

«Bare rør». Noen betraktninger om livet i det underjordiske.



«Verdens viktigste infrastruktur»



Tom A. Karlsen, COWI AS

Hvem bor der nede i mørket, hva «rører seg» og hvordan har de det? Kan vi gjøre forholdene bedre?

- Jord, stein og fjell
- Vann med kjemiske stoffer
- Luft
- Dyr
- **Rør**
- Forurensinger / kjemikalier / miljøgifter

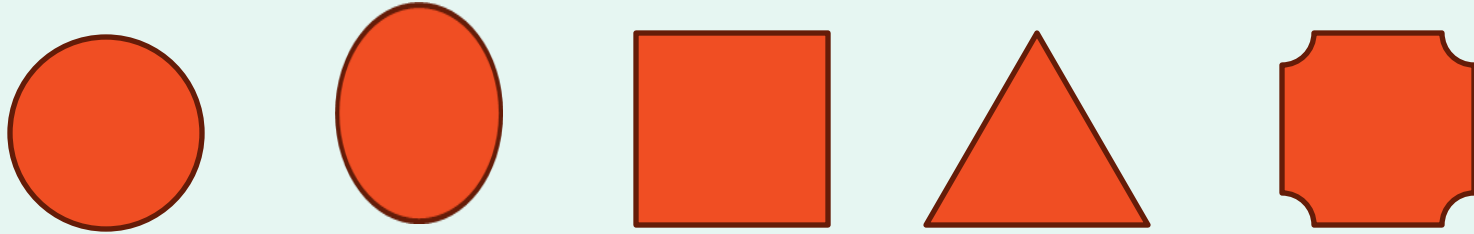


En av mange historier fra det underjordiske.

Forfatteren leser fortellingen: «Utfordringer i det underjordiske»

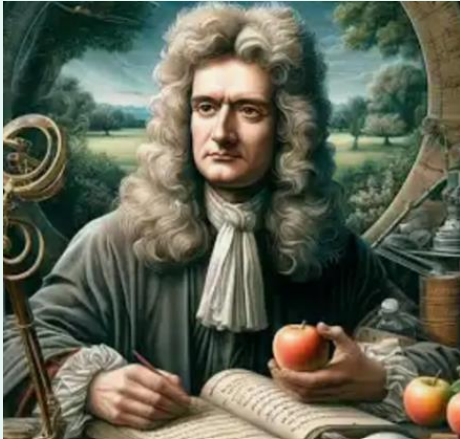


Hvorfor er røret sirkulært?

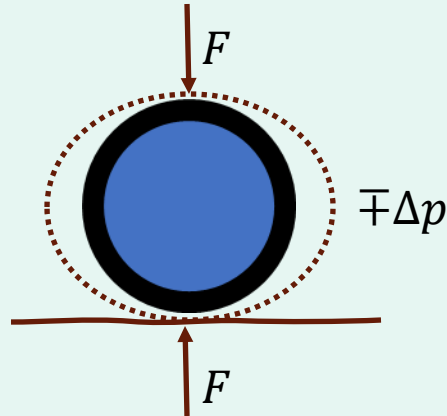


Den sirkulære geometriske formen gir minst mulig energiforbruk for å transportere en gitt vannmengde, samt minst mulig materialforbruk for å tåle et gitt innvendig trykk.

Det rører seg i det underjordiske?



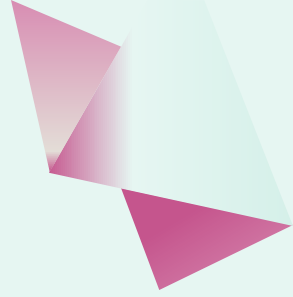
Isaac Newton
(1643-1727)



Robert Hook
(1635-1703)

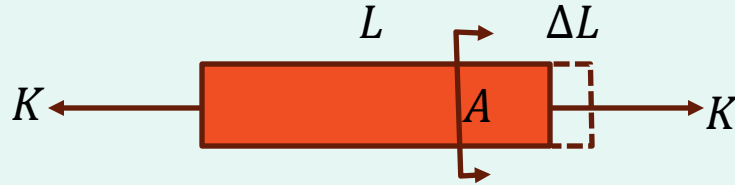
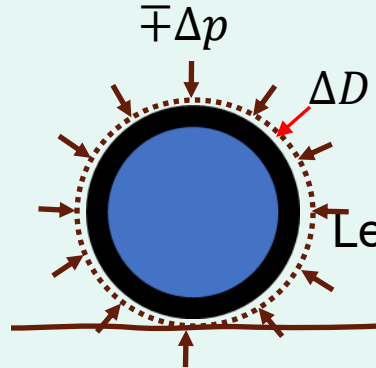
Newton og Hook ga oss nøklene til å forstå at det ikke er så stille «der nede» som mange tror.

Det rører seg i det underjordiske?



Aksjon = Reaksjon

Isaac Newton



$$\text{Tøyning} = \frac{\text{Spenning}}{\text{Motstand}} = \frac{\frac{\text{Kraft}}{\text{Areal}}}{\text{Motstand}}$$

$$\text{Lengdeendring} = \text{Tøyning} \cdot \text{opprinnelig lengde}$$

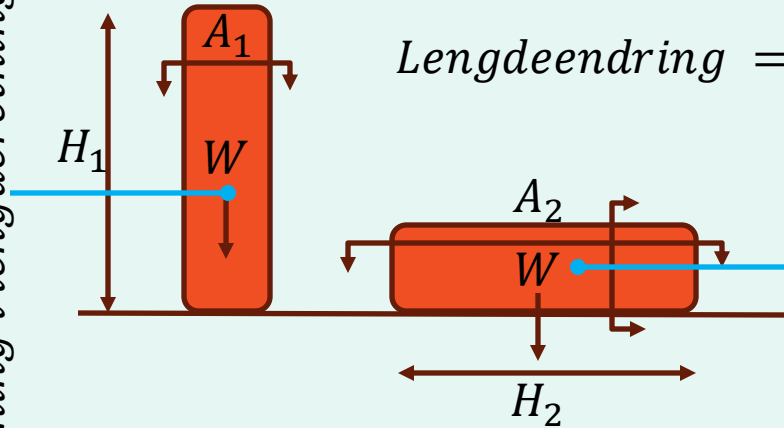
Robert Hook

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\sigma}{E}$$

Når en kraft påføres et rør, vil den alltid føre til en tøyning og en bevægelse i rørmaterialet og i jorden rundt røret.

