

R: Termiske påvirkninger i rørledninger – frost, varme og kondens

Når temperaturen i omgivelsene avviker vesentlig fra temperaturen i mediet i en rørledning, kan konsekvensen av den termiske påvirkningen være uønsket. For eksempel ved:

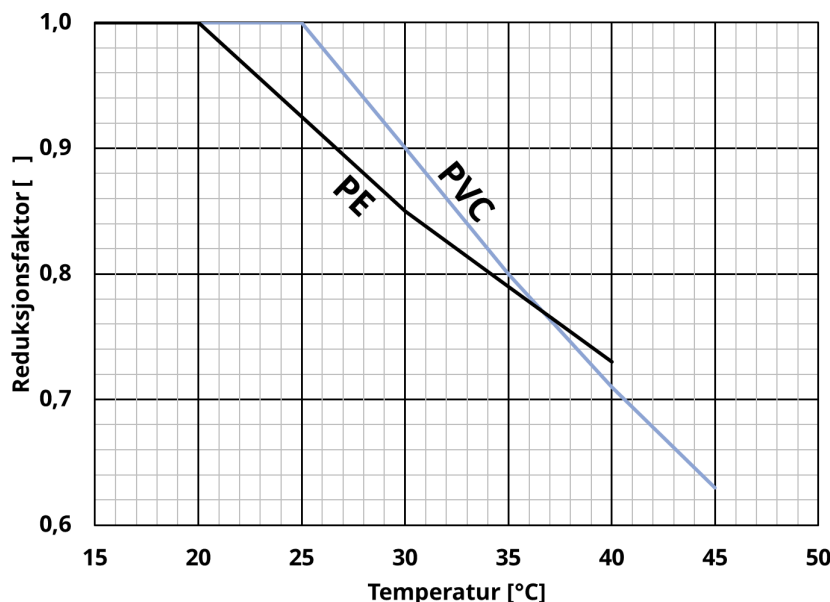
- Kuldepåvirkning fra kalde omgivelser med risiko for frost og innfrysing av mediet
- Varmepåvirkning fra varme omgivelser som kan føre til uønsket oppvarming av røret og mediet
- Kondensdannelse når rør med kalde medier føres gjennom varme og fuktige omgivelser

I disse tilfellene kommer våre isolerte rørsystemer, Isoterm og Isovarm, til sin rett. I andre sammenhenger ønsker vi å flytte varme eller kulde fra eller til omgivelsene.

For å kunne gjøre riktige vurderinger er det nødvendig å forstå hvordan varme strømmer gjennom rørvegger, omkringliggende masser og mellom rør og omgivelser, samt hvordan driftsforhold og rørgeometri påvirker temperaturutviklingen.

Vannets egenskaper og rørmaterialets rolle

Temperatur påvirker plastmaterialene. For eksempel svekkes styrken med økende temperatur. Trykkrør av plast dimensjoneres for en temperatur på 20°C. Et skikkelig varmt trykkrør går raskt til brudd hvis kombinasjonen av trykk og temperatur er ille nok. Varig høy temperatur kan dessuten redusere levetiden. For trykkrør av PVC og PE skal tillatt trykk reduseres med en reduksjonsfaktor ved driftstemperaturer mellom 20°C og 40°C for PE og mellom 25°C og 45°C for PVC. Er PE-røret tynnvegga (< 10 mm) bør man være ekstra forsiktig og uansett ikke forvente 100 års funksjonstid.



Reduksjonsfaktor for tillatt trykk ved høyere driftstemperaturer

Rørmaterialer påvirkes selvsagt også av lave temperaturer. Likevel er det ikke rørmaterialet i seg selv som utgjør hovedrisikoen ved frostpåvirkning, men vannets faseendring.

Plastmaterialer som benyttes i rørledninger tåler normalt lave temperaturer godt. Ved kulde kreves noe mer skånsom håndtering, men materialene gjenvinner sine mekaniske egenskaper når temperaturen stiger igjen. Metallrørenes egenskaper påvirkes i mindre grad av temperaturendringer, men er utsatt for konsekvensene av innvendig isdannelse (frostsprengning).

Rørledninger i drift skal ikke fryse. For det første medfører dette bortfall av funksjon, som å miste vanntilførsel eller muligheten til å slippe ut avløpsvann. For det andre kan røret bli svekket og ta permanent skade (rørbrudd).

