	-0,08+a·8,55
125	-0,08+a·17,9	-0,06+a·17,1	-0,10+a·16,3	-0,07+a·15,3	-0,04+a·14,0	-0,09+a·11,1
140	-0,11+a·22,4	-0,08+a·21,5	-0,11+a·20,5	-0,09+a·19,1	-0,09+a·17,6	-0,09+a·13,9
160	-0,14+a·29,3	-0,08+a·28,1	-0,13+a·26,7	-0,08+a·25,0	-0,12+a·23,0	-0,19+a·18,1
180	-0,13+a·37,1	-0,10+a·35,6	-0,14+a·33,8	-0,08+a·31,6	-0,14+a·29,1	-0,21+a·23,0
200	-0,15+a·45,8	-0,12+a·43,9	-0,12+a·41,7	-0,16+a·39,1	-0,18+a·35,9	-0,24+a·28,3
225	-0,19+a·58,0	-0,14+a·55,6	-0,21+a·52,8	-0,05+a·49,4	-0,22+a·45,5	-0,19+a·35,9
250	-0,22+a·71,5	-0,22+a·68,7	-0,28+a·65,2	-0,19+a·61,0	-0,15+a·56,2	-0,37+a·44,3
280	-0,25+a·89,8	-0,20+a·86,1	-0,28+a·81,8	-0,19+a·76,6	-0,14+a·70,6	-0,37+a·55,6
315	-0,32+a·114	-0,28+a·109	-0,33+a·103	-0,23+a·96,9	-0,29+a·89,3	-0,66+a·70,3
355	-0,37+a·144	-0,43+a·139	-0,46+a·131	-0,40+a·123	-0,59+a·113	-0,85+a·89,4
400	-1,04+a·183	-1,27+a·176	-1,51+a·167	-1,66+a·156	-2,09+a·144	-3,01+a·113
450	-1,39+a·232	-1,47+a·222	-1,87+a·211	-2,13+a·198	-2,62+a·182	-3,83+a·144
500	-1,79+a·286	-1,97+a·275	-2,08+a·261	-2,48+a·244	-3,18+a·225	
560	-2,21+a·359	-2,51+a·345	-2,83+a·327	-3,16+a·306	-4,16+a·282	
630	-2,61+a·455	-2,99+a·436	-3,71+a·414	-4,10+a·388	-3,54+a·357	
710	-3,17+a·577	-3,75+a·554	-4,55+a·526	-5,00+a·493	-5,99+a·453	
800	-3,99+a·733	-4,80+a·704	-5,01+a·668	-6,47+a·625	-7,69+a·576	
900	-6,59+a·928	-5,79+a·890	-7,22+a·845	-8,44+a·792	-9,52+a·729	
1000	-7,82+a·1146	-7,34+a·1099	-8,12+a·1043	-5,53+a·978	-11,7+a·900	
1100	-7,60+a·1385	-8,80+a·1330	-10,3+a·1263	-12,0+a·1182		
1200	-11,3+a·1649	-10,7+a·1583	-9,60+a·1503	-14,4+a·1407		
1400	-14,3+a·2245	-13,9+a·2155	-12,3+a·2045	-19,5+a·1915		
1600	-17,3+a·2932	-18,3+a·2814	-16,3+a·2672	-26,1+a·2502		
1800	-23,5+a·3712	-22,3+a·3561	-20,8+a·3382			
2000	-29,2+a·4583	-27,8+a·4397	-25,2+a·4174			
2100	-31,3+a·5052	-31,3+a·4848				
2300	-37,9+a·6060	-37,7+a·5816				
2500	-45,3+a·7160	-43,4+a·6871				
DN/OD	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 7,4

Loddbelastning ($M_{\text{belastning luftvekt}}$) i kg/m ($\rho_{\text{betong}} = 2400 \text{ kg/m}^3$) for PE 100 sjøledning i ferskvann ($\rho_{\text{sjø}} = 1000 \text{ kg/m}^3$) og med ferskvann ($\rho_{\text{vann}} = 1000 \text{ kg/m}^3$) i røret. «a» er luftfyllingsgraden.

Eksempel:

Loddbelastning av en 315 mm PE 100 SDR 11 vannledning i åpent hav med 20 % luftfylling (20 % = $\frac{20}{100} = 0,20$).

Formelen hentes fra tabellen for åpent hav med tyngdetetthet 1035 kg/m³.

$$M_{\text{belastning luftvekt}} = 4,51 + a \cdot 91,9 = 4,51 + 0,20 \cdot 91,9 = 22,9 \text{ kg/m}$$

Vi velger et standard lodd med luftvekt 115 kg.

$$\text{Senteravstand c-c} = \frac{M_{\text{lodd}}}{M_{\text{belastning luftvekt}}} = \frac{115 \text{ kg}}{22,9 \text{ kg/m}} = 5,0 \text{ m}$$

Formler

Teorien er enkel: Vi benytter Arkimedes lov om at oppdriften er lik vekten av den fortrenkte væskemengde minus vekten av det loddbelasta røret med innhold. Er det mer luft i ledningen enn antatt, så flyter den opp.

Vekt av fortrenkt væskemengde (oppdrift):

$$M_{\text{sjø}} = \rho_{\text{sjø}} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \text{ [kg/m]}$$

$\rho_{\text{sjø}}$: Sjøvannets tyngdetetthet [kg/m³]

- 1 035 kg/m³ for sjøvann med høyt saltinnhold (åpent hav)
- 1 025 kg/m³ for sjøvann med lavt saltinnhold (inne i en lang fjord)
- 1 000 kg/m³ for ferskvann

D: Rørets utvendige diameter [m]

Vekt av rør med innhold:

$$M_{\text{rør}} = m_{\text{rør}} + a \cdot m_{\text{luft}} + \rho_{\text{vann}} \cdot (1 - a) \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ [kg/m]}$$

$m_{\text{rør}}$: Vekt av rør, $m_{\text{rør}}$ i kg/m, finner du for eksempel i kapitlet [PE-tabeller](#) [kg/m]

m_{luft} : Vekten av luften i røret er neglisjerbar og kan settes lik null

ρ_{vann} : Vannets tyngdetetthet – 1 000 kg/m³ for ferskvann eller spillvann

a: Luftfyllingsgrad*. Oppgis i prosent, men settes inn som desimaltall: 30 % => 0,3 []

Normale luftfyllingsgrader:

- Vannledninger og inntaksledninger: 20 - 40 % (a: 0,2 - 0,4)
- Utslippsledninger: 30 - 50 % (a: 0,3 - 0,5)
- Spillvann med jevn belastning, kort oppholdstid: 30 - 70 % (a: 0,3 - 0,7)
- Spillvann med ujevn belastning, lang oppholdstid: Må vurderes i hvert enkelt tilfelle

d: Rørets innvendige diameter [m].

Vegtykkelsen finner du i produktkatalogen eller i kapitlet [PE-tabeller](#).

- * Valg av luftfyllingsgrad kan være avhengig av flere forhold enn maksimum mengde luft i røret, f.eks. strøm- og bølgekrefter og tung skipstrafikk på grunt farvann, og må i så fall vurderes nøye. I spesielle tilfeller må man belaste ledningen for mer enn 100 % luftfylling.

Nødvendig belastning per meter rør (vekt i luft):

$$M_{\text{belastning luftvekt}} = f \cdot (M_{\text{sjø}} - M_{\text{rør}}) \text{ [kg/m]}$$

- f: Omregningsfaktor fra betongvekt i vann til vekt i luft []
- 1,76 for sjøvann
 - 1,75 for vann i fjorder
 - 1,71 for ferskvann

$$f = \frac{\text{Tetthet betong}}{\text{Tetthet betong} - \text{Tetthet sjø}} \text{ []}$$

Vi antar her at tyngdetetthet til betong er 2400 kg/m³ – som er en vanlig verdi. Men denne kan variere. Loddets tyngdetetthet påvirkes også av innholdet av metall i armering og bolter og bør undersøkes nærmere i kritiske tilfeller.

Senteravstand mellom loddene (c-c):

$$c - c = \frac{M_{\text{lodd}}}{M_{\text{belastning luftvekt}}} \text{ [m]}$$

Senteravstanden bør normalt være mellom 2,0 og 8,0 meter avhengig av blant annet dimensjon og belastningsgrad - minst på de minste dimensjonene. I enkelte tilfeller må dette vurderes nærmere.

Eksempel:

Loddbelastning pr meter av 315 mm PE 100 SDR 11 rør med 20 % luftfylling i sjø med tetthet 1035 kg/m³.

Vekten av den fortrenkte væske (oppdriften):

$$M_{\text{sjø}} = \rho_{\text{sjø}} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 1035 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{\pi \cdot (0,315 \text{ m})^2}{4} = 80,7 \text{ kg/m}$$

Vekten av rør med innhold:

Vekt per meter rør, $m_{\text{rør}}$, finner du for eksempel i en av tabellene i kapitlet PE-tabeller. For 315 mm PE 100 SDR 11 rør er den 25,9 kg/m. Veggtykkelsen er 28,6 mm som gir en innvendig diameter på 257,8 mm - eller 0,2578 m.

m_{luft} settes lik null. Luftfyllingsgraden 20 % settes inn som desimaltallet 0,20. Tettheten for vannet inne i røret er 1 000 kg/m³.

$$M_{\text{rør}} = m_{\text{rør}} + a \cdot m_{\text{luft}} + \rho_{\text{vann}} \cdot (1 - a) \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$= 25,9 \text{ kg/m} + 0,20 \cdot 0 \text{ kg/m} + 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot (1 - 0,20) \cdot \frac{\pi \cdot (0,2578 \text{ m})^2}{4} = 67,7 \text{ kg/m}$$

Nødvendig belastning (vekt i luft):

Nødvendig vektbelastning må da være større eller lik oppdriften ($M_{\text{sjø}}$) minus vekt av rør med innhold ($M_{\text{rør}}$). Og så må vi ta hensyn til oppdriften av betongloddet: Når betongen har tetthet 2 400 kg/m³ og sjøvannet har tetthet 1 035 m³, blir forholdstallet $f = 1,76$.

$$M_{\text{belastning}} = f \cdot (M_{\text{sjø}} - M_{\text{rør}}) = 1,76 \cdot (80,7 \text{ kg/m} - 67,7 \text{ kg/m}) = 22,9 \text{ kg/m}$$

Senteravstand c-c:

Et standard lodd med vekt 115 kg velges. Senteravstand mellom loddene blir:

$$c - c = \frac{M_{\text{Iodd}}}{M_{\text{belastning}}} = \frac{115 \text{ kg}}{22,9 \text{ kg/m}} = 5,0 \text{ m}$$

R: Oppdrift for rørkonstruksjoner i jord

Ved høy grunnvannstand, stort oppdriftsvolum, liten overdekning og gjerne dårlige gjenfyllingsmasser kan tanker, kummer, pumpestasjoner og rør ha så stor oppdrift at de flyter opp. I gode masser og med nok overdekning, som ikke nødvendigvis er så mye, er dette ikke et problem. Og med enkle tiltak kan man sikre at det ikke skjer.

Oppdriftsvolum og oppdriftskrefter

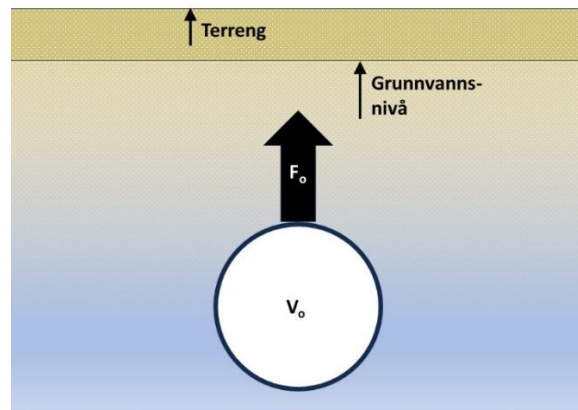
Arkimedesloven sier at oppdriften er lik tyngden av den væskemengden som fortreges. Og så har rørproduktet en tyngde som motvirker noe av dette. Vi kan regne ut det fortregte væskevolumet for et produkt med en gitt lengde (eller høyde) eller per meter rør med disse formlene:

$$V_o = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L \quad [\text{m}^3]$$

Eller

$$V_o = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad [\text{m}^3/\text{m}]$$

- V_o : Oppdriftsvolum [m^3 eller m^3/m]
- D : Rørproduktets utvendige diameter [m]
- L : Rørets lengde – eller høyden av grunnvannsspeilet over kumbunnen [m]



Kraften oppdriften gir må oppveies av tyngden av jordmassene – og vel så det. Oppdriftskraften finner du slik:

$$F_o = \rho_{\text{vann}} \cdot V_o \cdot g \quad [\text{N eller N/m}]$$

Eller

$$F_o = \rho_{\text{vann}} \cdot V_o \quad [\text{kg eller kg/m}]$$

- F_o : Oppdriftskraft [N, N/m, kg eller kg/m]
- ρ_{vann} : Tyngdetettheten til den fortregte væsken [kg/m^3]
- V_o : Oppdriftsvolum = volumet av den fortregte væsken [m^3 eller m^3/m]
- g : Tyngdeakselerasjonen, $9,81 \text{ m/s}^2$

Overlagsberegning

Tyngdetettheten til plastmaterialene er ikke så langt unna vannets, så ved et overslag for plastrør med homogen rørvegg kan man velge å bare regne med lysåpningen til produktet. Når grunnvannet står over en luftfylt liggende rørkonstruksjon, så er oppdriftsvolumet når man ser bort fra rørveggen:

$$V_o = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot L \quad [\text{m}^3]$$

Eller

$$V_o = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad [\text{m}^3/\text{m}]$$

d: Rørproduktets innvendige diameter [m]

For et rør med konstruert rørvegg bør man regne med utvendig diameter som en ekstra sikkerhet. Det er hulrom med innestengt luft i rørveggen som vil bidra en god del til oppdrift.

