



Norsk Vannforening. Legging av avløpsledninger i elver og vann

Materialer og dimensjonering

Tom A. Karlsen, COWI AS, VA-teknikk Fredrikstad

1

09 MAI 2016
NORSK VANNFORENING. LEGGING AV
AVLØPSLEDNINGER I ELVER OG BEKKER

COWI

Norsk Vannforening. Legging av avløpsledninger i elver og vann

Materialer og dimensjonering

Egenskaper:

- Fleksibilitet
- Strekkfaste skjøter
- Styrke
- Lang levetid
- Stor slitestyrke

Materialer:

- **Polyetylen (PE)** ($\approx 30 \cdot D$)
- Stål ($\approx 500 \cdot D$)
- GRP ($\approx 700 \cdot D$)
- Duktilt støpejern ($\approx 700 \cdot D$)



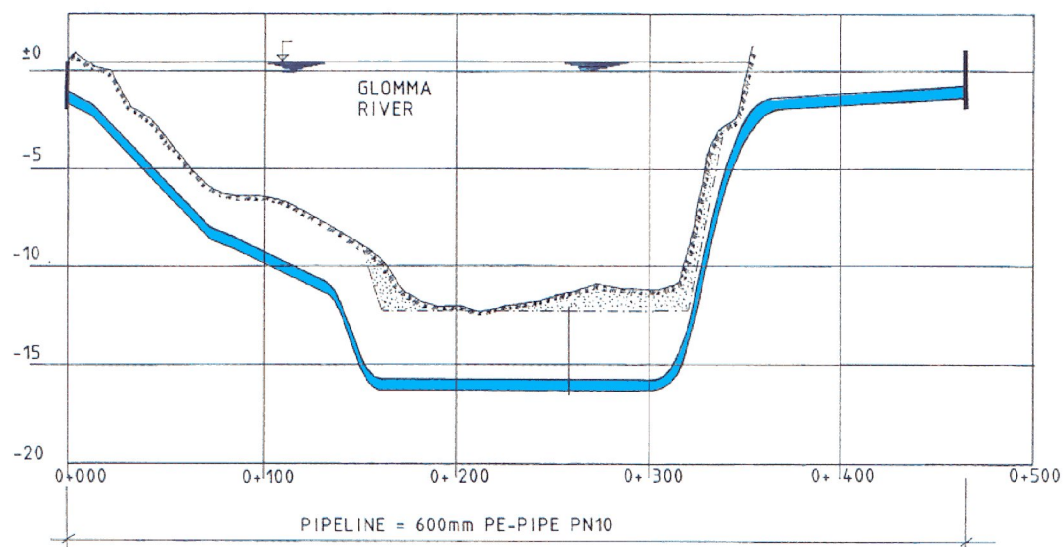
Materialer og dimensjonering

A black and white photograph showing a large, circular, fenced-in area, possibly a racetrack or a fairground. The area is enclosed by a dark, curved fence. Inside the circle, there is a dirt path and several people walking. In the background, there are houses, trees, and a church spire. The sky is hazy.

Norsk Vannforening. Legging av avløpsledninger i elver og vann

Materialer og dimensjonering

Prosjekteksempel pumpeledning avløp:



Norsk Vannforening. Legging av avløpsledninger i elver og vann

Materialer og dimensjonering

I grøft



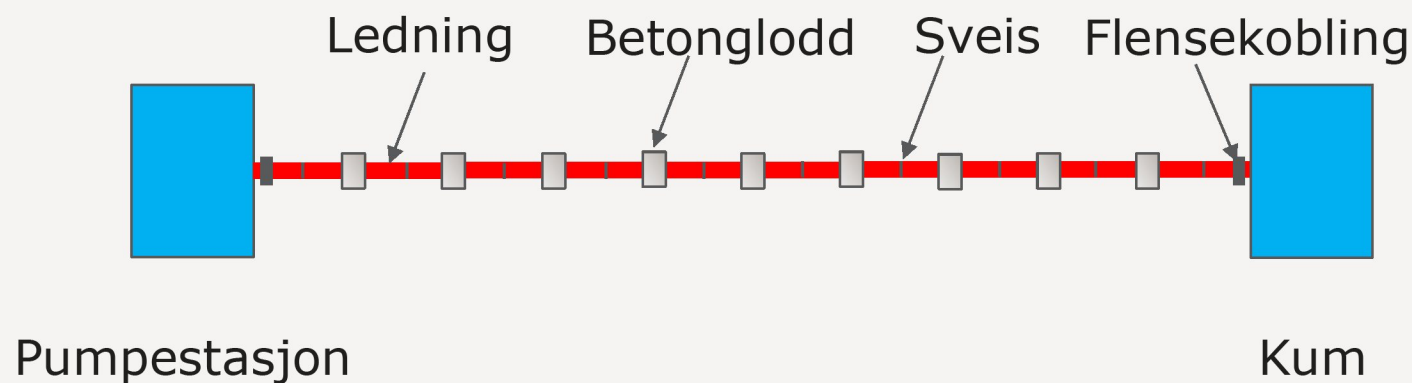
Direkte på sjøbunnen



Norsk Vannforening. Legging av avløpsledninger i elver og vann

Materialer og dimensjonering

En undervannsledning er en "systemleveranse" bestående av:



Kvalitet i alle ledd!

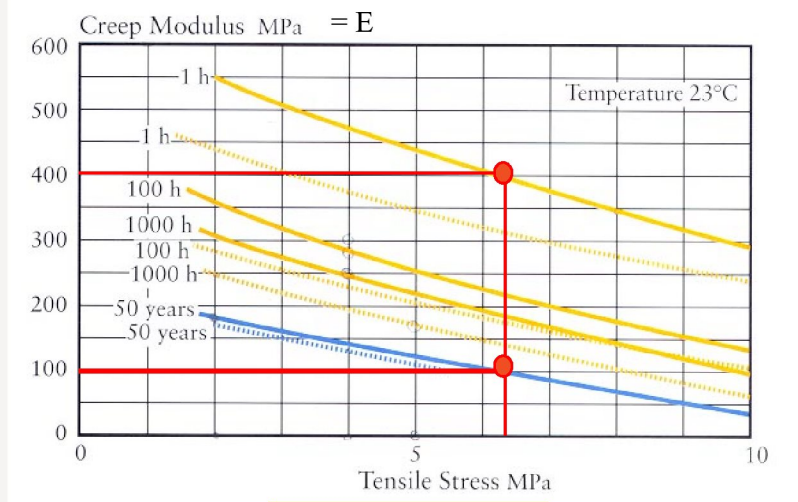
Materialer og dimensjonering

- › Valg av teknisk løsning avhenger av påkjenninger fra:
 - › Installasjonskrefter (senking, tiltrekningsmomenter i flensekoblinger)
 - › Interne krefter (trykk, temperatur)
 - › Eksterne krefter (jordtrykk, strøm, bølger, oppdrift, bøyning, temperatur, frost)
 - › Uønskede hendelser (ankring, graving, skred)

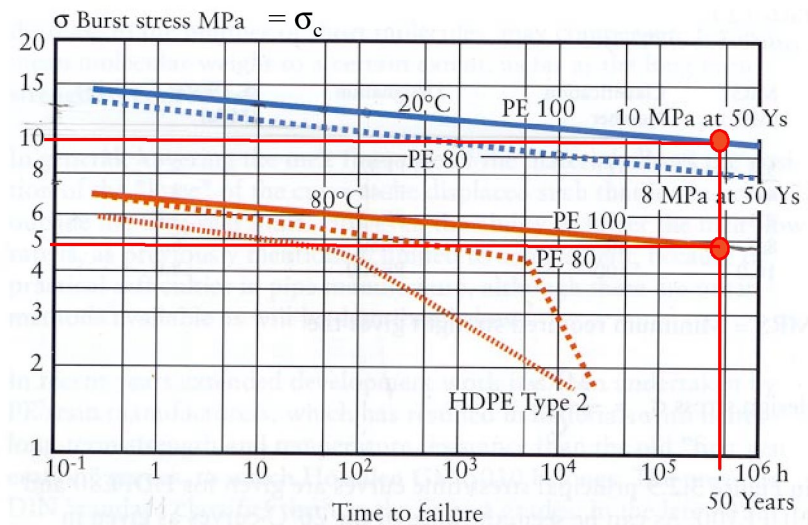
Kjenner man kraftbildet og materialegenskapene, vil man alltid kunne designe et sikkert anlegg med lang levetid.

