

# Optimering af stikledninger

Bliver returtemperaturen højere på twinrør? Hvor skal medierørene placeres, og skal de være lige store? - En kommentar til FJERNVARMEN 10/2005.



## EFFEKTIVISERING

Af Halldor Kristjansson, Carl Bro as, Benny Bøhm, Dansk Energi Effektivisering, Kurt Paaske Christensen og Lars Frederiksen, Nykøbing Falster kommune, Driftsafdelingen

I en i øvrigt udmærket artikel i FJERNVARMEN 10/2005, ref. /4/, anføres det, at returtemperaturen på lange twinrør kan blive højere end på enkeltrør. Indledningsvis må vi bemærke, at artiklen i 10/2005 omhandler kobber-fleksrør, hvor afstanden mellem de to medierør er mindre end for andre typer af twinrør. Artiklen giver derfor et forkert indtryk af forholdene for twinrør i almindelighed, og vi vil derfor i det følgende analysere forholdene nærmere.

### Varmedevksling mellem medierør

For en returledning kan varmetabet beregnes ved følgende formel:

$$q_r = (U_{1r} - U_2) (T_r - T_j) - U_2 (T_f - T_r)$$

hvor  $U_{1r}$  og  $U_2$  er varmetabskoefficienter, og  $T_f$ ,  $T_r$  og  $T_j$  er henholdsvis fremløbstemperatur, returtemperatur og uforstyrret jordtemperatur.

$U_{1r}$  udtrykker varmemstrømmen fra returledningen, hvis der ikke fandtes nogen fremløbsledning, og  $U_2$  udtrykker et varmemstrømbidrag, der løber fra fremløbsledning til returledning.

$U_2$  afhænger bl.a. af afstanden mellem de to medierør og isoleringens varmeledningsevne. Jo dårligere skum, og jo mindre afstand mellem rørene, jo større varmemstrøm vil der blive over-

ført til returledningen fra fremløbsledningen.

Som en grov retningslinie kan man angive følgende for forholdet mellem  $U_2$  og  $U_1$  for forskellige ledningstyper: For kobber twinrør:  $U_2 / U_1 \approx 45-50\%$  for cellebetonkanaler:  $U_2 / U_1 \approx 35-50\%$ , afhængig af fugtindhold for Pex twinrør:  $U_2 / U_1 \approx 25\%$  for enkelt-isolerede ledninger:  $U_2 / U_1 \approx 3\%$ .

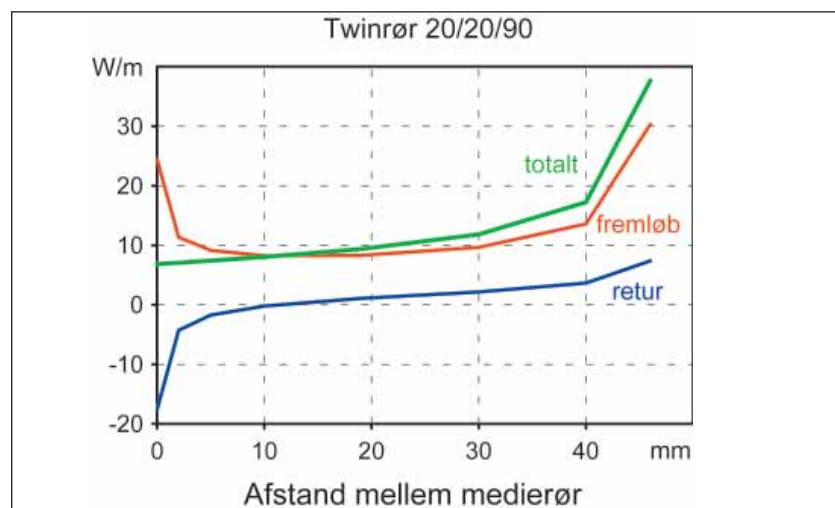
Dette betyder, at vi for twinrør må forvente en større varmemstrøm fra fremløbsledning til returledning end for enkelt-isolerede ledninger, og et større bidrag for kobber-twinrør end for Pex-twinrør.

For at illustrere hvor meget varme, der overføres fra fremløbsledning til returledning, betragtes et 20/20/90 Pex twinrør.

