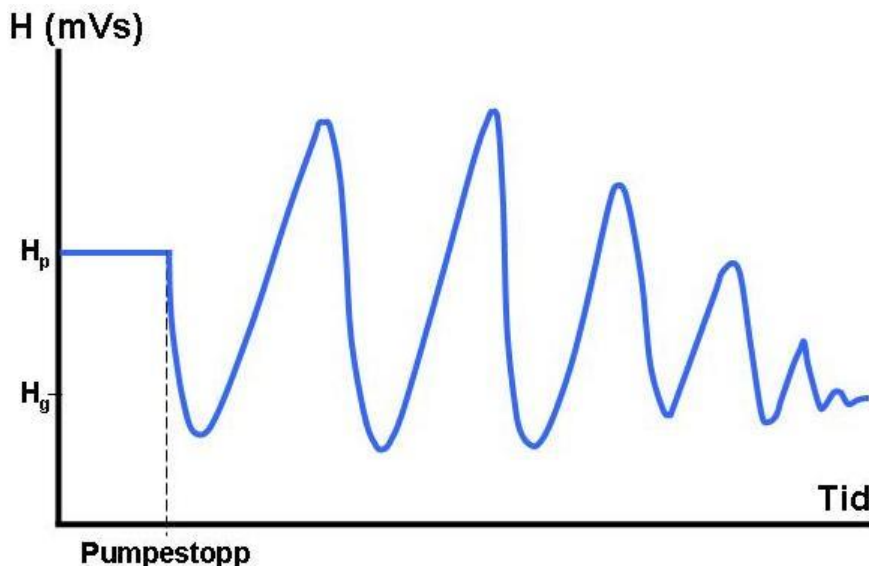


## R: Trykksvingninger

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/mm<sup>2</sup>:

$$c = 0,0365 \sqrt{\frac{E \cdot 10^6}{\text{SDR} - 1}} = 0,0365 \sqrt{\frac{1000 \text{ N/mm}^2 \cdot 10^6}{11 - 1}} = 365 \text{ m/s}$$

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:

$$\Delta p = \frac{c \cdot \Delta v}{g} \quad [\text{mVs}]$$

- $\Delta v$ : Momentan endring i væskehastigheten [m/s]  
g: Tyngdeakselerasjonen - 9,81 m/s<sup>2</sup>  
c: Trykkbølgens hastighet i ledningsmaterialet avhengig av materiale og SDR-verdi [m/s]

**Eksempel:**

Rørtype	c [m/s]	$\Delta p$ [mVs]	$\Delta p$ [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	$\pm 29,4$	$\pm 2,9$

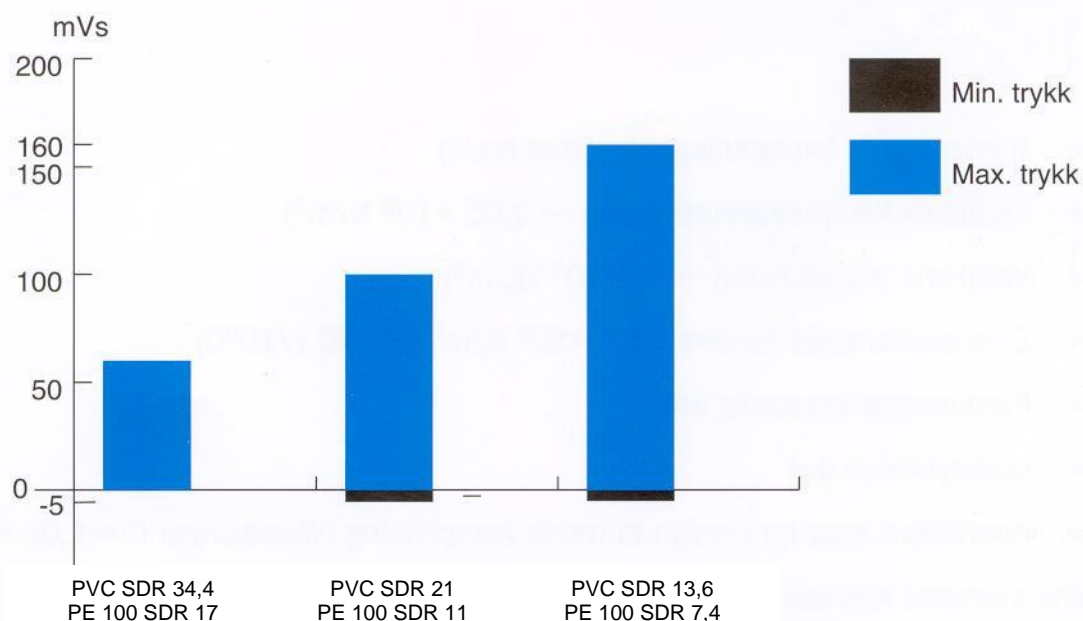
Trykkbølgehastighet ved kort refleksjonstid samt trykksvingningens størrelse for ulike rørtypene ved en momentan endring av vannhastighet på 1 m/s.