Grunnen til det er at når vann fryser øker volumet med 9 - 10 %. Dersom ekspansjonen hindres, kan det oppstå svært høye trykk og store materialspenninger i rørveggen, uavhengig av rørmaterialet. Risikoen er særlig stor i trykksatte systemer eller der vannet er innestengt mellom faste punkter eller ispropper før det fryser. Har rørets diameter økt etter at isen har tint, så er røret svekket. Det kan fortsatt fungere i mange, mange år, men det er verdt å tenke på tiltak for å unngå flere innfrysinger.

Luft i vann og betydningen av høydepunkter

Når vann i en rørledning står stille over tid, vil oppløst luft gradvis frigjøres. Dette er en naturlig fysisk prosess som forsterkes ved lav turbulens og temperaturendringer. Den frigjorte luften beveger seg mot rørets høyestliggende punkter og danner luftlommer.

Ved innfrysing vil isutvidelsen presse mot disse luftlommene. Luft kan komprimeres, mens rørveggen ikke kan deformeres tilsvarende. Resultatet blir lokale spenningstopper i rørveggen som kan føre til skader (rørbrudd). Erfaring viser at skader ofte oppstår ved høypunkter og overganger samt der sola først får tak etter en innfrysing i en ledning som ligger åpent - ikke nødvendigvis der isdannelsen først starter.

Frostinntrenging og kuldepåvirkning

Hvorvidt en rørledning utsettes for frost, avhenger av samspillet mellom klimaforhold, grunnforhold, leggemetode og driftsbetingelser. Det er selvsagt temperaturen i grunnen på dybden der røret ligger som er avgjørende for om vannet i rørledningen kan fryse.

Grunnens temperatur følger lufttemperaturen med både tidsforsinkelse og demping. Den faktiske temperaturen rundt røret påvirkes av flere forhold varierende med klima, geografisk plassering og lokale forhold - som gjerne virker sammen:

- Klimatiske forhold på stedet (lufttemperatur og varigheten av kuldeperioder)
- Snødekke, overflateforhold og omgivelser
- Leggedybde, jordtyper og vanninnhold i massene
- Rørgeometri, rørdimensjon, og -lengde, samt termisk masse
- Driftsforhold, f.eks. om mediet står mye stille eller er stadig i bevegelse

Ved prosjektering benyttes normalt tilgjengelige klimadata, som for eksempel dimensjonerende frostmengde og temperaturstatistikk fra anerkjente kilder (f.eks. Byggforskserien i samarbeid med Meteorologisk institutt), for å vurdere behov for frostsikring.

Et jevnt snølag fungerer som isolasjon og reduserer frostdybden. Åpent terreng uten snø eller brøytet vei gir dypere frostinntrengning. Nærhet til en bygning, et fundament, en annen rørledning eller en annen varmekilde kan bidra til høyere temperatur rundt rørledningen.

Jordens varmeledningsevne og varmekapasitet avhenger av jordtype og fuktighet, som kan variere lokalt og lagvis i grøfta. Fuktige og tette masser (f.eks. leire) leder varme bedre enn tørre og porøse masser (f.eks. sand), mens drenerende masser kan gi annen varmebalanse rundt rørledningen enn omkringliggende terreng. Når grunnen fryser, reduseres varmebidraget fra dypere jordlag, noe som kan påvirke temperaturutviklingen videre nedover i bakken.

Rørmaterialet inngår i beregning av varmestrøm gjennom rørveggen, men har i praksis mindre betydning enn forholdene i omgivelsene. Dette gjelder både for plast- og metallrør. Det er først og fremst overdekning, masser rundt røret og driftsforhold som er bestemmende.

Stillestående vann fryser lettere enn vann i bevegelse, små rør med lav termisk masse kjøles raskere ned enn større rør og lange rørstrekk uten tapping er mer utsatt enn korte.

Varmepåvirkning – når omgivelsen er varmere enn mediet

Termiske vurderinger er ikke begrenset til frostforhold. I mange situasjoner vil omgivelsene ha høyere temperatur enn mediet i røret, slik at varme strømmer inn i rørledningen.

F.eks. i varme perioder, varme omgivelser, nær varme installasjoner, solpåvirkning, etc.

