

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Tom A. Karlsen  
COWI AS



# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Konsekvenser av EU's nye avløpsdirektiv med hensyn på lange pumpeledninger:

- Strengere krav til rensing av avløpsvann på alle nivåer (minst ett trinn opp kvalitetsmessig) → Fører til lange **pumpeledninger** for avløpsvann
- Strengere kontroll på avløpsstrømmene (krav til maksimal mengde i overløp) → Fører til krav til utforming av **pumpestasjoner**, instrumentering, måling, styring og driftssikkerhet

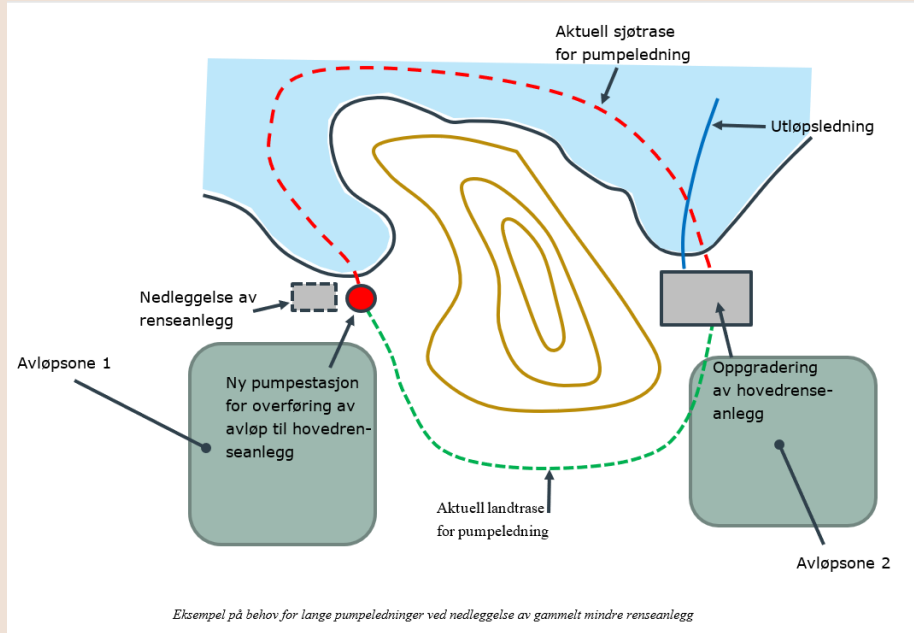
# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Norsk Vann i forkant av  
utviklingen i 2022



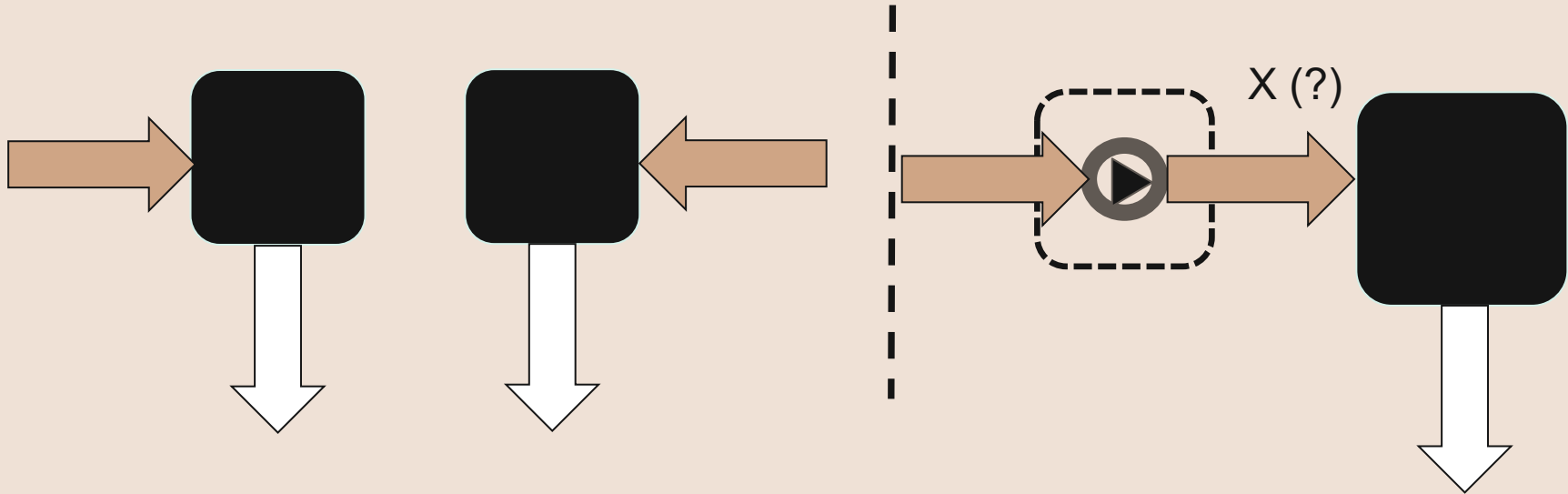
# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

## Aktuell situasjonsbeskrivelse

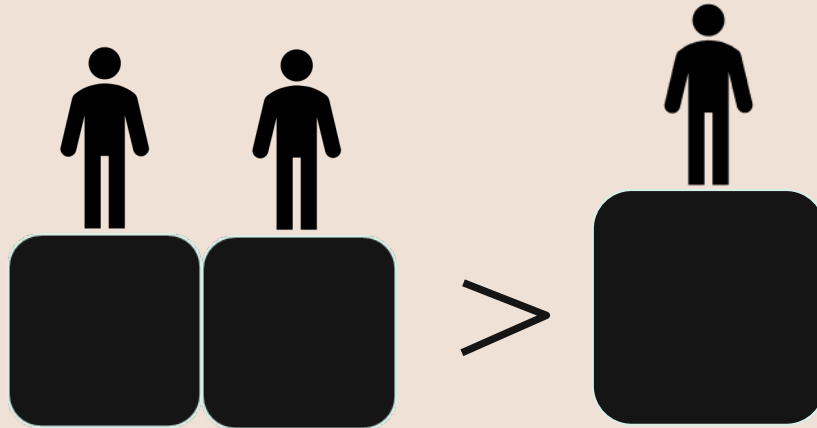


# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

- Litt logisk tenking rundt spørsmålet: Skal man bygge ett eller to renseanlegg?