**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  $\pm 5$  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 trykrør med høy designfaktor**

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 trykrør

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.

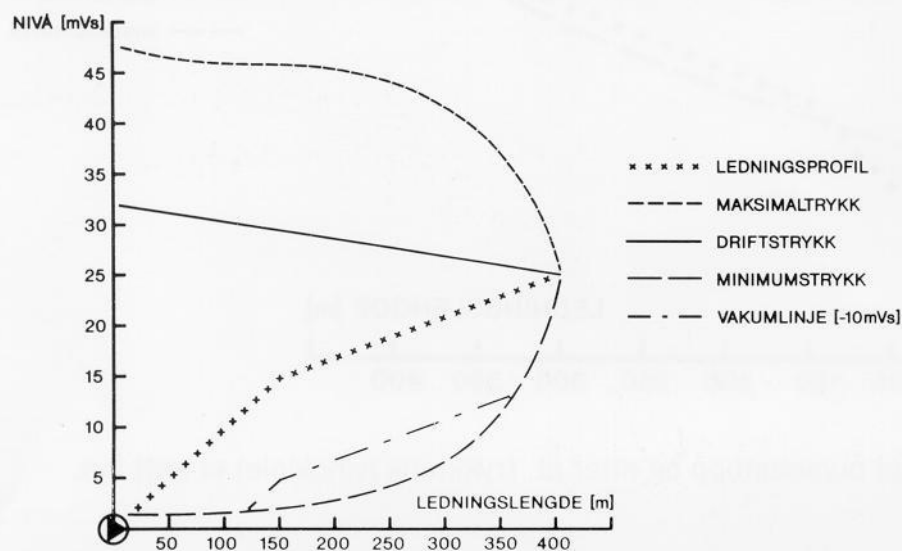
Når trykksvingningene viser seg å være for store, kan man velge mellom flere kurante løsninger for å bøte på dette. For eksempel:

- 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 tillatt driftstrykk er 10 bar. Designfaktor 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:



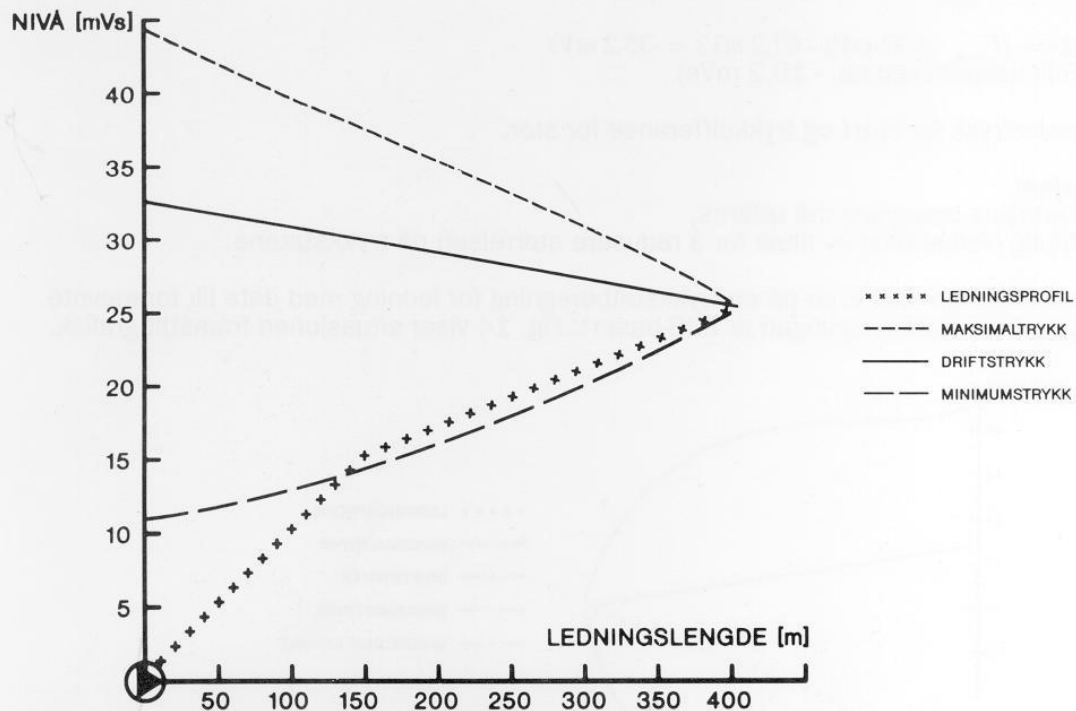
*Trykkløgenes størrelse i forhold til ledningstraseens høydeprofil*

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! Trykkstøtreduserende 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.