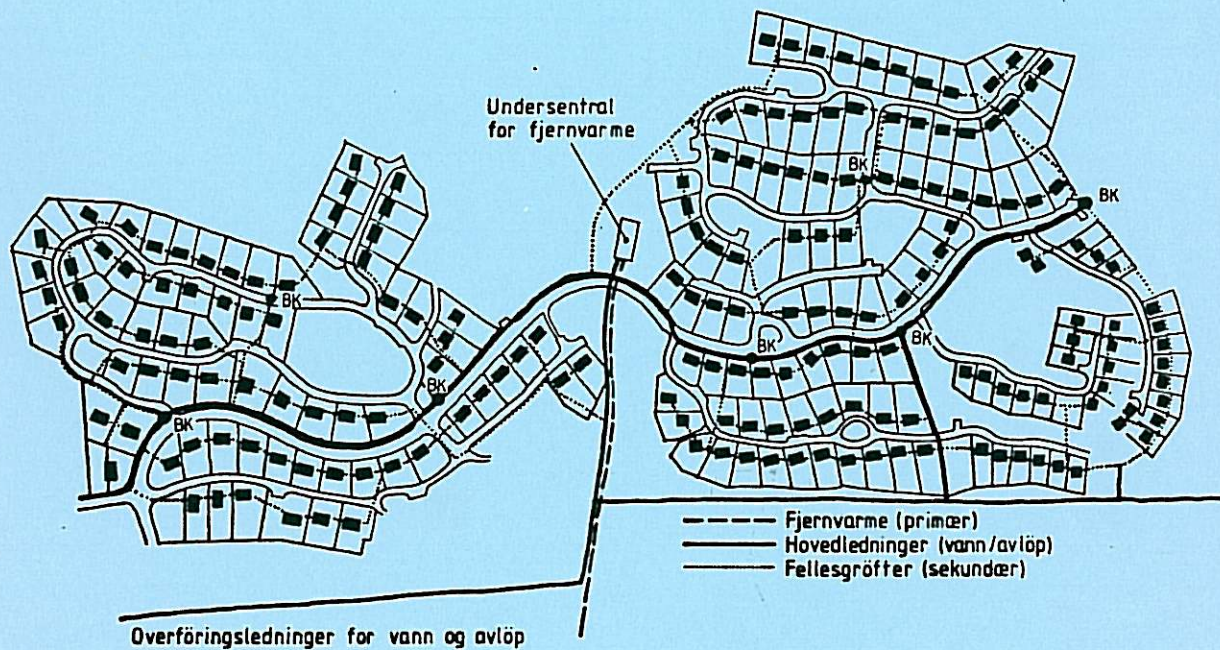


Per Gundersen

## Fjernvarme

Rasjonell fremføring av fjernvarme i boligområder med lav blokkbebyggelse, rekkehus og eneboliger



Prosjektrapport 77

Per Gundersen

# Fjernvarme

Rasjonell fremføring av fjernvarme i boligområder  
med lav blokkbebyggelse, rekkehus og eneboliger

**Prosjektrapport 77**  
**Per Gundersen**  
**Fjernvarme**

**ISBN: 82-536-0360-6**

**© Norges byggforskningsinstitutt**  
**Forskningsveien 3 b, Postboks 123 Blindern**  
**0314 Oslo 3**  
**Telefon: (02) 96 55 00**  
**Telefax: (02) 69 94 38**

## Innhold

	Side
Forord	1
Oppsummering	3
0 Generelt	6
01 Innhold	6
02 Bakgrunn	6
03 Temperaturnivå	7
04 Forutsetninger	8
1 Systemvalg	10
11 Varme til boligoppvarming	11
12 Forsyning av varmt forbruksvann	13
2 Ledningsføring og trasevalg	17
21 Bruk av fellesgrøfter	18
22 Trasevalg	19
3 Materialer	21
31 Rørmaterialer	21
32 Stålrør	22
33 Plastrør	24
34 Isolasjonsmaterialer	28
35 Grøftematerialer, termiske og mekaniske egenskaper	30
4 Utførelse	31
41 Isolasjonskulvert	33
421 Varmetap	37
43 Kumløsninger	40
5 Dimensjonsgrunnlag og styringssystemer	43
51 Temperaturutnyttelse, effektbehov og energiforbruk	43
52 Rørdimensjoner og sammenlagring	44
53 Temperatur- og mengderegulering	47
531 Turtallsregulering	49
6 Innregulering	51
7 Drift- og vedlikeholdsinstruks	53
8 Litteratur	54

**Rasjonell fremføring av fjernvarme i  
boligområder med lav blokkbebyggelse,  
rekkehus og eneboliger**

---

**Forord**

Hvis intensjonene om at industrilandene skal redusere sitt forbruk av ikke fornybare energikilder med 50% pr. innbygger innen år 2020, skal følges opp (Brundlandskommisjonens rapport "Vår felles fremtid"), betyr dette at alle tilgjengelige energiressurser må utnyttes. En helhetsvurdering der økonomi, miljø, fleksibilitet m.m. trekkes inn, viser at det optimale energibildet utgjør en kombinasjon av ulike energiformer og systemer. På denne bakgrunn har fjernvarme en naturlig plass i energiforsyningen. Bruk av vannbåren varme gir god fleksibilitet ved bruk av flere energikilder.

Med dagens energiforbruk vil områder med liten varmetetthet omfatte lav blokkbebyggelse, rekkehus og frittliggende eneboliger. Fjernvarmen skal forsyne boligene med varme til oppvarming og helt eller delvis varmt forbruksvann. Det er en generell oppfatning at utbygging av fjernvarme i områder med liten varmetetthet er lite lønnsomt. Dette er utvilsomt riktig ved bruk av tradisjonelle materialer og metoder for fjernvarmeutbygging. Likevel bygges det i dag i Norge ut flere større småhusområder med fjernvarme. Når fjernvarmeutbyggingen allikevel kan forsvares rent økonomisk, skyldes det lett tilgang på billig varme fra lokale varmekilder. Lokale varmekilder kan være søppelforbrenningsanlegg, renseanlegg for spillvann, industriell spillvarme, varmekraftverk f.eks. basert på gass fra søppelfyllinger m.m. hvor varmen ikke kan utnyttes på annen måte enn til boligoppvarming. Tilsvarende forhold gjelder også for våre naboland der de tradisjonelt mest lønnsomme områdene med størst varmetetthet allerede er utbygd, og man er i ferd med å foreta en fjernvarmeutbygging i områder med stadig mindre varmetetthet.

Det foregår en betydelig internasjonal forskningsaktivitet, spesielt på materialsiden, for å få redusert distribusjonskostnadene som står for en vesentlig del av totalkostnadene i ethvert fjernvarmeanlegg. Vi har også topografiske forhold i Norge som krever spesielle løsninger. Det er derfor viktig å bygge opp en egen nasjonal ekspertise som kan utnytte og ivareta de forhold som eksisterer i Norge.

I denne forbindelse har Norges byggforskningsinstitutt i perioden 1986-90 gjennomført et prøveanlegg for fjernvarme i Oslo kommune. Målsettingen med prosjektet har bl.a. vært å undersøke hvilke forutsetninger som må være oppfylt for at fjernvarme skal være et reelt alternativ teknisk og økonomisk til elektrisk oppvarming i områder med liten varmetetthet. Det er utprøvd nye metoder og materialer for fjernvarmedistribusjonen. Prøveanlegget omfatter distribusjonsnett for fjernvarme, VA-ledninger og kabler og inkluderer abonnentsentralen for et boligfelt bestående av 200 frittliggende eneboliger.

I rapporten presenteres metoder og materialvalg som kan benyttes for å få ned distribusjons- og driftskostnadene i områder med konsentrert småhusbebyggelse. Prøveprosjektet viser at en samordning av de tekniske anleggene i grunnen er en nødvendig forutsetning for en rasjonell fremføring av de tekniske anleggene. Det er derfor lagt vekt på å presentere løsninger for fjernvarmedistribusjonen som er spesielt godt egnet til å samordnes med andre tekniske anlegg i fellesgrøfter.

Oslo, januar 1991

Per Gundersen

## Oppsummering

Generelt vil distribusjonskostnadene stå for en vesentlig del av totalkostnadene for en fjernvarmeutbygging i Norge, og spesielt i områder med liten varmetetthet. Hovedinnsatsen har derfor vært lagt på å redusere rør- og grøfttekostnadene, men også mulighetene for å redusere driftsutgiftene er vurdert. Det tenkes da særlig på å oppnå en riktig varmefordeling, kombinert med lave pumpekostnader og varmetap.

En optimalisering av en fjernvarmeutbygging forutsetter at anleggs- og driftskostnadene ses i sammenheng. Dette er viktig for å kunne holde et lavest mulig temperaturnivå og minimale rørdimensjoner som begge er følsomme kostnadsparametere. Samtidig må en se på mulighetene for en samordning av de forskjellige tekniske anleggene i fellesgrøfter. Dette gjelder for anlegg av fjernvarme både i etablerte og i nybyggingsområder. For eksempel kan behovet for en sanering eller rehabilitering og forsterkning av VA- eller elnettet kombineres med etableringen av et fjernvarmenett. Tilsvarende gjelder anlegg av gang/sykkelveier, reasfaltering av veier e.l. Spesielt gunstig er en samordning av fjernvarme og VA-ledninger i fellesgrøfter. Grøfttekostnadene for fjernvarmenettet kan da helt elimineres hvis dette utføres slik at varmeavgivelsen fra fjernvarmerørene kan utnyttes, samtidig som fjernvarmeisolasjonen inngår som en del av frostisoleringen for VA-ledningene. En systematisk samordning av fremføring av de tekniske anleggene krever et langt nærmere samarbeid mellom de forskjellige kommunale etater enn tilfellet er i de fleste kommuner i dag.

Det må tas i bruk nye rør- og isolasjonsmaterialer som kan redusere både material- og leggekostnadene. Her vil plastrør i forskjellige kvaliteter avhengig av trykk og temperaturnivå, for mindre rørdimensjoner, bli like dominerende som de i dag er i vannledningsnettet. Plastrørens viskoelastiske egenskaper fører til at rørene får relativt store godstykkelser spesielt for større rørdimensjoner. Dette er med på å sette en øvre økonomiske dimensjonsgrense for bruk av plastrør som i en fjernvarmesammenheng vil ligge rundt 100 mm Ø. Problemer som kan oppstå ved at oksygen og vanndamp diffunderer gjennom rørveggen ved høyere temperaturer, kan løses på forskjellige måter. Det er også utviklet enkle skjøtemetoder for plastrør som kan legges uten bruk av faglært personale.

For større rørdimensjoner kan en gå over til å bruke duktile stålrør med muffeskjøter og gummipakninger som for kaldtvannsledningene. Leggekostnadene for disse rørene vil kunne reduseres med hele 70% i forhold til preisolerte rørtyper med sveisede skjøter. Duktile støpejernsrør med muffeskjøter krever mindre grøfteareal samtidig som man ikke får problemer med ekspansjonskompenseringen. Pakningenes levetid vil være avhengig av temperaturnivået som bør være lavest mulig. Som for plastrør vil relativt kortvarige perioder med høye temperaturer ha liten innflytelse på pakningenes levetid. Det er utviklet pakningsmaterialer som tåler kontinuerlige driftstemperaturer på 120 °C. Når rørene ikke skal sveises, kan de forsinkes. Dette er en rimelig og meget effektiv måte å sikre røre mot utvendig korrosjon.

Ved å legge fjernvarmerørene inne i en isolasjonskulvert som ligger direkte i finpukkmasser, kan man oppnå en rekke fordeler. Det finnes i dag isolasjonsmaterialer av typen skumplastisolasjon med stor trykkstyrke som tåler høye temperaturer (120 °C), og kan legges direkte i grunnen uten fuktbeskyttelse. I tillegg til en god varmeisolasjon og mekanisk beskyttelse, vil miljøet inne i kulverten være slik at utvendig korrosjon av rørene forhindres. En kulvertløsning er lite arealkrevende, muliggjør utskiftning av rør uten en omfattende oppgraving, og er godt egnet for en samordning av andre tekniske anlegg i fellesgrøfter. Finpukk som omfyllingsmaterialer har gode lastfordelende egenskaper, har lav varmeledningsevne og kan ikke holde på fuktighet av betydning.

Eksperimentanlegget viser at ved å utnytte fullt ut de muligheter som nye materialer og konstruksjoner gir for kostnadsreduksjoner, ligger det et sparepotensiale på fjernvarmedistribusjonen i størrelsesorden 60 % i forhold til dagens anlegg. Samtidig vil en riktig dimensjonering og styring av temperaturer og vannmengder i takt med behovet, kunne halvere driftsutgiftene. Dette oppnås i form av god varmfordeling, reduserte pumpeutgifter og varmetap, samtidig som anleggets levetid vil kunne økes.

Kostnadsreduksjoner i denne størrelsesorden åpner for nye muligheter for bruk av fjernvarme i Norge. Det finnes i dag en rekke energikilder som ikke utnyttes fordi det er en vanlig oppfatning at det bare er i bystrøk med stor varmetetthet og oljebaserte oppvarmingssystemer at det er lønnsomt med fjernvarme. Med lave distribusjonskostnader åpner det seg også muligheter for å forsyne vannbåren varme til områder med elektrisk



oppvarming. Tilsvarende kan områder med en lav varmetetthet, f.eks. en konsentrert småhusbebyggelse, være interessante for forsyning med fjernvarme. Dette gjelder både i nye og etablerte boligfelt. Det avgjørende for en fjernvarmeutbygging er at man har tilgang på billig varmeenergi f.eks. i form av spillvarme fra forbrenningsanlegg, industri e.l. Også lavtemperaturvarme fra varmepumper der energikilden kan være sjø- og avløpsvann e.l. er ideell for boligoppvarming der man kan utnytte vann med meget lave temperaturer.

## Rasjonell fremføring av fjernvarme i boligområder med lav blokkbebyggelse, rekkehus og eneboliger

### 0 Generelt

#### 01 Innhold

Rapporten behandler distribusjonsnett for fremføring av fjernvarme i områder med lav varmetetthet. Med dagens energiforbruk vil områder med lav varmetetthet omfatte lav blokkbebyggelse, rekkehus og frittliggende eneboliger. Fjernvarmen skal forsyne boligene med varme til oppvarming og helt eller delvis varmt forbruksvann. Det er behandlet en utførelse av distribusjonsnett som er spesielt godt egnet til å samordnes med andre tekniske anlegg i fellesgrøfter. En samordning av de tekniske anleggene i grunnen er en nødvendig forutsetning for en rasjonell fjernvarmedistribusjon.

#### 02 Bakgrunn

Hvis intensjonene om at industrilandene skal redusere sitt forbruk av ikke fornybare energikilder med 50% pr. innbygger innen år 2020, skal følges opp (Brundlandskommisjonens rapport "Vår felles fremtid"), vil dette bety at alle tilgjengelige energiressurser må utnyttes. En helhetsvurdering der økonomi, miljø, fleksibilitet m.m. trekkes inn, viser at det optimale energibildet utgjør en kombinasjon av ulike energiformer og systemer. På denne bakgrunn har fjernvarme en naturlig plass i energiforsyningen. Bruk av vannbåren varme gir god fleksibilitet ved bruk av flere energikilder. Varmeenergien kan komme fra søppel, ved bruk av søppelforbrenningsanlegg eller varmekraftverk f.eks. basert på gass fra søppelfyllinger, spillvarme fra industri, tilfeldig kraft, solenergi m.m. Man kan også ta i bruk nye oppvarmingsmetoder som varmepumper i lavtemperatursystemer med sjøvann, avløpsvann, grunnvann, jordvarme o.l. som energikilde. Man har da samtidig mulighet for å kombinere både fjernvarme og fjernkjøling. Varmen kan tilføres boligene direkte fra varmekilden f.eks. ved bruk av varmepumper plassert i energisentraler for utnyttelse av forskjellige energibærere, eller via en abonnentsentral som inneholder en varmeveksler som får tilført varme fra et primærsystem.