Materialer og dimensjonering

> Materialelegenskaper



E-modul



Bruddspenning

Materialer og dimensjonering

Sikkerhetsfaktor:

> *Dimensjonerende spenning* = $\frac{\text{Bruddspenning}}{\text{Sikkerhetsfaktor}}$

NS-EN 122011 opererer med 2 valg for sikkerhetsfaktor

1,6

1,25

I Norge skal sikkerhetsfaktor = 1,6 benyttes.

Material	Design stress C = 1.6	Design stress C = 1.25
PE80	5.0 Mpa	6.4 Mpa
PE100	6.3 Mpa	8.0 Mpa

COWI

Materialer og dimensjonering

Materiallegenskaper:

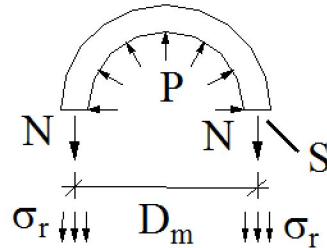
Property		Unit	PE80	PE100
Density		kg/m ³	950	960
Design stress 50years	$\sigma_{d,50}$	Mpa	5.0/6.4 *	8.0/6.3 *
Design stress at time zero	$\sigma_{d,0}$	Mpa	8.0/10.4 *	9.4/12.0 *
Modulus of elasticity at time zero	E_0	Mpa	800	1050
Modulus of elasticity after 50 years	E_{50}	Mpa	150	200
Poissons ratio	ν	-	0.4-0.5	0.4-0.5
Average coefficient of thermal expansion	α	°C ⁻¹	0.2 · 10 ⁻³	0.2 · 10 ⁻³

Materialer og dimensjonering

Innvendig trykk:

$$\Delta p = \frac{\Delta v \cdot c}{g}$$

Tillegg for trykkstøt

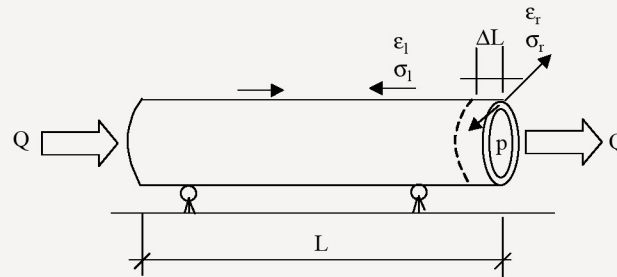


$$\sigma_r = \frac{p \cdot D_m}{2 \cdot S}$$

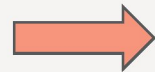
$$\sigma_r = \frac{p}{2} (SDR - 1) \quad \text{where } SDR = \frac{D}{s}$$

Materialer og dimensjonering

Tverrkontraksjonsspenning på grunn av innvendig trykk:



Fasthold rør:



$$\sigma_{lmax} = \frac{v \cdot p}{2} (SDR - 1)$$

Materialer og dimensjonering

Bukling av ledning som følge av undertrykk og jordoverdekning:



Frittliggende: $\longrightarrow p_{buc} = \frac{2 \cdot E}{1 - \nu^2} \cdot \frac{k}{(SDR - 1)^3}$

I grøft: $\longrightarrow p_{buc} = \frac{5.63}{F} \cdot \sqrt{S_R \cdot E_t^1} \cdot \alpha$