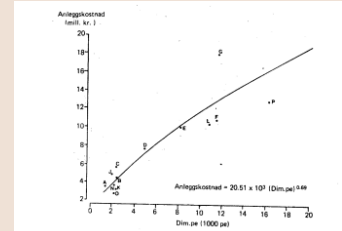
# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.



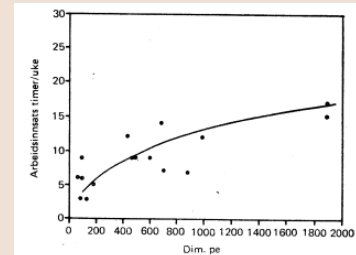
Investering

Drift

Det blir alltid noen penger til overs til å lage pumpestasjon og pumpeledning!



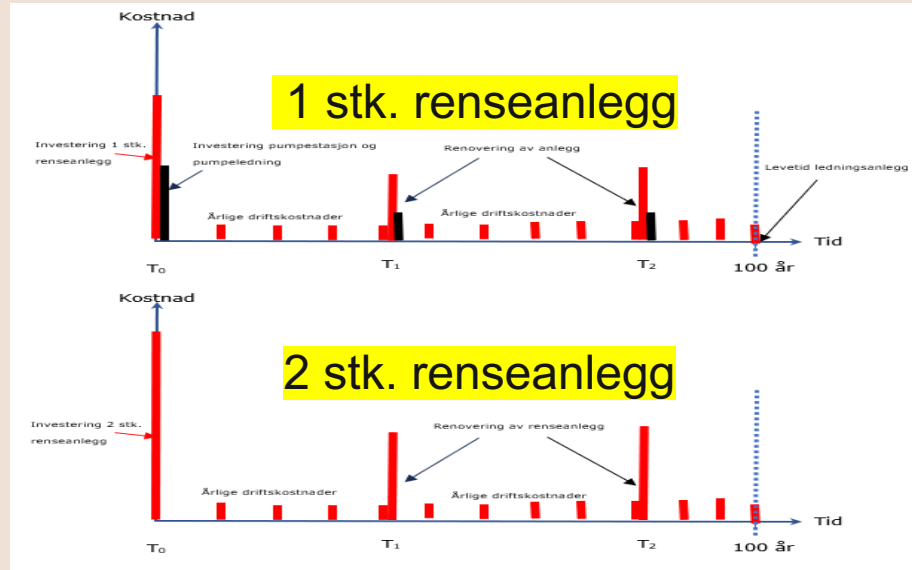
Figur 10.  
Anleggskostnader for sekundærfellingsanlegg med slamavvanning.



Figur 6.  
Bemanning for simultanfellingsanlegg uten slamavvanning.

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Økonomisk  
sammenlikning av  
alternativer



Nåverdianalyser er  
eneste metoden  
som gir et objektivt  
mål for hvilket  
alternativ som er  
økonomisk  
gunstigst!

Tidsplasserte kostnader for investeringer og drift

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

- Ved lav realrente blir driftskostnadene mer dominerende i totalregnskapet!

$$K_{N\grave{a}verdi} = \frac{K}{1,0r^T}$$

$r$  = realrente

← (lånerente – inflasjon)

Først når man har beregnet nåverdien av investeringer og drift for alternativene med ett eller to renseanlegg, kan man finne hvor lang overføringsledningen ( $x$ ) kan være for at det skal bli økonomisk likevekt mellom alternativene. Er den virkelige avstanden mellom anleggene mindre enn «likekostavstanden», vil det lønne seg å bygge ett avløpsrenseanlegg!



# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

I Fredrikstad og Sarpsborg er  $x_{\text{Likekost}} > 17 \text{ km}$ , men det blir 2 avløpsrensaneanlegg likevel



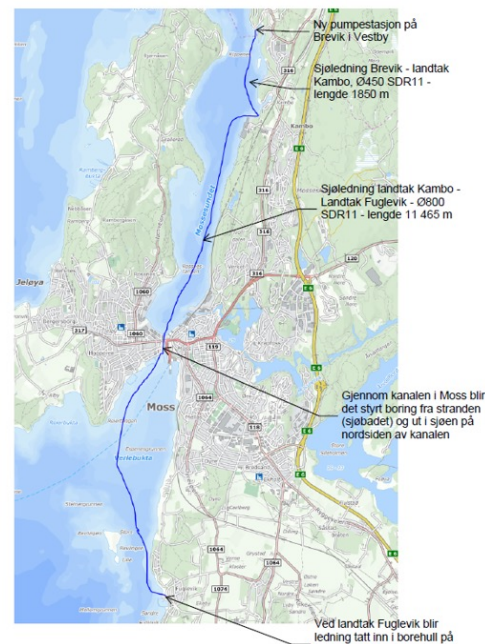
Burde ikke statsforvalteren tvunget kommunene til å samarbeide?



# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Men «naboen» MOVAR har forstått innbyggernes beste! De legger ned Kambo avløpsrenseanlegg og pumper avløpsvannet til Fuglevik renseanlegg. Lengde på overføringsledninger er 13,3km. De samarbeider også med Vestby kommune!

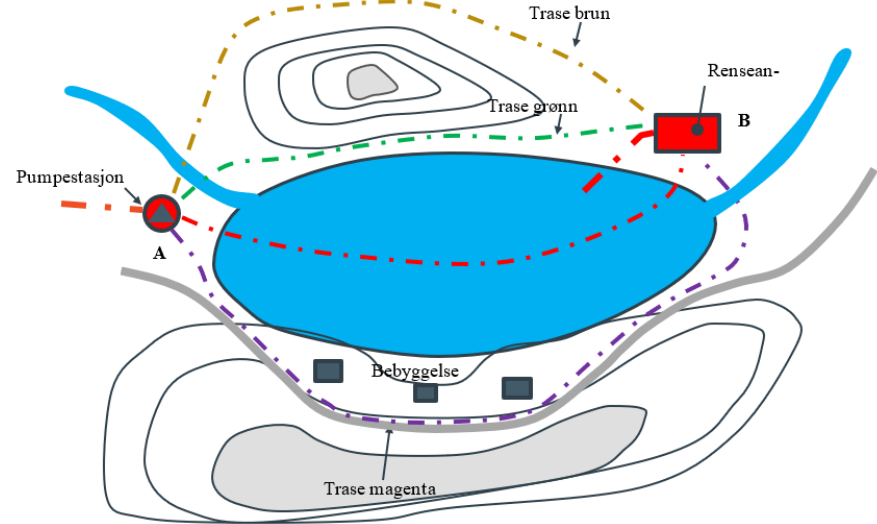
Gold!



Figur 1. Oversiktskart for overføring av avløpsvann fra Brevik / Kambo til Fuglevik

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Den teknisk, økonomisk, miljømessige optimale pumpeledningstraseen må bestemmes!

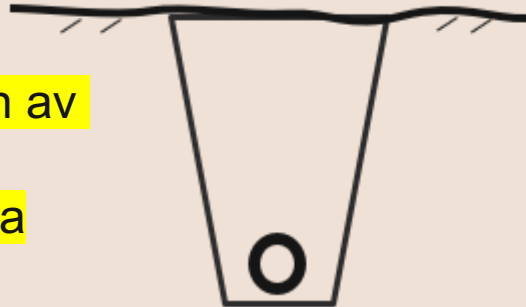


Skisse med problemstillinger med hensyn på trasevalg og tekniske løsninger

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

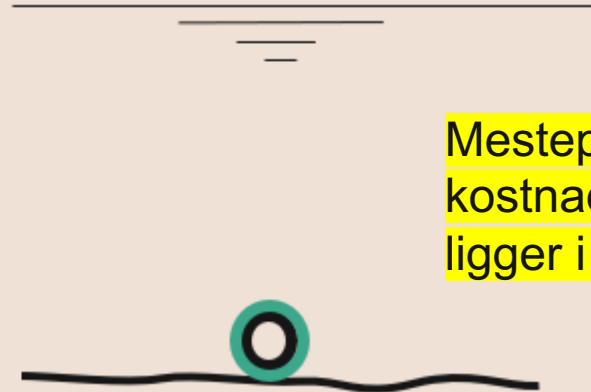
- Skal man velge en landtrase eller sjøtrase dersom det er et reelt valg?

Mesteparten av  
kostnaden  
ligger i grøfta



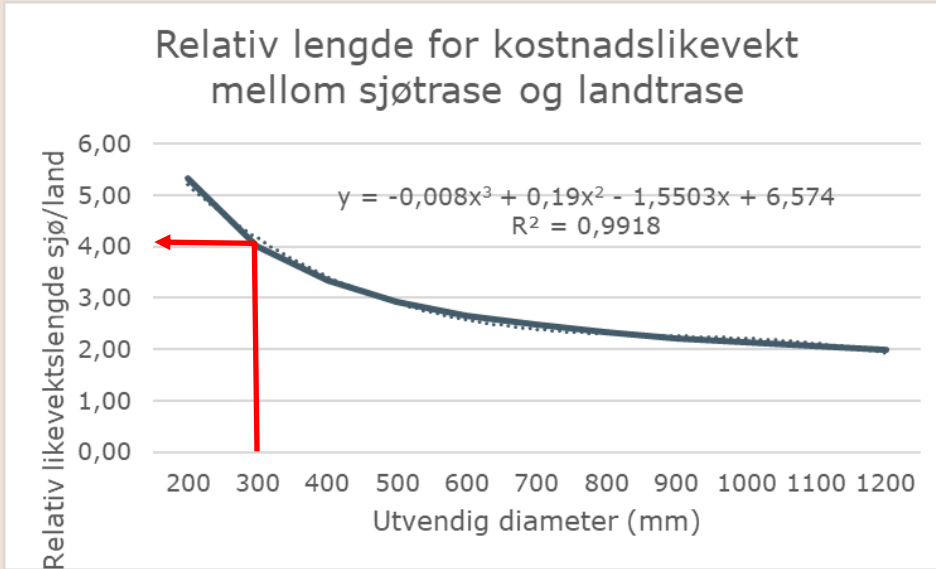
På land ?

Mesteparten av  
kostnaden  
ligger i røret



I sjø?

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.