Er jeg lengst når jeg står eller når jeg ligger?

Spenning i lengderetningen

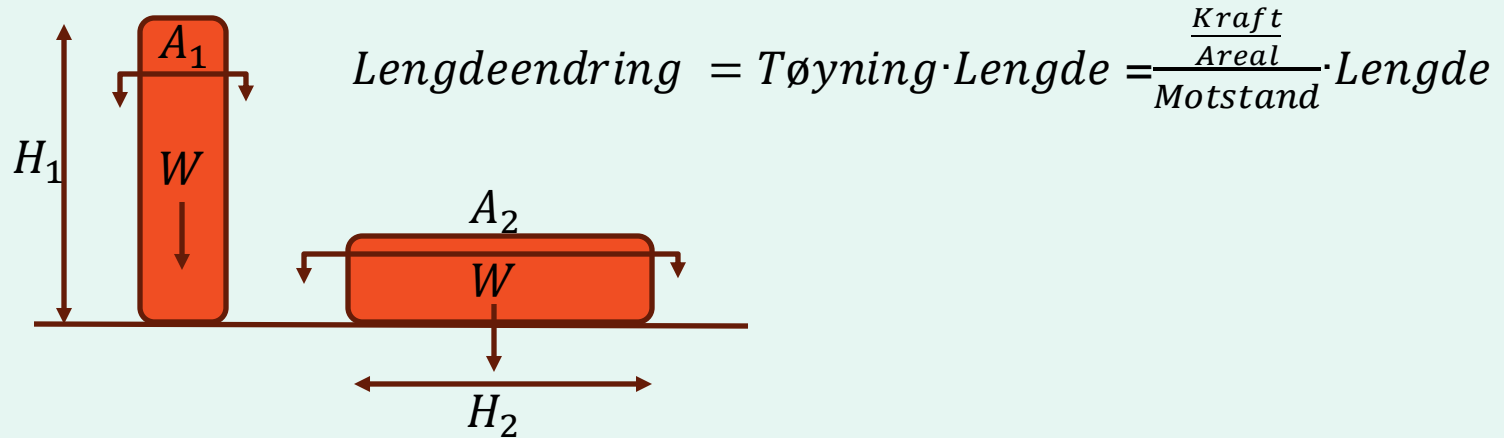


$$\text{Lengdeendring} = \text{Tøyning} \cdot \text{Lengde} = \frac{\frac{\text{Kraft}}{\text{Areal}}}{\text{Motstand}} \cdot \text{Lengde}$$

Spenning i tverretningen

$$\sigma_1 \approx \frac{W}{A_1} > \sigma_2 \approx \frac{W}{A_2}$$

Er jeg lengst når jeg står eller når jeg ligger?



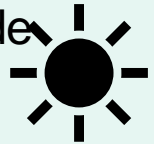
Jeg er lengst når jeg ligger, siden spenningen og tøyningen er minst i liggende tilstand. Det er kanskje årsaken til at vi sover liggende?



Hvorfor rører det seg i det underjordiske?



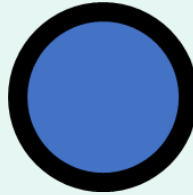
Det er stadig bevegelser som følge av eksterne og interne krefter som virker på rørene. Alle dager er forskjellige. Rørene må motstå varierende krefter gjennom livsløpet. Bevegelserne er både i rørets ringretning og lengderetning.



Hvilke røregenskaper bestemmer størrelsen på bevegelsen?

Et samspill mellom røret og jordens egenskaper.

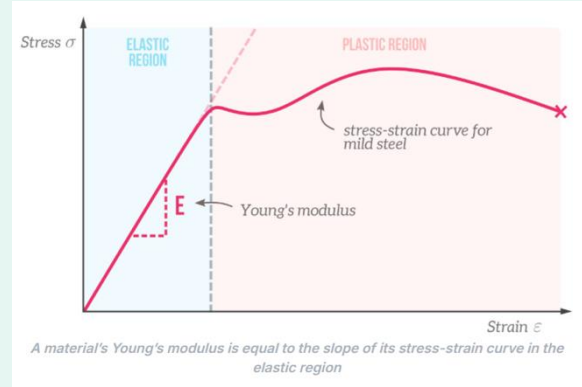
E-modulen til røret og dimensjonerende spenning



$$E_{Stål} \approx 400 \cdot E_{PE100}$$

$$\sigma_{Stål} \approx 40 \cdot \sigma_{PE100}$$

For samme kraftpåkjenning blir bevegelsen 10 ganger større i et PE100 rør enn bevegelsen i et stålrør.



Stål (\approx Dukt. Stj.)

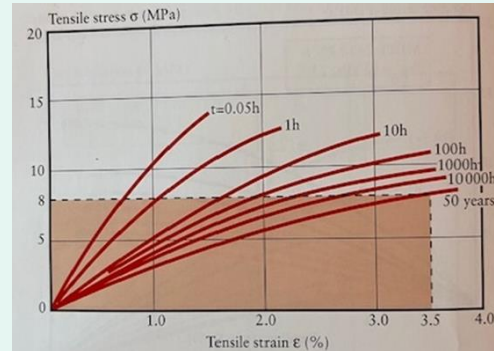
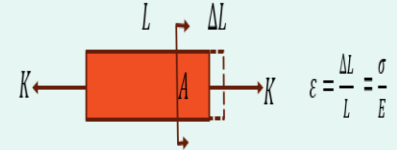