Norsk Vannforening. Legging av avløpsledninger i elver og vann

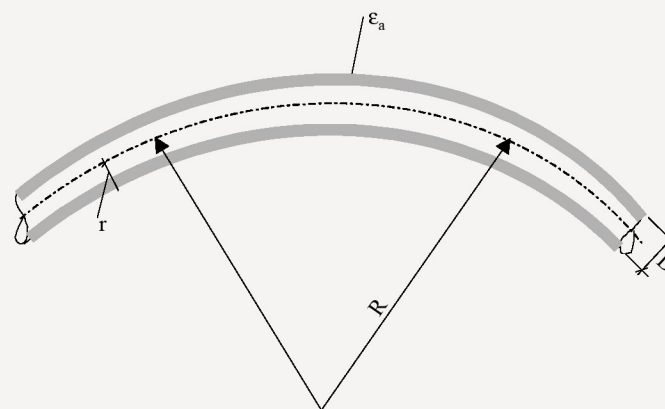
Materialer og dimensjonering

Temperaturspenninger:

$$\sigma_T = -E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Materialer og dimensjonering

Bøyespenninger:



$$\sigma_a = E \cdot \frac{D}{2 \cdot R}$$

Norsk Vannforening. Legging av avløpsledninger i elver og vann

Materialer og dimensjonering

- › Radiell bukling ved bøyning av røret i senkefasen:

$$a_{allowable, F=1.5} = \frac{R}{D} = 1.34 \cdot (SDR - 1)$$

SDR-class	Allowable bending	
	ratio $\frac{R}{D}$	F= 1.5
33	44	
26	34	
22	28	
17	21	
11	13	
9	11	

Materialer og dimensjonering

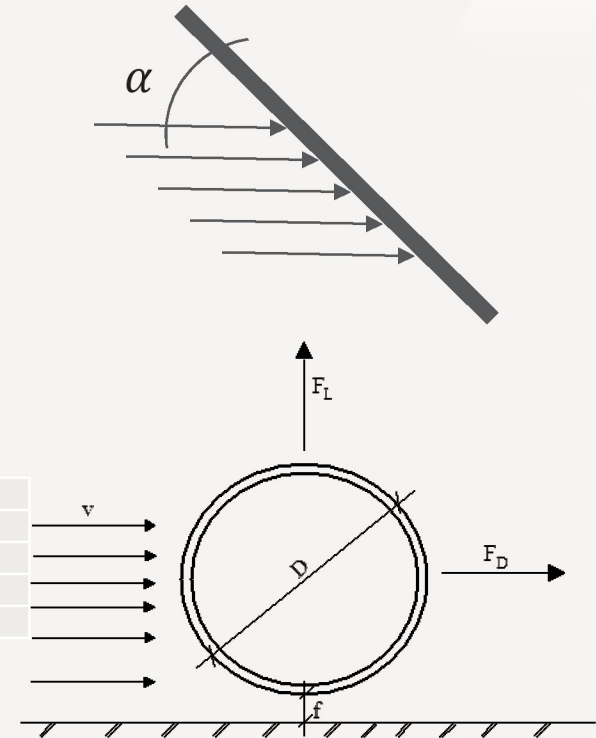
Strømkrefter:

$$f_D = C_D \cdot D \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \sin^2 \alpha$$

$$f_L = C_L \cdot D \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \sin^2 \alpha$$

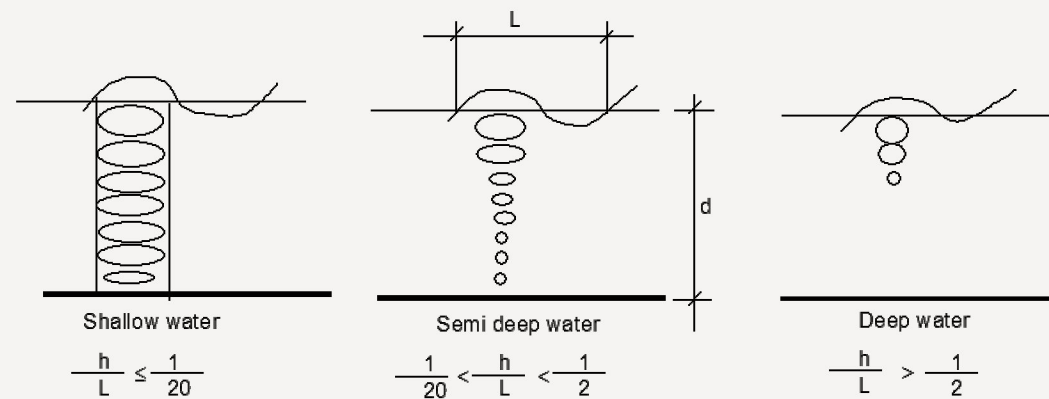
f	=	force pr. unit m pipe
C	=	coefficient
D	=	external diameter
ρ	=	density of surrounding water
v	=	speed of surrounding water vertical to the pipe axis