### 03 Temperaturnivå

For å oppnå en lønnsom drift av fjernvarmeanlegget er det av stor betydning at fjernvarmenettets tur- og returtemperaturer er lavest mulig. Temperaturen på fjernvarmevannet vil være bestemt av energikilden og hva varmeenergien skal brukes til. Temperaturen kan variere fra 120 °C og helt ned til 30 - 40 °C i gulvvarmeanlegg og enda lavere som gatevarme for snørydding. I eksisterende bebyggelse der fjernvarmeanlegget f.eks. skal erstatte en oljefyrt kjel, kan det i spesielle tilfeller være nødvendig å benytte relativt høye vanntemperaturer, f.eks. 120 °C i primærnett. På grunn av en overdimensjonering av de interne varmeanleggene vil ofte et temperaturnivå på turvannet på 70 - 80 °C være tilstrekkelig også i disse tilfellene. For å utnytte lokale energikilder kan man også tenke seg å bruke fjernvarme i gulvvarmeanlegg og som varmtvannsberedning i en eksisterende bebyggelse med tradisjonell eloppvarming. Forutsetningen for dette er at det i tillegg til en rasjonell varmedistribusjon, utvikles enkle prefabrikkerte oppvarmingssystemer som egner seg for en ettermontering i boliger der man også kan utnytte lavere temperaturer. En kan da benytte returvannet i et eksisterende fjernvarmenett som ofte har en temperatur på 60 - 70 °C. På denne måten kan man få en meget god utnyttelse av varmeenergien og det eksisterende distribusjonsnett. Til varmtvannsforsyning er det tilstrekkelig med vanntemperaturer på 50 - 60 °C, mens gulvvarmeanlegg klarer seg med 25 - 40 °C avhengig av varmebehovet og utførelsen.

I nyanlegg bør man dimensjonere varmeanleggene for en maksimal turtemperatur på 55 - 60 °C. I Sverige er det et krav at nye vannbårne varmevarmeanlegg skal dimensjoneres for en maksimal turtemperatur på 55 °C. Når temperaturnivået er 60 °C og lavere, benyttes betegnelsen lavtemperaturanlegg. Utnyttelse av lavtemperaturvarme til boligoppvarming er særlig gunstig da dette er energi som ellers går tapt. De løsningene som beskrives her vil kunne benyttes både i ny og eksisterende bebyggelse, også der oppvarmingen tidligere har vært basert på ren elektrisk energi. Det er lagt spesiell vekt på lavtemperatursystemer som vil være mest vanlig i fremtidens anlegg. Man står da langt friere ved valg av energikilde, rør- og isolasjonsmaterialer samtidig som energitapene blir lave.

## 04 Forutsetninger

I områder med lav varmetetthet vil grøftelengden pr. kW installert varmeeffekt være relativt høy. I et område med en blanding av rekkehus og frittliggende eneboliger vil grøftelengden ligge mellom 10 og 30 m pr. bolig, fig. 04 a. Dette svarer til grøftelengder på 1-3 m pr. kW installert varmeeffekt eller et årlig energiforbruk på 1000 - 2000 kWh pr. meter grøft.

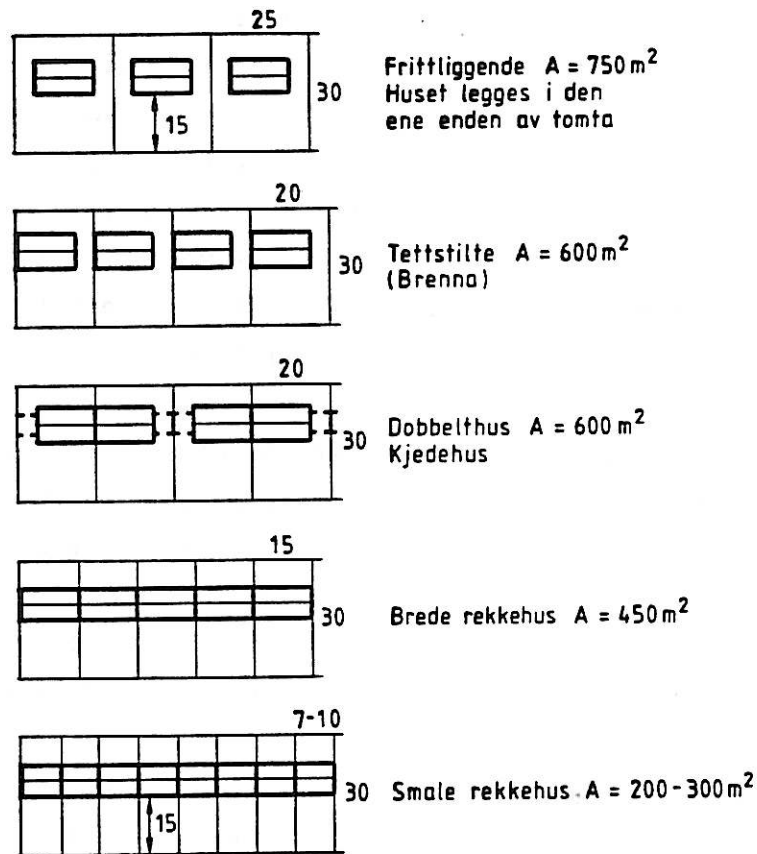


Fig. 04 a

Tomtebredder i område med konsentrert småhusbebyggelse.

God økonomi forutsetter derfor et kostnadseffektivt fjernvarmenett. Dette kan oppnås ved bruk av ny teknikk, nye materialer og infrastruktur-opplegg. Følgende forhold har betydning for kostnadene og må vurderes:

- Bruk av fellesgrøfter er en nødvendig forutsetning for en rasjonell fremføring av alle tekniske anlegg både i ny og etablert bebyggelse.
- Det er spesielt gunstig å kombinere fjernvarmerør med VA-ledninger som må frostsikres. Fjernvarmenettet bør da utformes slik at varmetapet fra rørene kan utnyttes til å frostsikre VA-ledningene samtidig som fjernvarmeisolasjonen kan inngå som en del av VA-isolasjonen for å oppnå en viss frostsikring ved bortfall av fjernvarmen.
- Fjernvarmerørens utforming og montering bør være minst mulig arealkrevende.
- Det bør anvendes en teknikk som muliggjør en hurtig fremdrift:
  1. Rørene bør kunne monteres uten forvarming (enkel ekspansjonskompensering).
  2. Det bør benyttes en enkel og sikker sammenføyningsteknikk.
- Grøftelengdene bør være kortest mulig. Dette kan resultere i ledningsføringer over privat grunn og under husrekker.
- Det bør være mulig å skifte ut fjernvarmerør under boliger eller andre vanskelig tilgjengelige steder uten omfattende anleggstekniske arbeider.
- Rør og isolasjon bør kunne tåle omfylling med ensgraderte knuste masser av typen finpukk 8-12 mm. Finpukk er selvkomprimerende, har lav varmeledningsevne (0,5 - 0,7 W/mK) og kan ikke holde på fuktighet av betydning (1-2 vekt%), egenskaper som er viktige for å oppnå et lavt varmetap kombinert med en god mekanisk beskyttelse av rørene.
- Isolasjon og rørmaterialer bør kunne tåle å ligge i grunnen uten en omfattende fuktbeskyttelse og ha tilstrekkelig styrke til å tåle ytre anleggs- og trafikklaster med minimal overdekning (0,4 - 0,5m).
- Varmetapet fra rørene bør være lavt på kort og lang sikt.

- Enkel utførelse av ventilsystemer, fastpunkter o.l. uten bruk av omfattende kostbare kumsystemer med store varmetap.
- Riktig dimensjonering av rørnettene der anleggs- og driftskostnader sees i sammenheng.
- En behovsstyring av varmeenergien ved hjelp av en temperatur- og mengderegulering bl.a. ved bruk av turtallstyrte sirkulasjonspumper og utetemperaturkompensering av turtemperaturen.
- Valg av en effektiv innreguleringsmetode basert på et godt beregningsgrunnlag og beregningsverktøy. En forinnstillingsmetode kombinert med en stikkprøvekontroll kan gi tilstrekkelig nøyaktighet og sikrer en tilfredstillende varmefordeling i en anleggsfase.
- Fleksible systemløsninger (lavtemperaturanlegg) som kan tilpasses flere energikilder eksterne og interne (solvarme), og utstyrt med varmelager som kan begrense effektbehovet og dermed rørdimensjonene.

## 1 Systemvalg

Det er flere forhold som er av betydning ved valg av fjernvarmesystemer. Energikilden vil ofte kunne sette begrensninger når det gjelder maksimale temperaturer, og store høydeforskjeller og lange rørlengder kan være bestemmende for trykknivået. Både temperaturer og trykk er viktige parametre ved valg av materialer og systemløsninger. Materialvalget vil igjen kunne være avgjørende for kostnadene. I områder med lav varmetetthet er det spesielt viktig å velge systemer som gir minimale rørdimensjoner. Dette krever at varme til boligoppvarming og produksjon av varmt forbruksvann må sees i sammenheng. Varmeenergien til produksjonen av varmt forbruksvann i vanlig isolerte småhus vil ligge på 15 - 25% av energien til romoppvarming. Derimot er effektbehovet for varmtvannsproduksjonen til den enkelte bolig systemavhengig og kan være betydelig høyere enn tilsvarende for varmeanlegget.

Små rørdimensjoner kan oppnås ved bruk av forrådsberedere for varmtvannsproduksjon som vil kunne redusere effekttoppene. Små rørdimensjoner oppnås også når man får en størst mulig avkjøling av fjernvarmevannet. Dette krever at flere varmevekslere for varmeforbrukende enheter er koblet i serie, flertrinnskoblinger. Man kan sikre en god avkjøling av fjernvarmevannet ved å bruke en kombinasjon av forskjellige typer varmeanlegg og ved å forvarme forbruksvannet og ventilasjonsluften. En forvarming av forbruksvannet er særlig aktuelt hvis man har et stort og relativt kontinuerlig varmtvannsbehov. Små boligenheter har derimot et relativt lite varmtvannsbehov og stor intermittens i forbruket. Det er også relativt sjelden at mindre boliger er utstyrt med et balansert ventilasjonsanlegg. Samtidig finnes det varmegjenvinnere for ventilasjonsluften med virkningsgrader på hele 90 % der det er lite behov for ettervarming.

For å sikre en god utnyttelse av den varmeenergien som tilføres med fjernvarmevannet, bør det settes krav til de interne varmeanleggene. Lave vanntemperaturer forutsetter bruk av store flater med lav overflatetemperatur, f.eks. gulvvarme eller konvektorsystemer. Boliger med plate på grunn fundamentering, som er mest vanlig i dag, egner seg spesielt godt for gulvvarme. Fordelene med gulvvarmeanlegg sett i en fjernvarmesammenheng er at disse anleggene i tillegg til å utnytte lave vanntemperaturer, også til en viss grad kan være i drift i sommerhalvåret, f.eks. for våtrom som bad og vaskerom.

Rent generelt er det viktig å ha systemløsninger som er fleksible med hensyn til en gradvis utbygging av nettet. Det er også viktig at man har en seksjonering og oppbygging av anleggene som sikrer en tilfredstillende funksjon i en anleggsperiode, eller hvis det oppstår feil i deler av anlegget.

## 11 Varme til boligoppvarming

Det skilles primært mellom direkte og indirekte systemer som igjen har en rekke varianter. Det karakteristiske ved det direkte systemet er at vannet i sekundærnettet også sirkulerer i abonnentens varmesystem,

fig. 11 a. Man har derfor samme trykk i distribusjonsnett og i abonnentens varmeanlegg som beredere, radiatorer etc. Det direkte systemet egner seg derfor dårlig for bruk i større områder med store høydeforskjeller. Hvis det oppstår feil i anlegget hos en abonnent (lekkasje el.l.) vil dette kunne skape problemer med varmforsyningen i hele områder. Bruk av det direkte systemet setter derfor store krav til utførelsen og innreguleringen.

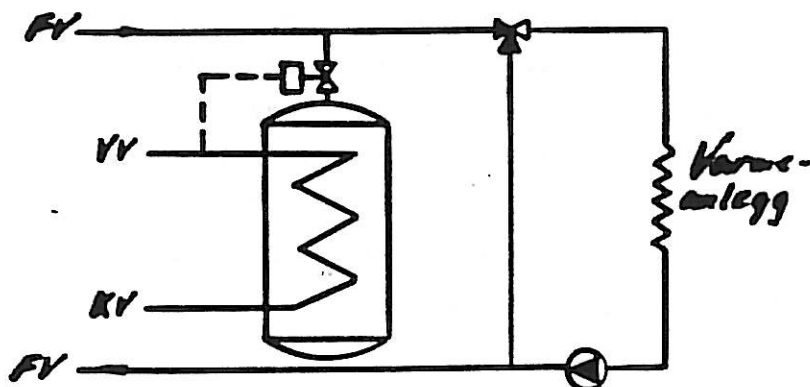


Fig. 11 a  
Prinsippskisse, direkte system.

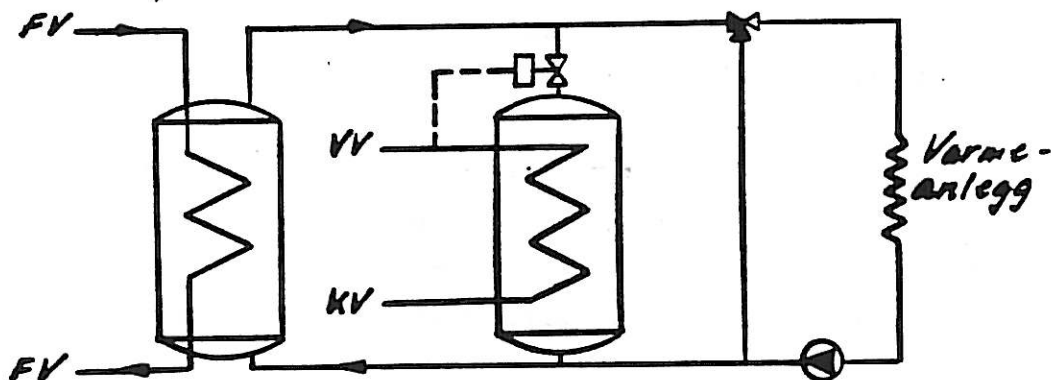


Fig. 11 b  
Prinsippskisse, indirekte system

I det indirekte systemet er det plassert en varmeveksler i hver bolig eller gruppe av boliger, fig. 11 b. Det indirekte systemet er godt egnet for områder med store høydeforskjeller, samtidig som abonnentens eget



varmesystem ikke vil innvirke direkte på sekundærnettet. Det er spesielt viktig at feil som kan oppstå hos abonnentene, ikke påvirker den generelle varmforsyningen, i et område med et stort antall abonnenter. Systemet er også fleksibelt med hensyn til utbyggingstakten i et område. Da man alltid vil ha et temperaturtap i en varmeveksler, må dette kompenseres ved å øke vannføringen eller turtemperaturen. De tekniske fordelene ved et indirekte system i områder med lav varmetetthet er så store at vi vil anbefale dette systemet brukt. Rent totaløkonomisk vil ikke forskjellene på systemene være så store idet det indirekte systemet vil være vesentligere lettere å innregulere.