Uønsket oppvarming av mediet kan føre til:

- Redusert opplevd kvalitet på kaldtvann
- Økt risiko for mikrobiologisk vekst
- Endret komfort og funksjon
- Termisk ekspansjon og trykkøkning i lukkede systemer
- Rørbrudd

I slike tilfeller kan isolasjon og temperaturkontroll være like viktig som ved frost.

Kaldt medium og kondensdannelse

Når temperaturen på mediet i røret er lavere enn duggpunktet til omgivelsesluften, kan det dannes kondens på rørets utside. Dette opptrer særlig ved:

- Kaldtvannsrør i varme og fuktige omgivelser
- Kjøle- og fryserør
- Andre rør i tekniske rom med høy relativ fuktighet

Kondens kan føre til:

- Fuktskader på bygningskonstruksjoner
- Korrosjon på metallkomponenter i nærheten
- Hygieniske problemer og begroing
- Økt varmeopptak som følge av kondenseringsvarme, etc.

Et gjengs tiltak mot kondens er bruk av rørisolasjon med lukket cellestruktur.

Varmestrøm gjennom en rørvegg

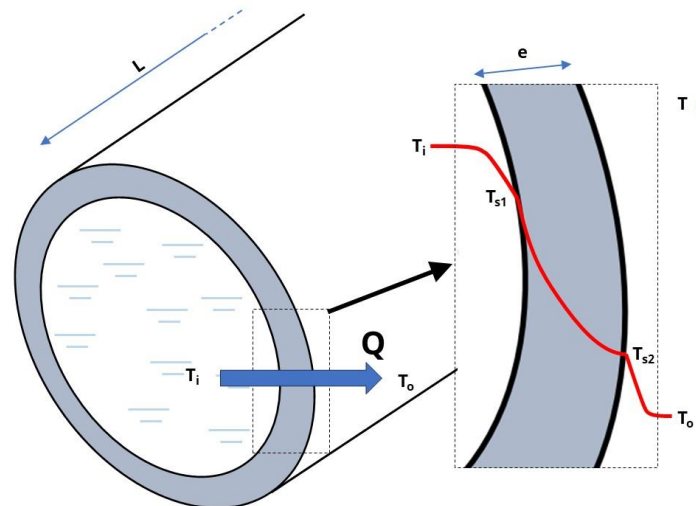
Når det er temperaturforskjell mellom mediet i et rør og omgivelsene, vil det oppstå en varmemestrøm (energi) gjennom rørvæggen fra området med høy temperatur til området med lav temperatur. Her ser vi på den enkle teorien som gjelder. I praksis må det utføres mer avanserte beregninger i forbindelse med prosjektering av slike rørledningsanlegg for å kartlegge behovet for isolasjon og/eller energitilførsel.

Varmeoverføring skjer på tre måter:

- **Konduksjon** (varmeledning) er varmeoverføring gjennom et materiale som følge av en temperaturforskjell. Varme transporteres ved at partikler i materialet overfører energi direkte til hverandre. I faste stoffer skjer dette i all hovedsak gjennom vibrasjoner i atom- og molekylstrukturen, der vibrasjonen overføres fra atom til atom gjennom stoffet – for eksempel i en rørvegg. Hvor mye varme som ledes, avhenger av materialets varmeledningsevne, rørveggens tykkelse og geometri, samt temperaturforskjellen.
- **Konveksjon** (varmestømning) er varmeoverføring i grensesjiktet mellom en overflate og et fluid (væske eller gass) som er i bevegelse. Man skiller mellom:
 - *Fri konveksjon*, der bevegelsen oppstår på grunn av temperatur- og tetthetsforskjeller i fluidet
 - *Tvungen konveksjon*, der bevegelsen skyldes ytre påvirkning, for eksempel strømmende vann i et rør.

Hvor effektiv varmeoverføringen er, beskrives ved varmeovergangskoeffisient (konveksjonskoeffisienten), som blant annet avhenger av fluidets hastighet, viskositet og tetthet, samt strømningsforholdene langs overflaten.

- **Stråling** er varmeoverføring i form av elektromagnetiske bølger, og skjer uten direkte kontakt mellom objekter eller behov for et medium. I røranlegg er stråling særlig relevant der rør er eksponert for omgivelser med høy temperatur, for eksempel solstråling på rørledninger som ligger åpent i terrenget. Stråling kan føre til oppvarming av rørvæggen og dermed også av mediet i røret.



Temperaturforløp gjennom en rørvegg. I dette eksempelet er temperaturen i mediet høyere enn i omgivelsene ($T_i > T_o$) og varmestrømmen går ut av røret.