$$\sigma_{\max} = \frac{4 \cdot f \cdot l^2 \cdot D}{3 \cdot \pi \cdot (D^4 - d^4)}$$



Materialer og dimensjonering

Bølgekrefter:



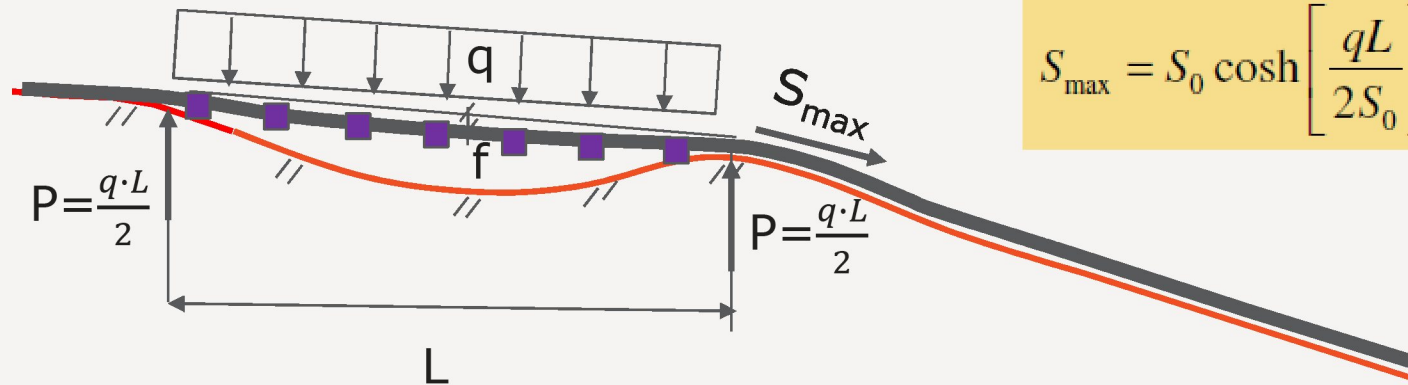
$$f_i = \pi \cdot C_i \cdot f \cdot \gamma \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{H_o}{L_o}$$

$$f_D = C_D \cdot f^2 \cdot \gamma \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{H_o}{L_o} \cdot \frac{H_o}{D}$$

$$f_L = C_L \cdot f^2 \cdot \gamma \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{H_o}{L_o} \cdot \frac{H_o}{D}$$

Materialer og dimensjonering

Svevende ledning:



$$\sigma_{bøy} = \frac{4 \cdot q \cdot L^2 \cdot D}{3 \cdot \pi \cdot (D^4 - d^4)}$$

$$\sigma_{strekk} = \frac{4 \cdot S_{\max}}{\pi \cdot (D^2 - d^2)}$$

Kjedelinje:

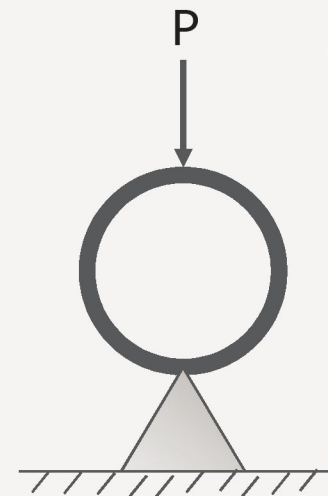
$$H = f = \frac{S_0}{q} \left[\cosh \left(\frac{qL}{2S_0} \right) - 1 \right]$$

$$S_{\max} = S_0 \cosh \left[\frac{qL}{2S_0} \right] = S_0 + qf$$

Materialer og dimensjonering

Punktlaster:

$$\sigma_{\text{con}} = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot s^2}$$