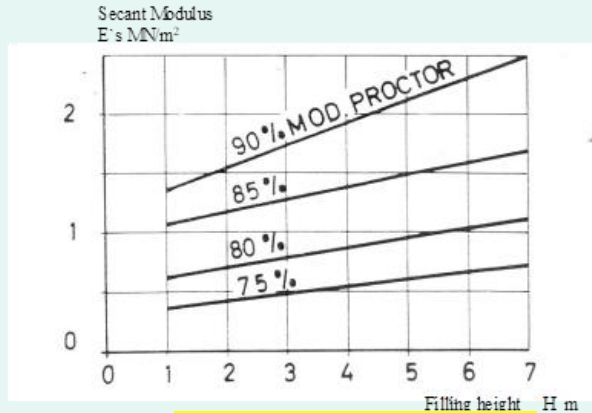
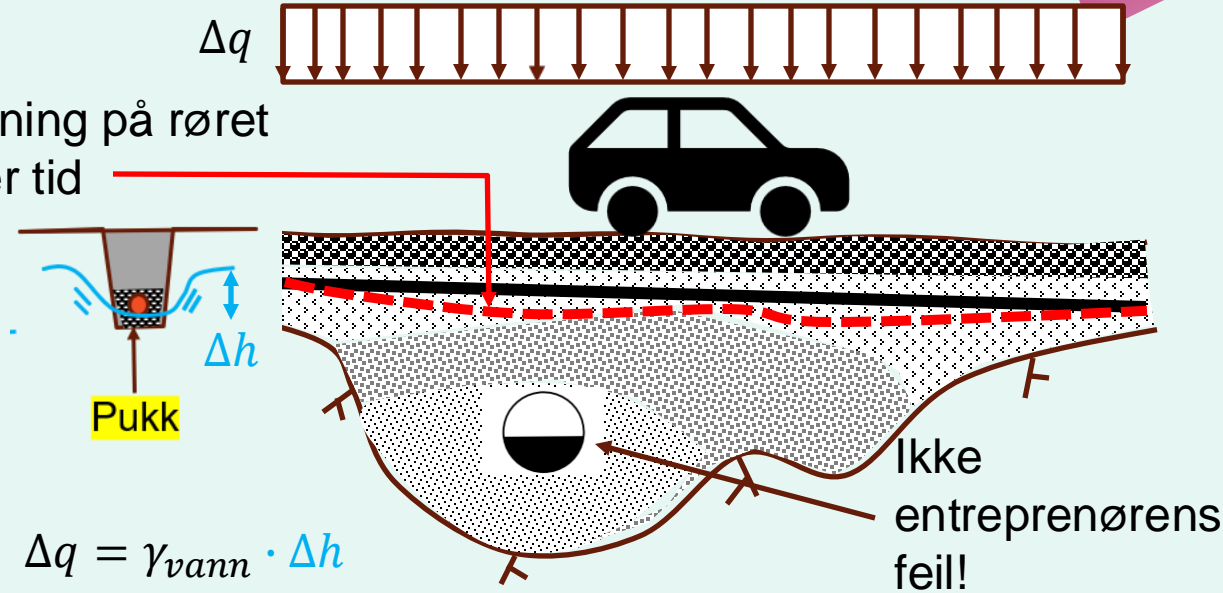
Figure 3.2.29 Stress/strain diagram based on creep test at 20°C on Ø315 m HDPE pipes, PE100, subjected to constant internal hydrostatic pressure.

PE100

Hvilken jordegenskaper bestemmer størrelsen på bevegelsen?

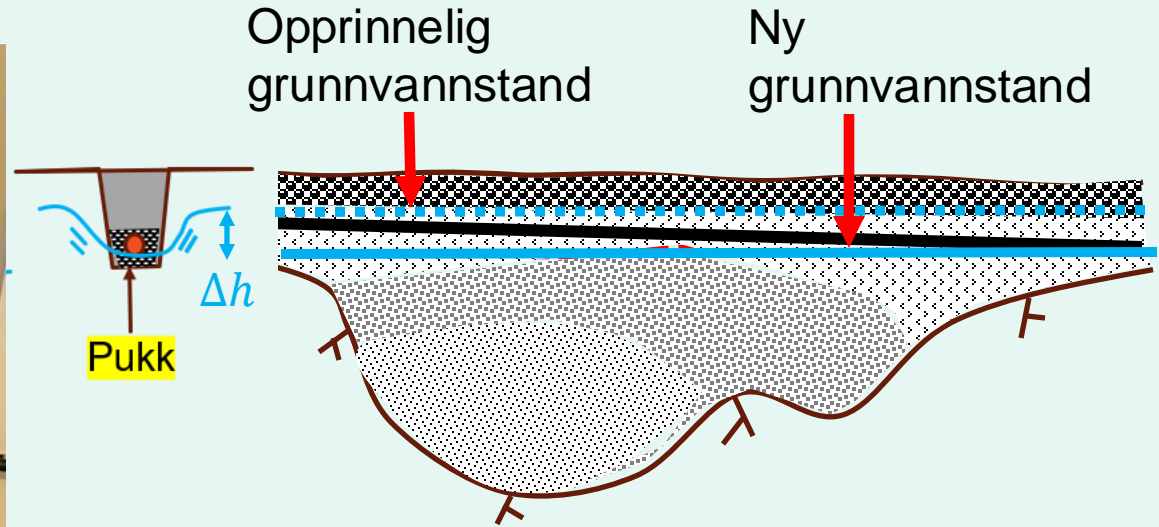
Jordens E-modul
og dybden til fjell
samt grunnvannets
beliggenhet

Setning på røret
over tid



Det oppstår en tilleggslast Δq på
røret og jordsøylen ned til fjell når
grunnvannet senkes

Grunnvannssenking som følge av nye drenerende VA-grøfter kan gi skade på bygninger?

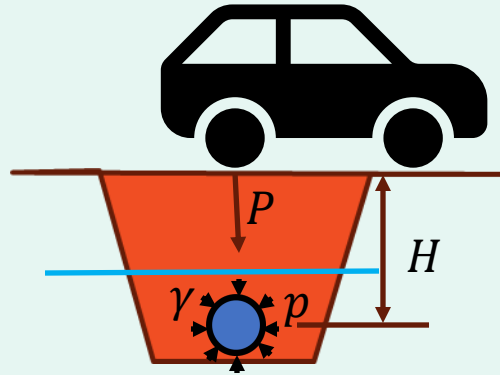


Da blir det mye rør!

På hvilket grøftedyp er det mest behagelig for et rør å ligge?

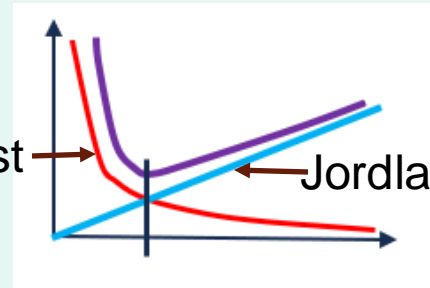


Joseph Valentin Boussinesq
(1842 – 1929)



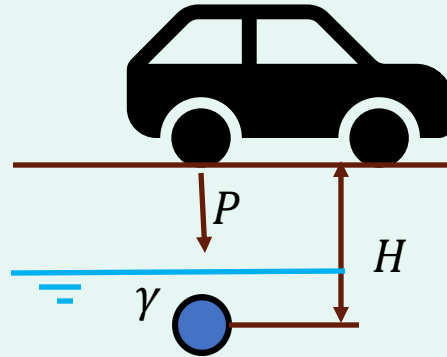
$$\text{Trafikklast (spenning)} = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot H^2}$$

$$\text{Jordlast (spenning)} = \gamma \cdot H$$



På hvilket grøftedyp er det mest behagelig for et rør å ligge?