Eksempel

Vi gjør et overslag over oppdriften for et 800 mm PE 100 SDR 17 luftfylt rør i grunnvann og ser bort fra rørmaterialets tyngde. Røret har en innvendig diameter (d) på 705,2 mm, eller 0,7052 m. Luftvolumet per meter rør blir:

$$V_o = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (0,7052 \text{ m})^2 = 0,391 \text{ m}^3/\text{m}$$

Tyngdetettheten til ferskvann er 1000 kg/m³. Oppdriften per meter rør blir:

$$F_o = \rho_{\text{vann}} \cdot V_o \cdot g = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 0,391 \text{ m}^3/\text{m} \cdot 9,81 \text{ m}/\text{s}^2 = 3836 \text{ N}/\text{m} = 391 \text{ kg}/\text{m}$$

Oppdriften blir 3836 N/m, eller 391 kg/m. Du bør ha minst 391 kg/m motvekt pluss noe sikkerhetsmargin for at rørledningen ikke skal flyte opp.

Rørets vekt inkluderes i beregningen

Alternativt kan selve røret tas med i en mer nøyaktig beregning. Det er tross alt forskjell på tyngdetettheten til vann og rørmaterialene. For et rørprodukt med konstruert rørvegg blir det nødvendigvis litt komplisert med tanke på innestengt luft i konstruksjonen. Men det vil uansett være usikkerheter i beregningene som må ivaretas med en sikkerhetsfaktor.

$$V_o = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad [\text{m}^3/\text{m}]$$

D: Rørets utvendige diameter [m]

$$F_o = (\rho_{\text{vann}} \cdot V_o - M_{\text{rør}}) \cdot L \cdot g \quad [\text{N}]$$

$M_{\text{rør}}$: Rørets vekt [kg/m]

Eksempel

Vi tar utgangspunkt i forrige eksempel og tar med rørets vekt i beregningen. Men denne gangen må volumet av den fortrenkte væsken regnes ut fra rørets utvendige diameter. Et 800 mm PE 100 SDR 17 rør veier cirka 115 kg/m. Utvendig diameter (D) er 800 mm, eller 0,8 m.

$$V_o = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (0,800 \text{ m})^2 = 0,503 \text{ m}^3/\text{m}$$

Tyngdetettheten til ferskvann er 1000 kg/m³. Oppdriften per meter rør blir:

$$\begin{aligned} F_o &= (\rho_{\text{vann}} \cdot V_o - M_{\text{rør}}) \cdot g \\ &= (1000 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 0,503 \text{ m}^3/\text{m} - 115 \text{ kg}/\text{m}) \cdot 9,81 \text{ m}/\text{s}^2 = 3806 \text{ N}/\text{m} = 388 \text{ kg}/\text{m} \end{aligned}$$

Oppdriften blir 3806 N/m, eller 388 kg/m. For PE-rør med homogen rørvegg blir forskjellen på å regne med eller uten rørvekten marginal fordi rørmaterialets tyngdetetthet er så nær vannets.

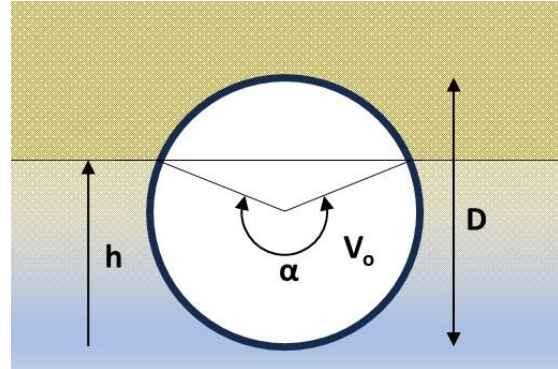
Delvis neddykket rørkonstruksjon

Er en liggende rørkonstruksjon delvis neddykket i grunnvann, så blir regnestykket litt mer komplisert.

$$V_o = \frac{1}{8} \cdot D^2 \cdot \left(\pi \cdot \frac{\alpha}{180} - \sin \alpha \right) \cdot L \quad [\text{m}^3]$$

Grunnvannshøyden (h) over bunn ut- eller innvendig rør, avhengig av hvilket volum vi vil beregne, er kjent. Ut fra denne kan vi regne ut vinkelen som inngår i formelen – se figuren.

$$\alpha = 2 \cdot \cos^{-1} \left(1 - \frac{2h}{D} \right) \quad [^\circ]$$



Eksempel

Et DN/ID 1400 Pragma Infra rørmagasin som er 24 meter langt har grunnvann 0,9 meter over bunn utvendig rør. Utvendig diameter er 1583 mm. Først finner vi vinkelen α :

$$\alpha = 2 \cdot \cos^{-1} \left(1 - \frac{2h}{D} \right) = 2 \cdot \cos^{-1} \left(1 - \frac{2 \cdot 0,9 \text{ m}}{1,583 \text{ m}} \right) = 196^\circ$$

Oppdriftsvolumet blir:

$$V_o = \frac{1}{8} \cdot D^2 \cdot \left(\pi \cdot \frac{\alpha}{180^\circ} - \sin \alpha \right) \cdot L = \frac{1}{8} \cdot (1,583 \text{ m})^2 \cdot \left(\pi \cdot \frac{196^\circ}{180^\circ} - \sin 196^\circ \right) \cdot 24 \text{ m} = 27,8 \text{ m}^3$$

Sirkulær kum

En rund kum kan vi på enkleste måte anse som en stående sylinder. Oppdriftsvolumet blir da:

$$V_o = \pi \cdot r^2 \cdot h = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot h \quad [\text{m}^3]$$

r: Kummens radius [m]

D: Kummens diameter [m]

h: Grunnvannets høyde over bunn kum [m]

Kassettmagasin og firkantet kum

For et kassettmagasin eller en firkantet kum blir oppdriftsvolumet:

$$V_o = B \cdot L \cdot h \quad [\text{m}^3]$$

- B: Magasinets eller kummens bredde [m]
 L: Magasinets eller kummens lengde [m]
 h: Grunnvannets høyde over bunn magasin eller kum – eller magasinets høyde hvis grunnvannet står over topp magasin [m]

Motvekt fra jord

I fast jord vil vekten over et rør, et magasin, en kum e.l. hindre oppdrift. I bløte masser, som løs myr og tilsvarende, må kummer, tanker, magasiner og rør uansett sikres mot oppdrift fordi rørkonstruksjonen kan trenge gjennom massene over. Er vekten av jorden over tilstrekkelig for å motvirke oppdriften?

Det bør benyttes en sikkerhetsfaktor fra 1,3 til 1,6 mot oppdrift avhengig av graden av usikkerhet og konsekvens. I Statens vegvesen sin håndbok N-V220 «Geoteknikk i vegbygging», som ligger på vegvesenets hjemmeside, finner du data om tyngdetettheter og friksjonsvinkler (rasvinkler) for ulike jordarter.

Overlagsberegning

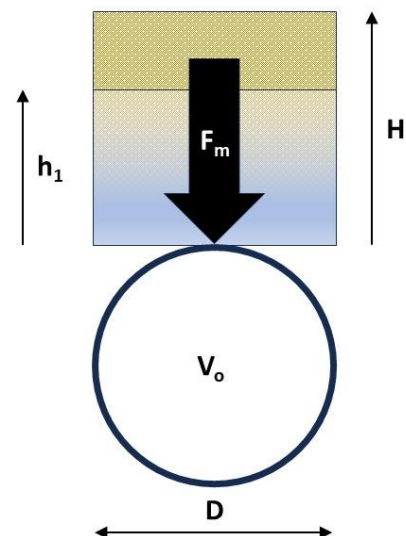
For et enkelt overslag for liggende rørkonstruksjoner kan vi regne på vekten av massene i søylen rett over rørkonstruksjonen.

$$F_m = D \cdot L \cdot g \cdot \left((\rho_{\text{jord}} - \rho_{\text{vann}}) \cdot h_1 + \rho_{\text{jord}} \cdot (H - h_1) \right) \quad [\text{N}]$$

eller

$$F_m = D \cdot g \cdot \left((\rho_{\text{jord}} - \rho_{\text{vann}}) \cdot h_1 + \rho_{\text{jord}} \cdot (H - h_1) \right) \quad [\text{N/m}]$$

- F_m : Motvekt [N/m]
 D: Rørets utvendige diameter [m]
 L: Rørets lengde [m]
 g: Tyngdeakselerasjonen, 9,81 m/s²
 ρ_{jord} : Jordmassenes tyngdetetthet [kg/m³]
 ρ_{vann} : Vannets tyngdetetthet [kg/m³]
 h_1 : Grunnvannshøyde over topp rør [m]
 H: Total overdekning [m]



Hvis grunnvannet står helt opp til terrengnivå kan formelen forenkles noe:

$$F_m = D \cdot L \cdot g \cdot (\rho_{\text{jord}} - \rho_{\text{vann}}) \cdot H \quad [\text{N/m}]$$

Eksempel

Et 800 mm PE 100 SDR 17 luftfylt rør ligger med 0,7 meter overdekning og med 0,5 m grunnvann over topp rør. I et tidligere eksempel har vi funnet ut at oppdriften er 3806 N/m. Jorden har en tyngdetetthet på 1800 kg/m³ og vannets tyngdetetthet er 1000 kg/m³. Jordsøylen over røret veier:

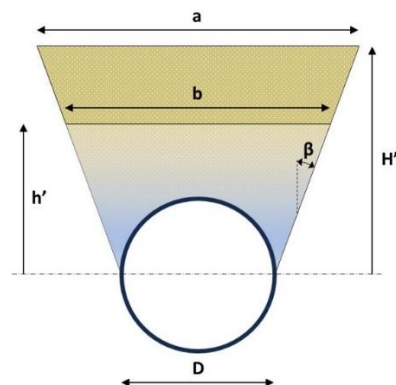
$$\begin{aligned} F_m &= D \cdot g \cdot \left((\rho_{\text{jord}} - \rho_{\text{vann}}) \cdot h_1 + \rho_{\text{jord}} \cdot (H - h_1) \right) \\ &= 0,8 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \left((1800 \text{ kg/m}^3 - 1000 \text{ kg/m}^3) \cdot 0,5 \text{ m} + 1800 \text{ kg/m}^3 \cdot (0,7 \text{ m} - 0,5 \text{ m}) \right) \\ &= 5964 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Sikkerhetsfaktoren mot oppdrift er $\frac{5964 \text{ N/m}}{3806 \text{ N/m}} = 1,57$, som vi vurderer til å være tilfredsstillende.

Beregning av reell motvekt

Oppdrift er sjelden en utfordring for rør i grøft. Men for store liggende konstruksjoner, som tanker og rørmagasiner som i tillegg ligger grunt, kan det bli marginalt. Da bør man gjøre en mer avansert beregning. Friksjonsmasser overfører tyngde fra et adskillig større volum enn bare jordsøyla rett over konstruksjonen. Her kan vi ta massenes friksjonsvinkel (β) med i betraktningen.

Vi begynner med å beregne arealet av trapesen med bunn i senter av rørkonstruksjonen og topp ved grunnvannsspeil, som vi forutsetter befinner seg over topp rør. Her trekker vi fra halve rørarearealet. Så må vi finne arealet av trapesen med bunn på grunnvannspeilet og topp ved terreng. Til slutt multipliseres arealene med lengden av rørkonstruksjonen – hvis man ikke skal finne volumet per meter.



Bredden av trapeset ved terreng (a) og ved grunnvannsspeil (b) finner vi på følgende vis:

$$a = D + 2 \cdot H' \cdot \tan \beta \quad [\text{m}]$$

$$b = D + \frac{h'}{H'} \cdot a \quad [\text{m}]$$

Volumet av massene under grunnvannsspeilet som virker mot oppdriften blir:

$$V_{m1} = \left(\frac{(D+b)}{2} \cdot h' - \frac{\pi}{8} D^2 \right) \cdot L \quad [\text{m}^3]$$

Volumet av de tørre massene over grunnvannsspeilet blir:

$$V_{m2} = \frac{(b+a)}{2} \cdot (H' - h') \cdot L \quad [\text{m}^3]$$

- a: Trapesens bredde ved terrengnivå [m]
- b: Trapesens bredde ved grunnvannsspeilet [m]
- D: Rørdiameteren [m]
- h': Høyden fra senter rør til grunnvannsspeilet [m]
- H': Høyden fra senter rør til terrengnivå [m]
- β: Jordmassenes friksjonsvinkel [°]
- L: Rørkonstruksjonens lengde [m]

Tyngden av massene som virker mot oppdriften blir:

$$F_m = V_{m1} \cdot g \cdot (\rho_{\text{jord}} - \rho_{\text{vann}}) + V_{m2} \cdot g \cdot \rho_{\text{jord}} \quad [\text{N}]$$

- g: Tyngdeakselerasjonen, 9,81 m/s²
- ρ_{jord}: Tyngdetettheten til jordmassene [kg/m³]
- ρ_{vann}: Tyngdetettheten til ferskvann, 1000 kg/m³

Eksempel

Et 6 meter langt DN/ID 1400 Pragma Infra rørmagasin med utvendig diameter 1583 mm skal installeres med 1,0 meter overdekning. Jordmassene har en tyngdetetthet på 1800 kg/m³ og en friksjonsvinkel på 40°. Grunnvannstanden kan gå helt opp til terrengnivå. Vi slipper med andre ord å dele trapeset over i en sone med grunnvann og en sone uten. Høyden fra senter rør til terreng blir 1,79 meter.