Materialer og dimensjonering

Senking av undervannsledningen:

$$p = a_a \cdot H$$

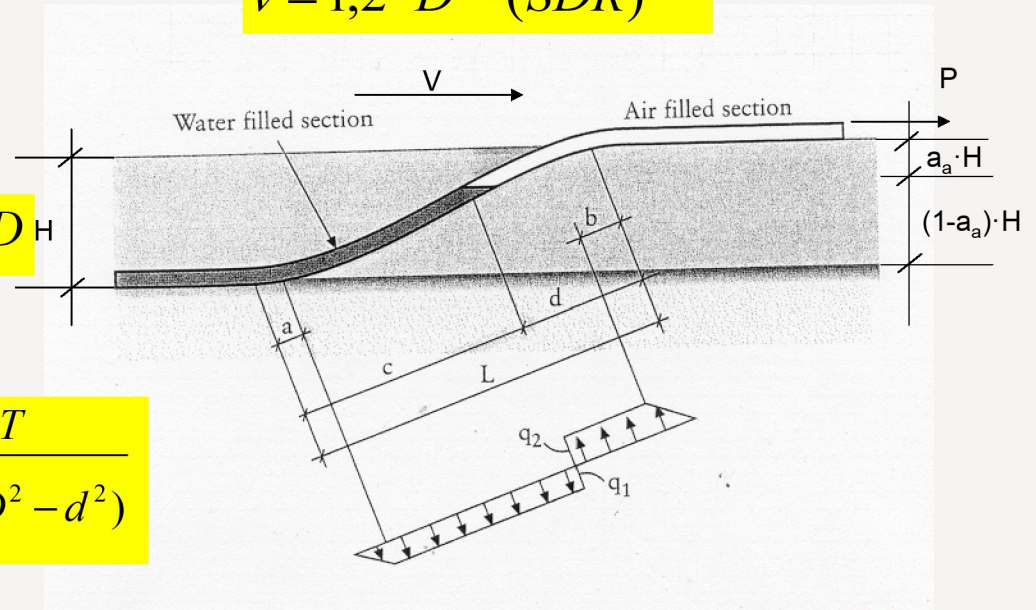
$$R_1 = \frac{P}{w_1} \quad R_{bukling} = 1.34 \cdot (SDR - 1) \cdot D_H$$

$$R_2 = \frac{P}{w_2}$$

$$T = P + w_1 \cdot h$$

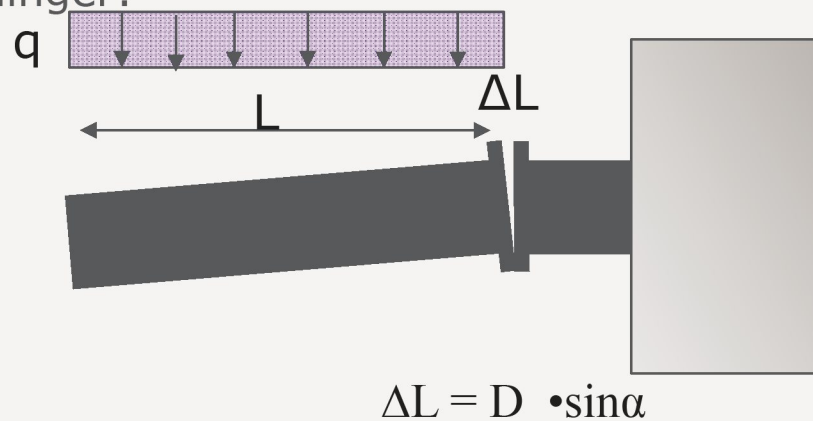
$$\sigma_{strek} = \frac{T}{\frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)}$$