## 12 Forsyning av varmt forbruksvann

Det er to prinsipielt forskjellige måter å forsyne et område med varmt forbruksvann. Varmt forbruksvann kan produseres sentralt eller lokalt i hver bolig eller boliggruppe.

En varmeveksler sentralt beliggende i abonnentsentralen vil kreve egne fordelingsledninger til hver bolig. For å opprettholde vanntemperaturen må en i tillegg ha en sirkulasjonsledning. I stedet for to rør ender man opp med et firerørssystem. Dette vil gi større varmetap og økte rørkostnader. En firerørsløsning vil på grunn av store rørlengder vanligvis ikke være regningsvarende hvis man samtidig skal føre frem varme til boligoppvarming. Man kan imidlertid godt tenke seg løsninger også i områder med ren elektrisk oppvarming der varmt forbruksvann produseres sentralt og distribueres via et separat rørnett, fig. 12 a. Dette kan være aktuelt hvis en ønsker å utnytte begrensede lokale energikilder. For å få ned distribusjonskostnadene kan f.eks. fordelingsnettet legges i fellesgrøfter med kabelnettet hvis dette skal forsterkes eller legges om fra luftstrekk til jordkabler, fig. 12 b.

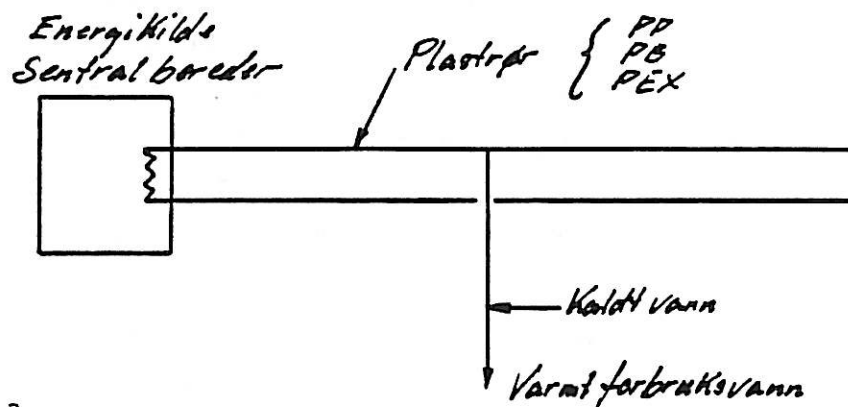


Fig. 12 a

Sentral varmtvannsbereder og rørnett for varmt forbruksvann.

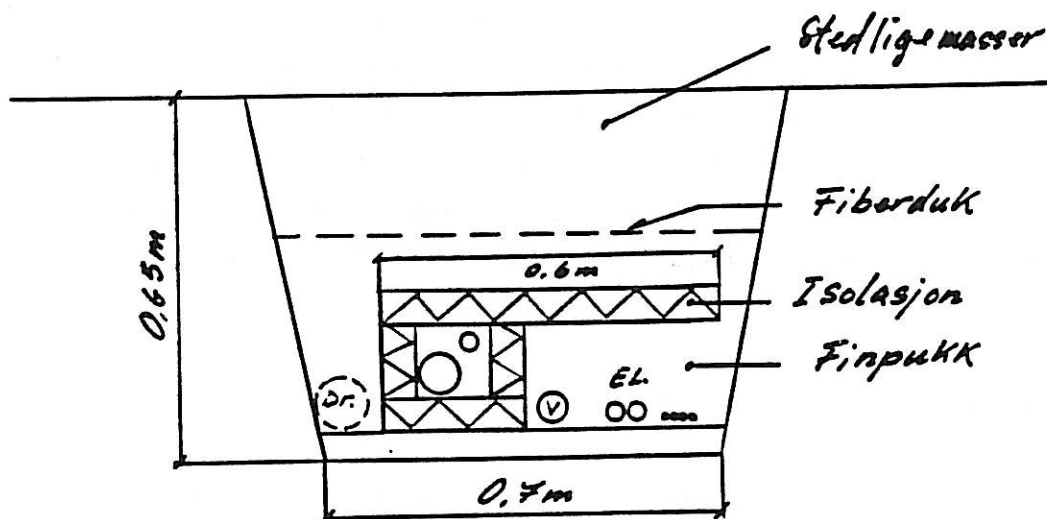


Fig. 12 b

Fellesgrøft for varmt og kaldt forbruksvann og kabler.

En desentralisert produksjon av varmt forsyningsvann i hver bolig eller boliggruppe, kan foregå ved hjelp av en varmeveksler uten vannvolum, eller en forrådsbereder som gjerne kombineres med boligens varmeanlegg med en egen eller felles varmeveksler. Bruk av en varmeveksler med et vannvolum, en forrådsbereder, er prinsipielt gunstig da det gir mulighet for varmelagring og dermed redusert effektbehov. På grunn av sammenlagringen i varmtvannforbruket, vil varmelagring gi størst utslag for rørdimensjonene inn til de enkelte boligene eller til mindre boliggrupper. For å komme frem til økonomisk optimale løsninger må rørdimensjoner, vanntemperaturer og vannvolumen sees i sammenheng. Figur 12 c viser en totrinnskobling som gir en god avkjøling av primærvannet samtidig som det opprettholdes stor kapasitet på varmtvannsproduksjonen. Varmtvannsproduksjonen kan økes ytterligere ved at berederen utstyres med en elektrisk varmekolbe eller en egen varmespiral for fjernvarmevannet, fig. 12 d. Denne varmespiralen settes bare i drift ved stort varmtvannsforbruk når vanntemperaturen f.eks. faller under  $45^{\circ}\text{C}$ , eller under sommerforhold når anlegget kjører med minimumstemperaturer. Generelt vil bruk av en forrådsbereder være gunstig idet denne kan utstyres med en elkolbe for en fleksibel energiforsyning. Dette vil kunne gi en stor forsyningssikkerhet samtidig som en kan benytte lavtemperaturvarme. En forrådsbereder kan også benyttes til

lagring av solvarme som i kombinasjon med el kan gjøre det unødvendig å kjøre fjernvarmeanlegget om sommeren eller i en anleggsperiode, når bare enkelte hus er innflyttningsklare. Det kan da være gunstig å ha beholder med et relativt stort vannvolum (300 - 400 l).

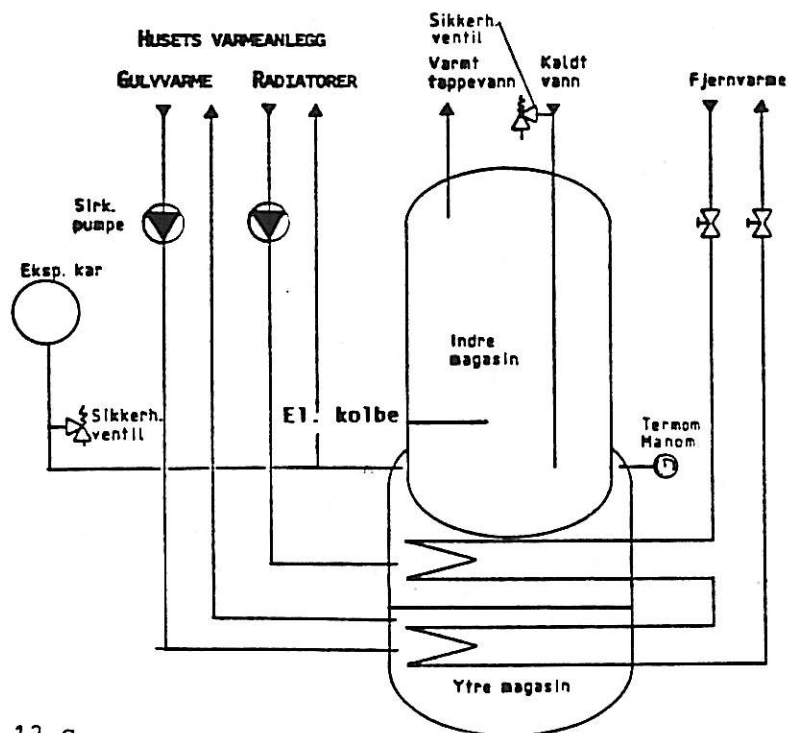


Fig. 12 c

Varmeveksler med forrådsbereder, totrinnskobling.

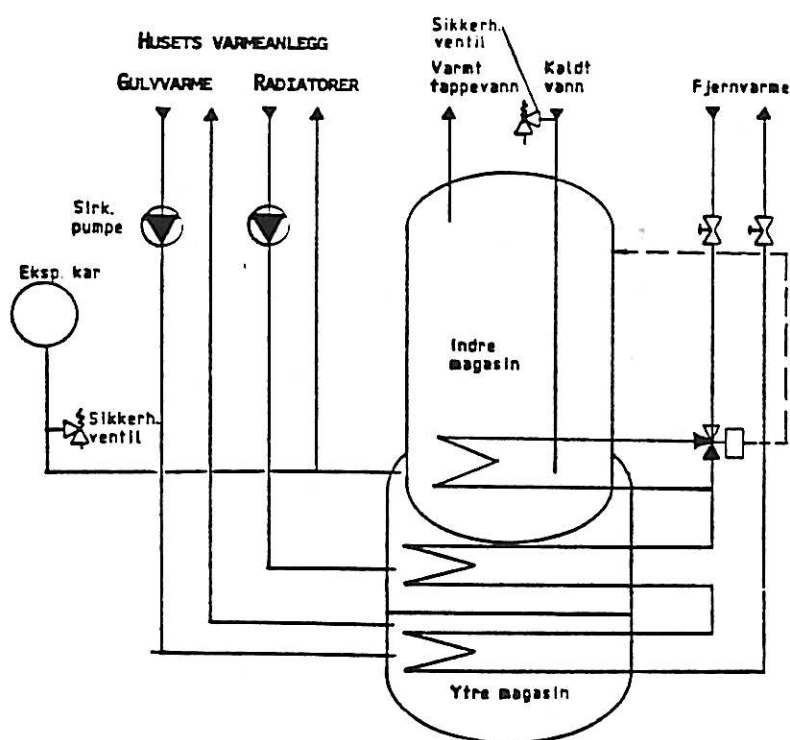


Fig. 12 d

Varmeveksler med forrådsbereder, tetrinnskobling for stort varmtvannsforbruk.

Hvis temperaturløstapet i varmeveksleren for produksjon av forbruksvann (5 - 10 °C) skaper problemer med lave vanntemperaturer, kan dette alltid løses ved at det tilføres noe elektrisk energi. Varmt forbruksvann kan også tappes direkte fra sekundærnettets før varmeveksleren, fig 12 e. Denne løsningen er forsøksvis brukt i Sverige (GRUDIS-system).

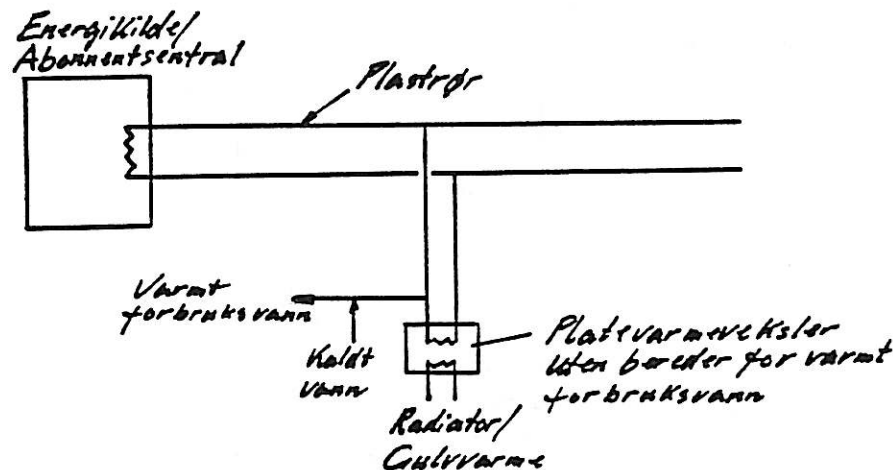


Fig. 12 e

System med platevarmeveksler der varmt forbruksvann tappes direkte ut av rørnettets.

Utførelsen krever relativt store rørdimensjoner da det ikke finnes magasineringsmuligheter i tillegg til vannvolumet i rørene og man ikke ønsker for store svingninger i vanntrykket på grunn av varierende forbruk. Det kan også stilles et spørsmål om vannkvaliteten hvis det oppstår en lekkasje i en varmeveksler. I tillegg kan det være vanskelig å oppdage lekkasjer i rørnettets. Da systemet opererer med oksygenrikt vann, må varmevekslerne og rørforbindelser være utført i materialer som ikke utsettes for korrosjon. Dette kan være plast, kopper eller rustfritt stål.

Vi vil her behandle det indirekte systemet som er mest vanlig i Norge med store høydeforskjeller. For å få en mest mulig fleksibel løsning vil dette omfatte bruk av en villavarmveksler med forrådsbereder for produksjon av varmt forsyningsvann.

## 2 Ledningsføring og trasévalg

Distribusjonskostnadene for fjernvarmeanlegg i tradisjonell utførelse utgjør i størrelsesorden 60% av anleggskostnadene. Her utgjør grøftene en betydelig kostnadsfaktor. En reduksjon av grøftekostnadene kan oppnås ved å benytte kulvertløsninger som er lite arealkrevende, samordne alle tekniske anlegg i fellesgrøfter, og velge rørtraseer som gir kortest mulige rørlengder. Det vanligste er å bruke et stjernesystem der man bare har en forsyningsmulighet for hver boliggruppe. Da vannledningsnett i et boligområde ofte utføres som et ringnett fig. 2a, er det nærliggende ved bruk av fellesgrøfter at også deler av fjernvarmenettet utføres som et ringnett. Man oppnår da med relativt beskjedne tilleggskostnader en stor grad av leveringssikkerhet.