Oppdriftsvolumet er:

$$V_o = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L = \frac{\pi}{4} \cdot (1,583 \text{ m})^2 \cdot 6 \text{ m} = 11,8 \text{ m}^3$$

Kraften oppdriften utgjør blir:

$$F_o = \rho_{\text{vann}} \cdot V_o \cdot g = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 11,8 \text{ m}^3 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 115\,758 \text{ N} = 116 \text{ kN} = 11,8 \text{ tonn}$$

Så finner vi bredden på trapeset ved terreng:

$$a = D + 2 \cdot H' \cdot \tan \beta = 1,58 \text{ m} + 2 \cdot 1,79 \text{ m} \cdot \tan 40^\circ = 4,58 \text{ m}$$

Volumet av massene som virker mot rørmagasinet:

$$V_m = \left(\frac{(D + a)}{2} \cdot H' - \frac{\pi}{8} \cdot D^2 \right) \cdot L = \left(\frac{(1,54 \text{ m} + 4,58 \text{ m})}{2} \cdot 1,79 \text{ m} - \frac{\pi}{8} \cdot (1,54 \text{ m})^2 \right) \cdot 6 \text{ m} = 27,3 \text{ m}^3$$

Kraften som virker fra massene og på rørmagasinet:

$$F_m = V_m \cdot g \cdot (\rho_{\text{jord}} - \rho_{\text{vann}}) = 27,3 \text{ m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (1800 \text{ kg/m}^3 - 1000 \text{ kg/m}^3) = 214\,250 \text{ N} = 214 \text{ kN} \\ = 21,8 \text{ tonn}$$

Sikkerheten mot oppflytting er $\frac{214\,250 \text{ N}}{115\,758 \text{ N}} = 1,85$, som er mer enn tilstrekkelig.

Kummer og andre vertikale rørkonstruksjoner i jord

En kum betrakter vi i denne sammenhengen som en stående sylinder. Den øverste delen av kummen blir normalt utsatt for tele og det må brukes ikke-telefarlige masser – ellers kan disse løfte kummen eller uforankra deler av kummen mer og mer for hver vinter. Men nå skal vi vise hvorfor kummer ikke flyter opp når det brukes friksjonsmasser rundt kumkroppen.

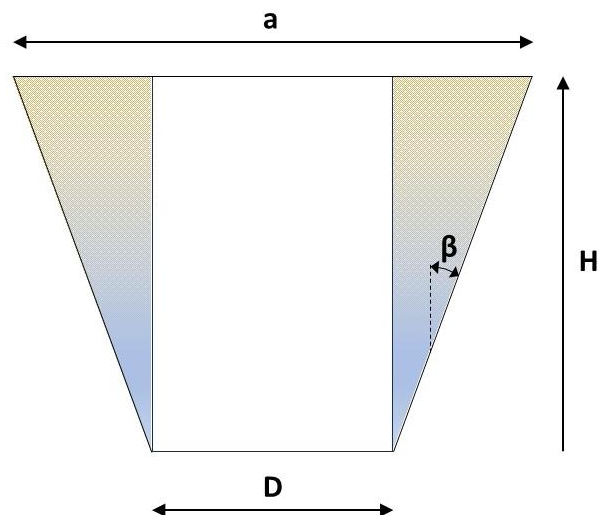
Som for rør overføres vekt fra friksjonsmassene med en vinkel tilsvarende friksjonsvinkelen. Her må vi betrakte formen på volumet av disse massene som en rettavkortet kjegle minus volumet av kumsylinderen. Som foran, så må vi først finne utstrekningen (a) av kjegla med massene ved terrengnivå:

$$a = D + 2 \cdot H \cdot \tan \beta \quad [\text{m}]$$

- a: Diameteren av jordkegla ved terrengnivå [m]
- D: Kummens diameter [m]
- H: Høyde fra kumbunn til terreng [m]
- β : Jordmassenes friksjonsvinkel [°]

Volumet av massene rundt kummen:

$$V_m = \frac{\pi}{12} \cdot H \cdot (a^2 + a \cdot D - 2 \cdot D^2) \quad [\text{m}^3]$$



Eksempel

En PRO1000-kum er bare 1 meter høy og det fylles pukk med tyngdetetthet 1800 kg/m^3 og med en friksjonsvinkel på 40° rundt kummen. Grunnvannet går opp til topp terreng.

Oppdriftsvolum:

$$V_o = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H = \frac{\pi}{4} \cdot (1,0 \text{ m})^2 \cdot 1,0 \text{ m} = 0,785 \text{ m}^3$$

Oppdriftskraft:

$$F_o = V_o \cdot g \cdot \rho_{\text{vann}} = 0,785 \text{ m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 = 7701 \text{ N} = 7,7 \text{ kN} = 785 \text{ kg}$$

Diameteren ved terrengnivå av den rettavkorta kjegla med masser som virker på kummen:

$$a = D + 2 \cdot H \cdot \tan \beta = 1,0 \text{ m} + 2 \cdot 1,0 \text{ m} \cdot \tan 40^\circ = 2,68 \text{ m}$$

Volumet av jordmassene som virker med sin vekt mot kummen:

$$V_m = \frac{\pi}{12} \cdot H \cdot (a^2 + a \cdot D - 2 \cdot D^2) = \frac{\pi}{12} \cdot 1 \text{ m} \cdot ((2,68 \text{ m})^2 + 2,68 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} - 2 \cdot (1,0 \text{ m})^2) = 2,058 \text{ m}^3$$

Tyngden av jordmassene:

$$F_m = V_m \cdot g \cdot (\rho_{\text{jord}} - \rho_{\text{vann}}) = 2,058 \text{ m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (1800 \text{ kg/m}^3 - 1000 \text{ kg/m}^3) = 16 151 \text{ N} = 16,2 \text{ kN} \\ = 1646 \text{ kg}$$

Selv en så «stor» og grunn kum kan ikke flyte opp når det brukes gode masser rundt. Sikkerheten mot oppflyting, $\frac{16 151 \text{ N}}{7 701 \text{ N}} = 2,1$, er stor. Når kummen omfylles med friksjonsmasser skal de være temmelig store og/eller svært grunne for at de skal kunne flyte opp.

NB!

I telesonen må kumringer og stigerør uansett omfylles med jordmasser som ikke er telefarlige. Det vil si masser som drenerer godt slik at det ikke blir stående vann i massene som fryser og utvider seg. Tele kan løfte ganske tunge konstruksjoner.

Tiltak ved fare for at rørkonstruksjoner i jord skal flyte opp

Kort sagt:

- Tommelfingerregel: Har du en overdekning som består av friksjonsmasser og som minst er lik rørdiameteren på en liggende rørkonstruksjon, så flyter den ikke opp.
- Fyller du inntil en kum med ikke-telefarlige friksjonsmasser, så skal det mye til før den flyter opp.
- Kan rørkonstruksjonen trenge gjennom jordmassene, så gjør den det.

Er oppdriften for stor, så kan det iverksettes mange forskjellige tiltak. Tiltak må være hensiktsmessige og kostnadseffektive.

Eksempler på tiltak for å hindre oppflyting:

- Øke overdekningen over rørkonstruksjonen med en utstrekning som tar hensyn til jordmassenes friksjonsvinkel
- Tilbakefylle jordmasser med større tyngdetetthet og større friksjonsvinkel
- Drenerer hele eller deler av jordmassene som rørkonstruksjonen skal ligge i
- Dekke til konstruksjonen og ut i grøftesidene med geotekstiler eller geonett for å overføre mer last fra jordmassene rundt
- Montere tradisjonelle belastningslodd for bruk i sjø
- Støpe ei plate, som konstruksjonen forankres til, som bidrar med sin egen tyngde samt tyngden til jordmassene som virker mot plata – eventuelt utvide bunnplata på en kum for å overføre mer vekt fra omfyllingsmassene

R: PE-tabeller

Her finner du ymse tabeller som gjelder PE trykkrør og som er kjekke å ha for hånden.

Innholdsfortegnelse:

Side

- 1 Trykklasser og ringstivhet
- 2 Veggtykkelser
- 3 Vekter
- 4 Maksimum trekkekraft ved inntrekking av rør
- 5 Generell flensetabell
- 7 Antall elektroforankringer per dimensjon/rørklasse

Trykklasser og ringstivhet

PE 100 rør skal, i henhold til produktstandarden NS-EN 12201, ha minimum designkoeffisient 1,25. Minimum bruddspenningen (MRS – Minimum Required Strength) for materialet PE 100 er 10,0 MPa. At designkoeffisienten er 1,25 betyr at dimensjonerende spenning er $10,0 \text{ MPa} / 1,25 = 8,0 \text{ MPa}$.

I Norge er det et generelt ønske om at rørproduktene normalt dimensjoneres med sikkerhetsfaktor 1,6. Det gir en dimensjonerende spenning 6,25 MPa og en relativt tykkere rørvegg i forhold til trykklassen. Pipelife merker trykkrør med to trykklasser – en for den høyere sikkerhetsfaktoren og en for den lavere designkoeffisienten.

Ringstivhet er relevant for deformasjon av nedgravde trykkløse rør og for beregninger av rør med undertrykk.

Vi har et utvalg SDR 7,4, SDR 11, SDR 17 og SDR 26 rør på lager. Rør i de øvrige rørklassene produseres mot ordre. På grunn av tilgjengeligheten av rør og rørdeler anbefales SDR 17 der ringstivheten bør være større enn $8,0 \text{ kN/m}^2$ (SN 8). For eksempel for nedgravde trykkløse rørledninger.

Sikkerhetsfaktor/ designkoeffisient	SDR								
	41	33	26	21	17	13,6	11	9	7,4
1,6	PN 3,2	PN 4	PN 5	PN 6,3	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20
1,25	PN 4	PN 5	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20	PN 25
	SN 1,3	SN 2,5	SN 5,3	SN 10,4	SN 20,3	SN 41,7	SN 83,3	SN 163	SN 318

PN: Trykklasser i bar for PE 100 rør og rørdeler

SN: Ringstivhet i kN/m^2 for PE 100 rør

Vegtykkelser (minimum)

DN/OD	SDR								
	41	33	26	21	17	13,6	11	9	7,4
20							2,0	2,3	3,0
25						2,0	2,3	3,0	3,5
32					2,0	2,4	3,0	3,6	4,4
40				2,0	2,4	3,0	3,7	4,5	5,5
50			2,0	2,4	3,0	3,7	4,6	5,6	6,9
63			2,5	3,0	3,8	4,7	5,8	7,1	8,6
75			2,9	3,6	4,5	5,6	6,8	8,4	10,3
90	2,2	2,8	3,5	4,3	5,4	6,7	8,2	10,1	12,3
110	2,7	3,4	4,2	5,3	6,6	8,1	10,0	12,3	15,1
125	3,1	3,9	4,8	6,0	7,4	9,2	11,4	14,0	17,1
140	3,5	4,3	5,4	6,7	8,3	10,3	12,7	15,7	19,2
160	4,0	4,9	6,2	7,7	9,5	11,8	14,6	17,9	21,9
180	4,4	5,5	6,9	8,6	10,7	13,3	16,4	20,1	24,6
200	4,9	6,2	7,7	9,6	11,9	14,7	18,2	22,4	27,4
225	5,5	6,9	8,6	10,8	13,4	16,6	20,5	25,2	30,8
250	6,2	7,7	9,6	11,9	14,8	18,4	22,7	27,9	34,2
280	6,9	8,6	10,7	13,4	16,6	20,6	25,4	31,3	38,3
315	7,7	9,7	12,1	15,0	18,7	23,2	28,6	35,2	43,1
355	8,7	10,9	13,6	16,9	21,1	26,1	32,2	39,7	48,5
400	9,8	12,3	15,3	19,1	23,7	29,4	36,3	44,7	54,7
450	11,0	13,8	17,2	21,5	26,7	33,1	40,9	50,3	61,5
500	12,3	15,3	19,1	23,9	29,7	36,8	45,4	55,8	
560	13,7	17,2	21,4	26,7	33,2	41,2	50,8	62,5	
630	15,4	19,3	24,1	30,0	37,4	46,3	57,2	70,3	
710	17,4	21,8	27,2	33,9	42,1	52,2	64,5	79,3*	
800	19,6	24,5	30,6	38,1	47,4	58,8	72,6	89,3*	
900	22,0	27,6	34,4	42,9	53,3	66,1	81,7		
1000	24,5	30,6	38,2	47,7	59,3	73,4	90,8		
1100	26,8	34,1	42,3	52,4	65,2	80,9*			
1200	29,4	36,7	45,9	57,2	71,1	88,2*			
1400	34,3	42,9	53,5	66,7	83,0	102,9			
1600	39,2	49,0	61,2	76,2	94,8	117,5*			
1800	44,0	55,1	68,8	85,8	106,6*				
2000	48,9	61,2	76,4	95,3	118,5				
2100	51,4	64,3	80,3	100,0					
2300	56,3	70,4	87,9	109,5					
2500	61,2	76,5	95,5	119,1					

- Alle mål i mm
- 600 mm er ikke inkludert i produktstandarden
- Materialkvalitet PE 100 RC for SDR 17 og lavere. Materialkvalitet PE 100 for SDR 21 og høyere