$$v = 1,2 \cdot D^2 \cdot (SDR)^{-1/2}$$



Materialer og dimensjonering

Montasjespenninger:



$$\sigma_a = (\Delta L / L) \cdot E$$

$$\Delta L = D \cdot \sin \alpha$$

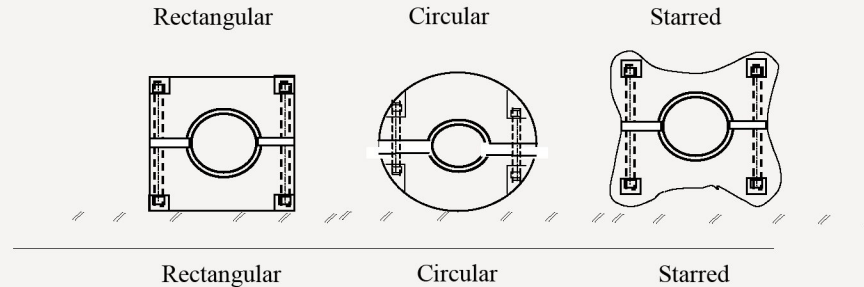
$$L \approx \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \pi \cdot E \cdot (D^4 - d^4) \cdot \alpha}{2 \cdot q}}$$

Materialer og dimensjonering

Stabilisering av ledningen på bunnen med betonglodd:

Belastningsgrad:

$$a_a = \frac{W_{cw} + W_{pipe w}}{\pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot \gamma_w} \cdot 100\%$$



Type	Friction coeff.
Rectangular	0.5
Circular	0.2
Starred	0.8

Materialer og dimensjonering

Sammenlikningspenning (von Mises kriterium):

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_{ringretning}^2 + \sigma_{lengderetning}^2 - \sigma_{ringretning} \cdot \sigma_{lengderetning}}$$

Den totale summerte spenningen fra beregningene sammenliknes med dimensjonerende spenning. Sikkerhetsfaktoren bør være minimum 1,6.

Materialer og dimensjonering

Stabilisering av ledningen på bunnen med betonglodd:

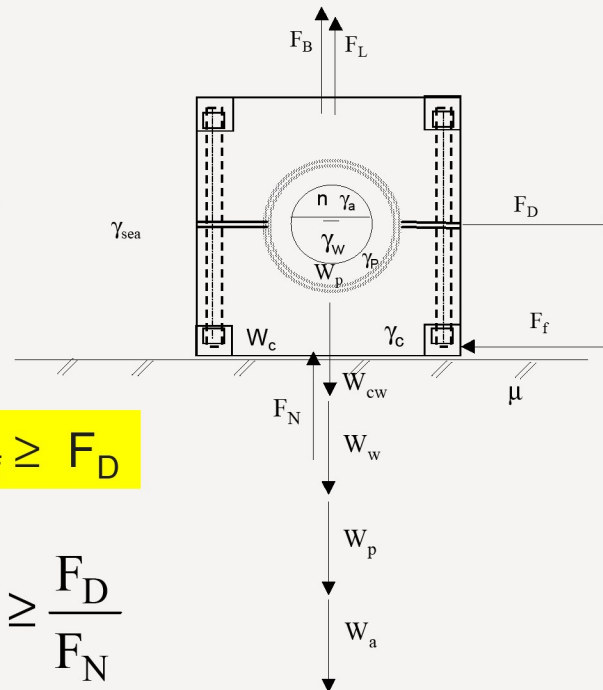
$$F_N = w_{cw} + w_w + w_p + w_a - F_B - F_L$$

- F_N = normal force against seabed
- w_{cw} = submerged weight pr.m pipe of concrete weights
- w_w = weight in water pr.m inside pipe
- w_p = weight of pipe pr.m in air
- w_a = weight of air/gas pr.m inside pipe
- F_B = buoyancy of pipe pr.m
- F_L = lift force