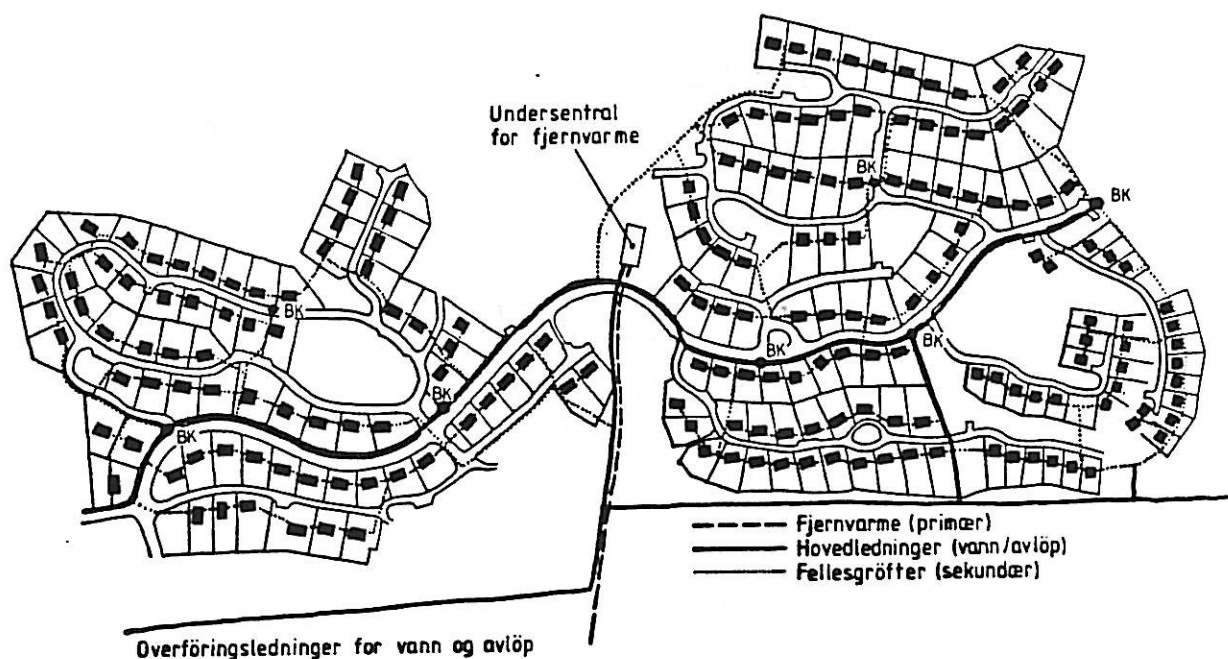


Fig. 2a

Eksempel på bruk av et ringledningsnett i et boligområde

## 21 Bruk av fellesgrøfter

Det er relativt enkelt å oppnå en samordning av tekniske anlegg i fellesgrøfter i nybyggingsområder. I etablerte områder bør en tilstrebe å kombinere anlegg av fjernvarme med rehabilitering/sanering av VA-ledninger og kabler, anlegg av gang/sykkelveier, reasfaltering av veier etc. En samordning av disse arbeidene vil alle bidra til å redusere grøftekostnadene da det blir flere kostnadsbærere uten en tilsvarende økning av grøftekostnadene. Figur 21a viser fjernvarmeanleggets andel av grøftekostnadene med forskjellig grad av samordning av tekniske anlegg i fellesgrøfter. Hvis en kombinerer fjernvarme med anlegg for VA, eller VA og kabler, vil fjernvarmerør lagt i en isolasjonskulvert ikke belastes med grøftekostnader. Dette skyldes det forhold at isolasjonskulverten for fjernvarmerørene utgjør en del av frostsikringen for for VA-ledningene, fig. 21b. Ved å kombinere grøfter for fjernvarme og kabler vil fjernvarmeanleggets andel av grøftekostnadene kunne halveres.

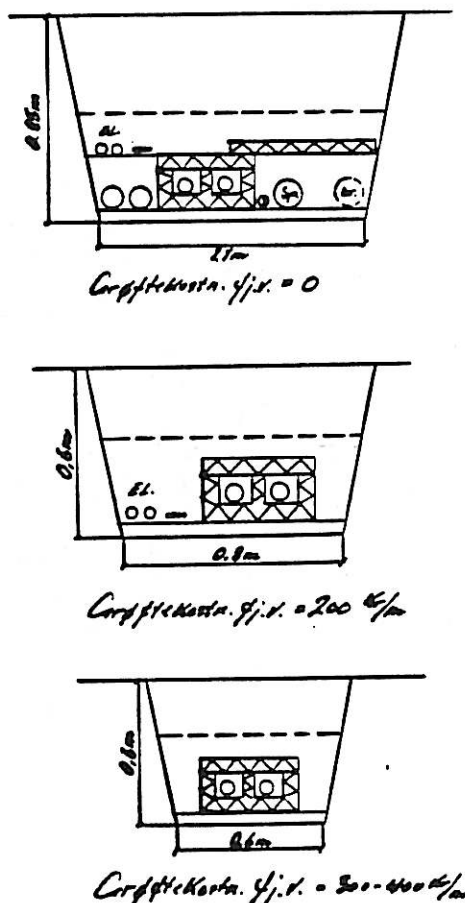


Fig. 21a

Fjernvarmeanleggets andel av grøftekostnadene med forskjellig grad av samordning.

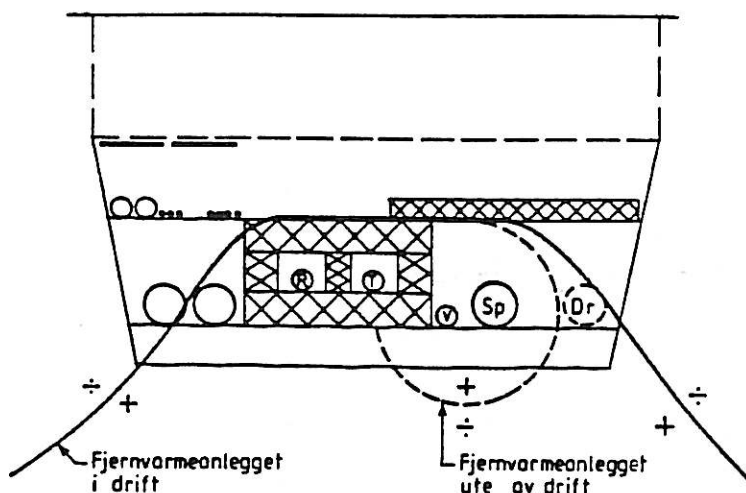
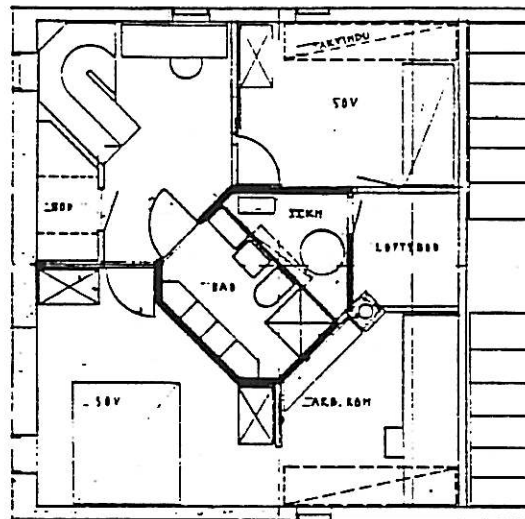


Fig. 21b

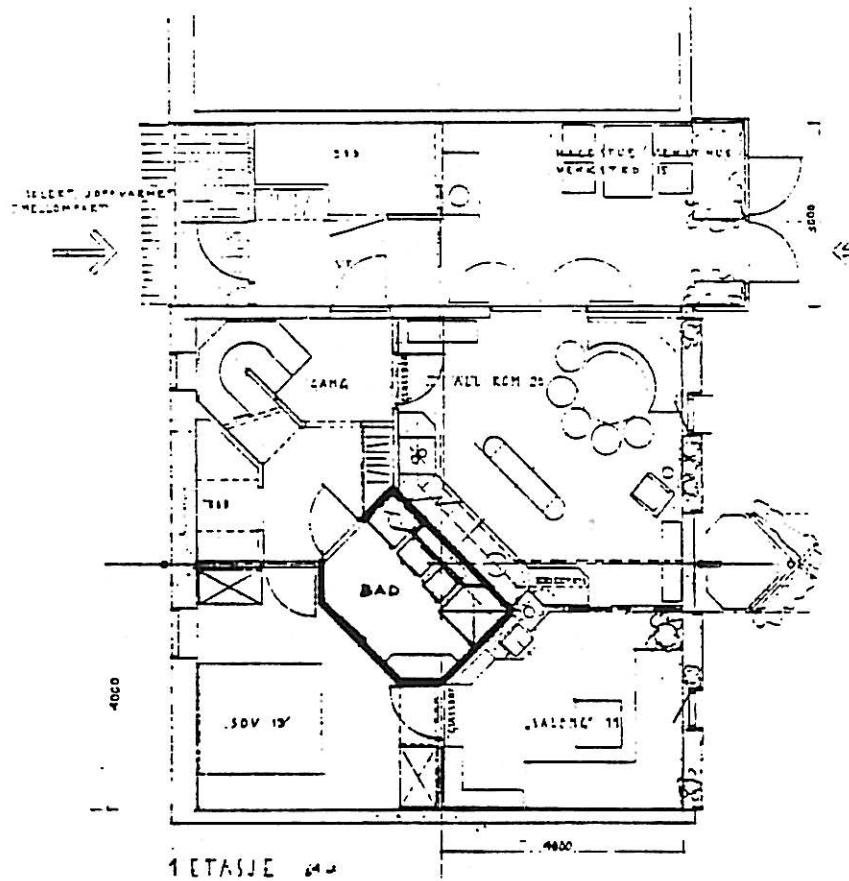
Frostsonens beliggenhet i en fellesgrøft med å uten drift av fjernvarmenettet

## 22 Trasévalg

I tillegg til å velge grøftetraseer som gir kortest mulige rørlengder, bør man mest mulig unngå sprengningsarbeider. Dette gjelder generelt for alle tekniske anlegg i grunnen. For fjernvarmerørene er det også viktig å legge rørene termisk gunstig for at varmetapet skal bli minst mulig. Rørene skal da ligge over grunnvannsstanden og helst i relative tørre masser med lav varmeledningsevne (finpukk). En rørføring under boliger reduserer varmetapet fra disse rørene med ca. 25%, samtidig som varmetapet fra røret kan komme boligen til gode i form av redusert varmetap til grunnen. Ved en ledningsføring under husrekker bør det stilles bestemte krav til utførelsen. Alle avgreninger på sekundærnettet skal ligge utenfor fundamentplaten eller sentralt plassert i boligen med god tilgjengelighet. Hvis man har mulighet til å påvirke husets planløsning, vil en felles tilkoblingsenhet for fjernvarme, vann og kabler inne i boligen være den rimeligste og beste løsningen. Dette prinsippet er gjennomført ved all ny bebyggelse på Svalbard og gir anleggs- og driftsmessige gode løsninger. Figur 22a viser et eksempel på en planløsning der vårrom og tekniske installasjoner er konsentrert og plassere sentralt i boligen. Som for vannledningen bør fjernvarmerørene være utskiftbare under huset. Dette kan oppnås ved å legge fjernvarmerørene inne i en isolasjonsskulvert eller i varerør.



2 ETASJE 42,5 m



1 ETASJE 64,0

Fig. 22a

Eksempel på planløsning med beliggenhet av våtrom og tekniske installasjoner. (Ark. MNAL Johan-D.Martens og Erlend Løvstakken)



### 3 Materialer

#### 31 Rørmaterialer

Rent styrkemessig vil temperaturnivå og rørdimensjoner sette fysiske begrensninger for valget av rørmaterialer. Kravet til rørenes levetid, på grunn av korrosjon eller andre forhold, bør være av avgjørende betydning for rørenes materialegenskaper. Praksis viser at dette er altfor lite påaktet. Avhengig av bruken kan vannkvaliteten være sterkt varierende. Hvis det utelukkende skal leveres varmt forbruksvann, vil vannet være oksygenrikt, mens det ellers i et mer lukket system vil kunne ha forskjellige kvaliteter, avhengig av om det legges opp til en aktiv vannbehandling eller ikke.

Økonomiske forhold vil også være av avgjørende betydning for materialvalget. I tillegg til selve materialkostnadene kommer faktorer som skjøtemetoder, krav til omfyllingsmaterialer, forvarming av rørene, varmetap og forventet levetid. For rørdiametre over 100 mm Ø og temperaturer over 90 °C vil det nesten utelukkende være stål/støpejern som er aktuelt å bruke. Et 100 mm Ø rør vil kunne ha en overføringsevne for varmeeffekt i størrelsesorden 1,0 - 2,0 MW ved en temperaturdifferanse på 20 - 40 °C. Dette er en relativt betydelig varmemengde som f.eks. er tilstrekkelig til å forsyne et område med opptil 200 boligenheter med varme for oppvarming og varmt forbruksvann. I områder med en lav varmetetthet vil det derfor i det vesentlige være rør med mindre dimensjoner som benyttes. Det er for disse rørdimensjonene utviklet en rekke fjernvarmerør der rør og isolasjon prefabrikeres som en enhet. Vi vil her se på selve rørmaterialet uavhengig av isolasjonsutførelsen.

Figur 31a viser aktuelle materialtyper for fjernvarmerør med praktiske dimensjonsbegrensninger. Tradisjonelle rørmaterialer som kopper og stål er utsatt for forskjellige typer korrosjon både utvendig og innvendig i røret. Skal disse rørene brukes, må man ha full kontroll med vannkvaliteten, temperatur- og fuktforholdene og rørspenninger som følge av røreksjonen. Relativt hyppig skadefrekvens viser at denne kontrollen er høyst mangelfull for mindre fjernvarmeanlegg.

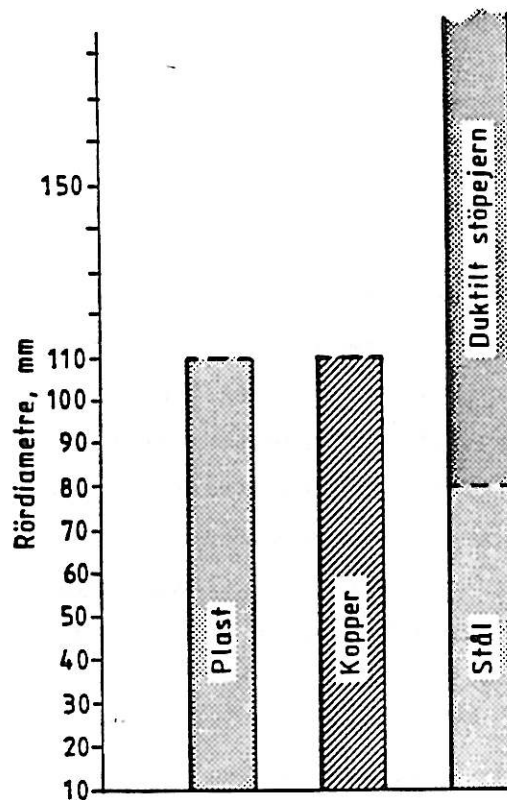


Fig. 31a

Aktuelle materialer for fjernvarmerør, økonomiske og praktiske dimensjonsbegrensninger.

### 32 Stålrør

For større overføringsledninger (> 100 mm Ø) både i primær og sekundærnettet vil bruk av stålrør normalt gi den rimeligste løsningen. Som rørmaterialer kan det brukes både vanlig stålrør i sveisbar kvalitet eller duktile støpejernsrør med muffeskjøter og gummipakninger, fig. 32 a.

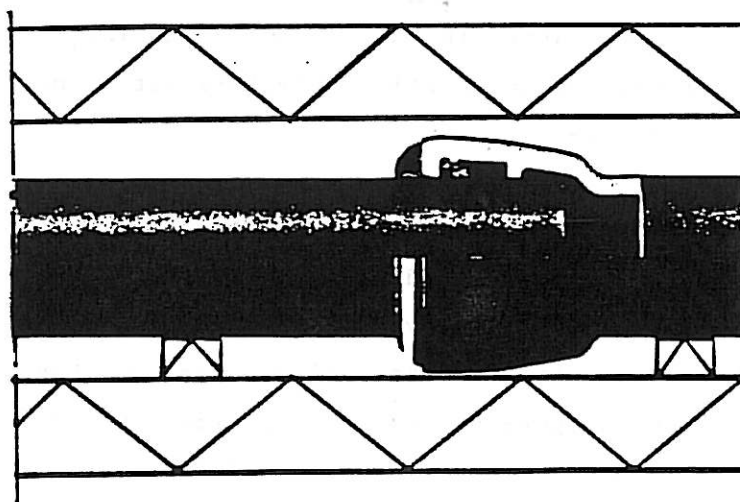


Fig. 32a

Fjernvarmerør i duktilt støpejern med muffeskjøt og gummipakninger.