* Kontakt Pipelife

Vektor, kg/m

DN/OD	SDR								
	41	33	26	21	17	13,6	11	9	7,4
20							0,118	0,133	0,165
25						0,151	0,172	0,213	0,243
32					0,200	0,228	0,274	0,326	0,387
40				0,251	0,290	0,354	0,434	0,507	0,607
50			0,317	0,372	0,460	0,550	0,672	0,789	0,945
63			0,482	0,586	0,730	0,869	1,06	1,25	1,5
75			0,682	0,826	1,03	1,23	1,48	1,77	2,11
90	0,633	0,800	0,987	1,19	1,47	1,76	2,14	2,54	3,04
110	0,945	1,17	1,45	1,77	2,19	2,63	3,18	3,79	4,55
125	1,23	1,53	1,86	2,28	2,79	3,39	4,09	4,89	5,85
140	1,50	1,88	2,35	2,85	3,50	4,25	5,13	6,12	7,34
160	1,99	2,50	3,08	3,73	4,57	5,54	6,74	7,99	9,61
180	2,50	3,15	3,83	4,69	5,77	7,01	8,51	10,1	12,13
200	3,08	3,85	4,74	5,81	7,10	8,65	10,5	12,5	15,0
225	3,90	4,89	5,96	7,35	9,03	10,9	13,3	15,8	18,9
250	4,77	6,09	7,38	9,03	11,1	13,5	16,3	19,5	23,4
280	5,96	7,55	9,2	11,34	13,9	16,9	20,4	24,4	29,3
315	7,60	9,7	11,7	14,3	17,6	21,4	25,9	30,9	37,2
355	9,6	12,1	14,8	18,2	22,4	27,2	33,0	39,3	47,2
400	12,5	15,7	19,1	23,6	28,9	35,2	42,7	50,8	61,1
450	15,8	19,9	24,2	29,8	36,6	44,6	54,1	64,3	77,3
500	19,4	24,4	29,9	36,9	45,1	55,0	66,7	79,4	
560	24,4	30,7	37,5	46,2	56,6	69,0	83,7	99,6	
630	30,8	38,7	47,4	58,3	71,8	87,3	105,0	127,6	
710	39,0	49,2	60,2	74,2	91,0	110,8	134,3	162,0	
800	49,5	62,4	76,3	94,0	115,0	140,7	170,4	205,7	
900	62,8	79,0	97,4	118,9	146,0	178,1	215,6		
1000	77,0	98,0	120,0	147,0	180,0	216,9	266,2		
1100	93,5	117,9	145,0	177,6	218,0	266,0			
1200	111,0	140,0	173,0	211,6	257,8	316,5			
1400	151,3	190,9	234,7	287,5	350,6	430,7			
1600	198,0	249,0	306,0	375,5	457,8	562,5			
1800	250,0	308,5	387,9	475,1	579,3				
2000	308,6	380,8	478,8	586,5	715,2				
2100	340,2	419,8	527,8	646,6					
2300	408,0	503,5	633,0	775,6					
2500	482,0	594,8	747,9	916,2					

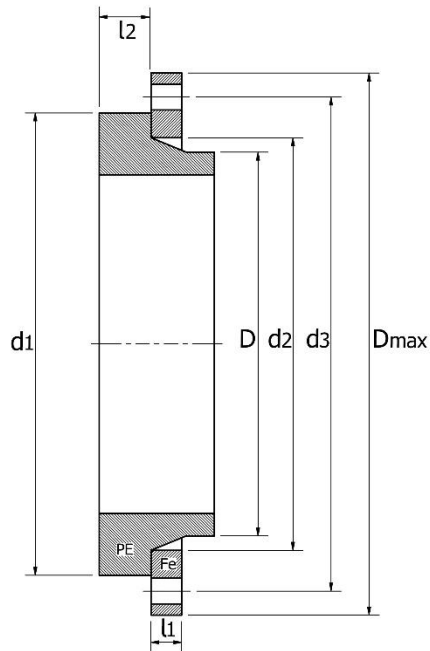
Maksimum trekkekraft ved inntrekking av rør

DN/OD	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 9	SDR 7,4
32	2,26	2,68	3,28	3,85	4,58
40	3,40	4,18	5,06	6,02	7,15
50	5,32	6,46	7,87	9,37	11,2
63	8,48	10,3	12,5	15,0	17,6
75	12,0	14,7	17,5	21,1	25,1
90	17,2	21,0	25,3	30,4	36,0
110	25,7	31,1	37,7	45,3	54,0
125	32,8	40,2	48,8	58,6	69,6
140	41,2	50,4	60,9	73,6	87,4
160	53,9	65,9	80,0	95,9	114
180	68,3	83,6	101	121	144
200	84,4	103	125	150	178
225	107	130	158	190	225
250	131	161	195	234	278
280	165	201	244	293	349
315	209	255	309	371	442
355	266	324	392	472	560
400	336	411	498	599	712
450	426	520	631	758	901
500	527	643	778	934	
560	659	806	975	1172	
630	836	1019	1235	1483	
710	1060	1294	1570	1886	
800	1345	1643	1991	2393	
900	1701	2078	2520		
1000	2103	2564	3112		
1100	2544	3108			
1200	3026	3697			
1400	4121	5032			
1600	5379	6567			

Maksimum trekkekraft i kN for PE 100 rør ved materialspenning 12,0 N/mm²

Generelle mål for flenseforbindelser

Flenser med PN 10 og PN 16 boring har identiske mål opp til DN 150. Opp til 315 mm er kragene i henhold til ISO 9624. Fra 355 mm har kragene en hulkil med radius 10 mm. For 630 mm SDR 11 anbefales ved høye trykk/belastninger å bruke HP-krage (NRF 244 72 99) eller reduksjonskrage (NRF 244 72 79).



Målskisse – se tabell med mål på neste side

DN/OD Rør (D)	DN flens []	Ant. hull [stk]	Bolt	PN 10 I1 [mm]	TrykkI. I1 [mm]	SDR 11 I2 [mm]	SDR 17 I2 [mm]	SDR 26 I2 [mm]	d1 [mm]	d2 [mm]	d3 [mm]	Dmax [mm]
25	20	4	M12	14		9			58	38	75	105
32	25	4	M12	16		10			68	45	85	115
40	32	4	M16	16		11			78	55	100	140
50	40	4	M16	16		12	12	12	88	66	110	150
63	50	4	M16	16		14	14	14	102	78	125	165
75	65	4	M16	16		16	16	16	122	92	145	185
90	80	8	M16	18		17	17	17	138	108	160	200
110	100	8	M16	18		18	18	18	158	128	180	220
125	100	8	M16	18		25	18	18	158	135	180	220
140	125	8	M16	18		25	18	18	188	158	210	250
160	150	8	M20	18		25	18	18	212	178	240	285
180	150	8	M20	18		30	20	18	212	188	240	285
200	200	8	M20	20		32	24	18	268	235	295	340
225	200	8	M20	20		32	24	18	268	238	295	340
250	250	12	M20	22		35	25	20	320	288	350	395
280	250	12	M20	26		35	25	20	320	294	350	395
315	300	12	M20	26		35	25	20	370	338	400	445
355	350	16	M20	28		66	50	30	430	376	460	505
400	400	16	M24	32		72	54	33	482	430	515	565
450	450	20	M24	36		74	56	46	535	465	565	615
500	500	20	M24	38		76	58	46	585	515	620	670
560	600	20	M27	42		80	60	50	685	575	725	780
630	600	20	M27	42		82	64	50	690	645	725	835
710	700	24	M27	50	35	85	70	50	800	725	840	895
800	800	24	M30	56	35	95	85	52	905	815	950	1015
900	900	28	M30	62	35	100	90	55	1005	915	1050	1115
1000	1000	28	M33	70	35	110	100	60	1110	1015	1160	1230
1100	1200	32	M36		35		120	100	1330	1120	1380	1455
1200	1200	32	M36		35		120	90	1330	1215	1380	1455
1400	1400	36	M39		42		130	70	1535	1440	1590	1675
1600	1600	40	M45		50		140	80	1760	1650	1820	1915
1800	1800	44	M45		50			120	1965	1860	2020	2115
2000	2000	48	M45		55			140	2170	2060	2230	2325
2100	2100	48	M45		55			150	2290	2160	2340	2440
2300	2300	52	M52		60			180	2500	2360	2570	2680
2500	2500	58	M52		70			210	2730	2560	2804	2920

Flensemål gjelder galvaniserte løslenser

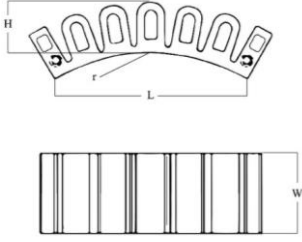
Antall elektroforankringer per rørdimensjon og rørklasse



PE 100 elektroforankring, NRF-nr. **244 70 19**

Elektroforankringen brukes ved forankring av PE trykkør i betong. Kreftene fra røret overføres via elektroforankringene til betongveggen. Antallet som normalt er nødvendig per dimensjon og rørklasse finner du i tabellen under. Ved svært høye belastninger bør antallet beregnes. Forankringene er dimensjonert for en last på 42,3 kN per stk.

Elektroforankringen stropes stramt til rørvæggen før sveising. Normal prosedyre for elektrosveising må følges. Blant annet er det viktig med skraping av rørvæggen for å fjerne oksidert belegg. Etter kjøletiden kan stroppen fjernes og røret støpes inn i betong.

DN/OD rør	Antall for SDR 11 rør [stk]	Antall for SDR 17 rør [stk]	
160 - 280	2	2	
315	3	2	
355	4	3	
400	5	3	
450	6	4	
500	7	5	
560	8	6	
630	10	7	
710	13	9	
800	17	11	
900	21	14	
1000	26	18	
1200	37	25	

L: 152 mm
H: 40 mm
W: 63 mm

R: Rehabilitering, inntrekking av rør

Inntrekking av nye PE-rør er en mye brukt rehabiliteringsmetode både på vann- og avløpssiden. Vi kan enten bruke den gamle rørledningen som varerør eller blokke ut det gamle røret for å opprettholde eller øke rørdimensjonen. Retningsstyrt boring både i fjell og løsmasser med påfølgende inntrekking av rør er også populært. Det nye røret kan trekkes inn i rørledningen ved hjelp av vinsj, det kan skyves inn – eller ved en kombinasjon av trekking og skyving. I dette kapitlet tar vi for oss beregninger som er aktuelle for slike installasjoner.

Trekkekrefter

Når røret trekkes/skyves inn må friksjonskrefter mellom rør og omgivelser overvinnes. Disse friksjonskreftene vil variere og kan være vanskelig å forutsi. Under krevende forhold brukes gjerne bentonitt for å redusere friksjonen. Kreftene vi drar eller skyver røret med må holdes under tålegrensen for røret – materialspenningene i rørveggen ($\sigma_{a,maks}$) bør normalt være mindre enn 12,0 N/mm² (MPa).

Maksimum trekkekraft finner vi ved hjelp av formelen

$$F_{maks} = \sigma_{a,maks} \cdot A_{rør} = \sigma_a \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$

$\sigma_{a,maks}$: Maksimum tillatt materialspenning i aksiell retning (lengderetning) [N/mm²]

$A_{rør}$: Rørveggs tverrsnittsareal [mm²]

D: Rørets utvendige diameter [mm]

d: Rørets innvendige diameter [mm]

Eksempel:

Hva er maksimum trekkekraft for et 250 mm PE 100 SDR 17 rør? Maksimum materialspenning settes til 12,0 N/mm² og rørets innvendige diameter er 220,4 mm.

$$\begin{aligned} F_{maks} &= \sigma_{a,maks} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = 12,0 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot ((250 \text{ mm})^2 - (220,4 \text{ mm})^2) \\ &= 131229 \text{ N} = 131 \text{ kN} = 13,4 \text{ tonn} \end{aligned}$$

Tabell trekkekrefter ved inntrekking

D [mm]	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 9	SDR 7,4
32	2,26	2,68	3,28	3,85	4,58
40	3,40	4,18	5,06	6,02	7,15
50	5,32	6,46	7,87	9,37	11,2
63	8,48	10,3	12,5	15,0	17,6
75	12,0	14,7	17,5	21,1	25,1
90	17,2	21,0	25,3	30,4	36,0
110	25,7	31,1	37,7	45,3	54,0
125	32,8	40,2	48,8	58,6	69,6
140	41,2	50,4	60,9	73,6	87,4
160	53,9	65,9	80,0	95,9	114
180	68,3	83,6	101	121	144
200	84,4	103	125	150	178
225	107	130	158	190	225
250	131	161	195	234	278
280	165	201	244	293	349
315	209	255	309	371	442
355	266	324	392	472	560
400	336	411	498	599	712
450	426	520	631	758	901
500	527	643	778	934	
560	659	806	975	1172	
600	758	924	1121	1357	
630	836	1019	1235	1483	
710	1060	1294	1570	1886	
800	1345	1643	1991	2393	
900	1701	2078	2520		
1000	2103	2564	3112		
1100	2544	3108			
1200	3026	3697			
1400	4121	5032			
1600	5379	6567			

Maksimum trekkekraft i kN for PE 100 rør ved materialspenning 12,0 N/mm²

Maksimum bøyeradius ved inntrekking

Normalt må det graves ut en trekkegrøp for å få røret inn i hullet sitt. Så bøyes røret ned og inn i hullet. Bøyeradiene må ikke bli så store at røret knekker eller at tøyningen i rørvæggen blir for stor. Det er altså bøyeradien til røret som bestemmer minimum lengde på trekkegrøpa i forhold til dybden.

For rør med høy SDR-klasse (slanke rør) er deformasjonen som oppstår ved bøyning bestemmende for bøyeradius. Forsøk viser at rør kollapser ved cirka 8 % deformasjon. Vi

beregner tillatt bøyeradius med en sikkerhetsfaktor 2,0 – altså ved 4 % deformasjon. I denne sammenhengen forutsetter vi at temperaturen er under 20°C.

For rør med lav SDR-klasse (tykkvegga rør) er tøyningen i aksial retning dimensjonerende. Tillatt tøyning for PE er 5 % – og her benytter vi fortsatt en sikkerhetsfaktor på 2,0 og beregner bøyeradius ved 2,5 % tøyning.

Den høye sikkerhetsfaktoren ivaretar flere usikre forhold. Men for eksempel kraftig soloppvarming gir svært høye temperaturer i rørveggen – og da kan det være lurt å forlenge gropa.