Optimal overdekning på ledning utsatt for jordlast og trafikklast er **1,4 m** ved 10 tonns akseltrykk og egenvekt på gjenfyllingsmasser på 16 kN/m³.



$$\text{Trafikklast} = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot H^2}$$

$$\text{Jordlast} = \gamma \cdot H$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot P}{\pi \cdot (\gamma_j - a \cdot \gamma_w)}}$$

P = trafikklast (punktlast) kN

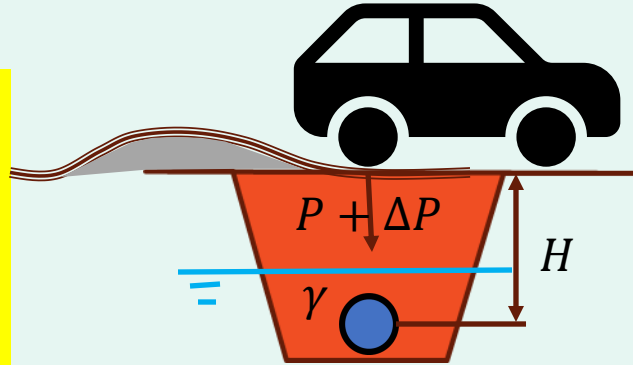
γ_j = jormassens egenvekt $\left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right)$

γ_w = vannets egenvekt $\left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right)$

a = grunnvannets andel av H **COWI**

På hvilket grøftedyp er det mest behagelig for et rør å ligge?

Med 70% støttlegg, som følge av fartsdump, blir **optimal overdekning 1,7m.**



$$\text{Trafikklast} = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot H^2}$$

$$\text{Jordlast} = \gamma \cdot H$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot P}{\pi \cdot (\gamma_j - a \cdot \gamma_w)}}$$

P = trafikklast (punktlast) kN

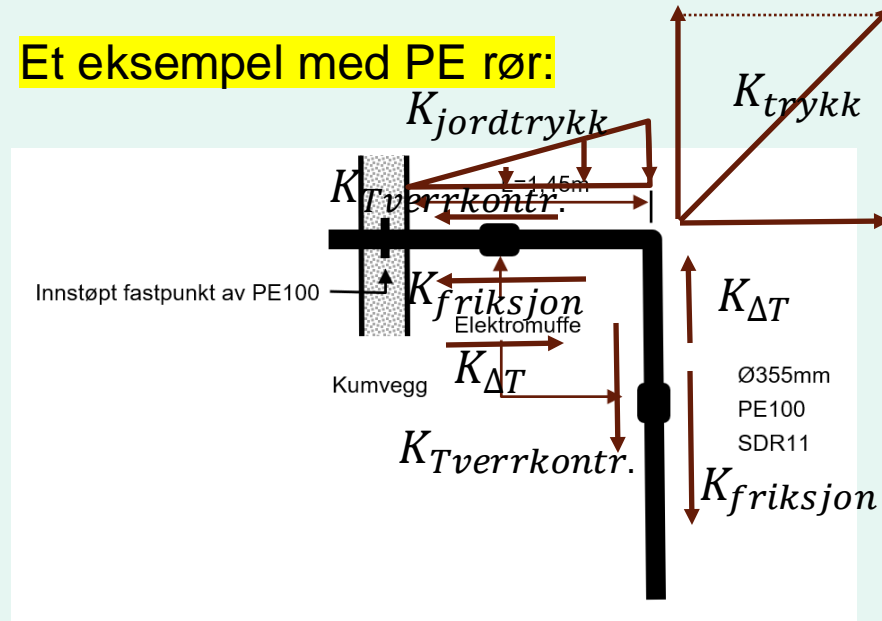
γ_j = jormassens egenvekt $\left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right)$

γ_w = vannets egenvekt $\left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right)$

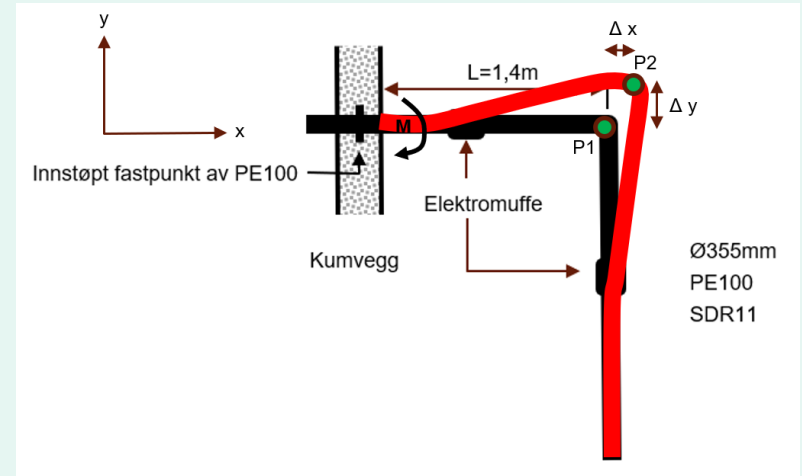
a = grunnvannets andel av H **COWI**

Det beveger seg mest der det er bend i ledningsnettet

Et eksempel med PE rør:



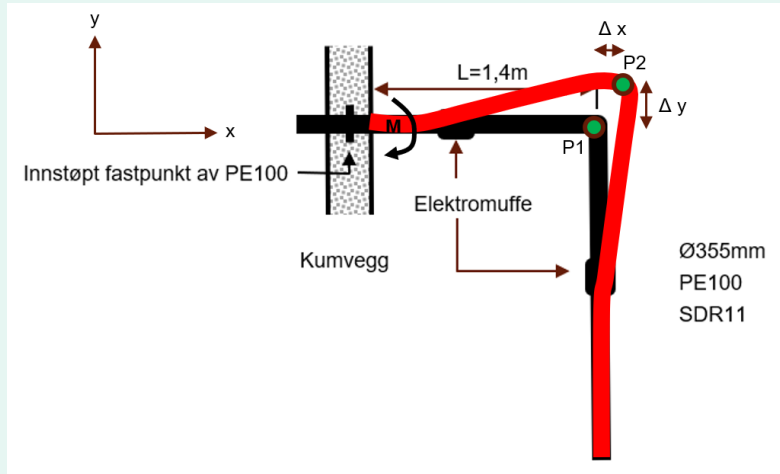
Situasjonsbeskrivelse



Med vanntrykk på 9 bar

Det beveger seg mest der det er bend i ledningsnettet

Et eksempel med PE rør:



$$\Delta y = 2\text{cm}$$

$$\Delta x = 1\text{cm}$$

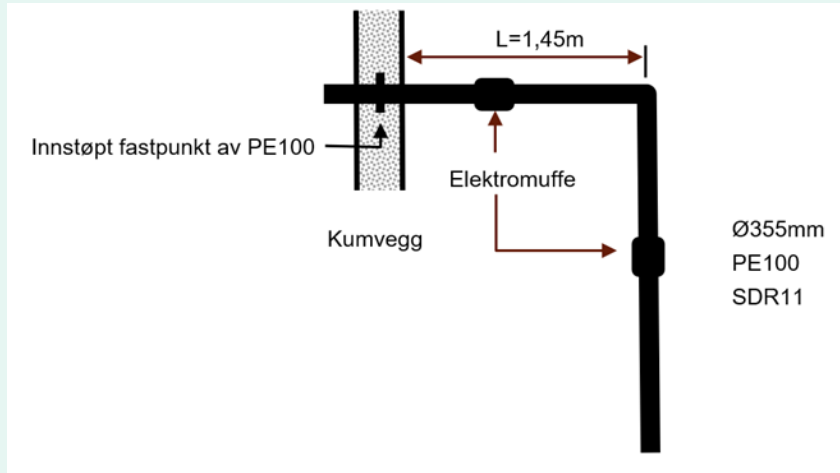
$$\sigma_{total} = 5,8\text{ Mpa}$$

$$\sigma_{vanntrykk} = 4,5\text{ Mpa}$$

30 % økning i spenningen i rørvæggen utover vanntrykkets bidrag.

Det beveger seg mest der det er bend i ledningsnettet

Konklusjon:

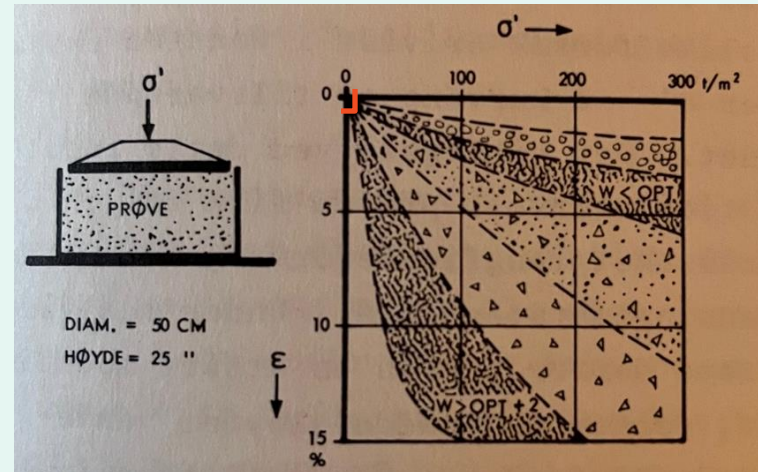
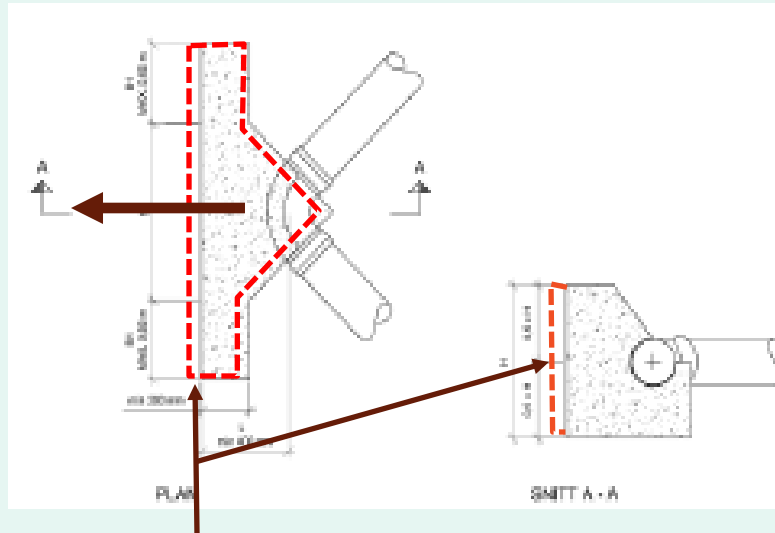


Ikke legg 90°bendet
nærmere kumveggen enn
10 x Diameter.

Det beveger seg mest der det er bend i ledningsnettet

Det er bevegelse også ved forankringsklosser for ikke strekkfaste rør:

Tøyningen i jorden vil ligge i området 0,5% til 1,5 % avhengig av massenes beskaffenhet og komprimeringsgrad.

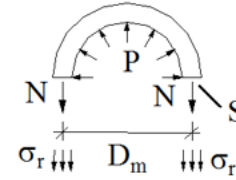


Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?

- Innvendig trykk

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

Tillegg for trykkstøt



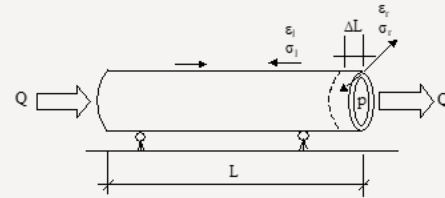
$$\sigma_r = \frac{p \cdot D_m}{2 \cdot S}$$

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

Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?

- Tverrkontraksjon

Tverrkontraksjonspenning på grunn av innvendig trykk:



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

Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?