Likevektsbetingelse:

$$F_f \geq F_D$$

$$\mu \geq \frac{F_D}{F_N}$$



Materialer og dimensjonering

Vanlige belastningsgrader for undervannsledninger i Norge:

Type of pipeline	Type of transport/topography		
	Gravitation	Pumping	Big highpoints
Potable water	10 %	15 %	20 %
Sewerage water	25 %	30 %	50 %

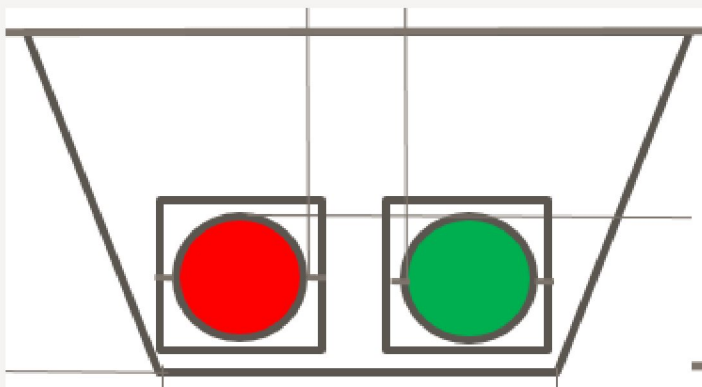
Tillegg i strømutsatte områder: 10 – 20 %

Tillegg i bølgeutsatte områder: 20 – 30 %

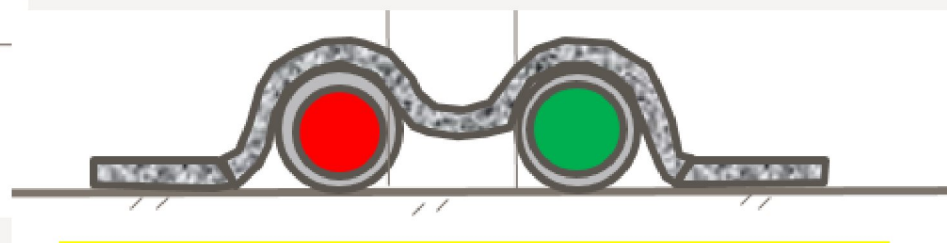
Norsk Vannforening. Legging av avløpsledninger i elver og vann

Materialer og dimensjonering

Dersom belastningsgraden blir større enn 100 %:



Nedgravd i grøft



Beskyttet med gabionmadrasser

Materialer og dimensjonering

Konklusjon:

- PE materialet er robust og meget godt egnet for bruk i undervannsledninger
- Vi kjenner alle typer krefter som påføres undervannsledningene
- Det finnes dimensjoneringsverktøy som kan benyttes for å sikre en levetid på mer enn 100 år for rørledningen
- Det er gode produkter og løsninger for å stabilisere ledningen på bunnen mot de opptredende kreftene
- Riktig dimensjonerte og installerte avløpsledninger kan legges i elver, innsjøer og i havet uten fare for at det skal oppstå lekkasjer

Norsk Vannforening. Legging av avløpsledninger i elver og vann

Materialer og dimensjonering

Undervanns-
ledninger gir
nye muligheter
både for
samfunnet og
for de som
lever der nede
på dypet!

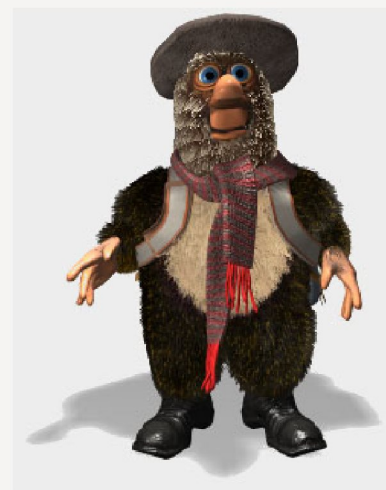


Norsk Vannforening. Legging av avløpsledninger i elver og vann

Materialer og dimensjonering

Det gjelder å tro på mulighetene!

Det årnær
sæ !



Det er fali
det !

Takk for oppmerksomheten!