Figur 1 viser forholdene, når afstanden mellem de to medierør forøges fra 0 til 46 mm. I sidstnævnte tilfælde rører de to medierør kapperøret. Både det totale varmetab og returledningens varmetab vokser med rørafstanden. Det ses, at for en rørafstand større end 10 mm, er returledningens varmetab positivt. Selv om det samlede varmetab er mindst, når de to medierør rører hinanden, så vil man normalt foretrække en mindre udveksling mellem de to medierør.

Beregningerne er gennemført med en varmeledningsevne for PUR-skum på 0,028 W/(mK). Der findes i dag bedre skum på markedet, hvilket vil betyde en mindre varmedevksling mellem rørene end vist på figur 1.

Twinrør med en rørafstand på 19 mm produceres i Danmark, og for denne



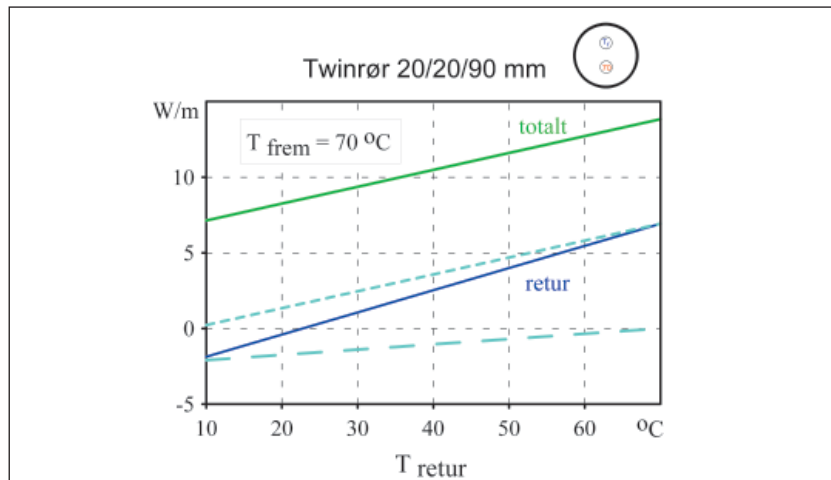
Figur 1. Twinrør 20/20/90.  $T_f/T_r/T_j = 70/30/8^\circ\text{C}$ .  $\lambda = 0,028\text{W}/(\text{mK})$ . Varmemstrømme som funktion af afstanden mellem medierør.

ledning viser figur 2, hvorledes returledningens varmetab påvirkes af fremløbsledningen. Antagelserne fremgår af figurteksten. Det ses, at kun når returtemperaturen er lavere end 23 °C, vil returledningen blive varmet op af fremløbsledningen.

### Målinger i Nykøbing Falster

I Dansk Fjernvarmes forskningsprojekt 2003-03 blev der gennemført målinger på to 32 m lange stikledninger, dels en Pex 28, og dels et nyudviklet triplerør. Husinstallationen var en vekslerunit til varmt brugsvand, kombineret med en boosterpumpe.

Figur 3 og 4 viser driftsforholdene for de to stikledninger gennem 3 døgn i juni 2004. Som det fremgår, ligger returtemperaturen på nogenlunde samme niveau for de to ledningstyper. Kun når der sker en tapning af varmt brugsvand, falder fjernvarmereturen til et niveau på 25-30 °C.

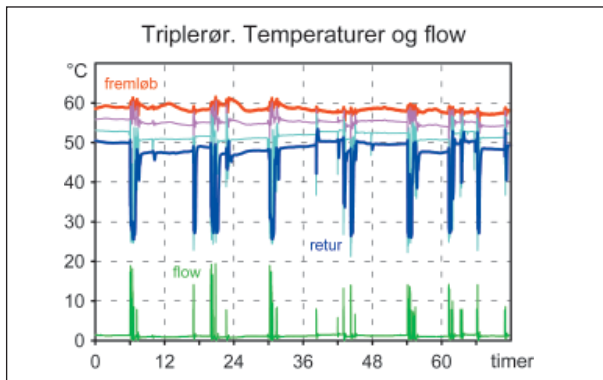


Figur 2. Twinrør 20/20/90, rørafstand 19 mm. Varmestrømme som funktion af returtemperaturen, dels samlet for twinrøret og for returledningen, og dels de to bidrag for returledningen. Fremløbstemperatur 70 °C, jordtemperatur 8 °C,  $\lambda = 0,028$  W/(mK).