Bøyeradien er avhengig av rørdimensjonen og for PE-rør med homogen rørvegg er dette forholdet konstant for hver SDR-verdi. Denne konstanten kaller vi bøyetall (k).

$$k = \frac{R}{D} [\quad]$$

R: Bøyeradius [m]
D: Utvendig diameter [m]

Så, for å finne bøyeradius når bøyetall og rørdimensjon er kjent:

$$R = k \cdot D [m]$$

Anbefalte bøyetall for PE trykrør ved inntrekking av rør via trekkegrop og ved senking av sjøledninger:

Rørklasse	SDR 33	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 9	SDR 7,4
Bøyetall, $k = \frac{R}{D} [\quad]$	40	31	25	20	20	20	20	20

I andre sammenhenger anbefaler vi bøyetallet 30 for trykløse rørledninger og rørledninger under installasjon og bøyetallet 60 for rør med innvendig trykk. For SDR 21 og høyere bør man ifølge tabellen bruke høyere bøyetall. Vi kan tillate lavere bøyetall i forbindelse med inntrekking og senking fordi bøyepåkjenningen er kortvarig.

Eksempel:

Hva er maksimum bøyeradius for et 250 mm PE 100 SDR 17 rør ved inntrekking?

Bøyetallet for SDR 17 rør er 20: $k = \frac{R}{D} = 20$

Vi løser formelen med hensyn på R og regner ut:

$$R = k \cdot D = 20 \cdot 0,250 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

Lengde av trekkegrop

Når vi forutsetter at røret bøyes like mye ved toppen av gropa som ved hullet og at rørledningen er horisontal begge steder, er resten geometri.

Minimum lengde av trekkegropa:

$$L_{\text{grop}} = \sqrt{4 \cdot H_{\text{grop}} \cdot R - H_{\text{grop}}^2}$$

Ettersom $R = k \cdot D$ erstatter vi R med $k \cdot D$ formelen og får:

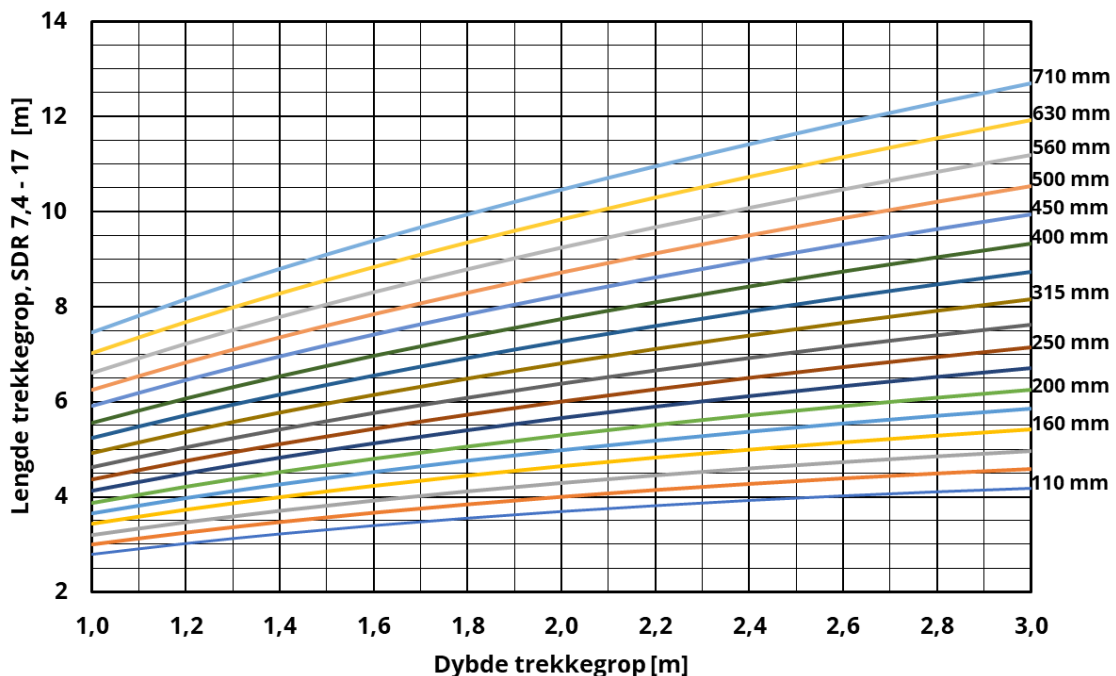
$$L_{\text{grop}} = \sqrt{4 \cdot H_{\text{grop}} \cdot k \cdot D - H_{\text{grop}}^2}$$

Formlene gjelder ikke hvis terrenget eller hullet skråner mye.

Eksempel:

Hva blir lengden av trekkegropa for et 250 mm PE 100 SDR 17 rør når høyden fra bunnen av hullet til topp terreng er 1,8 meter? Bøyetallet (k) for SDR 17 rør er 20.

$$L_{\text{grop}} = \sqrt{4 \cdot H_{\text{grop}} \cdot k \cdot D - H_{\text{grop}}^2} = \sqrt{4 \cdot 1,8 \text{ m} \cdot 20 \cdot 0,250 \text{ m} - (1,8 \text{ m})^2} = 5,7 \text{ m}$$



Minimum lengde av trekkegrop for PE 100 rør fra og med SDR 7,4 til og med SDR 17

Utkappingslengde

Skal PE-røret trekkes inn i et eksisterende rør, så må det kappes ut et stykke av den eksisterende rørledningen. Høyden fra bunn rør av ny ledning og topp rør av gammel ledning må måles.

Utkappingslengden er avhengig av denne høyden og rørets bøyeradius:

$$L_{\text{utkapp}} = \sqrt{2 \cdot h \cdot (k \cdot D - h)} \text{ [m]}$$

h: Høyden fra innvendig bunn til utvendig topp eksisterende rør [m]

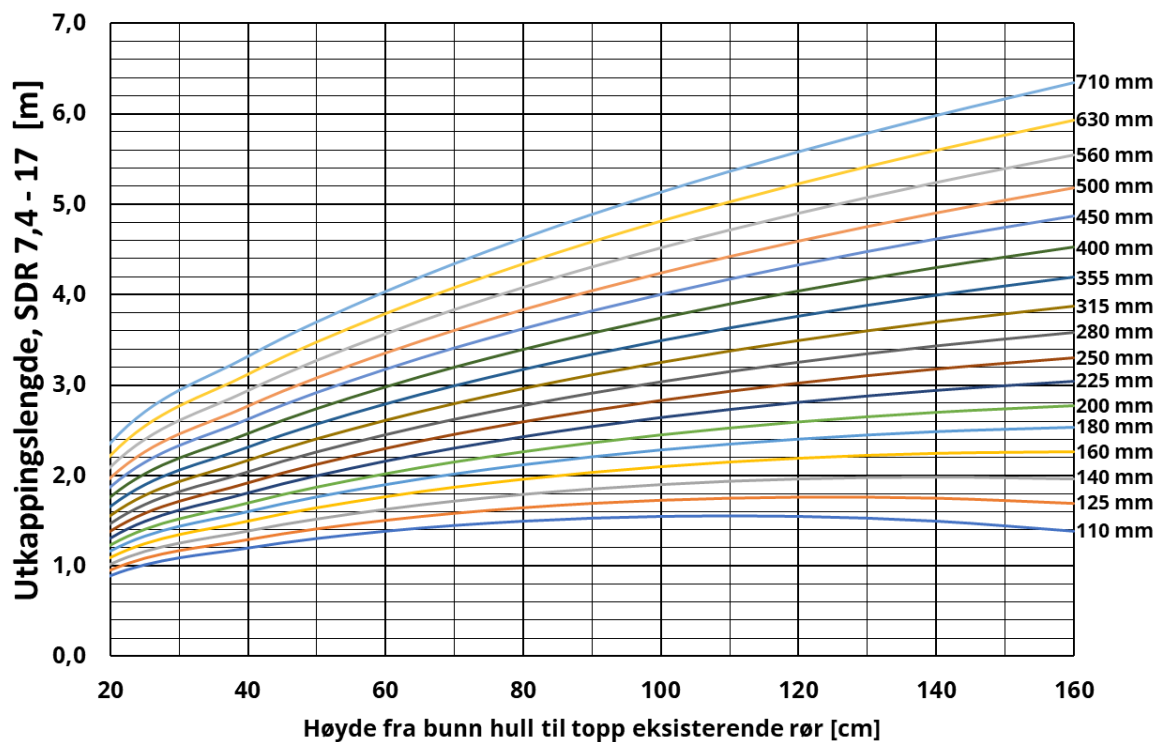
k: Bøyetallet for PE-røret []

D: PE-rørets utvendige diameter [m]

Eksempel:

Hva blir utkappingslengden for et 250 mm PE 100 SDR 17 rør når høyden fra innvendig bunn til utvendig topp av eksisterende rør er 43 centimeter? Bøyetallet (k) for SDR 17 rør er 20.

$$L_{\text{utkapp}} = \sqrt{2 \cdot h \cdot (k \cdot D - h)} = \sqrt{2 \cdot 0,43 \text{ m} \cdot (20 \cdot 0,250 \text{ m} - 0,43 \text{ m})} = 2,0 \text{ m}$$

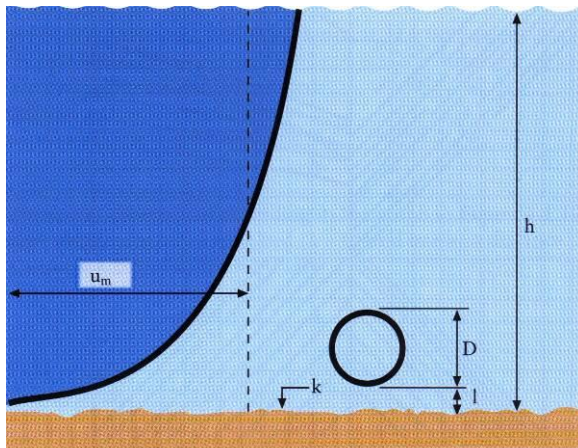


Minimum utkappingslengde for PE 100 rør fra og med SDR 7,4 til og med SDR 17

R: Strøm- og bølgekrefter

Beregninger av strøm- og bølgekrefter er kompliserte og her gir vi en generell innføring i krefter som påvirker ledningen.

Strømkrefter på undervannsledninger



Hastighetsvariasjon i en vannstrøm - Illustrasjon fra Lars-Eric Janson

Strømkreftene kan beregnes når følgende størrelser er kjent:

- D: Ledningens ytre diameter
- l: Avstand bunn rør til sjøbunnen
- u_m : Middels vannhastighet i vassdraget/sjøen
- k: Sjøbunnens hydrauliske ruhet
- θ : Vinkel mellom strømretning og rør

Strømkreftene som virker på en sjøledning kan deles opp i en slepekraft som virker parallelt med bunnen i strømretningen og en løftekraft som virker vertikalt fra bunnen og oppover. Liten avstand mellom bunn og rør kan gi store løftekrefter.

Bølgekrefter på undervannsledninger

Bølgekrefter på undervannsledninger, som er plassert på eller i umiddelbar nærhet av sjøbunnen, kan deles opp i tre komponenter: En slepekraft, en løftekraft og en treghetskraft. Slepe- og løftekraften er av samme type som for strømkrefter ved at størrelsen avhenger av vannhastigheten og at de øker med denne.

Treghetskreftene oppstår derimot på grunn av trykksvingningene fra vannets svingende bevegelser. Treghetskreftene er faseforskjøvet i forhold til slepe- og løftekreftene.

De maksimale verdiene for treghets-, slepe- og bølgekrefter uttrykt som henholdsvis F_t , F_s og F_l , kan beregnes ut ifra følgende formler:

$$F_t = \pi \cdot C_t \cdot f \cdot \gamma \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{H_0}{L_0} \quad [\text{N/m}]$$

$$F_s = C_s \cdot f^2 \cdot \gamma \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{H_0}{L_0} \cdot \frac{H_0}{d_e} \quad [\text{N/m}]$$

$$F_l = C_l \cdot f^2 \cdot \gamma \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot D}{4} \cdot \frac{H_0}{L_0} \cdot \frac{H_0}{d_e} \quad [\text{N/m}]$$

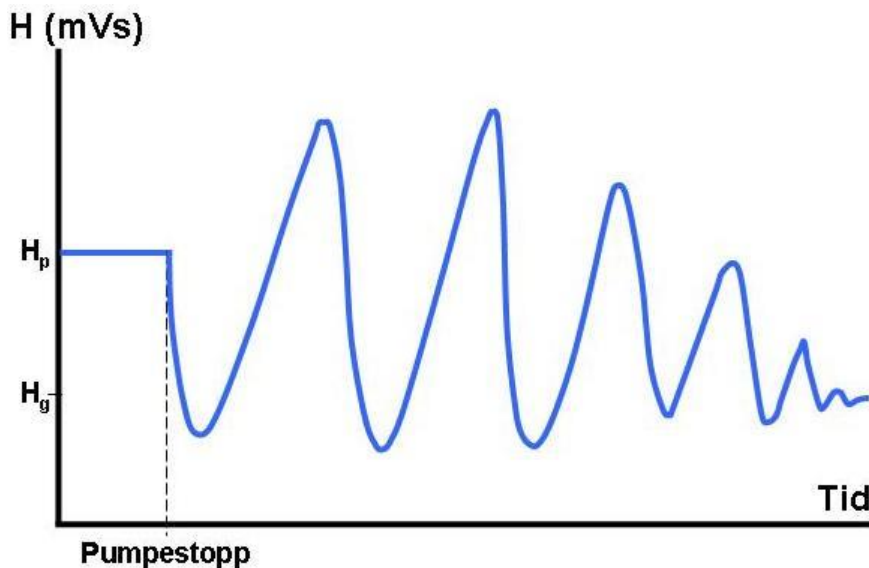
- C_t : Koeffisient for treghetskraft
- C_s : Koeffisient for slepekraft
- C_l : Koeffisient for løftkraft
- f : Refraksjonsfaktor
- γ : Vannets densitet = 1 025 kg/m³ for hav
- g : Tyngdeakselerasjonen = 9,81 m/s²
- d_e : Ledningens diameter [m]
- H_0 : Bølgehøyden på stort dyp [m]
- L_0 : Bølgelengden på stort dyp [m]

R: Trykksvingninger

Trykkrør kan bli utsatt for dynamiske korttidsbelastninger utover det nominelle trykket som følge av trykksvingninger/trykkstøt. Dette kan kreve trykkstøtdempende tiltak og kan være avgjørende for valg av rørklasse (SDR).