En sjøledningstrase kan være 2 til 5 ganger lengre

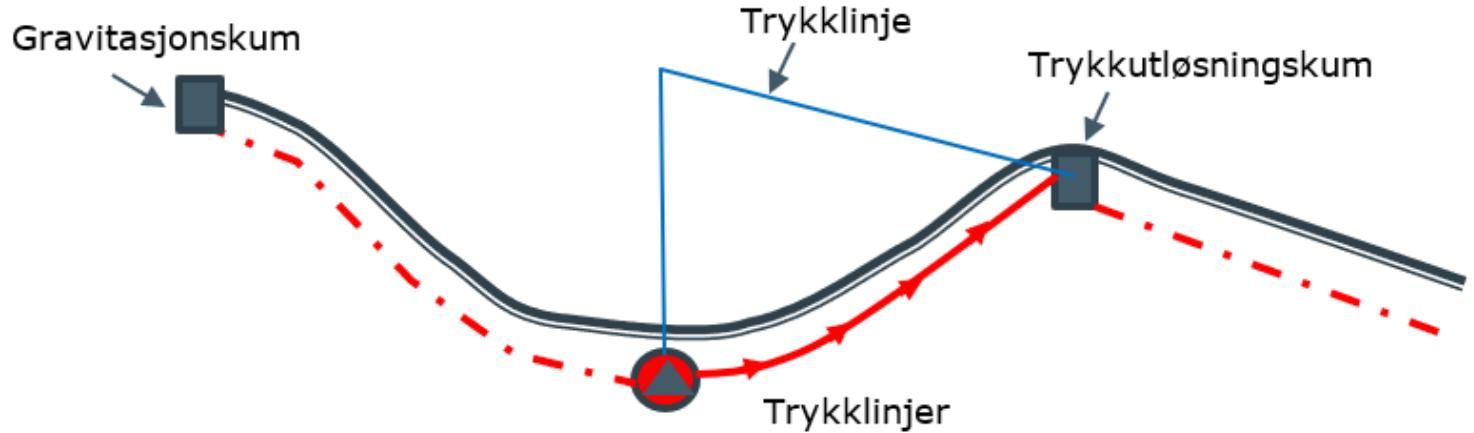
Forutsetninger:

- Sjøledning 50% dyrere enn landledning
- Landtaksgrøfter 10% av totallengde
- PE-pris 37 kr/kg
- Rørets andel total kostnad land (5-30%)
- Rørets andel total kostnad sjø (40-90%)