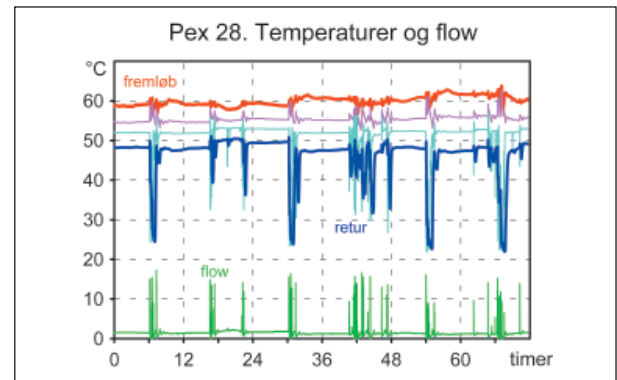
Figureerne viser et andet interessant forhold, nemlig at afregningsmåleren udsættes for meget kortvarige spidsbelastninger. Mange energimålere anvender en forholdsvis lang integrationstid i tællerværket for at forlænge

batteriets levetid, men der er grund til en nøjere vurdering af målenøjagtigheden. Vi mener, at man bør tilstræbe at anvende energimålere med

(Fortsættes næste side)



Figur 3. Temperaturer ved gadeledning og i bryggers samt flow i tripleledning, juni 2004. Det virkelige flow i l/h er 33 gange større end det viste, altså op til 650 l/h.



Figur 4. Temperaturer og flow i Pex 28 ledning, juni 2004. Det virkelige flow er 33 gange større end det viste.

kort integrationstid, f.eks. 4 sekunder i stedet for 30 sekunder, for at opnå en mere nøjagtig måling.

### Varmetab og ressourceforbrug ved enkeltrør og dobbeltrør

Når varmetab og temperaturtab fra flere forskellige typer af enkeltrør og dobbeltrør bliver sammenlignet, er det vigtigt, at det gøres på et korrekt grundlag.

Der forefindes mange forskellige postulater om, hvor meget twinrør sparer i forhold til enkeltvis isolerede rørpar, men sammenligningerne bliver altid afhængige af hvilke isoleringsklasser, der vælges for hver type rør. Her søger vi at give et eksempel på en fair sammenligning mellem de to rørtyper ved at tage ressourcefor-

bruget i betragtning. Dette består af materialer og arbejdet ved fremstilling og nedlægning af ledningerne, og det måles i standard kroner. Modellen, der er udviklet ved regression af investeringsstatistikker, er beskrevet i /3/.

I figur 5 sammenlignes varmetabet fra et enkeltisoleret Pex 20 rørpar med varmetabet fra twinrør i tre udførelser. Varmetabet er beregnet ud fra temperaturer på 70/30/8 °C for frem/retur/jord.

Øverst på figuren vises to isoleringstyper for enkeltvis isolerede rørpar, én med kappetørrelser 66, 77, 90, 110 mm på begge medierør, samt én med en gang ekstra kappetørrelse

på fremløbet (dvs. 77, 90, 110, 125 mm). Den tredje rørtype er twinrør med 19 mm mellem medierørene, og med kappetørrelser på henholdsvis 90 og 110 mm.

Det fremgår af figur 5, at twinrøret på en gang sparer varmetab og ressourcer.

For at opnå en mere ensartet sammenligning angives der to slags twinrør på de nederste kurver. Den ene viser symmetrisk medierørplacering i geometriske forhold, der er typiske for mindre twinrør (fordeling af isoleringslag på 35-30-35% mellem returside - mellemstykke - fremside). Ved at sammenligne disse kurver med enkeltisoleringskurverne (lodret over),

fremgår det, at twinrør-geometrien "i sig selv" sparer ca. 40% af varmetabet i forhold til enkeltrør (Pex 20).

Den nederste kurve viser resultatet af at omplacere medierørene i isoleeringen, således at fremløbsrøret kommer nærmere mod kappecentrum, og returrøret længere væk. Herved spares der yderligere ca. 10%, og det svarer til næsten en hel isoleringsklasse. Der fremgår desuden, at den relative besparelse er ret uafhængig af kappedimensionen. Der ligger således et yderligere potentiale i det samisoleerede rør.