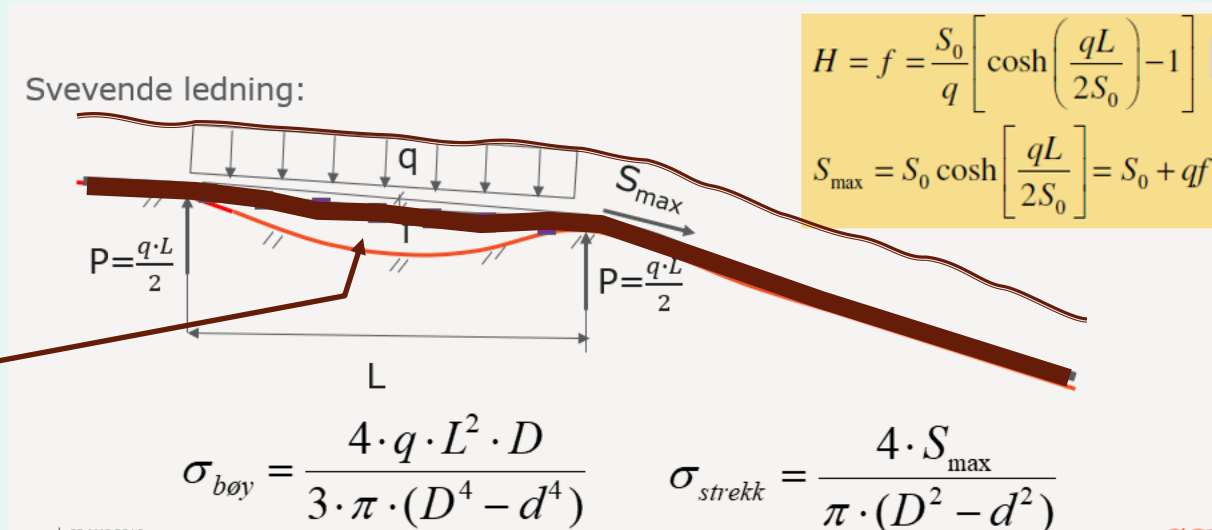
- Temperaturkrefter

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



Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?

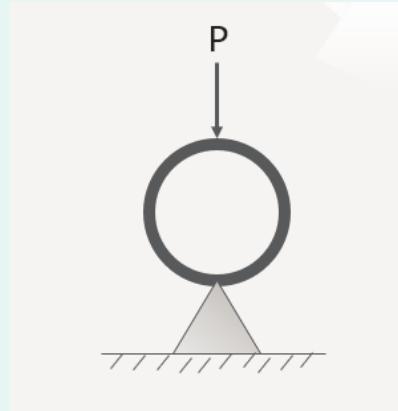
- «Svevende ledning»



Sviktende
fundamentering

Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?

- Punktlast

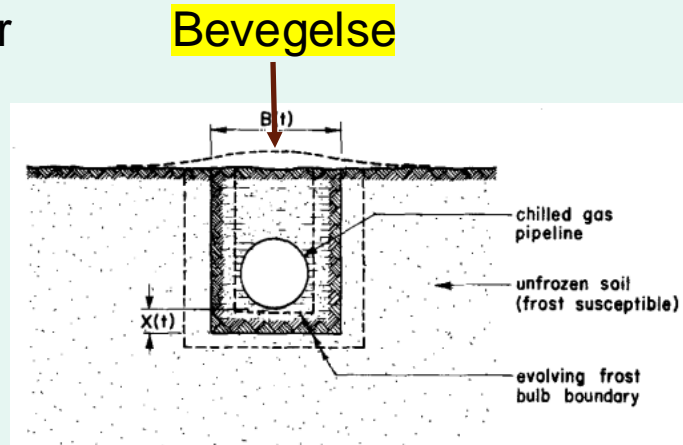


$$\sigma_P \approx \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot s^2}$$

s= godstykkelsen

Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?

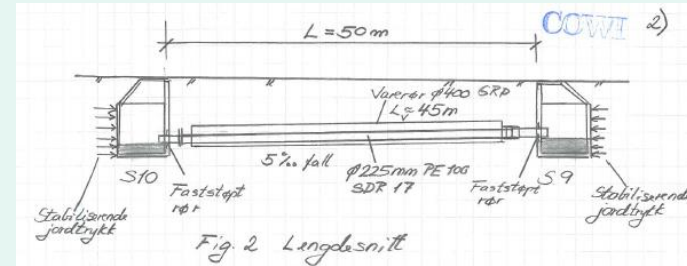
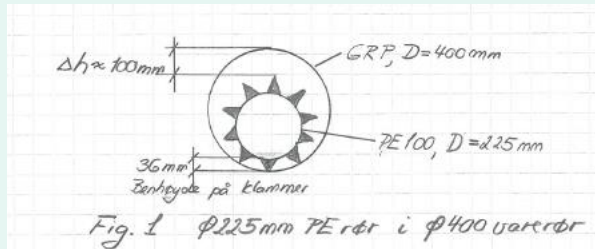
- Frostkrefter



Teledannelse i massene kan øke belastningen på rørene 3 til 4 ganger sammenliknet med jordtrykk fra normal overdekning.

Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?

- Oppdriftskrefter

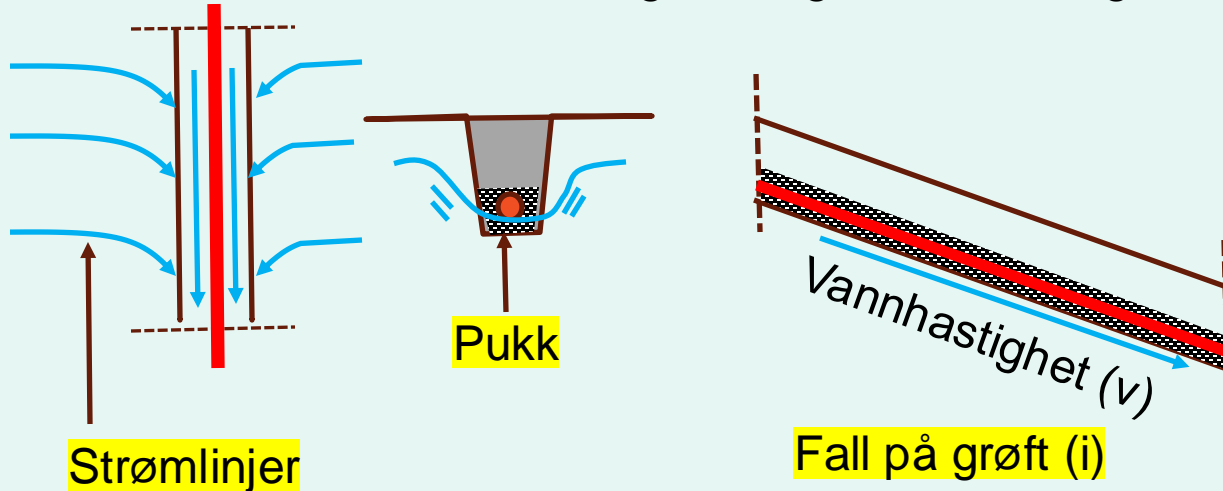


Oppdrift sammen med temperaturøkning ga 60mm heving på 50 m lang avløpsledning i varerør.

Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?

- «Erosjonskrefter»

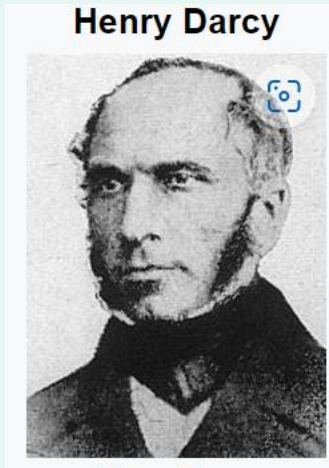
Grøfta blir et drens spor for grunnvann.
Jordpartikler kan eroderes inn fra
siden av grøfta og i bunnen av grøfta.



Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?

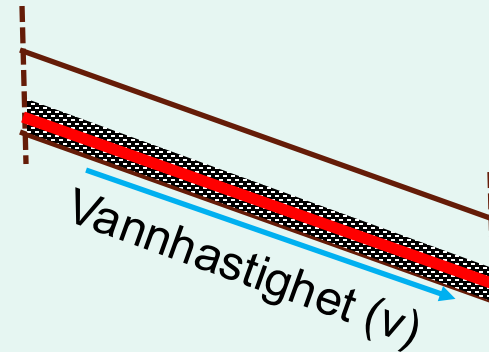
- «Erosjonskrefter»

Grøfta blir et drens spor for grunnvann



$$v = k \cdot i$$

$k = \text{permeabilitet}$
 $i \approx \text{fall på grøfta}$



Fall på grøft (i)

1803-1858

Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?

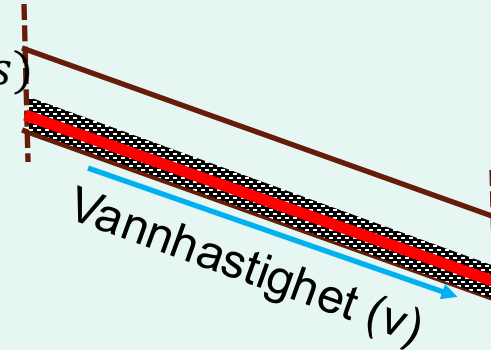
- «Erosjonskrefter»

Grøfta blir et drens spor for grunnvann

Fall (‰)	Hastighet (cm/s)
10 ‰	1
100 ‰	10
250 ‰	25

$$v = 100 \cdot i \text{ (cm/s)}$$

Permeabilitet
for pukk



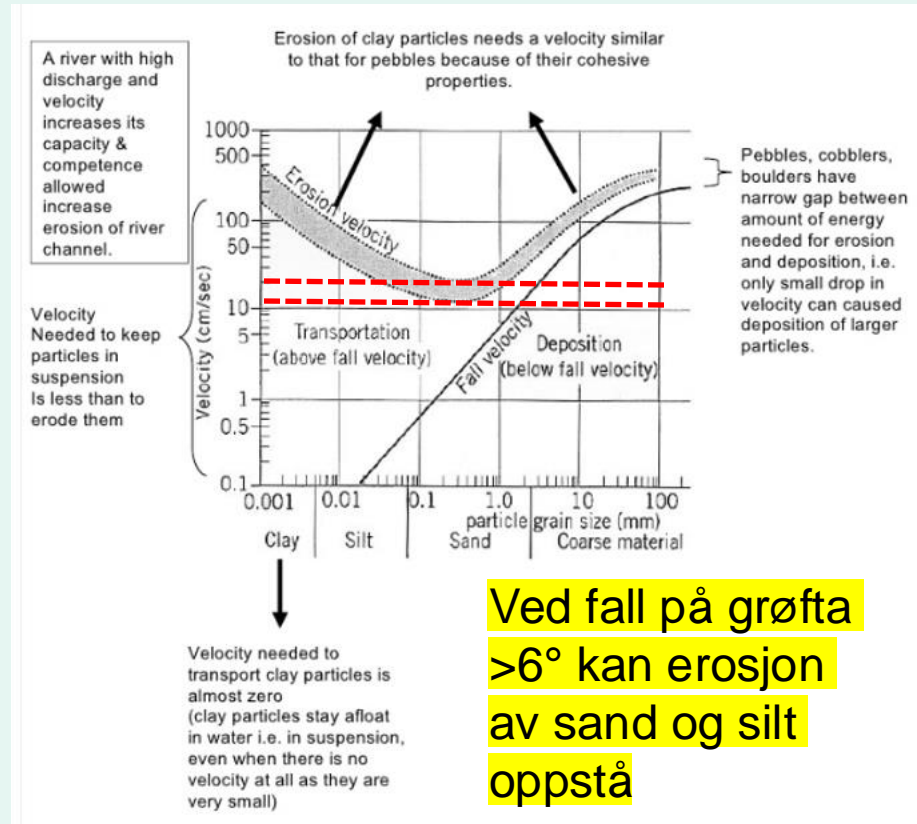
Fall på grøft (i)

Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?

- «Erosjonskrefter»

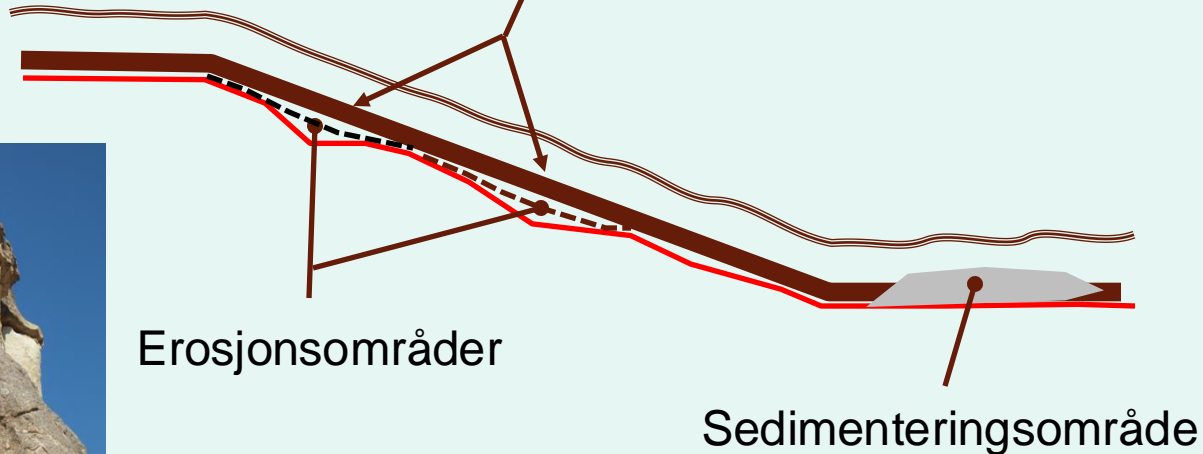


Filip Hjulström
(1902-1982)