Det er utviklet gummipakninger som tåler kontinuerlige driftstemperaturer på 120 °C. Duktile støpejernsrør med gummipakninger er bl.a. testet i Sverige der man ikke har funnet lekkasjer selv under ekstreme belastningstilfeller med store svingninger i temperaturen (5 - 120 °C).

(3). Rent generelt, når det inngår plast eller gummimaterialer i fjernvarmenettet, vil det alltid være en fordel å benytte så lave temperaturer som mulig. Lave temperaturer ( $\leq 60$  °C) vil gi økt levetid for pakningene og redusere varmetapet fra rørene. Ved å bruke en kombinasjon av fleksible og strekkfaste skjøter vil problemene med røreksponasjon kunne elimineres. Samtidig vil leggekostnadene for rørene kunne reduseres med inntil 70% i forhold til rør med sveiste skjøter. Bruk av sveiste skjøter er arealkrevende og vanskeliggjør en samordning med andre tekniske anlegg i fellesgrøfter. Når rørene ikke skal sveises, kan de forsinkes utvendig. Dette er en rimelig og meget effektiv måte å sikre rørene mot utvendig korrosjon.

Som vi skal se for sekundærnett med små dimensjoner, kan også stålrørene legges i en isolasjonsskulvert som tåler å ligge i grunnen uten en omfattende fuktbeskyttelse. Det er utviklet en ny skumplastisolasjon (polystyren-polypropylen) som tåler kontinuerlige driftstemperaturer på 120 °C og kan legges i grunnen uten en omfattende fukt- og mekanisk beskyttelse. Figur 32b viser eksempler på større fjernvarmerør i en isolasjonskasse i en separat og i en fellesgrøft med en hovedvannledning og kabler. Igjen vil en samordning av fjernvarme- og vannrør i en fellesgrøft være meget gunstig. Ved bruk av en isolasjonsskulvert vil denne inngå i vannledningens frostisolering.

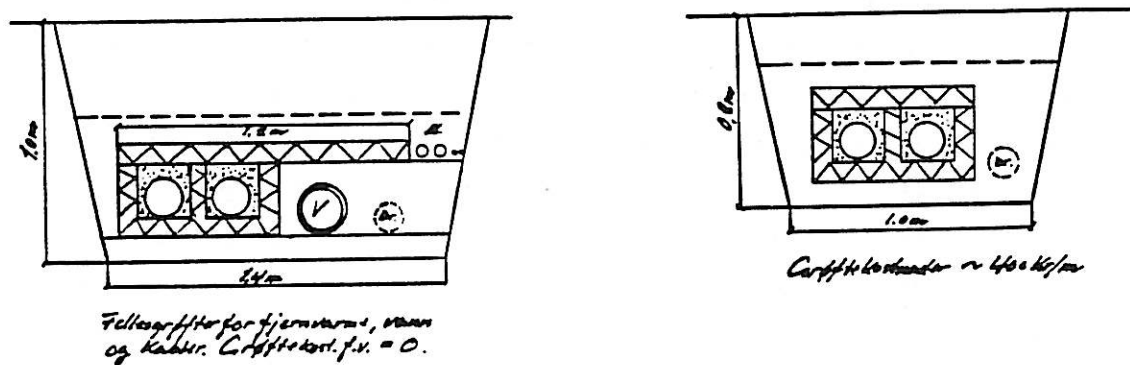


Fig. 32b

Større fjernvarmeledninger i en separat og i en fellesgrøft.  
Fjernvarmeanleggets andel av grøfttekostnadene.

Figur 32c viser en fellesgrøft der det er benyttet preisolerte fjernvarmerør (tradisjonell utførelse) i fellesgrøfter med VA-ledninger og kabler. Grøftebredden vil være sterkt avhengig av den plassen som kreves for å kunne sveise og isolere rørskjøtene.

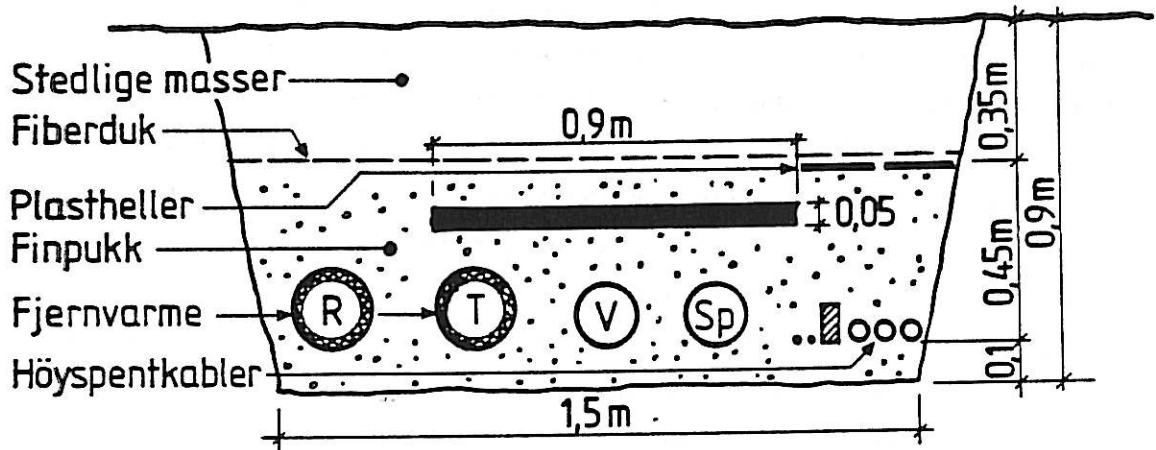


Fig. 32c

Preisolerte fjernvarmerør (tradisjonell utførelse) i fellesgrøfter med VA-ledninger og kabler

### 33 Plastrør

Som for vannledninger er det grunn til å anta at plastrørene helt vil overta markedet når det gjelder mindre fjernvarmerør. Fordelene med plastrør er flere. Spesielt kan nevnes karakteristiske egenskaper som lav vekt, enkle skjøtemetoder, lav varmeledningsevne, korrosjonsbestandighet og relativt lav pris. Da plastmaterialene er et viskoelastisk materiale, kan indre spenninger på grunn av temperaturforandringer opptas i materialet. Det er derfor ikke nødvendig med spesielle tiltak for å kompensere for termisk ekspansjon som er et betydelig problem når det brukes metallrør. Plastrørens viskoelastiske egenskaper fører også til at rørene får en relativt stor godstykkelse spesielt for større rørdiametre. Dette er med på å sette en øvre økonomisk dimensjonsgrense for bruk av plastrør som i en fjernvarmesammenheng vil ligge rundt 100 mm Ø.

Et vesentlig problem med plastrør er oksygen- og vanndampdiffusjon gjennom rørveggen ved høyere temperaturer. Tilførsel av oksygen til vannet vil kunne føre til korrosjon hvis det er stål til stede i fjernvarmesystemet. Diffusjon av vanndamp gjennom rørveggen vil kunne føre til en kondensering av vann inne i isolasjonen. Tradisjonelt utførte preisolerte rør vil dermed kunne få en svekkelse av isolasjonsevnen med et etterfølgende høyt varmetap. Problemer som kan oppstå på grunn av oksygen- og vanndampdiffusjonen i plastrør kan unngås på forskjellige måter.

Det enkleste er å bruke et fjernvarmenett der det ikke inngår vanlige stålkvaliteter. Varmevekslerne må da utføres i syrefast stål som krever at det er noe oksygen i vannet for å opprettholde et passivt korrosjonsbeskyttende overflatesjikt. Også varmevekslere i kopper kan benyttes hvis man for øvrig har kontroll med vannkvaliteten (bl.a. pH-verdien). Fuktproblemer i isolasjonen på grunn av vanndampdiffusjon kan forhindres ved at det benyttes en isolasjonsskulvert der isolasjonsmaterialet er relativt diffusjonsåpent, f.eks. ekstrudert polystyren. Det er også mulig å dekke isolasjonen med et diffusjonstett sjikt. Dette er mer komplisert og dermed en dårligere løsning.

Det finnes også tilgjengelig plastrør i tilnærmet diffusjonstett utførelse. Denne egenskapen oppnår man ved at det benyttet et sjikt med et plastmateriale med stor diffusjonsmotstand på røroverflaten. Det mest Problemet er imidlertid at dette materialet ikke har tilsvarende egenskaper når det gjelder vanndampdiffusjon der materialet er relativt åpent. Røret egner seg derfor spesielt godt i mer åpne isolasjonssystemer, f.eks. kulvertutførelser. Det finnes også rør med en metallfolie som sperre både for oksygen og vanndampdiffusjon. Det er vanligvis en Al-folie som benyttes. Da forskjellen mellom utvidelseskoeffisienten mellom Al og f.eks. PEX rør er stor, en faktor på 6, har disse rørene problemer med å tåle store temperaturvekslinger. Det foregår imidlertid et omfattende utviklingsarbeid for å få frem diffusjonstette plastrør for høye temperaturer.

Temperatur og tykkforholdene er avgjørende for hvilke type plastrør som kan benyttes. I lavtemperaturanlegg med maksimale temperaturer på 50 - 60 °C finnes det flere typer relativt rimlige plastmaterialer som kan benyttes. Aktuelle rørmaterialer for fjernvarmerør i plast er bl.a. tverrbundet Polyetylen (PEX), Polyester og Epoxy, Polybutylen (PB), Polypropylen (PP), Polyvinylklorid (PVC) og Klorert Polyvinylklorid (PVC-C). Hvis temperaturen i lengere perioder kommer opp mot 110 °C, vil en bare kunne bruke PEX og Polyester/Epoxy materialer. Ved en maksimal temperatur på 80 °C vil i tillegg materialer som PB og PVC-C kunne benyttes. Ved temperaturer ned mot 60 °C vil også billigere materialer som PP og PVC kunne benyttes. Tabell 33 gir en oversikt over temperaturbegrensninger for forskjellige plastrørstyper med en antydning av prisnivå der + betyr høy pris, og - lav pris mens (+) betyr en mer moderat pris.

Tabell 33

Aktuelle plastmaterialer i fjernvarmerør.

		Maks. temp. °C	Pris
PEH	Polyetylen, high density	50	+
PP	Polypropylen	60	+
PVC	Polyvinylklorid	60	(+)
PB	Polybutylen	80	(+)
PVC-C	Klorert Polyvinylklorid	80	(+)
PEX	Polyetylen, tverrbundet	110	(+)
PVDF	Polyvinylidenfluorid	110	-
	Polyester/Epoxy	110	-

Ved bruk av plastrør vil levetiden være bestemt av kombinasjonen temperatur og trykk. Da det er plastrørens kripegenskaper som er bestemmende for rørens levetid, vil en kortvarig temperatur- eller trykkøkning ha liten betydning for rørens totale levetid. Man har derfor en relativt god sikkerhet mot rørbrudd når det benyttes plastrør.

Figur 33a viser forskjellige plastrørs langtidsegenskaper ved en kontinuerlig driftstemperatur på 60 °C. Ved dette temperaturnivået og lave rørspenninger (2 - 3 N/mm<sup>2</sup> ved 6 bar), vil de fleste aktuelle plastrørstyper ha en levetid på minimum 50 år.

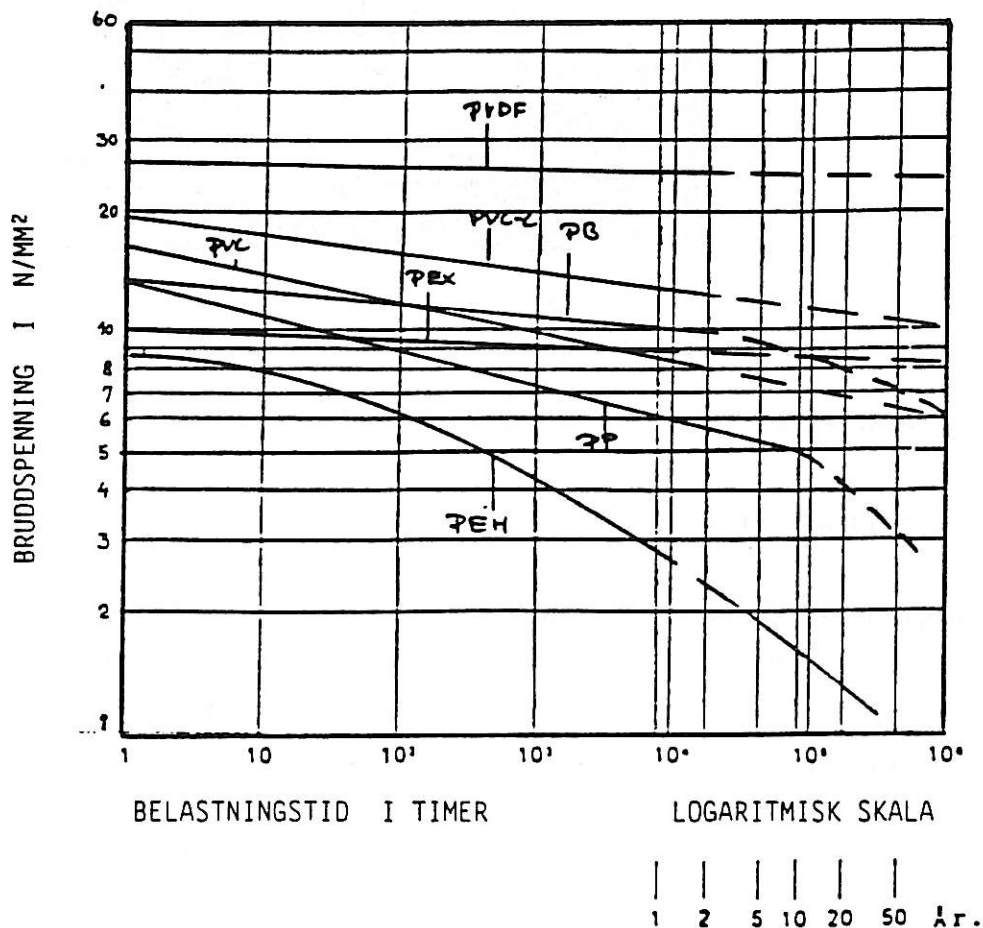


Fig. 33a

Langtidsegenskaper for forskjellige typer plastrør ved 60 °C.

Plastrørene leveres på kveil helt opp til 65 mm Ø, og det er utviklet meget rasjonelle skjotemetoder. Dette kan være mekaniske skjøter som benyttes for PEX rør, fig. 33 b, elektriske sveisemuffer for PB-rør eller andre sveisemetoder som for PP-rør. Enkle sammenføyningsmetoder er en absolutt forutsetning for å få ned leggekostnadene for rørene.

Man kan altså konkludere med at det finnes flere typer plastrør som er godt egnet til bruk i fjernvarmenett. Det må imidlertid presiseres at det er viktig å kjenne rørenes egenskaper og utføre anlegget med hensyn til dette.