Ekstraisolering af fremløbsrøret ved en placering nærmere kappecentrum tilskønnes yderligere af, at fremløbs-siden står for mindre end halvdelen af de samlede varmetabsbesparelser ved konvertering til twinrør. Mens størstedelen af varmetabet fra returløbet spares væk (f.eks. 80%), så spares der relativt set en betydelig min-

dre del af fremløbstabet (f.eks. 30%), selv om den samlede besparelse er 40%. I stikledninger, med begrænset flow det meste af tiden, er temperaturtabet væsentligt. Det kan godt være på et par grader eller tre. Det er derfor væsentligt at holde tabet fra fremløbet nede.

Det fremgår af grafen, at varmetabsbesparelser ved at forøge kappedimensionen er stærkt aftagende i tilfælde af twinrør. Grænsen for en mærkbar forbedring ved ekstraisolering nås hurtigt.

### Uens medierørdimensioner

Et andet forsøg på at "værne om fremløbet" har været at reducere fremløbsdimensionen, /3/. Herved bliver det inderste og vigtigste lag af isoleringen tykkere for fremløbet. Imidlertid reduceres også rørets kapacitet. En systematisk og ensartet sammenligning for større enkeltvist isolerede rørdimensioner findes i /3/. Hvis vi

reducerer fremløbsdimensionen på Pex 20 dobbeltledningen, samtidig med at vi tager højde for rørkapaciteten, så fremkommer efterfølgende figur 6.

Der vises tre dobbeltrørserier i figuren: den traditionelle med ens medierørdimension på frem og retur (reference), samt to serier med uens medierørdimensioner, den ene med en enkelt dimension mindre på fremløbet, den anden med to dimensioner mindre på fremløbet. Det fremgår af figuren, at når der er taget højde for den hydrauliske kapacitet, så vil anvendelse af uens medierørdimensioner stort set ikke spare varmetab "i sig selv" (gælder små dimensioner). Men de uens medierørdimensioner vil stadigvæk kunne bruges til en mere præcis (hydraulisk) kapacitetstilpasning, og herved kan der opnås op til 10% varmetabsbesparelser.

(Fortsættes næste side)

(Fortsat fra forrige side)

Endvidere kan man anføre, at betydningen af besparelser på fremløbets varmetab er større, idet temperaturtabet må betragtes. Et mindre fremløb medfører desuden, at varmt fjernvarmevand hurtigere når frem gennem en nedkølet ledning, samt at mindre energi bliver tabt under afkøling af ledningen. Det er dog en skrøne, at en mindre medierørdimension medfører, at temperaturen af vandet holder sig bedre (under statiske forhold), fordi det kommer hurtigere frem. En mindre rørdimension medfører nemlig også, at der er en tilsvarende mindre

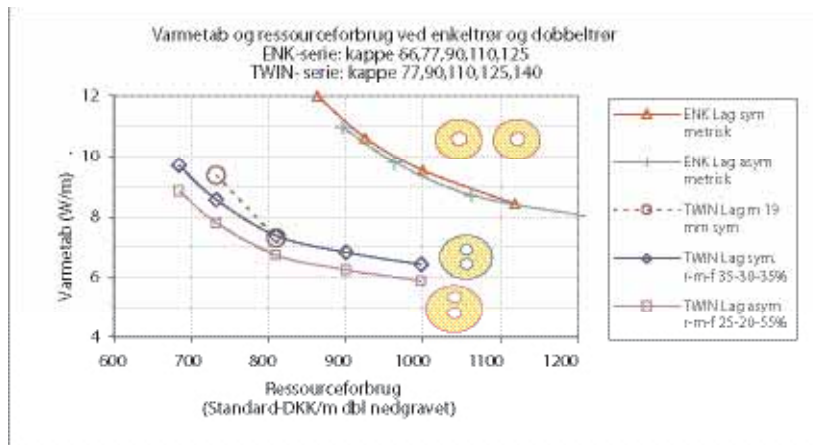
mængde vand i røret at afkøle, så de to ting går lige op med hinanden.

Endnu en fordel ved at spare temperaturløst i især de kritiske stikledninger er, at det er muligt at anvende en lavere fremløbstemperatur fra værket, og derfor spares der også varmetab i resten af nettet!