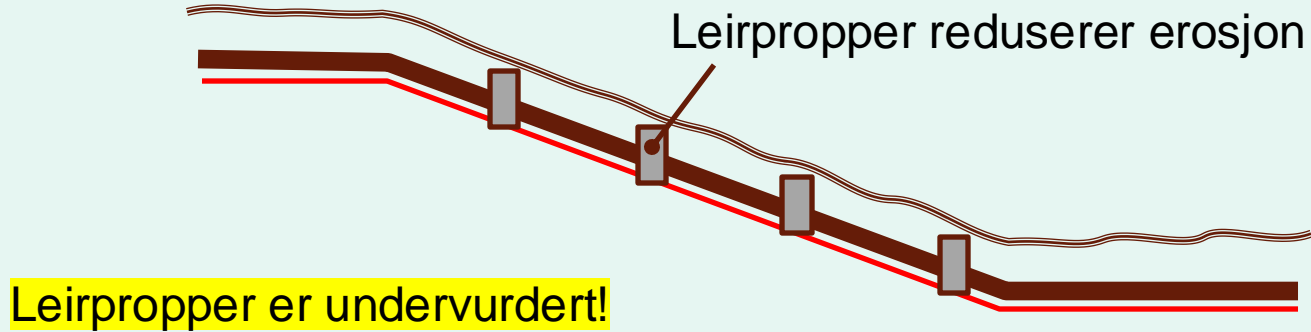


Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?

Bevegelse i rørene som følge av manglende understøttelse.
Punktlaster kan også oppstå ved større stein i grunnen.



Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?



Hvorfor fokusere på bevegelserne i grunnen?

Det er variasjonene i kreftene over tid med tilhørende bevegelser som kan skape utfordringer for rørene og deres levetid.

Årsak

- Trykkrefter
- Tverrkontraksjonskrefter
- Trafikkrefter
- Jordkrefter
- Temperaturkrefter
- Frostkrefter
- Bjelkelaster
- Punktlaster
- Oppdriftskrefter
- «Erosjonskrefter»

Virkning

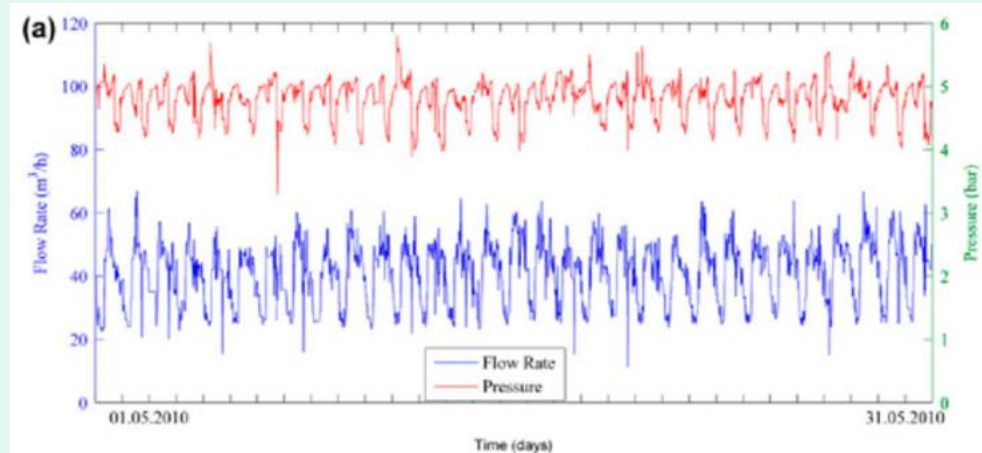


«Tidens tann»

«Mange
bekker små» **COWI**

Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?

Det er variasjonene i kreftene og bevegelsene som skaper «slitasje» og uforutsette «tilleggsbelastninger».



Eksempel på trykkvariasjoner

Andre krefter som skaper bevegelse i det underjordiske?

En vei med ÅDT på
5000 gir 182,5
millioner lastendringer
på røret i løpet av en
levetid på 100 år.



Hvilket omfang kan bevegelsene utgjøre og hvilke rørelementer er mest utsatt?

Det er rimelig å anta at rør i veier vil kunne være utsatt for mer enn 200 millioner lastendringer og bevegelser i løpet av sin levetid på 100 år.



- Trykkrefter
- Tverrkontraksjonskrefter
- Trafikkrefter
- Temperaturkrefter
- Frostkrefter
- Bjelkelaster
- Punktlaster
- Oppdriftskrefter
- «Erosjonskrefter»

Rördeler og skjøter er mest utsatt.

Hva skal vi lære av dette?

Rørets levetid vil være påvirket av:

- Krefter som virker på røret
- Aldring av materialene inkl. utmatting og korrosjon
- Bevegelser i røret

- Rørene rører på seg nede i jorden
- Kreftene og bevegelsene forsøker å bryte ned «rørkonstruksjonen»
- Grunnvannets bevegelser kan gi betydelige utfordringer
- Legg alltid inn ekstra sikkerhet i valg av trykkklasse / styrkeklasse i forhold til dimensjonerende vanntrykk
- Bruk forsterkede løsninger på rørdeler
- Husk leirpropper
- Grunnkurs i rørstatikk, geoteknikk og hydrogeologi bør bli en del av VA-utdannelsen

Til slutt vil jeg si litt om fuglekasser og insektshotell?



På Hallingtreff er det korn på neket?



Dette var «bare rør». Nå er det tid for å høste kunnskap!

Takk for oppmerksomheten og lykke til med Hallingtreff 2025!