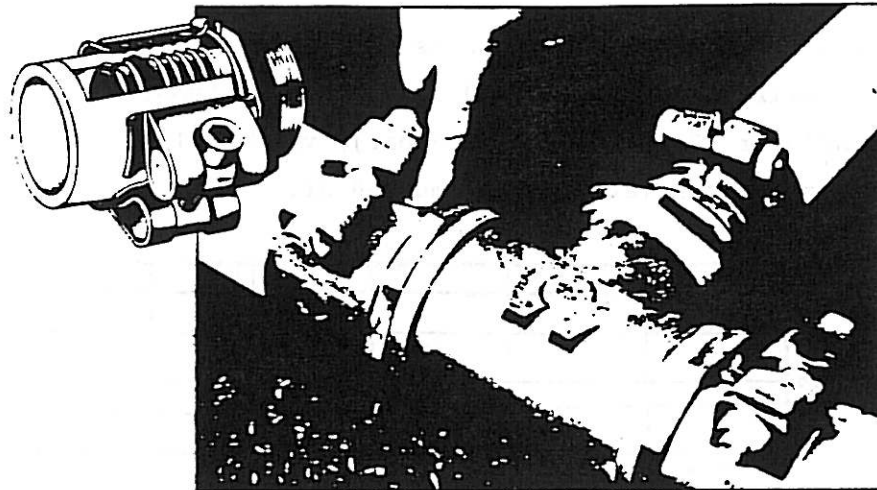


Fig. 33b

Mekanisk skjøteforbindelse for plastrør (PEX-rør).

#### 34 Isolasjonsmaterialer

På grunn av store differanser mellom vann- og omgivelsestemperaturen må det stilles strenge krav til isolasjonsmaterialene som skal brukes i fjernvarmeanlegg. Følgende materialegenskaper vil være avgjørende for utforming og egnethet i fjernvarmeanlegg.

1. Trykkstyrke (krav til mekanisk beskyttelse, omfyllingsmaterialer)
2. Varmeledningsevne
3. Kryp- og aldringsegenskaper
4. Fuktømfintlighet (krav til fuktbeskyttelse)
5. Temperaturbegrensninger
6. Aggresivitet i forhold til aktuelle rørmaterialer

Denne listen over karakteristiske egenskaper viser at det finnes få kjente isolasjonsmaterialer som oppfyller alle de krav som bør stilles til en fjernvarmeisolasjon. Tabell 34 gir en grov gradering av noen karakteristiske isolasjonsmaterialers egenskaper som har betydning i en fjernvarmesammenheng.



Tabell 34

Karakteristiske isolasjonsmaterialer for fjernvarmerør.

	Mineralull	PUR	PEL	Ekstr. Polystyren
Trykkfasthet	-	+	-	+
Varmeledningsevne	-	+	(-)	+
Fuktegenskaper	-	-	-	+
Temperatur:				
t < 80 °C	+	+	+	+
t > 80 °C	+	+	(+)	- (*)
Aggresivitet	-	-	+	+
Aldsringsegenskaper	(+)	-	+	+

\* Det er utviklet en ny type isolasjon (polystyren-polypentyleter) med tilsvarende egenskaper som ekstrudert polystyren som tåler 120 °C.

Når det gjelder trykkfasthet, betyr tegnet "-" i tabell 34 at materialene ikke har tilstrekkelig mekanisk styrke til å motstå jordtrykket når det legges i grunnen. Det kreves derfor en mekaniske beskyttelse av disse isolasjonsmaterialene i grunnen. Dette medfører som regel at det må stilles spesielle krav til omfyllingsmaterialene, f.eks. at disse skal bestå av steinfrie masser. Tilsvarende gjelder for fuktegenskaper der tegnet "-" betyr at isolasjonen må beskyttes mot fuktighet fra grunnen eller vanddamp som diffunderer ut gjennom plastrør. Når det gjelder temperaturobestandighet har vi satt en grense ved 80 °C. Når det er satt (+) for PEL isolasjon betyr dette at maks. temperaturen er begrenset til ca. 100 °C. Med aggresivitet forstås akselerert korrosjon på medierør hvis isolasjonen blir utsatt for fuktighet. Dette er tilfellet med fuktig PUR isolasjon og stålrør og fuktig mineralull i kontakt med kopper og stål. Når det gjelder aldringsegenskaper, forstås tap av isolasjonsevne over tid eller en nedbryting av isolasjonen hvis denne blir utsatt for fuktighet og høy temperatur. Spesielt PUR isolasjonen har dårlige egenskaper i denne sammenheng.

Mindre heldige egenskaper etter tabell 34 betyr ikke at isolasjonen ikke kan brukes som isolasjon for fjernvarmerør, men det kreves spesielle tiltak for å kunne opprettholde isolasjonsevnen. Med mindre det brukes spesielle "tørre" omfyllingsmaterialer som pukk e.l., vil fjernvarmerørene i grunnen normalt ligge i et miljø med 100% relativ fuktighet. Da alle isolasjonsmaterialer mister isolasjonsevnen ved fuktopptak, krever dette en absolutt fukttett utførelse hvis isolasjonsmaterialene har dårlige fuktegenskaper.

### 35 Grøftematerialer, termiske og mekaniske egenskaper

Fritt vann som er til stede i grøfta, enten i form av grunnvann eller overflatevann som renner ned i grunnen, vil også kunne fjerne betydelige varmemengder fra fjernvarmerørene. Målinger viser at en kan få en 3-4 dobling av varmetapet fra preisolerte fjernvarmerør hvis disse blir liggende i vann. Denne økningen i varmetapet skjer til tross for at isolasjonen er intakt og tørr. Et vesentlig krav til omfyllingsmassene er derfor at disse skal være drenerende og at rørene må ligge over grunnvannstanden.

Rent generelt vil omfyllingsmaterialenes termiske egenskaper bety mye for fjernvarmerørenes varmetap. For eksempel vil enkelte utførelser av fjernvarmerørene og spesielt skjøtene, der man ofte benytter krympemuffer, kreve bruk av steinfrie masser. Man innfører da masser som kan ha meget uheldige egenskaper både termisk og mekanisk. Steinfrie masser som sand, grus, subbus e.l. må komprimeres omhyggelig for å forhindre setninger, fig. 35a. Videre vil disse massene være ustabile ved vannføring i grøftene, noe som det er vanskelig å unngå i fjellgrøfter.

Steinfrie masser vil kunne holde på betydelig fuktighet og vil derfor ha en relativt høy varmeledningsevne. Fuktige sandmaterialer vil ha en varmeledningsevne rundt 2,0 W/mK eller høyere hvis kvartsinnholdet er høyt. Derimot vil ensgradert finpukk (8 - 12 mm) ha en varmeledningsevne på 0,5 - 0,7 W/mK, samtidig som materialet er nær selvkomprimerende. Grunnen til at ensgradert pukk har så lav varmeledningsevne, skyldes det forhold at materialet har stor porøsitet (30-40%), og kan ikke holde på fuktighet av noe betydning, maks. 1-2 vektprosent. Hvis utførelsen av fjernvarmerørene er slik at det kreves omfylling med steinfrie masser,

vil dette kunne vanskeliggjøre samordningen f.eks. med VA-anlegg i fellesgrøfter der man ofte krever bruk av pukkmasser. Det er derfor viktig å utvikle rør- og isolasjonssystemer som tåler omfylling med ensgraderte materialer av typen finpukk.

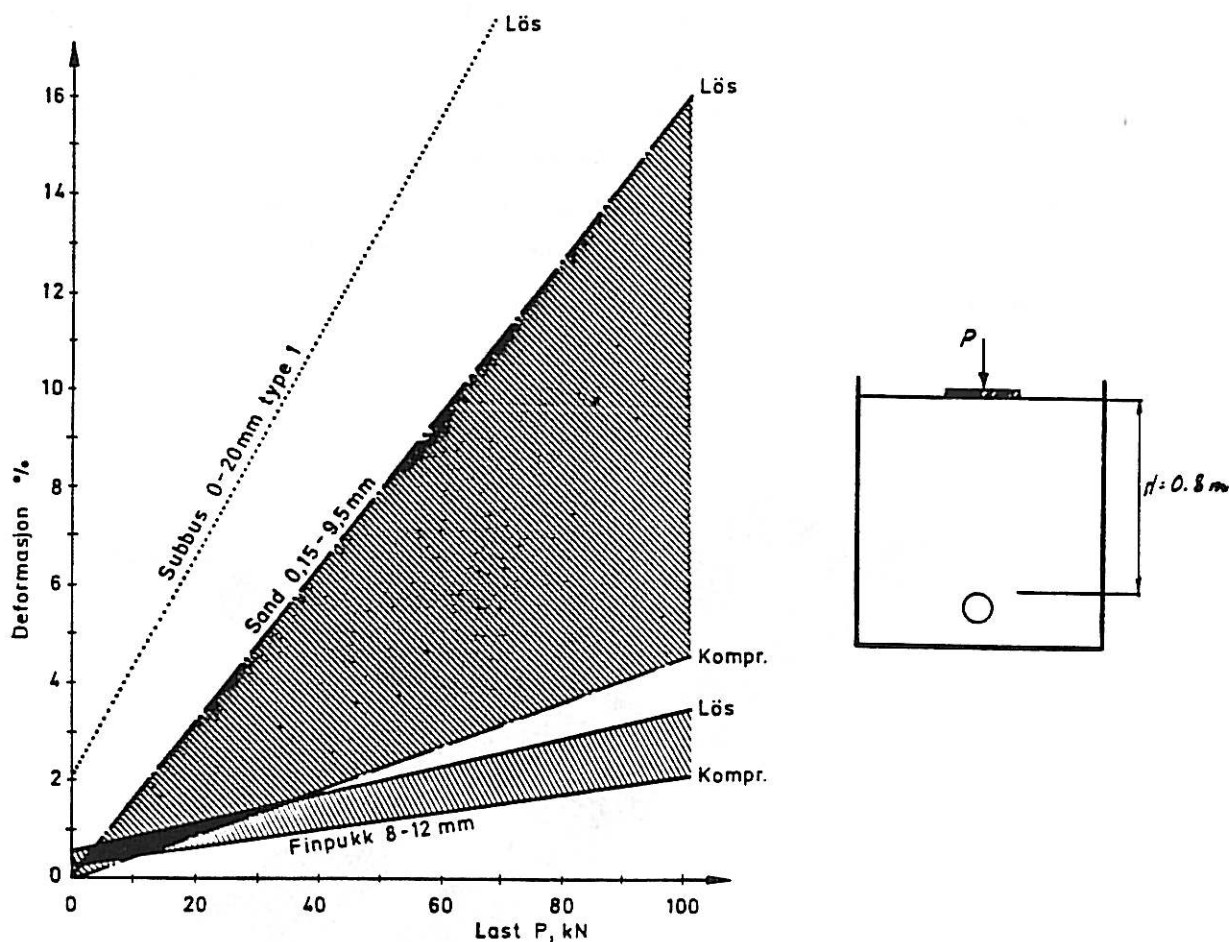


Fig. 35a

Deformasjon av nedgravde fleksible rør for løst utlagt og komprimerte masser av subbus, sand og finpukk.

#### 4 Utførelse

Det finnes en rekke forskjellige utførelser av fjernvarmerør i mindre dimensjoner. De fleste utførelsene er prefabrikkerte rør der isolasjon og rør er en enhet, fig. 4a. Dette kan være enkelt eller dobbeltrør. Dobbelttrør leveres opp til rørdimensjoner på 50 mm  $\emptyset$ . Felles for disse systemene er at det benyttes isolasjon som enten har lav trykkstyrke

og/eller meget dårlige fuktegenskaper. Dette har medført at isolasjonen er utstyrt med en beskyttelseskappe for å kunne opprettholde isolasjonsevnen. Disse rørene består derfor i prinsippet av medierør, isolasjon og et beskyttelsesrør som vanligvis er et PEH materiale. Dette betyr at konstruksjonen stiller store krav til utførelsen og da spesielt skjøtene for å sikre fukttetthet. Ved bruk av diffusjonsåpne plastrør, bør isolasjonen ha en innvendig fuktbeskyttelse for å forhindre oppfuktning. Det finnes utførelser der isolasjonen ligger beskyttet mellom to plastrør, og der medierøret i plast trekkes etter at kulvertøret er lagt ned i grunnen.

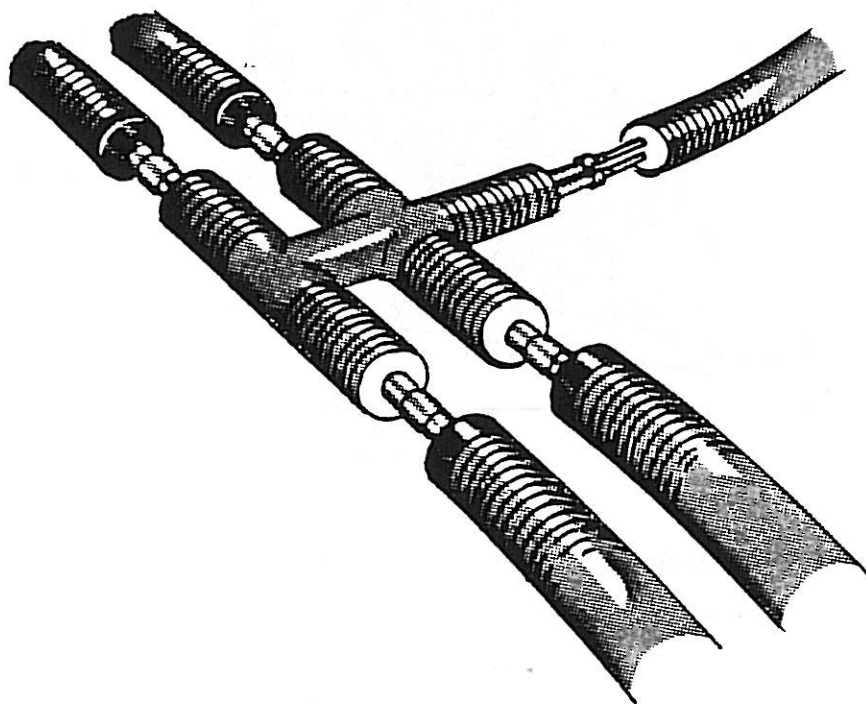


Fig. 4a

#### Preisolerte fjernvarmerør

Hvilken utforming og utførelse en skal ha på fjernvarmenettet vil avhenge en rekke forhold som trasévalg, vannkvalitet, temperaturforhold, bruk av fellesgrøfter, m.m. Vi vil her presentere en type fjernvarmekulvert som rent teknisk tilfredstiller de fleste krav som må stilles til distribusjonsnett for mindre fjernvarmeanlegg. Fjernvarmekulverten er spesielt godt egnet til å samordnes med andre tekniske anlegg i fellesgrøfter.

## 41 Isolasjonskulvert

Figur 41a viser en isolasjonskulvert som er fremstilt i ekstrudert polystyren. Spesielle typer ekstrudert polystyren har stor trykkfasthet og god fuktbestandighet, og tåler å ligge direkte i grunnen uten mekanisk eller fuktbeskyttelse. Isolasjonskulverten har to kamre; et for tur og et for returrøret. Man står i prinsippet fritt når det gjelder valg av rørmaterialer, men vi vil forutsette bruk av plastrør når rørdimensjonen er under 100 mm Ø. Dette kan være diffusjonsåpne eller diffusjonstette rør avhengig av den øvrige konstruksjonen. For større rørdimensjoner forutsettes brukt duktile støpejernsrør med gummipakninger.