Alle disse forhold bevirker, at selv om det umiddelbart forekommer som om forskellige medierørdimensioner ikke er nogen fordel ud over ved kapacitetstilpasning, så bør de alligevel anvendes mest muligt i tilfælde af stikledninger, ikke mindst i tilfælde

af lange stikledninger og kritiske forsyningsområder.

Det sidste rørtype vist på figur 6 er triplerøret. Det forener fordelene ved et mindre varmetab fra en lille fremløbsdimension, med uændret hydraulisk kapacitet. Dette opnås ved at tilføje et ekstra fremløb, et reserve fremløb, der er i drift ved store belastninger. Punktet på figuren angiver det tilfælde, hvor kun det lille fremløb er i drift. Det fremgår af figuren, at triplerøret i dette tilfælde overgår dobbeltrøret i varmetabsbesparelser. Triplerørets samlede varmetabsbesparelse over et år reduceres dog i nogen grad, afhængig af den samlede driftstid for reserve-fremløbet, se /1/ og /3/.



Figur 5. Varmetab og ressourceforbrug ved enkeltrør og dobbeltrør ved både symmetriske og asymmetriske isoleringsudførelser.

## Afslutning

Projektgruppen har som beskrevet i artiklen gennemført forskellige analyser af optimale ledningsudformninger under stationære forhold. Som det fremgår af figur 3 og 4, så er driftsforholdene imidlertid instationære. Projektgruppen har derfor fremsendt en ansøgning til F&U kontoen med henblik på at gennemføre dynamiske simuleringer af stikledningers driftsforhold, således at forholdene kan vurderes på årsbasis. Beregningerne indgår i en større analyse i forbindelse med renovering og optimering af et

mindre forsyningsområde i Nykøbing Falster.

### Om metoder og referencer

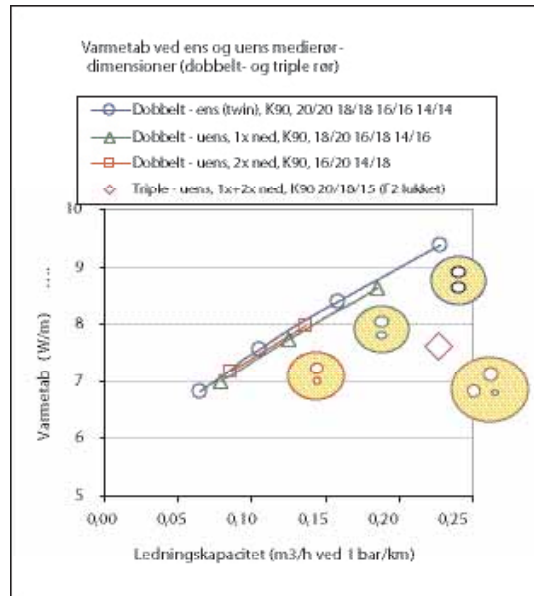
Beregningerne i artiklen er udført med Multipol-metoden. U-værdier for Pex 28 og triplerør kan findes i /1/, beregningsmetoder og U-værdier for Pex-twinrør i /2/. U-værdier for kobber-twinrør kan findes i /5/.

### Referencer

/1/. Benny Bøhm, Lars Frederiksen og Kurt Paaske Christensen. "Forsøg med energirigtige stikledninger. Præsentation af forsøgsresultater". Bilagsrapport. Dansk Fjernvarmes F&U-konto 2003-03, april 2005.  
/2/. Bøhm, B. and Kristjansson, H. "Single, twin and triple buried heating pipes: on potential savings in heat losses and costs". *International Journal of Energy Research*, 2005; 29:1301-1312.  
/3/. Kristjansson H. et al. "Fjernvarme-forsyning af lavenergiområ-

der". EFP 2001. 106p. Carl Bro as og Danmarks Tekniske Universitet, 2004. ISBN 87-7475-315-0.  
/4/. Søren Vesterby Knudsen. "Stort potentiale for at reducere varmetab fra stikledninger". *Fjernvarmen*

10/2005./5/. Zinko, H. og Bøhm, B. "Varmetabsundersøgelse i Prästmarken, Växjö". *Svensk Fjärrvärme* 126:2005.



Figur 6. Varmetab fra dobbeltrør med henholdsvis ens og uens medierørdimensioner, for temperaturerne (frem/retur/jord) 70/30/8 °C. Endvidere vises varmetab fra triplerør.