Refleksjonstid, trykkbølgehastighet og trykkstøt

Trykksvingninger oppstår i en ledning når likevektstilstanden forstyrres ved raske endringer i vannhastigheten - for eksempel ved start og stopp av pumper, åpning og lukking av ventiler, rørbrudd osv. Enkeltstående tilfeller, som ved strømstans eller rørbrudd, er ikke dimensjonerende. Man tar gjerne som utgangspunkt at et trykkstøt oppstår hvert tiende minutt i hele rørets levetid. Det er utmatting av rørmaterialene som først og fremst er begrensningen.



Trykksvingninger ved pumpe ved pumpestopp

Disse beregningene er uhyre kompliserte og må utføres ved hjelp av et beregningsprogram. Flere konsulenter samt pumpe- og ventilleverandører innehar både kompetanse og nødvendige hjelpemidler.

Resten av avsnittet er ment som en innføring i teorien og gir ikke tilstrekkelig grunnlag for nøyaktige beregninger.

Endringen i vannhastigheten er definert som hurtig dersom den skjer innen en tid som er kortere enn refleksjonstiden. Refleksjonstiden er den tiden det tar trykkbølgen å vandre til nærmeste punkt på ledningen hvor bølgen snur (retningsendring, ventil eller lignende) - og tilbake igjen.

Refleksjonstiden beregnes av formelen:

$$T_0 = \frac{2 \cdot L}{c}$$

- L: Ledningens lengde frem til refleksjonspunktet [m]
c: Trykkbølgehastigheten [m/s]

Trykkbølgehastigheten for et plastrør som er fastspent i lengderetningen (normalsituasjonen) bestemmes av den forenklete formelen:

$$c = 0,0365 \sqrt{\frac{E \cdot 10^6}{\text{SDR} - 1}}$$

- E: Rørmaterialets korttids E-modul
SDR: D/e

Eksempel:

Trykkbølgehastigheten for PE 100 SDR 11 rør med korttids E-modul 1000 N/mm²:

$$c = 0,0365 \sqrt{\frac{E \cdot 10^6}{\text{SDR} - 1}} = 0,0365 \sqrt{\frac{1000 \text{ N/mm}^2 \cdot 10^6}{11 - 1}} = 365 \text{ m/s}$$

Når trykkbølgehastigheten er kjent kan refleksjonstiden beregnes. Er røret i eksemplet ovenfor 1000 m blir refleksjonstiden:

$$T_0 = \frac{2 \cdot L}{c} = \frac{2 \cdot 1000 \text{ m}}{365 \text{ m/s}} = 5,5 \text{ sekunder}$$

Ved lukking av ventiler endrer ikke hastigheten seg nevneverdig før mot slutten av lukkingen. Skjer for eksempel siste del av en ventillukking raskere enn $T_0 = 5,5$ sekunder i eksemplet over, er hastighetsendringen pr definisjon rask. Man vil da kunne oppnå den teoretisk maksimale trykksvingningen, som kan beregnes av Joukowskis formel:

$$\Delta p = \frac{c \cdot \Delta v}{g} \quad [\text{mVs}]$$

- Δv : Momentan endring i væskehastigheten [m/s]
g: Tyngdeakselerasjonen - 9,81 m/s²
c: Trykkbølgens hastighet i ledningsmaterialet avhengig av materiale og SDR-verdi [m/s]

Eksempel:

Rørtype	c [m/s]	Δp [mVs]	Δp [bar]
PVC SDR 21	447	$\pm 45,5$	$\pm 4,5$
PVC SDR 13,6	563	$\pm 57,4$	$\pm 5,6$
PE 100 SDR 11	365	$\pm 37,2$	$\pm 3,7$
PE 100 SDR 17	289	$\pm 29,4$	$\pm 2,9$

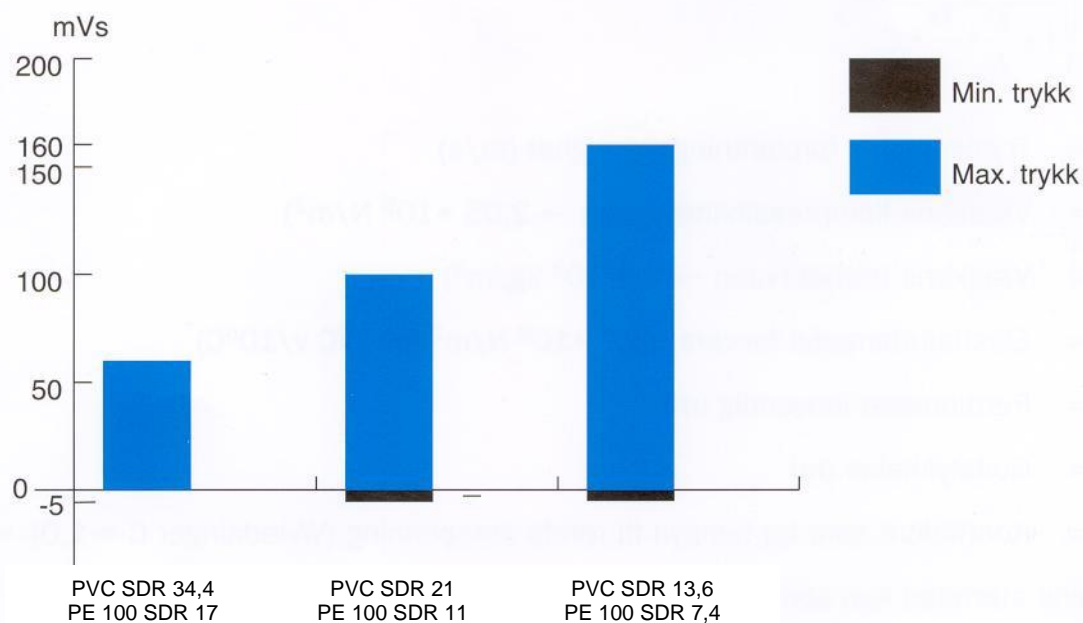
Trykkbølgehastighet ved kort refleksjonstid samt trykksvingningens størrelse for ulike rørtypene ved en momentan endring av vannhastighet på 1 m/s.

Begrensninger med hensyn på trykksvingninger i plastrør

Begrensningene er veiledende. Mer nøyaktige beregninger kan lede til at det tillates høyere trykk, lavere undertrykk og/eller større trykksvingninger. For eksempel er det gjennomført forsøk som viser at PE 80 SDR 11 rør med 10 bar innvendig trykk og trykksvingninger i størrelsesorden ± 5 bar (Mellom 5 bar og 15 bar) ikke har gått til brudd etter 2,7 millioner trykksvingninger (150 trykkstøttillfeller pr døgn i 50 år) som anses som dimensjonerende for trykkstøtbelastede ledninger.

NB! Følgende tommelfingerregler gjelder for PVC og PE trykkrør med høy sikkerhetsfaktor

1. Maksimum tillatt trykk i trykksvingninger skal være mindre enn maksimum tillatt driftstrykk.
2. Minimum tillatt undertrykk i trykksvingninger er 0,5 bar for rør med maksimum tillatt driftstrykk 10 bar eller mer. For sveiste PE 100 rør kan det sannsynligvis tillates mer.
3. Differansen mellom maksimum og minimum trykk i trykksvingninger skal være mindre enn halvparten av maksimum tillatt driftstrykk.



Tommelfingerregler for maksimum og minimum tillatt trykk for PVC og PE trykkrør

Såfremt trykksvingningene ikke overskrider disse begrensningene, og antall trykkstøttillfeller ikke overstiger 150 tilfeller pr døgn, vil trykksvingningene ikke innvirke negativt på ledningens levetid. Overskrides disse begrensningene bør det utføres beregninger ved hjelp av et mer avansert dataprogram. Dette kan resultere i at det må gjennomføres tiltak for å redusere trykksvingningenes størrelse eller antall. Tommelfingerreglene over er gamle og det er god grunn til å tro at beregninger for eksempel vil tillate større undertrykk i rørledninger av moderne PE-materialer.

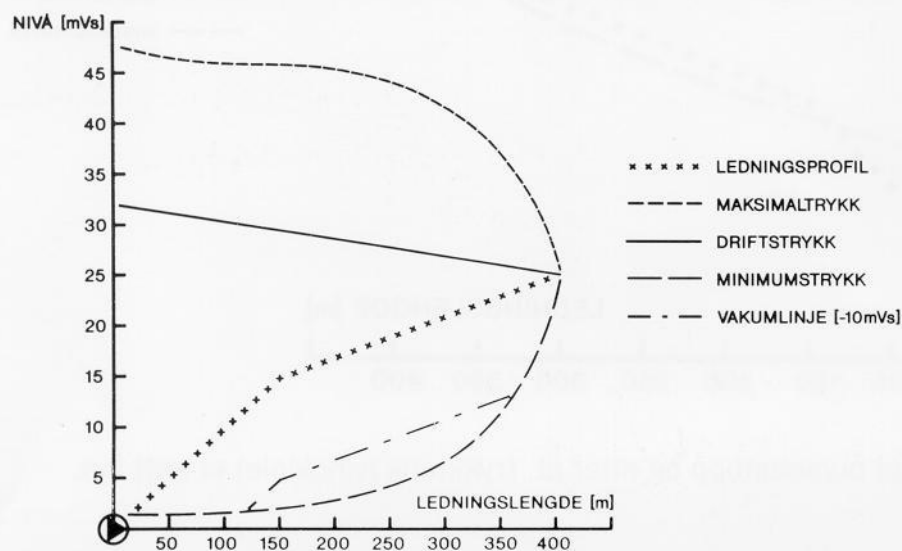
Når trykksvingningene viser seg å være for store, kan man velge mellom flere kurante løsninger for å bøte på dette. For eksempel:

- Turtallsregulering/frekvensstyrte pumper
- Kontrollert åpning og lukking av ventiler - særlig siste tredjedel
- Mykstopp/mykstart
- Svinghjulsmasse
- Vindkjele/trykkbeholder

Eksempel:

160 mm PVC SDR 21 pumpeledning. Maksimum driftstrykk er 10 bar. Sikkerhetsfaktor er 2,5.
Total løftehøyde: 32 m
Vannhastighet: 1,5 m/s
Lengde: 400 m

Figuren viser en grafisk fremstilling av situasjonen uten trykkstøtdempende tiltak:



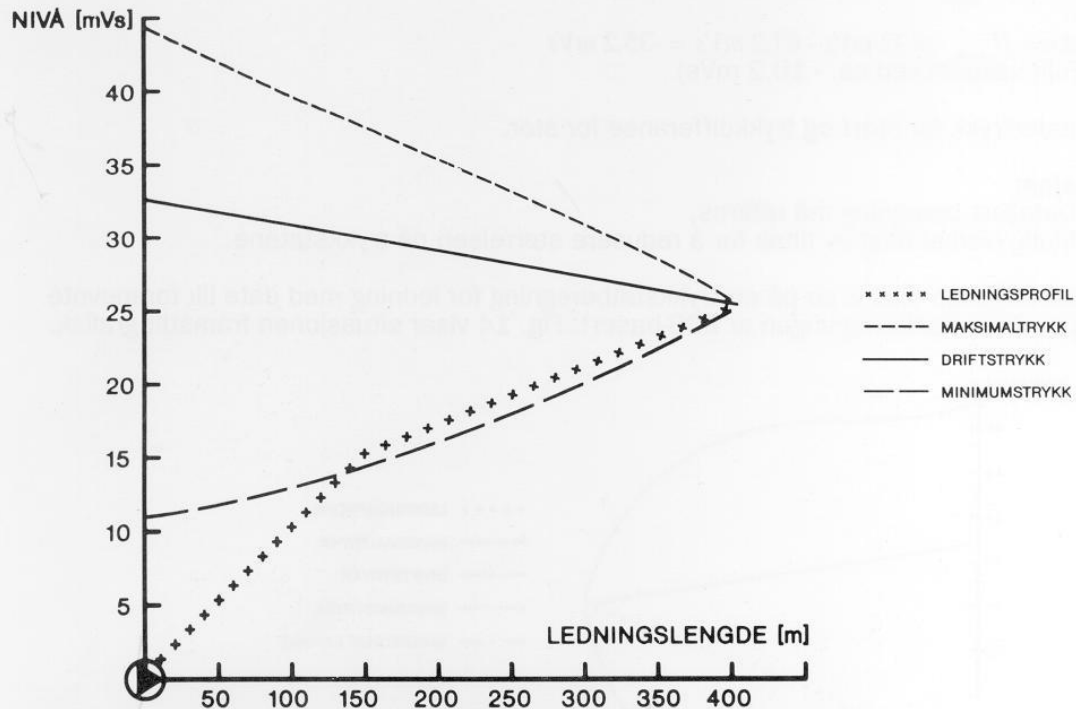
Trykkbølgenes størrelse i forhold til ledningstraseens høydeprofil

Konklusjon av beregninger - figuren over:

- + Maksimum trykk er lavere enn maksimum tillatt driftstrykk - OK
- Minimum trykk er så lavt at det vil oppstå kavitasjon («absolutt vakuu») på store deler av traseen.
- + Differansen mellom maksimum og minimum trykk er mindre enn halvparten av maksimum tillatt driftstrykk for røret - OK

NB! Trykkstøreduserende tiltak må settes inn.

Neste figur viser situasjonen etter at en 300 liters vindkjel er montert inn som et trykkstøtdempende tiltak. Linjemarkeringene har samme funksjon som i forrige figur. Legg merke til at vakuumlinsen (-10 mVs) er borte.