Som omfyllingsmaterialer benyttes ensgradert finpukk 8-12 mm Ø. Pukklaget over og under isolasjonskulverten bør ha en minstetykkelse på 50 mm. Ekstrudert polystyren har en øvre temperaturgrense på ca. 80 °C. Kulverten, fig. 41a, er vist i en standardutførelse som har plass til rør opptil 90 mm Ø. Isolasjonstykkelsen er 60 mm som er den minste tykkelsen som kan benyttes i fjernvarmesammenheng. Da isolasjonskulverten er fremstilt av plater, er det enkelt å endre størrelse og tykkelse etter behov.

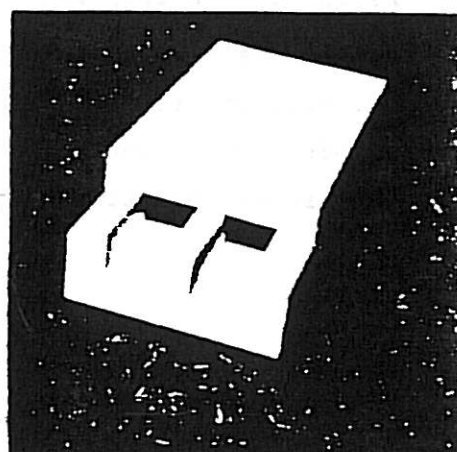
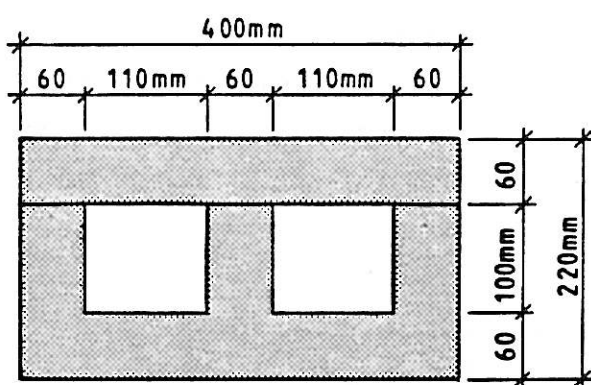


Fig. 41a

Isolasjonskulvert i ekstrudert polystyren for fjernvarmerør.

Ved bruk av en isolasjonskulvert kombinert med metallrør med skjøter uten ekspansjonsmulighet, tilstreber man å bruke en såkalt fri ekspansjonskompensering av rørene. Det betyr at rørene kan ekspandere fritt ut fra visse fastpunkter. Ekstrudert polystyren har større trykkstyrke på tvers av enn i ekspansjonsretningen. Kulverten er derfor utført slik at de vertikale sidene har minst trykkstyrke i tverretningen. Man kan derfor tillate at rørene under oppvarming ekspanderer noe inn i kulvertveggen uten at dette går ut over kulvertens styrkeegenskaper. Fastpunkter kan oppnås ved at det over en strekning fylles finpukk i kulverten. For øvrig kan rørene ligge fritt inne i kulverten.

Når det gjelder plastrør, er det ikke nødvendig å ta hensyn til ekspansjonen på samme måte som for kopper og stålrør på grunn av rørenes krypegenskaper. Ved bruk av plastrør fylles det finpukk rundt rørene inne i kulverten. Dette vil forhindre ekspansjon av plastrørene. Over strekninger, f.eks. under hus, veier eller andre steder der en ønsker mulighet for å skifte ut fjernvarmerøret uten å grave opp, legges rørene fritt i kulverten uten pukkufylling. Ved store ytre trafikklaster kan det være nødvendig å fylle masse rundt rørene for å stive opp isolasjonskulverten. Samme effekt kan oppnås ved å øke isolasjonstykkelsen for å gjøre kulverten stivere.

Kulvertelementene legges i grunnen etter hverandre på samme måte som tilsvarende kasser for frostsikring av VA-ledninger. En bør tilstrebe at spalten mellom elementene ikke blir større enn maks. 3 mm. Lokket kan ev. være utført med en fals, fig. 41b. Dette vil kunne gi en bedre tetning og vil kunne forhindre at ev. vann som renner langs kulverten, ikke renner direkte ned på rørene, men dreneres ut til sidene.

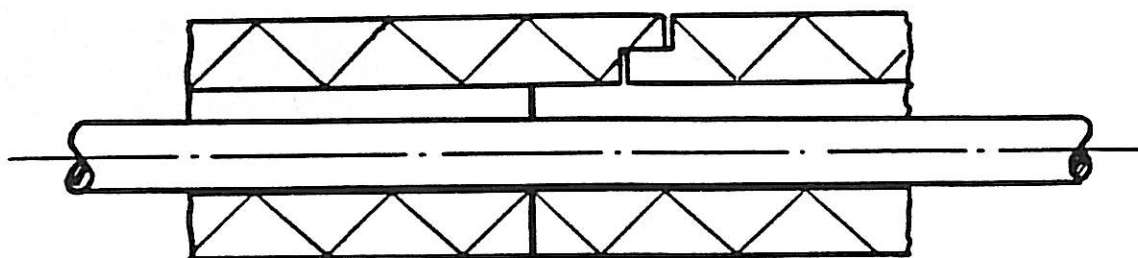


Fig. 41b

Lokket bør utføres med fals for å oppnå en god tetning.

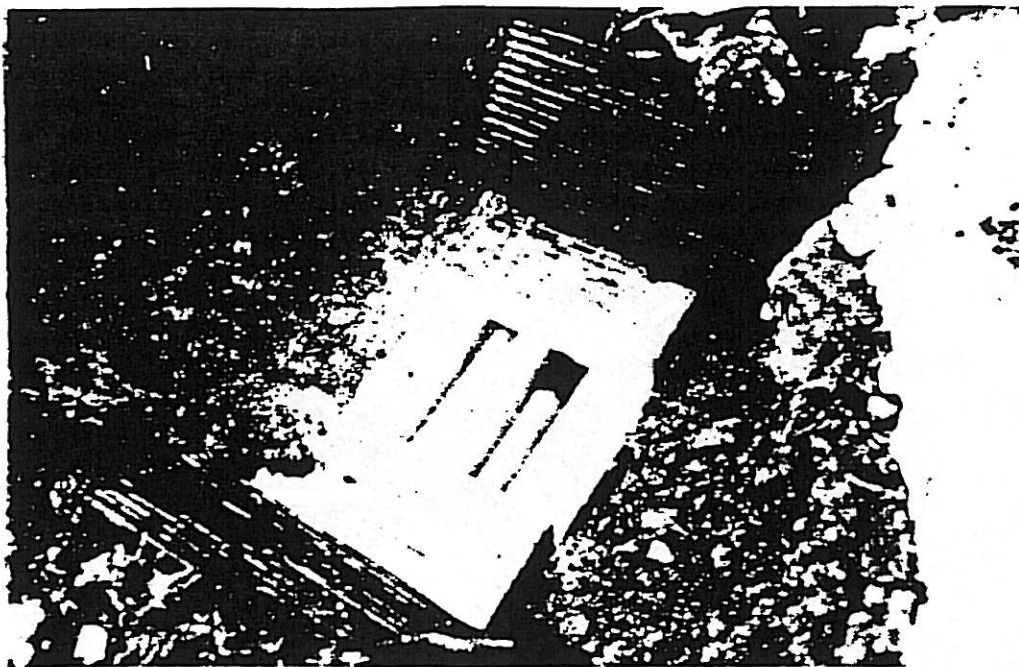


Fig. 41c

Stålrør i en isolasjonskulvert dekket med en korrugert polyetylenplate.

Alternativt kan man legge en korrugert polyetylenplate over kulvertlokket, fig. 41c.

Når kulverten legges i fellesgrøft med VA-ledninger, vil grøfta alltid ha fall. Det betyr at vann som trenger inn i kulverten vil renne ut i skjøtene mellom kulvertsegmentene. Fuktighet på røroverflaten vil hurtig fordampe og kondensere på den kaldeste overflaten. Dette vil være de øvre hjørnene under kulvertlokket. For at utvendig korrosjon skal finne sted på kopper eller stålrør, må relativ fuktighet rundt røret overstige 60 %. Med en temperaturdifferanse mellom røret og den kaldeste delen av kulvertens overflate på 10 til 15 °C som man har i kulverten, vil relativ fuktighet rundt røret ligge under denne verdien. Inspeksjon av stålrør som har ligget 8 år i en isolasjonskulvert i grunnen bekrefter dette. Tilgangen på fritt vann i grøfta bør rent generelt være minst mulig. Dette er også viktig i en varmetapsammenheng. Da en vesentlig del av ledningsnettets internt i område vil ligge i terrenget utenom veiene, vil kravet til grøftemassene over pukklaget variere avhengig av den mekaniske belastningen grøfta blir utsatt for. Hvis det benyttes stedlige masser med stort innhold av finstoffer, bør det legges en fiberduk over pukklaget, fig. 41d. En fiberduk vil effektivt kunne forhindre transport av finstoffer inn i pukklaget. Samtidig vil sigevann fra overflaten bare i begrenset grad kunne trenge ned i grunnen.

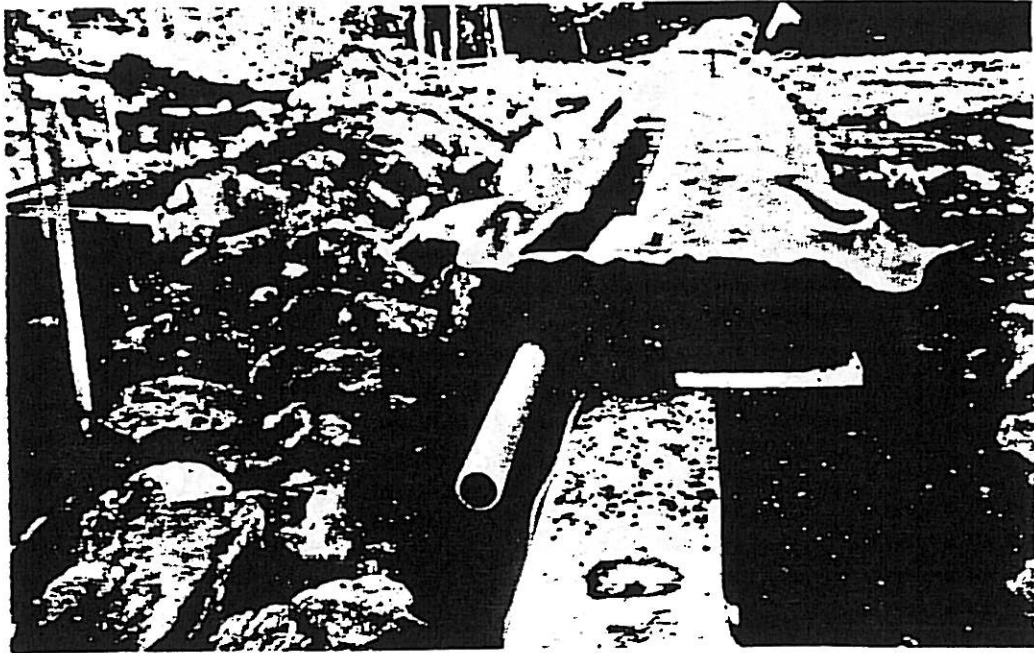


Fig. 41d

Bruk av fiberduk forhindrer transport av finstoffer inn i pukklaget.

Vannhastigheten i pukklaget er liten, i størrelsesorden 10-20 mm/sek. Dette betyr at tilførselen av fritt vann til isolasjonskassen vil bli beskjedne. I vinterhalvåret vil normalt de øvre lag av grunnen være frosset. Man vil da bare i liten grad ha vannføring i grøftene i vinterhalvåret når varmebehovet er størst.

Målinger viser at fuktinnholdet i isolasjonsmaterialet (ekstrudert polystyren) vil stabiliseres på et så lavt nivå (< 2,0 volumprosent) at dette ikke har noen innflytelse på isolasjonsmaterialenes isolasjonsevne. I denne sammenheng er pukkomfylling spesiell gunstig da denne i tørre perioder under sommerhalvåret kan ha en relativt fuktighet nærmest kulverten som ligger under 100%. Dette vil bety muligheter for uttørring av fuktighet som er kommet inn i isolasjonen.



## 421 Varmetap

Både distribusjonsnettene for elforsyningen og fjernvarmen har et betydelig energitap. Tapet i elnettet er direkte avhengig av belastningen, og i områder med lav energitetthet kan tapene i elnettet ligge på hele 10-30%. Varmetapet fra fjernvarmenettet vil ha en annen karakteristikk. I motsetning til elkabler vil varmetapet fra fjernvarmerørene stige ved lave jordtemperaturer. I områder med lav varmetetthet og lange rørstrekk vil selv et relativt beskjedent varmetap lett kunne bety temperaturfall på flere °C. I lavtemperaturanlegg vil et temperaturfall på denne størrelsen kunne ha stor betydning for produksjonen av varmt forbruksvann. For å holde et lavt varmetap bør også vanntemperaturene være laves mulig. Svingningene i jordtemperaturen over året på ledningenes nivå vil ligge på 10 - 15 °C, mens vanntemperaturen i et høytemperaturanlegg vil kunne ha svingninger på opptil 50 °C. I lavtemperaturanlegg vil vanntemperaturen være nær konstant over året. Da fjernvarmerørene ligger relativt grunt (0,6 m), vil man ha minimale jordtemperaturer og maksimale vanntemperaturer omtrent samtidig under dimensjonerende forhold vinterstid. Det er denne tilstanden som bør være utgangspunktet for dimensjoneringen av rørisolasjonen, da det er under dimensjonerende forhold man normalt har størst knapphet på varme. Hvis varmetapet i rørnettet ikke kan kompenseres ved å øke vanntemperaturen, må vannføringen økes. Mangelfull isolasjon vil derfor kunne resultere i en oppdimensjonering av rørnettet.

I et fjernvarmenett vil også varmetapet i sommerhalvåret være relativt stort selv om varmedistribusjonen er minimal. Det er ikke uvanlig at varmetapet kan utgjøre hele 50% av energitilførselen om sommeren. Varmen skal da vanligvis bare brukes til produksjon av varmt forbruksvann i tillegg til noe gulvvarme. På grunn av lite varmebehov kan det være vanskelig å oppnå en tilfredstillende avkjøling av fjernvarmevannet. Det vil være liten forskjell på tur- og returtemperaturen. Turtemperaturen bør derfor senkes til et minimum. En bør vurdere om det kan være hensiktsmessig å stoppe fjernvarmeleveransen om sommeren, og i stedet bruke el lokalt til produksjon av varmtvann. Totaløkonomisk vil dette kunne være lønnsomt. Dette er særlig tilfelle hvis anleggets levetid vil kunne økes hvis dette settes ut av drift i deler av året. Dersom fjernvarmeanlegget ikke er i drift i sommerhalvåret, vil energitapet fra fjernvarmenettet kunne holdes på et meget lavt nivå og under tapene i elnettet.