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Systemløsninger

Den trygge  
tekniske  
løsningen

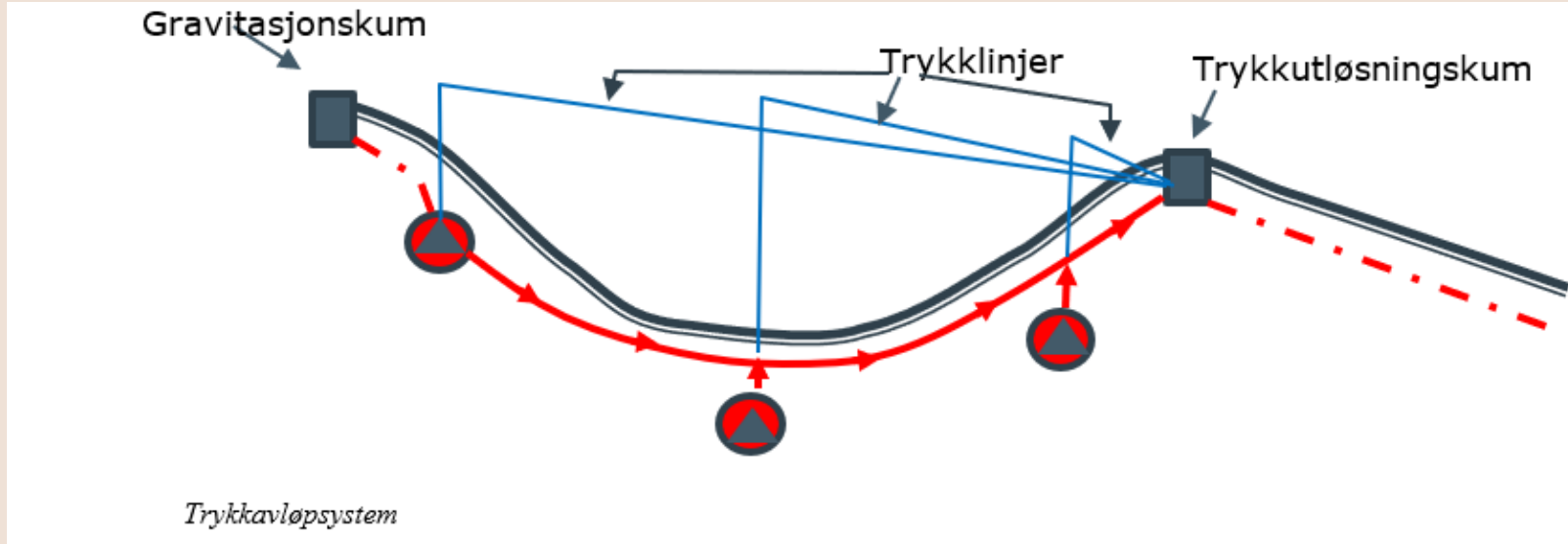


*Tradisjonelt pumpesystem*

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Systemløsninger

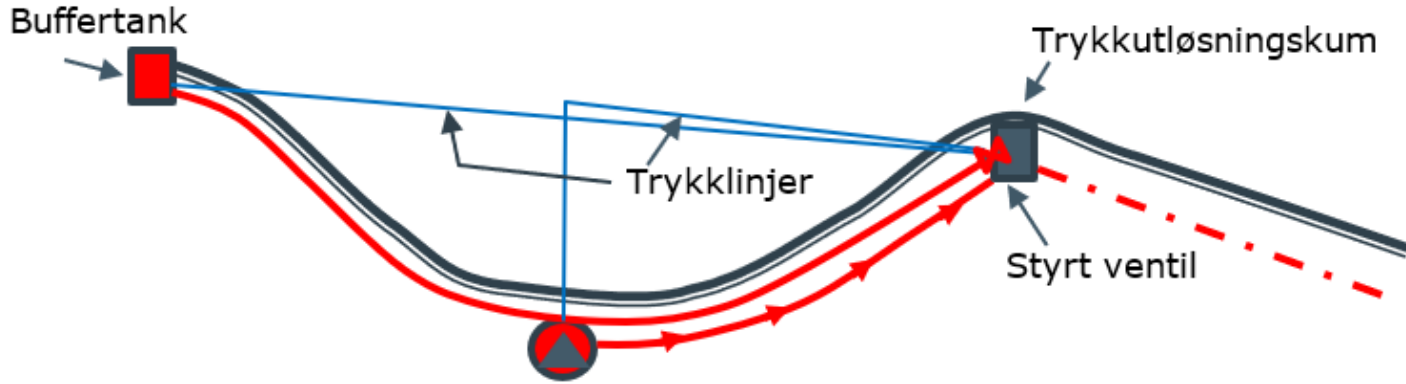
Trykkavløp  
fungerer  
også bra



# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Systemløsninger

Kombinasjons-  
løsning med  
«gravitasjons-  
pumping» og  
tradisjonell  
pumping.



*Kombinasjon av "gravitasjonspumping" og tradisjonell pumpeledning*



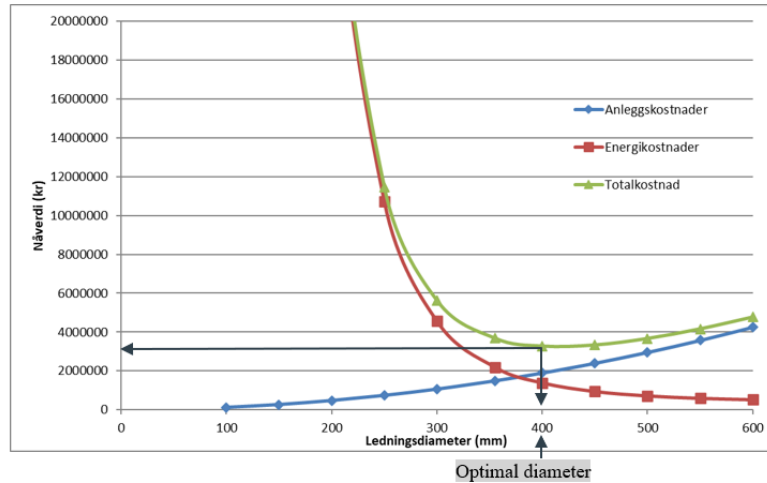
# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

## 3 viktige begrep:

- Økonomisk optimal ledningsdiameter
- Teknisk optimal ledningsdiameter
- Praktisk optimalt volum av pumpesump

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Beregn alltid den økonomisk optimale ledningsdiameteren i prosjektet basert på nåverdi av investeringer, energikostnader og drift og vedlikeholdskostnader.



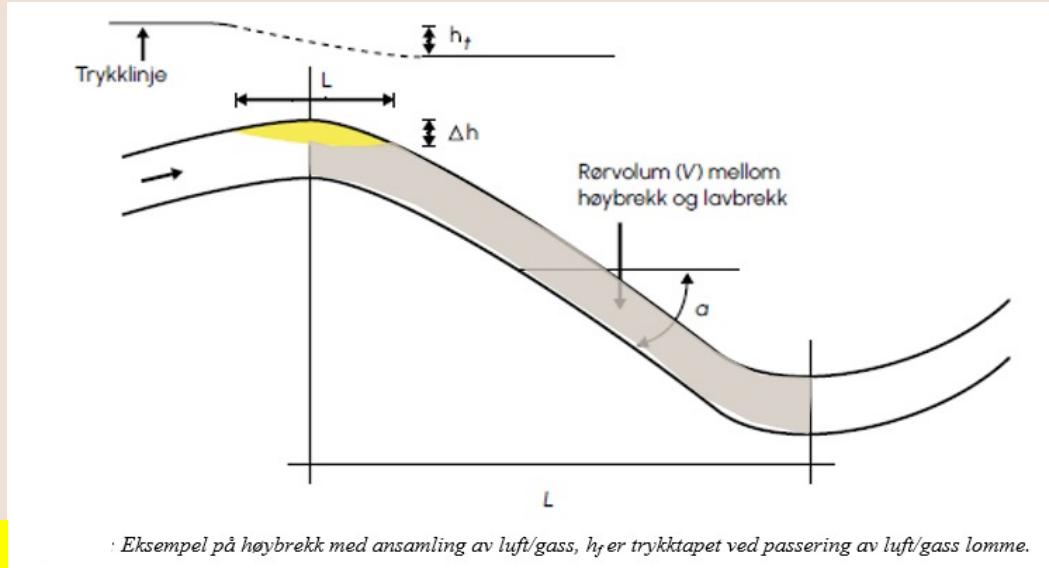
Eksempel på optimalisering av diameter for pumpeledning