Dette kapitlet beskriver en forenklet metode for beregning av varmestrøm gjennom en sylindrisk, hul geometri (for eksempel et rør), inkludert innvendig og utvendig konvektiv varmeovergang. Metoden er egnet for overslagsberegninger og dimensjonerende vurderinger av varmetap og varmeopptak samt ved frostsikring av rørledninger.

Forutsetninger og prinsipper:

Beregninger av varmestrømmer er kompliserte og forbundet med flere usikkerheter. For enkelhets skyld legges følgende forutsetninger til grunn:

- Varmeoverføringen skjer i tilnærmet stasjonær tilstand, det vil si at temperaturforholdene ikke varierer vesentlig med tiden. Dette forutsetter at mediet i og utenfor røret har tilnærmet konstant temperatur og er i bevegelse.
- Det produseres eller akkumuleres ikke varme i noen av lagene som varmen strømmer gjennom. Den transporterte varmestrømmen er derfor konstant gjennom hele systemet. Den totale varmestrømmen Q [W] er varmestrømtettheten q [W/m²] over hele arealet A til den sylindriske overflaten til røret, der varmen strømmer vinkelrett i radiell retning.

$$Q = q \cdot A \quad [\text{W}] \quad \text{med} \quad A = \pi \cdot D \cdot L \quad [\text{m}^2]$$

- Varmeoverføringen antas å være én-dimensjonal, med dominerende varmeflyt i radiell retning. Røret behandles som en sylindrisk vegg. I motsetning til en plan vegg øker varmeoverføringsarealet med radius, noe som gir en logaritmisk temperaturfordeling gjennom rørveggen.
- I et lag med lav varmeledningsevne λ (relativt god isolasjon) vil temperaturendringen gjennom laget være liten og den transporterte varmemengden redusert.
- Konveksjonen mellom mediet og rørets overflate forenkles med konstanter.

Ved temperaturforskjell mellom mediet i røret og omgivelsene skjer varmestrømmen i tre trinn, som i stasjonær tilstand er konstant: $Q_i = Q_{\text{rør}} = Q_o$

1. **Konveksjon** fra mediet til innvendig rørvegg: $Q_i = -h_i \cdot A \cdot (T_{s1} - T_i)$
2. **Konduksjon** gjennom rørveggen: $Q_{rør} = \lambda \cdot A \cdot \frac{T_{s1} - T_{s2}}{e}$
3. **Konveksjon** fra utvendig rørvegg til omgivelsene: $Q_o = -h_o \cdot A \cdot (T_{s2} - T_o)$

Ved sammenstilling av den konvektive og konduktive varmeoverføringen fås følgende uttrykk for total varmestrøm gjennom rørveggen:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_i - T_o)}{\left(\frac{2}{h_i \cdot d} + \frac{\ln(D/d)}{\lambda} + \frac{2}{h_o \cdot D} \right)} \quad [\text{W}]$$

- L: Rørledningens lengde [m]
 T_i: Temperaturen i mediet i røret [°C, K]
 T_o: Temperaturen i omgivelsene rundt røret [°C, K]
 d: Rørets innvendige diameter [m]
 D: Rørets utvendige diameter [m]
 h_i: Varmeovergangskoeffisient ved konveksjon ved innvendig rørvegg [W/m²K]
 h_o: Varmeovergangskoeffisient ved konveksjon ved utvendig rørvegg [W/m²K]
 λ: Rørmaterialets varmeledningsevne [W/mK]

La oss for eksempel se på et rør som transporterer vann og som ligger i sjø:

Eksempel:

Hvor stor varmemengde overføres fra sjøvann til vannet i en 3600 m lang 900 mm PE 100 SDR 17 sjøledning når sjøtemperaturen er +23 °C og vanntemperaturen i røret er +7 °C? Vi antar at varmeovergangskoeffisient, h_i og h_o, er 10000 W/m²K (tvungen konveksjon vann) og varmeledningsevne for PE er 0,40 W/mK.

Her går energistrømmen fra utsiden til mediet i røret. Vi har snudd temperaturdifferansen slik at den er positiv og vi får et positivt tall for varmemengden. Det øvrige påvirkes ikke av retningen på energistrømmen.

Merk også at en temperaturdifferanse mellom temperaturer angitt i °C angis i K (Kelvin). 23°C – 7°C = 16 K.