Trykkbølgenes størrelse i forhold til ledningstraséen - med vindkjel

Konklusjon av beregninger:

- + Maksimum trykk er mindre enn maksimum tillatt driftstrykk - OK
- + Akseptabelt undertrykk (< -5 mVs) - OK
- + Differansen mellom maksimum og minimum trykk er mindre enn halvparten av maksimum tillatt driftstrykk for røret - OK

Innmontering av vindkjel V = 300 l gir en tilfredsstillende trykksituasjon.

R: Undertrykk

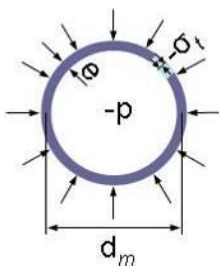
Et utvendig overtrykk gir den samme belastningssituasjonen som et innvendig undertrykk. I det følgende benytter vi bare betegnelsen undertrykk - som tilsvarer utvendig overtrykk, innvendig undertrykk eller negativ differanse mellom disse.

For et mufferrør vil tetningsringens evne til å tåle undertrykk ofte være dimensjonerende. For Pipelife sine PVC trykkrør med Power-Lock™ tetningsring tåler skjøten inntil 0,8 bar undertrykk.

Skjøter for trykkløse rørsystemer testes i laboratorium med minimum 0,3 bar undertrykk - med avvinkling og med store deformasjoner av muffe og spissende. Pipelife sine rørsjøter skal er robuste. Hvis røret installeres korrekt, så vil skjøten tåle 5,0 meter grunnvannshøyde over røret.

Ringtrykkspenning, knekkspenning og kritisk undertrykk

I et rør som belastes med et innvendig undertrykk vil det oppstå tangensiale spenninger i rørveggen. Disse kan vi kalle ringtrykkspenninger - som illustrert i figuren under. Når størrelsen på disse spenningene når et visst punkt vil røret kollapse (knekke). Denne spenningen kalles knekkspenning.



Rør utsatt for et utvendig overtrykk eller innvendig undertrykk p

Knekkspenningens størrelse avhenger av ovalitet, om røret kan bevege seg i lengderetning, om det er forsterket med udeformerbare avstivningsringer med relativt korte avstander (for eksempel belastningslodd eller stive klammer), om det er nedgravd eller om det ligger fritt (uten sidestøtte) som en sjøledning med lang avstand mellom omsluttende belastningslodd eller som et frittliggende rør over bakken.

Ringtrykkspenning som oppstår ved undertrykk: $\sigma_t = \frac{p \cdot d_m}{2 \cdot e}$ [N/mm²]

Økes det innvendige undertrykket oppnås til slutt den ringtrykkspenning i rørveggen som fører til kollaps - eller knekking. Dette undertrykket kalles kritisk undertrykk. Formlene for knekkspenning og kritisk undertrykk under er utgangspunkt for formelene vi bruker ved ulike typer installasjoner - som vi tar for oss senere.

Knekkspenning: $\sigma_{kn} = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \left(\frac{e}{d_m}\right)^2$ [N/mm²]

Kritisk undertrykk: $p_{kr} = 2 \cdot \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \left(\frac{e}{d_m}\right)^3$ [N/mm²]

- p: Trykkforskjell mellom utsiden og innsiden av røret (undertrykk) [N/mm²]
 E: Materialets E-modul* [N/mm²]
 v: Tverrkontraksjonskoeffisient (Poissons ratio)
 Vanlige verdier for beregninger av materialspenninger er:
- Rørledninger som er fastspent i begge ender (kan ikke bevege seg): 0,45 for PE og PP og 0,4 for PVC
 - Bevegelig nedgravd rør (delvis fastspent): 0,3 – 0,4
 - Rørledninger som kan bevege seg helt fritt: 0
- Det betyr at et fastspent rør tåler større undertrykk enn et rør som kan bevege seg. Er det usikkert om røret i praksis vil være helt eller delvis fastspent bør tverrkontraksjonskoeffisienten settes til 0.
- e: Vegtthkkelse [mm]
 d_m: Rørets middeldiameter. d_m = D-e [mm]

Forutsetninger for formlenes gyldighet er at rørmaterialet er elastisk og at røret er fullkomment sirkulært.

* Termoplastrør er ikke elastiske, men viskoelastiske. Dette betyr at E-modulen ikke er en materialkonstant, og at man i hvert tilfelle må vurdere hvilken E-modul som skal benyttes - korttids E-modul eller langtids E-modul (krypmodulen). Ved trykkstøt benyttes for eksempel korttids E-moduler. Ved konstante belastninger over tid, som for eksempel ved undertrykk i en inntaksledning, benyttes krypmodul. Krypmodulen er vanskelig å bestemme fordi den avhenger av tid, temperatur og spenningens størrelse. Man benytter derfor vanligvis de konservative verdiene oppgitt i avsnittet «materialdata» eller verdier fra diagram i kapitlet om Hookes lov.

På grunn av materialets viskoelastiske egenskaper, varierer også tverrkontraksjonskoeffisienten med materialtype, belastningstilfelle og -tid. Men her er det også vanlig å benytte vanlige verdier som er oppgitt foran når man beregner materialspenninger.

Det er en forutsetning for krypknekking at røret har en initialdeformasjon, og slik er det i praksis alltid. Se diagram som viser reduksjonsfaktor avhengig av deformasjon i neste avsnitt.

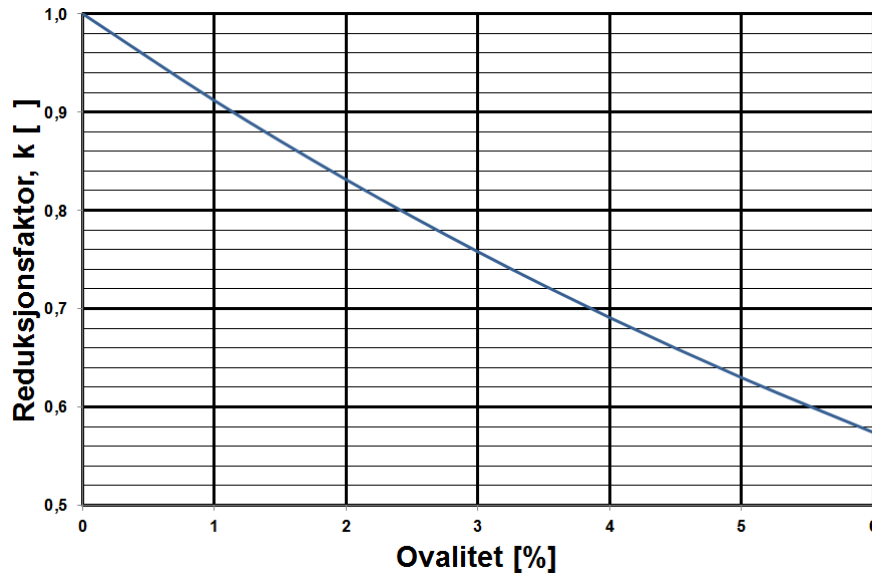
For et teoretisk fullkomment sirkulært rør inntreffer en elastisk knekking i stedet for en krypknekking – også over lang tid. Ved bestemmelse av kritisk undertrykk ved elastisk knekking må man bruke en verdi på E-modul (E) som gjelder for korttidsbelastning fordi kollaps opptrer plutselig. Men rør er sjelden/aldri fullkomment sirkulære.

Ettersom E-modul ved korttidsbelastning er større enn ved langtidsbelastning (krypmodul), vil elastisk knekklast alltid være større enn krypknekklast. Dette betyr at plastrør tåler større undertrykk i kort tid enn over lang tid.

Beregning av kritisk undertrykk for frittliggende rør

$$\text{Kritisk undertrykk: } P_{kr} = 2 \cdot \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \left(\frac{e}{d_m}\right)^3 \cdot k \quad [\text{N/mm}^2]$$

Der k er reduksjonsfaktor på grunn av ovalitet, se diagram under. I tillegg er det vanlig å legge inn en sikkerhetsfaktor på 2,0 for å fastsette tillatt undertrykk.



Reduksjonsfaktor k for kritisk undertrykk ved ovalitet (δ/D)

Av diagrammet ser man at rørets evne til å tåle undertrykk reduseres med ca 24 % ved 3 % ovalitet.

Hvis vi innfører SDR-verdien blir formelen

$$P_{kr} = 2 \cdot \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \left(\frac{1}{\text{SDR}-1}\right)^3 \cdot k$$

Eksempel:

En 315 mm PE 100 SDR 11 rørløsning, som ligger fritt og ikke fastspent, utsettes i lange perioder for et undertrykk ned mot - 5 mVs. Rørets deformasjon måles til 3 % og tverrkontraksjonskoeffisienten er 0.

$$\text{Kritisk undertrykk: } P_{kr} = 2 \cdot \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \left(\frac{e}{d_m}\right)^3 \cdot k \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$= 2 \cdot \frac{200 \text{ N/mm}^2}{1-0^2} \cdot \left(\frac{28,6 \text{ mm}}{286,4 \text{ mm}}\right)^3 \cdot 0,76$$

$$= 0,30 \text{ N/mm}^2 = 30,9 \text{ mVs}$$

Sikkerhetsfaktor mot knekking/buckling er $30,9 \text{ mVs} / 5 \text{ mVs} = 6,18$. Sikkerhetsfaktoren er betraktelig større enn 2 og det vil ikke være fare for at røret klapper sammen.

Tabeller for tillatt undertrykk for frittliggende rør uten sidestøtte

Kort tid

	SDR 34,4	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11
PE 100	-	6,5·k	-	25·k	51·k	102·k
PVC	(8,2·k)*	-	(38·k)*	-	(153·k)*	-

Svaret har benevning mVs (1 mVs ≈ 0,1 bar). ν er 0. E er 3 000 N/mm² for PVC og 1 000 N/mm² for PE 100. Verdier for k hentes fra diagram over. Det er tatt hensyn til en sikkerhetsfaktor 2 mot knekking. For fastspente rør er verdiene 33 % høyere.

* Muffeskjøten vil være begrensende for tillatt undertrykk

Lang tid

	SDR 34,4	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11
PE 100	-	1,3·k	-	5,0·k	10·k	20·k
PVC	2,7·k	-	(13·k)*	-	(51·k)*	-

Svaret har benevning mVs (1 mVs ≈ 0,1 bar). ν er 0. E er 1 000 N/mm² for PVC og 200 N/mm² for PE 100. Verdier for k hentes fra diagram over. Det er tatt hensyn til en sikkerhetsfaktor 2 mot knekking. For fastspente rør er verdiene 33 % høyere.

* Muffeskjøten vil være begrensende for tillatt undertrykk

Eksempel:

Hva er tillatt innvendig undertrykk ved lang tids belastning for en PE 100 SDR 11 ledning som ligger fritt med 2 % deformasjon?

Av tabellen som viser kritisk undertrykk ved lang tid ser vi at uttrykket er:

$$P_{\text{till}} = 20 \cdot k \quad [\text{mVs}]$$

Av figuren som viser reduksjonsfaktor på grunn av deformasjon ser vi at k er lik 0,83:

$$P_{\text{till}} = 20 \cdot 0,83 = 16,6 \text{ mVs} \approx 1,6 \text{ bar}$$

Tillatt utvendig overtrykk for denne ledningen er 16,6 mVs med lang belastningstid og en sikkerhetsfaktor på 2. En viktig forutsetning er selvsagt at deformasjonen holder seg på 2 % - noe man bør observere nøye.

Utrekningen gir oss veiledende, konservative verdier. I kritiske tilfeller må valg av verdier for ν og E vurderes mer nøye.

Beregning av kritisk undertrykk for PE-rør som avstives med ringer

Hvis et rør som kan bevege seg fritt i lengderetningen forsterkes med udeformerbare avstivningsringer (omsluttende belastningslodd eller stive klammer) med innbyrdes avstand L, kan kritisk undertrykk beregnes slik:

$$P_{krL} = \frac{2,2 \cdot e \cdot \sqrt{E}}{L} \cdot \sqrt{P_{kr}} \quad [\text{N/mm}^2]$$

- e: Veggykkelse [mm]
 E: Materialets E-modul eller krypmodul [N/mm²]
 P_{kr}: Kritisk undertrykk uten avstivningsringer [N/mm²]
 L: Avstanden mellom avstivningsringene [mm]

Uttrykket gjelder innenfor følgende grenser for L: $\frac{1,56 \cdot e}{(e/d_m)^{3/2}} \geq L > 4 \cdot \sqrt{\frac{e \cdot d_m}{2}}$

d_m: Middeldiameter, d_m = D-e

Dimensjon [mm]	SDR 7,4	SDR 11	SDR 17	SDR 26
110	< 0,38	< 0,49	< 0,65	< 0,83
125	< 0,43	< 0,56	< 0,73	< 0,94
140	< 0,48	< 0,63	< 0,82	< 1,1
160	< 0,55	< 0,72	< 0,94	< 1,2
180	< 0,61	< 0,81	< 1,1	< 1,4
200	< 0,68	< 0,90	< 1,2	< 1,5
225	< 0,77	< 1,0	< 1,3	< 1,7
250	< 0,85	< 1,1	< 1,5	< 1,9
280	< 0,96	< 1,3	< 1,6	< 2,1
315	< 1,1	< 1,4	< 1,8	< 2,4
355	< 1,2	< 1,6	< 2,1	< 2,7
400	< 1,4	< 1,8	< 2,3	< 3,0
450	< 1,5	< 2,0	< 2,6	< 3,4
500	< 1,7	< 2,2	< 2,9	< 3,8
560	< 1,9	< 2,5	< 3,3	< 4,2
630	< 2,2	< 2,8	< 3,7	< 4,7
710		< 3,2	< 4,2	< 5,3
800		< 3,6	< 4,7	< 6,0
900		< 4,0	< 5,3	< 6,8
1000		< 4,5	< 5,9	< 7,5
1100			< 6,5	< 8,3
1200			< 7,0	< 9,0
1400			< 8,2	< 10,5
1600			< 9,4	< 12,0

Maksimumavstand [m] mellom omsluttende belastningslodd eller stive klammer for at beregningen skal være gyldig. Ved større avstander benyttes formel for fritt rør uten avstivningsringer. Se forrige avsnitt.