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Luft og gass kan betraktes som «gift» i pumpeledningene. Særlig utfordrende er dette i undervannsledninger

Effektivt sumpvolum  $\approx 1,5 \cdot V$

Teoretisk sumpvolum  $= \frac{Q_{dim} \cdot T}{4 \cdot n}$



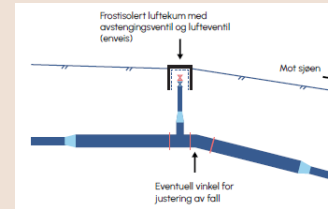
# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

For å forebygge problemer med luft/ gass i en overføringsledning, kan man gjøre flere grep:

1) Positiv statisk løftehøyde

2) Luftfelle (utfordring med hensyn på kjøring av renseplugg)

3) Selvrensende vannhastighet med hensyn på luft. Tilstrekkelig vannvolum til å flytte luftlommen i det mest kritiske høybrekket fra høybrekket til nedstrøms lavbrekk



# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

For å forebygge problemer med luft/ gass i en overføringsledning, kan man gjøre flere grep:

- 5) Ha et styringssystem med dobbel sikkerhet på nedre stoppnivå i pumpeumpen.
- 6) Unngå luftsugende hvirvel (vortex)
- 7) Belaste undervannsledningen med en vektbelastning tilsvarende 100% luftfylling.

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Selvrensing for gass/luft



$$v_{selvrens \text{ - luft}} \geq (0,45 + 0,4 \cdot \sqrt{\sin \alpha}) \cdot \sqrt{g \cdot d}$$

$\alpha$  = helningsvinkelen i det kritiske høybrekket (°)

$d$  = innvendig diameter i sjøledningen (m)

$g$  = tyngdeaksellerasjonen (= 9,81 m/s<sup>2</sup>)

Selvrensing for sedimenter



$$\tau_{Selvrens_{sedimenter}} = \gamma \cdot \frac{d \cdot \Delta H}{4 \cdot L} \geq 3 \text{ N/m}^2$$

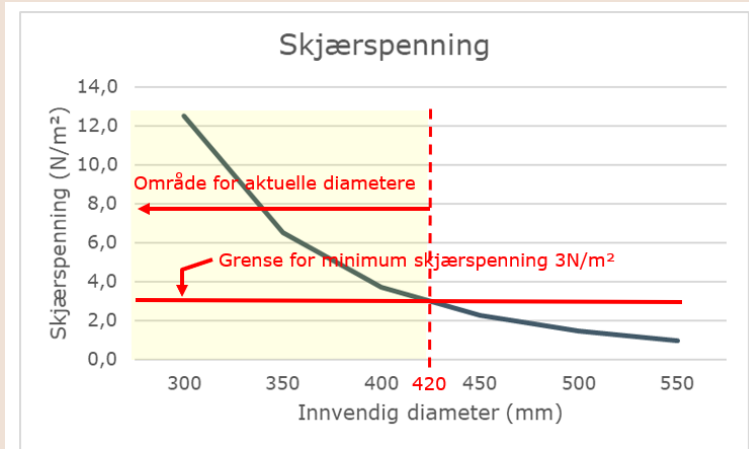
$\gamma$  = vannets spesifikke vekt

$d$  = innvendig diameter

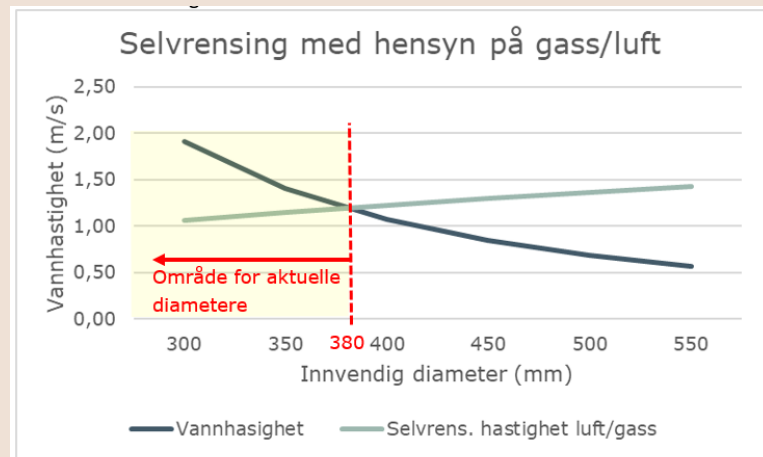
$\Delta H/L$  = fallet på trykklinja

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Eksempel  $Q_{DimPumpeledning} = \underline{135 \text{ l/s}}$



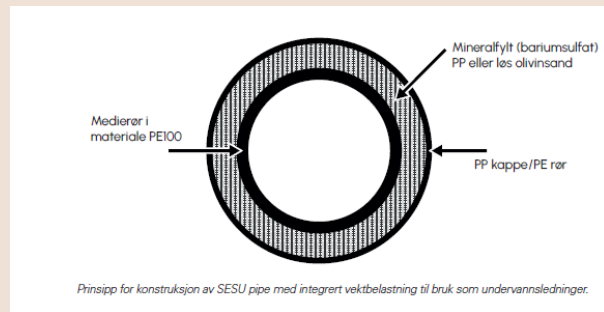
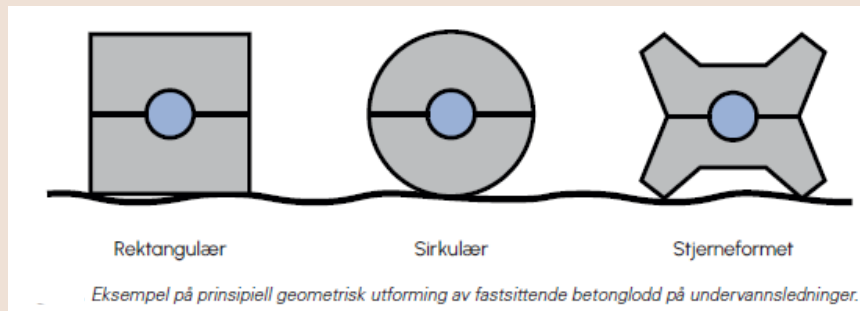
Skjærspenning som funksjon av innvendig ledningsdiameter



Selvrensingshastighet med hensyn på gass / luft i pumpeledningen

Selvrensing med hensyn på gass/luft blir dimensjonerende

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.