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_{sjø} - T_{vann})}{\frac{2}{h_i \cdot d} + \frac{\ln(D/d)}{\lambda} + \frac{2}{h_o \cdot D}}$$

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot 3600 \text{ m} \cdot 16 \text{ K}}{\frac{2}{10000 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,7934 \text{ m}} + \frac{\ln(0,900 \text{ m}/0,7934 \text{ m})}{0,40 \text{ W/mK}} + \frac{2}{10000 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,900 \text{ m}}}$$

$$Q = 1\,146\,587 \text{ W}$$

Det kan være formidable mengder med energi som flytter på seg. Men hva betyr det i praksis?

Formelen for å beregne temperaturendring på vann som renner med konstant hastighet er:

$$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c}$$

ΔT : Temperaturendring [°C, K]

Q : Total varmemengde [W, J/s]

m : Massestrøm [kg/s]

c : Spesifikk varmekapasitet for mediet [J/kgK]

Eksempel:

I forrige eksempel fant vi at varmemengden som tilføres et 900 mm PE 100 SDR 17 rør i sjø, der sjøtemperaturen er +23 °C og vanntemperaturen i rørledningen i utgangspunktet er +7 °C, er 1 146 587 W. Hva blir temperaturøkningen på vannet i røret når vannføringen er 296 l/s?

Egenvekten for vann er 1,0 kg/l. Massestrømmen m blir derfor 296 kg/s. Spesifikk varmekapasitet for vann er 4187 J/(kgK).

$$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c} = \frac{1\,146\,587 \text{ J/s}}{296 \text{ kg/s} \cdot 4187 \text{ J/kgK}} = 0,93 \text{ K}$$

Vannet i sjøledningen blir ca. 1 grad varmere på turen – altså cirka +8 °C.

Temperaturen på mediet i en rørledning påvirkes av både varmestrømmen gjennom rørveggen og oppholdstiden for mediet i røret. Ved stillestående eller langsomt strømmende medium vil temperaturen gradvis nærme seg temperaturen i omgivelsene, raskere for et uisolert rør enn for et isolert rør.

Dersom temperaturen ved den innvendige rørveggen synker til under frysepunktet, vil det først dannes is på rørveggen. Videre varmetap kan føre til at islaget bygger seg opp og etter hvert danner en kompakt ispropp. Tilsvarende kan et kaldt medium i varmere omgivelser varmes opp over tid dersom varmetilførselen gjennom rørveggen er tilstrekkelig stor.

Praktiske løsninger og bistand

Isolasjon av rørledninger reduserer varmemestrømmen i begge retninger og er derfor et sentralt tiltak både for å redusere frostrisiko, begrense uønsket oppvarming av mediet og hindre kondensdannelse. Varmetap (ved kalde omgivelser) eller varmeopptak (ved varme omgivelser) kan reduseres ved bruk av tilstrekkelig isolasjon og, der det er nødvendig, kompenseres ved tilførsel av varme.

For sylindriske rør kan det teoretisk eksistere en kritisk isolasjonstykkelse der varmetapet er størst. For de rørdimensjonene og isolasjonstykkelser som normalt benyttes i de fleste røranlegg, vil økt isolasjon i praksis normalt alltid gi redusert varmemestrøm og bedre termisk kontroll.

Bevegelse i mediet bidrar til å redusere temperaturendringer ved at nytt medium med en annen temperatur kontinuerlig eller periodisk tilføres. Likevel bør frostsikring og temperaturkontroll i rørledninger primært baseres på robuste, passive tiltak fremfor driftsavhengige løsninger.

Preisolerte rør, som Isovarm rør, gir en helhetlig løsning der isolasjon og eventuell tilleggsvarme kan inngå som en integrert del av frostsikring og temperaturkontroll. For utsatte installasjoner kan gjenværende varmetap eller varmeopptak kompenseres med tilleggsvarme, for eksempel i form av varmekabel, tilpasset rørledningsanleggets utforming og bruksforhold.

Pipelife bistår gjerne med en uforpliktende vurdering av frostrisiko, varmetap, kondensforhold, frysetid og nødvendige driftsbetingelser. På bakgrunn av relevante lokale og tekniske forutsetninger kan det gis anbefalinger om valg av rørtype, isolasjonsløsning og eventuelle tiltak for temperaturkontroll.