Ut fra tabellen kan man lese at disse beregningene ikke er relevante for loddbelastede sjøledninger før dimensjonene blir rimelig store - kanskje større enn 400 mm og ved høye SDR-verdier.

Eksempel:

En 630 mm PE 100 SDR 11 sjøledning på 50 meters dyp kan bli utsatt for trykksvingninger med trykk ned mot 0 mVs ved en uforutsett, brå endring av vannhastigheten. Avstanden mellom belastningsloddene er 2,0 meter. Ovalitet er 1 %.

Sjekk først at avstanden mellom betongloddene gjør formelen gyldig.

$$\frac{1,56 \cdot e}{(e/d_m)^{3/2}} \geq L > 4 \cdot \sqrt{\frac{e \cdot d_m}{2}}$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{1,56 \cdot 57,2}{(57,2/572,8)^{3/2}} \geq L > 4 \cdot \sqrt{\frac{57,2 \cdot 572,8}{2}} [\text{mm}]$$

$$\Downarrow$$

$$2,83 \text{ m} \geq L > 0,51 \text{ m}$$

$$\Downarrow$$

$$L = 2,0 \text{ m}$$

$$\Downarrow$$

Formelen er gyldig

Finn først kritisk undertrykk uten avstivningsringer:

$$P_{kr} = 2 \cdot \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \left(\frac{e}{d_m}\right)^3 \cdot k \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$= 2 \cdot \frac{1000 \text{ N/mm}^2}{1-0^2} \cdot \left(\frac{57,2 \text{ mm}}{572,8 \text{ mm}}\right)^3 \cdot 0,91$$

$$= 1,81 \text{ N/mm}^2 = 185 \text{ mVs}$$

Kritisk undertrykk med avstivningsringer:

$$P_{krL} = \frac{2,2 \cdot e \cdot \sqrt{E}}{L} \cdot \sqrt{P_{kr}} \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$= \frac{2,2 \cdot 57,2 \text{ mm} \cdot \sqrt{1000 \text{ N/mm}^2}}{2000 \text{ mm}} \cdot \sqrt{1,81 \text{ N/mm}^2}$$

$$= 2,68 \text{ N/mm}^2 = 273 \text{ mVs}$$

Ledningen ligger på 50 meters dybde og innvendig trykk er 0 mVs. Trykkforskjellen er altså 50 mVs som er mye mindre enn det kritiske undertrykket. Ledningen vil tåle en slik belastning med god margin.

Beregning av tillatt undertrykk for rør som ligger nedgravd i grøft

Beregning av det totale undertrykket røret blir utsatt for

Plastrør som ligger nedgravd i gode masser har vesentlig større motstandsevne mot kollaps enn et frittliggende rør på grunn av støtten fra massene i ledningssonen. I veldig løse masser kan man risikere at røret ikke har nevneverdig støtte og hvis ringstivheten er lav får ovalisering utvikle seg fritt. Størst betydning for størrelsen på det kritiske undertrykket har rørets ringstivhet og massenes støtteevne (sekantmodul).

Nedgravde rør vil, i tillegg til et eventuelt innvendig undertrykk, bli utsatt for et utvendig trykk fra jordmassene, grunnvann og/eller trafikk.

Vertikalt utvendig trykk på røret: $q = q_{\text{jord}} + q_{\text{vann}} + q_{\text{tr}}$ [kN/m²]

Vekt av jordmasser: $q_{\text{jord}} = \rho \cdot H$ [kN/m²]

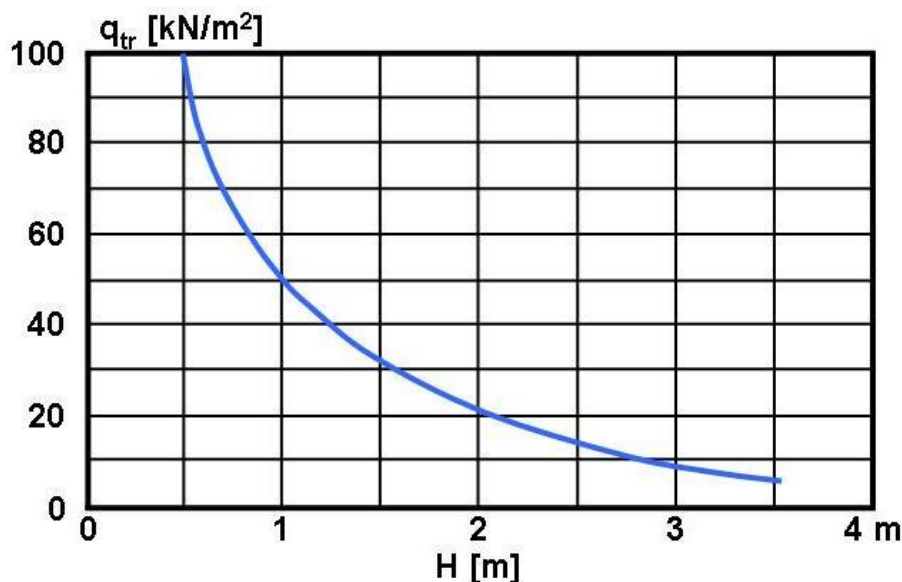
Vanndrykk: $q_{\text{vann}} = 10 \cdot H_{\text{vann}}$ [kN/m²]

ρ : Jordens densitet, normalt 18 - 20 kN/m³ over grunnvannstanden og 11 kN/m³ under grunnvannstanden.

H: Overdekningens høyde [m]

H_{vann} : Grunnvannstandens høyde over senter rør [m]

Trykk på grunn av trafikklast (q_{tr}) hentes ut fra diagrammet under. Hjultrykket er 75 kN ($\approx 7,5$ tonn) pluss en dynamisk effekt som er gitt en faktor 1,75. Statisk aksellast er da 15 tonn.



Figur 16: q_{tr} , vertikalt trykk som følge av trafikklast - Illustrasjon fra Lars-Eric Jansons bok.

Summen av undertrykk i røret og utvendig overtrykk på røret utgjør det totale undertrykket røret blir utsatt for.

Ringstivhet og undertrykk

Nedgravde rør som kollapser er en sjeldenhet i Norge. Årsaken til dette er at vi generelt har brukt rør med stor veggtykkelse i forhold til trykklassen - og dermed høy ringstivhet. De europeiske standardene tillater tynnere rør med lavere ringstivhet, når designkoeffisienten er lav, og da må vi være mer på vakt ved undertrykk.

Oftest skal man benytte de vanlige korttidsverdiene for ringstivhet fordi kollaps opptrer plutselig når røret har sidestøtte.

Langtidsverdier for ringstivhet på plastrør oppgis normalt ikke. Dette fordi ringstivheten på plastrør ikke reduseres, men heller øker noe over tid. På grunn av materialets oppførsel under lang tids belastning må en av og til benytte verdier i beregningene som er reduserte i samme forhold som mellom korttids- og krypmodul.

Rør lagt i gode masser (friksjonsmasser)

Formel for tillatt undertrykk i forbindelse med friksjonsmasser er:

$$P_{\text{till}} = \frac{5,63}{\beta} \cdot \sqrt{SN \cdot E'_t} \quad [\text{kN/m}^2]$$

β : Sikkerhetsfaktor

E'_t : Massenes tangentmodul, $E'_t = 2 \cdot E'_s$ [kN/m²]

E'_s : Massenes sekantmodul fra diagrammet under [kN/m²]

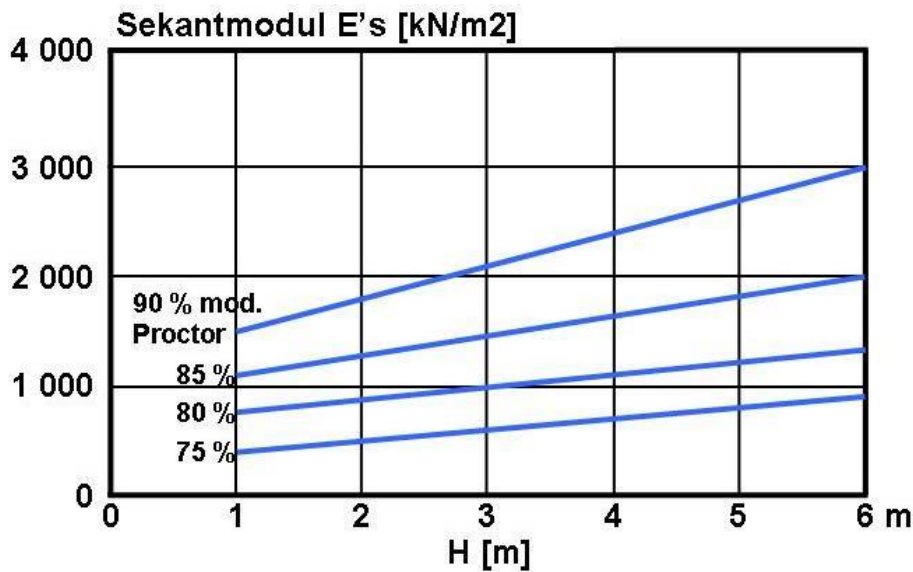
SN: Rørets ringstivhet [kN/m²]. Bruk oppgitt verdier for ringstivhetsklasser (f.eks. 8 kN/m² for de fleste avløpsrørsystemer), eller velg fra tabellen:

Rørklasse, SDR	41	33	26	21	17	13,6	11	9	7,4
PE 100	1,3	2,5	5,3	10,4	20,3	41,7	83,3	163	318
PVC		8,0		32,0		142			

Ringstivhet (SN) i kN/m² for ulike materialer og SDR-verdier

Jordmassenes sekantmodul beskriver støtteevnen massene i ledningssonen har mot røret. Sekantmodulen er avhengig av dybde og komprimeringsgrad og verdier for generelt gode masser tas ut fra figuren under. Tillatt undertrykk for rør lagt i masser som gir liten støtte omtales senere.

Massenes tangentmodul, som benyttes i beregningene, settes til to ganger massenes sekantmodul.



Sekantmodul hos friksjonsmasser avhengig av overdekningens høyde og komprimeringsgrad. Massenes tangentmodul settes til det doble av sekantmodulen. - Illustrasjon fra Lars-Eric Jansons bok

Rør lagt i dårlige masser

Formel for tillatt undertrykk i forbindelse med veldig løse masser er:

$$P_{\text{till}} = \frac{24 \cdot SN}{\beta} + \frac{2 \cdot E'_t}{3 \cdot \beta} \quad (\text{Gjelder for } SN > 0,0275 \cdot E'_t \text{eller } E'_t < 290 \text{ kPa for SN 8})$$

β : Sikkerhetsfaktor

SN: Rørets ringstivhet [kN/m²]

E'_t : Massenes tangentmodul, $E'_t = 2 \cdot E'_s$ [kN/m²]

E'_s : Massenes sekantmodul fra diagrammet over [kN/m²]

I dype grøfter eller når det er brukt myk leire eller silt i ledningssonen og røret har lav ringstivhet, kan det oppstå kryp i rørmaterialet og en ringstivhet relatert til krypmodulen bør benyttes i beregningene. I så fall kan ringstivheten til PE-rør reduseres til 1/5 av verdiene i tabellen over, for PP-rør til 1/4 og for PVC-rør til 1/3.

Rør i grunne grøfter med trafikklast (firkantede rør)

Ved grunne grøfter med trafikkbelastning og rør med lav ringstivhet kan røret bli mer eller mindre firkantet. For denne situasjonen gjelder følgende formel:

$$P_{\text{till}} = \frac{64 \cdot SN}{(1 + 3,5 \cdot (\delta/D))^3}$$

SN: = Rørets ringstivhet [kN/m²]

δ/D : = Relativ deformasjon []



Pipelife Norge AS er en del av Pipelife-konsernet, en av verdens ledende produsenter av plastrørssystemer. Pipelife er etablert i 24 land. Vårt mål er å være den ledende verdiskaperen i rørbransjen, og å øke folks livskvalitet gjennom å tilby verdifulle løsninger for beskyttelse og transport av vann og energi.

Hos Pipelife finner du som kunde det mest komplette sortimentet av rør til flere av samfunnets grunnleggende funksjoner: Vannforsyning, innendørs og utendørs avløp, drenering, kabelvern og el-installasjon. Kontakt oss så tidlig som mulig i prosjekteringsfasen, så hjelper vi deg med tekniske råd, materialvalg, logistikk og andre viktige faktorer som må på plass for at prosjektet skal bli så godt som mulig - for deg og brukerne!

Hovedkontor
Pipelife Norge AS
Hamnesvegen 97
6650 Surnadal
Telefon 71 65 88 00

Pipelife Norge AS
Postboks 74 Skjerkøya
3995 Stathelle
Telefon 71 65 88 00

Pipelife Norge AS
Flyplassvegen 16
2630 Ringebru
Telefon 71 65 88 00

Pipelife Norge AS
Brobekkveien 40
0582 Oslo
Telefon 71 65 88 00

Pipelife Norge AS
Tungavegen 30
7047 Trondheim
Telefon 71 65 88 00

Pipelife Norge AS
Nedre Nøttveit 62
5238 Rådal
Telefon 71 65 88 00

e-post:
firmapost@pipelife.com
ordre@pipelife.com
tilbud@pipelife.com

www.pipelife.no
facebook.com/PipelifeNorge



Pipelife Norges fabrikker i Surnadal, på Stathelle og på Ringebru

Brosjyre versjon: Mars 2026