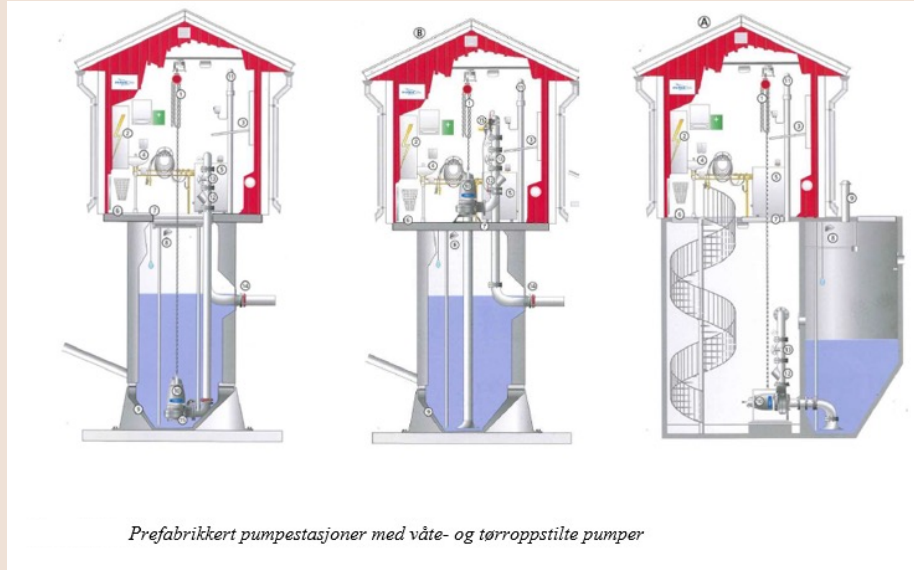
Vektbelastningen på undervannsledningene må tilpasses de prosjektspesifikke forutsetningene





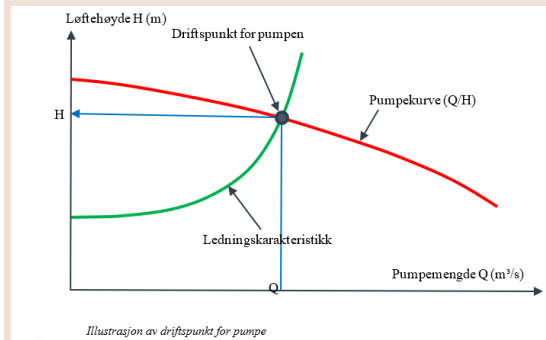
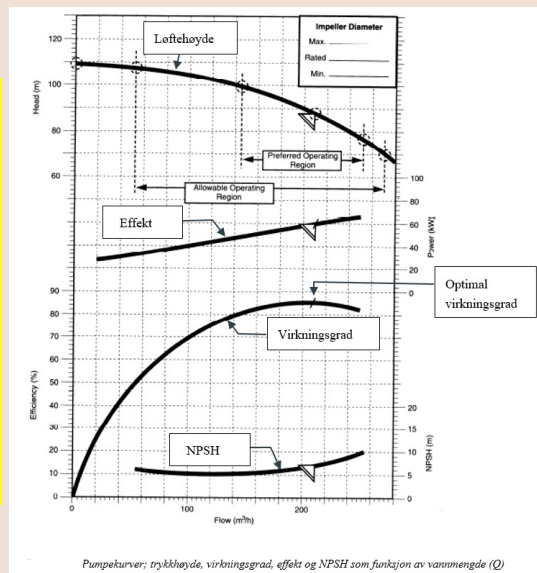
# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Pumpe­stas­jonen er  
«hjer­tet» i  
sys­tem­løs­ning­en



# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Sjekk pumpekurvene nøye før man velger pumpe i prosjektet.  
Det kan være klart lønnsomt økonomisk å velge en dyrere pumpe med høyere virkningsgrad.

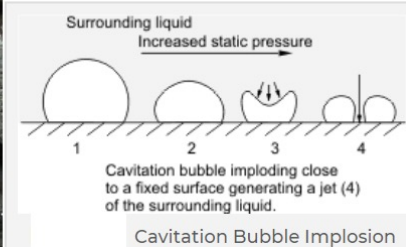


# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Unngå kavitasjon  
i pumpe



Kavitasjonsskader på en pumpe



# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

## Trykkstøt i ledningsnett

Det kan oppstå både overtrykk og undertrykk i et ledningsnett.

Største mulige overtrykk / «undertrykk» ( $\Delta H_{\text{Maks}}$ ) ved momentan stenging kan beregnes av formelen:

$$\Delta H_{\text{Maks}} = \pm \frac{c \cdot \Delta v}{g}$$

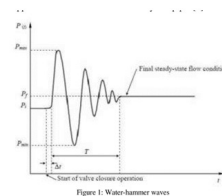
$\Delta v$  = hurtig endring i vannhastigheten i røret (m/s)  
 $c$  = trykkbølgens forplantningshastighet i rørmaterialet (m/s)  
 $g$  = tyngdeaksellerasjonen (= 9.81 m/s<sup>2</sup>)

Maksimalt undertrykk kan dog ikke bli mindre enn **-10 mvs.**

- Oppstår ved raske endringer i vannføringen

Vanlige årsaker:

- Åpning og stenging av ventil
- Start og stopp av pumpe
- Stort momentant brudd på ledning



Velg alltid pumpeledninger som tåler fullt vakuum, f.eks. PE100 SDR11.

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.



Hydrogensulfid-H<sub>2</sub>S



I alle pumpeledninger med lang oppholdstid over 4 timer (i noen ugunstige tilfeller ned mot 2 timer) kan det oppstå dannelse av hydrogensulfid.

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Strategien er å hindre at gassen dannes, men samtidig ta høyde for at man må ha luktreducerende tiltak nedstrøms pumpeledningen.

- Tilsetting av nitrat (Nutriox)
- Kjøring av renseplugg
- Spyling av ledninger (tilsetting av fremmedvann)
- Tilsetting av oksygen/ lufting av avløpsvannet i pumpesumpa
- Parallelle ledninger for å takle utbygging over lang tid

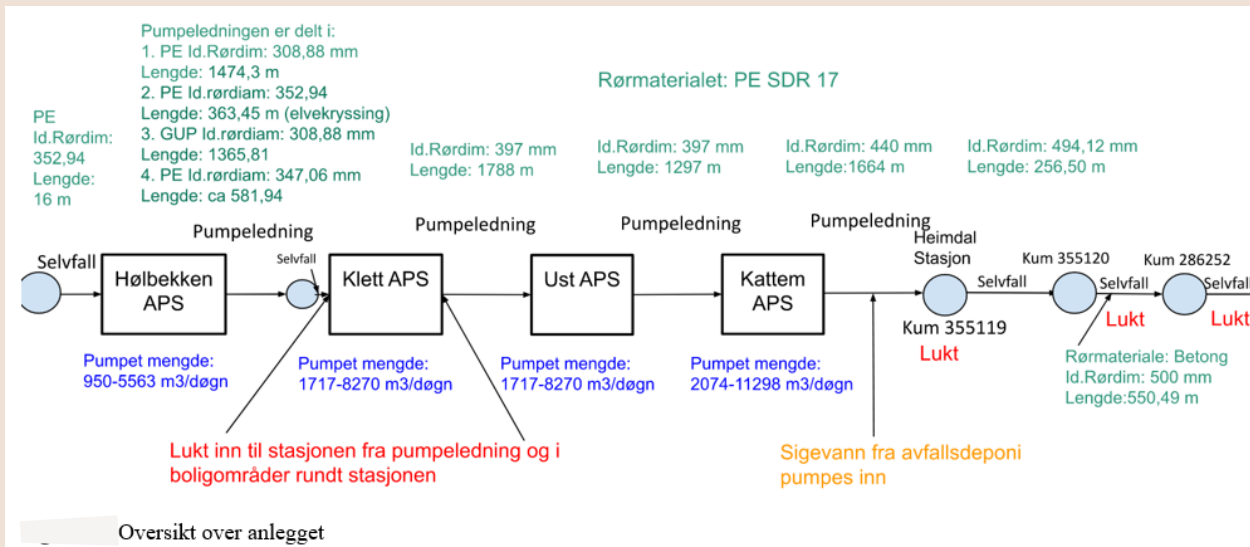
# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Dersom H<sub>2</sub>S-gassen drives fram til trykkutløsningskummen, kan gassen renses. Aktuelle prosesser i denne sammenheng er:

- Kullfilter
- Tilsetning av ozon

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Erfaringer med tiltak fra Trondheim og Melhus kommune:



Oppholdstid 15 timer  
Konsentrasjon 70ppm



# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Erfaringer med tiltak fra Trondheim og Melhus kommune:

- Lufting i basseng fungerte ikke, ble mye lukt i nærområdet
  - Kjøring med renseplugg ga liten effekt
  - Dosering av Nutriox ga ønsket effekt (maks. dosering 220 liter/døgn)
  - Økt vannmengde i form av fremmedvann (overvann) kan gi effekt («storrengjøring»).
- Gode resultater ved snøsmelting og ved mye nedbør

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Erfaringer med tiltak fra Trondheim og Melhus kommune:

Resultater fra forsøk

Viser effekt av Nutriox dosering og pluggkjøring under forskjellige forhold, med dosering, doubling av dosering og uten dosering, men med pluggkjøring

Dato	Nutriox (liter)	Avløp (m3)	Nutriox/avløp (mL/m3)	Gjennomsnittlig H2S (ppm)	Maks H2S (ppm)
15.08.20	85	2028	42	5,4	20
16.08.20	86	2043	42	5,9	22,5
17.08.20	161	2334	69	3,2	12,8
18.08.20	183	2322	78	2,8	11,5
21.08.20*	0	2300	0	25,6	85,2
22.08.20	0	2244	0	30,7	80,9

\* Pluggkjøring



Yrkeshygienisk norm = 5 ppm

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Konklusjon: Vi kan for lite om effektive tiltak mot H<sub>2</sub>S

# Lange pumpeledninger for avløpsvann. Utfordringer og muligheter.

Jeg er fra  
Sarpsborg



Jeg luktær  
det



Takk for  
oppmerksomheten