I tillegg til vanntemperaturen er det en rekke faktorer som påvirker varmetapet fra et fjernvarmenett som omfatter både kummer og abonnentsentraler. Ved bruk av isolasjonskulverter der både tur- og returledningen isoleres sammen, vil varmetapet være lavere enn om rørene isoleres separat. Varmetapet fra fjernvarmerørene vil også reduseres ved bruk av fellesgrøfter der både elkabler og VA-ledninger avgir varme som vil kunne heve jordtemperaturen, fig. 421a. For øvrig vil varmetapet avhenge av en rekke faktorer som:

- Vanntemperatur
- Jordtemperatur (klimaforhold)
- Fellesgrøfter
- Isolasjonstykkelse
- Isolasjonsmaterialets varmeledningsevne
- Kulvertstørrelse og utforming
- Omfyllingsmassenes termiske egenskaper
- Kuldebroer (kumløsninger, skjøter)
- Trasévalg, rørlengder
- Rørdimensjoner
- Drenering, grunnvannstand

Sett på bakgrunn av alle disse faktorene vil varmetapet fra fjernvarmerørene ikke være en konstant størrelse, men vil være anleggsavhengig og variere over året.

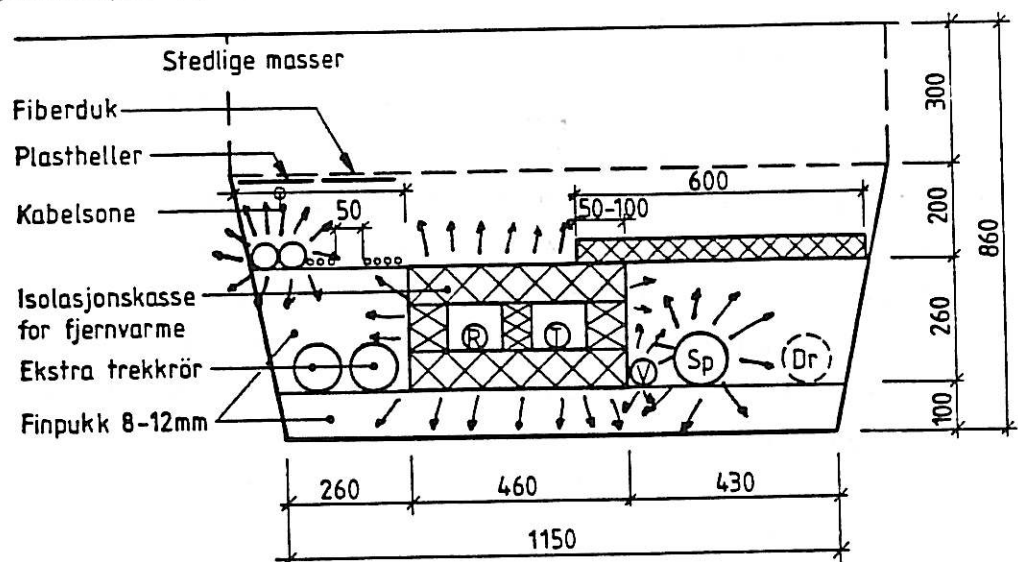


Fig. 421a

I fellesgrøfter vil både elkabler, fjernvarme og VA-ledninger avgir varme til grunnen.

I motsetning til en vanlig konsentrisk rørisolasjon der varmetapet er direkte proporsjonalt med rørdiameteren, vil varmetapet være nær uavhengig av rørdimensjonene hvis det benyttes samme kulvertstørrelse for flere rørdimensjoner. Det er derfor av stor betydning at kulverten ikke er større enn nødvendig. Her vil valg av rørmaterialer og metoder for ekspansjonskompensering være viktig. Plastrør vil i denne sammenhengen være gunstige og krever de minste kulvertstørrelsene i forhold til rørdiameteren.

Trasévalget er også viktig for å oppnå kortest mulige rørlengder, samtidig som varmetapet fra en fjernvarmekulvert under en isolert fundamentplate er 25% lavere enn en kulvert i terrenget, fig. 421b. Noe av denne varmen kommer også indirekte boligen til gode fordi varmetapet fra boligen til grunnen blir mindre. Det er derfor gunstig å velge rørtraseer som passerer under boligene.

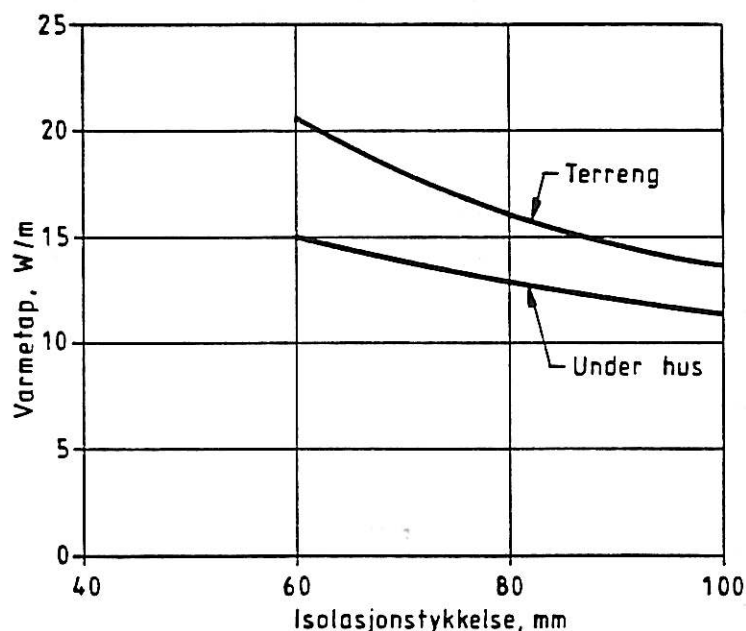


Fig. 421b

Varmetap fra en isolasjonskulvert som funksjon av isolasjonstykkelsen.

Isolasjonstykkelsen vil være noe bestemt av kravet til mekanisk styrke for kulverten og bør ikke være mindre enn 60 mm. Figur 421b viser at en isolasjonskulvert med en isolasjonstykkelse på 60 mm, som har plass til to rør opptil 100 mm  $\emptyset$ , vil gi et varmetap fra tur- og returrøret på ca. 20,0 W/m ved en midlere temperaturdifferanse på 50 °C. Hvis det benyttes vesentlig små rørdimensjoner i anlegget, kan kulvertstørrelsen reduseres. Av praktiske grunner bør en ikke variere kulvertstørrelsen for meget innen ett og samme område.

Figur 421b viser de rørdimensjonene som ble brukt i området (fig. 2a) med 200 frittstående eneboliger. Det var her brukt to kulvertdimensjoner, én for rørdimensjonene 70 - 88,9 mm Ø, og en for de øvrige dimensjonene. I dette tilfellet ble det brukt kopperrør. Det var da nødvendig å bruke relativt store kulverter for å oppta den termiske ekspansjonen.

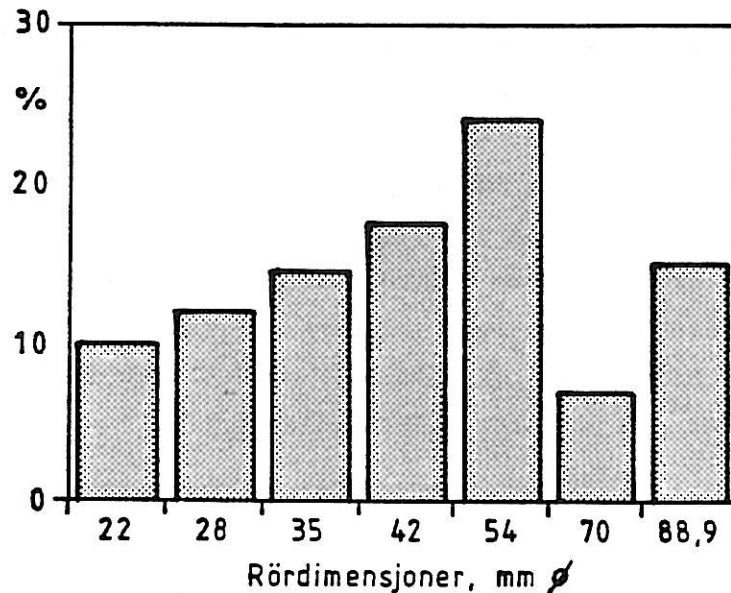


Fig. 421b

Karakteristisk fordeling av rørdimensjoner i et boligfelt med 200 frittliggende eneboliger (se fig. 2a). Tyngdepunktet for rørdimensjonene ligger rundt 50 mm Ø.

#### 43 Kumløsnings

For å kunne foreta en seksjonering av rørnettets hvis det oppstår feil, må det alltid finnes et visst antall avstengningsventiler i et distribusjonsnett for fjernvarme. I tillegg må det monteres strupeventiler med trykkuttak for vannmengdemålinger ved enkelte hovedavgreninger. Dette er nødvendig for å oppnå en riktig varmfordeling og samtidig ha en mulighet for å kontrollere og justere vannmengden. Da fjernvarmerørene i grunnen ligger utsatt for frost, må rørnettets kunne tømmes på en enkelt måte hvis det oppstår driftstans som varer en tid i vinterhalvåret. Det er normalt ikke behov for å montere lufteventiler på et sekundærnett med begrensede rørdimensjoner. Det kan derimot være en fordel å legge inn muligheter for å lufte rørnettets i tilknytning til varmevekslerne i boligene. Varmevekslerne representerer som regel høydepunkter i anlegget.

Da kumpunktene er relativt kostbare, bør antallet begrenses til et minimum, samtidig som utførelsen må gjøres mest mulig rasjonell. Antall ventiler kan begrenses ved at det monteres ventiler som fyller flere funksjoner. Figur 43a viser en kombinert strupe-, avstrenings- og tømmeventil der både betjeningshåndtak og trykkuttak for vannmengdemålinger sitter på samme side. Dette er en forutsetning for en enkel betjening.

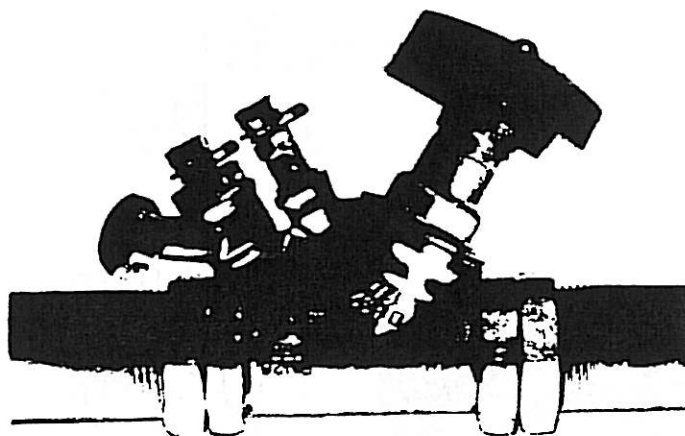


Fig. 43a

Eksempel på en kombinert strupe/avstengningsventil med trykkuttak for vannmengdemålinger.

Kumløsningene må også være så enkle som mulig uten at dette går ut over funksjonen og tilgjengeligheten. Figur 43b viser kumløsninger med forskjellig overdekning på rørene. Ved bruk av fellesgrøfter vil normal overdekning på rørene ligge på 0,5 m. Kumløsningen utgjør her en integrert del av rørnettets med samme prinsipielle utførelse og varmetap som det øvrige nettet. Der er også viktig å planlegge nøye plasseringen av kumpunktene. Kummene blir ofte plassert i tilknytning til avgreninger.

Ved bruk av fellesgrøfter vil man ofte kunne ha VA-kummer på samme sted. Hvis kummene plasseres på privat grunn, er det viktig at disse inngår i utomhusplanene. Alle kumpunkter må målsettes og inntegnes på kart som skal vedlegges driftsinstruksen for anlegget.

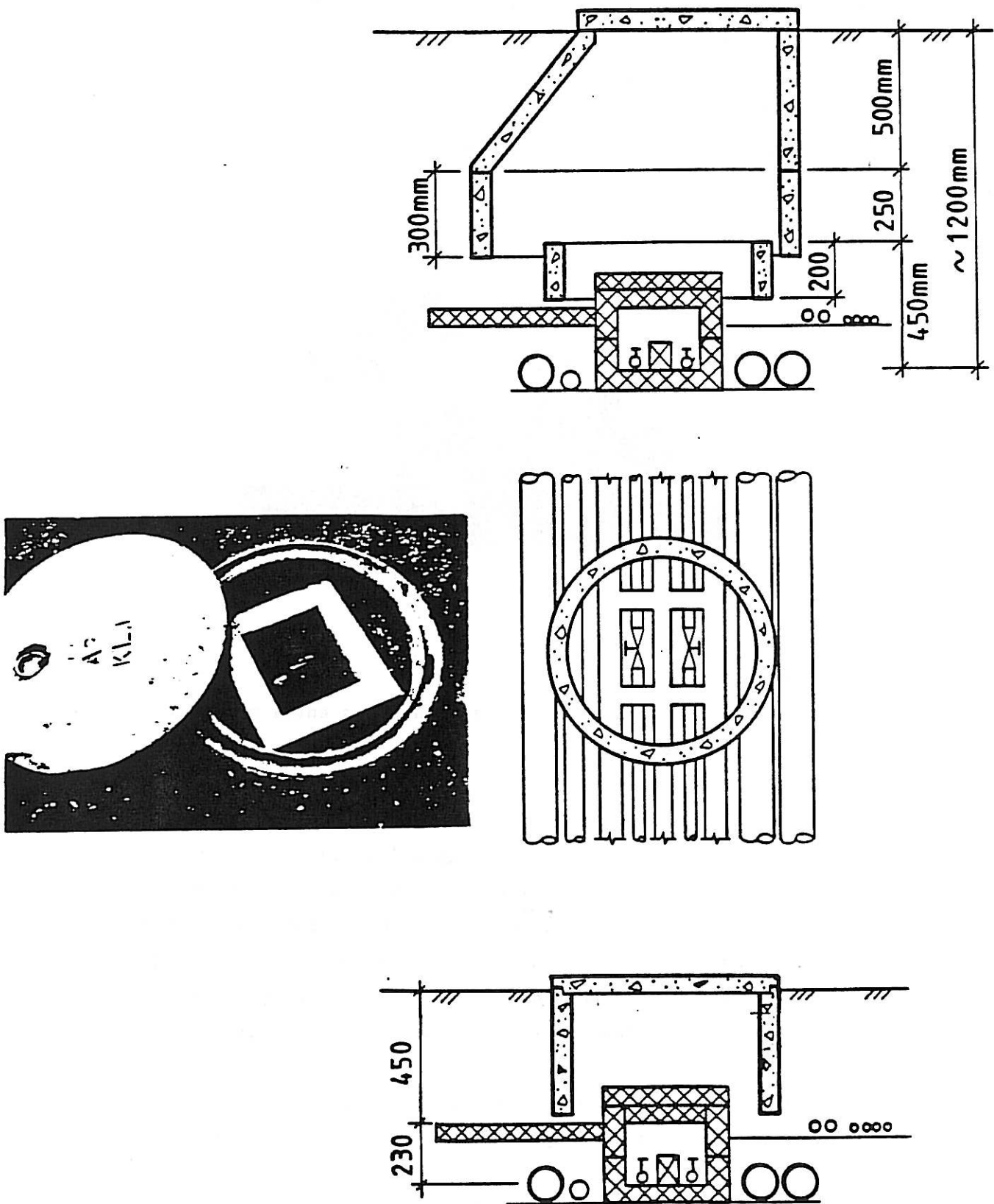


Fig. 43b

Kumløsninger i fjernvarmenettet med forskjellig overdekning.

## 5 Dimensjoneringsgrunnlag og styringssystemer

## 51 Temperaturutnyttelse, effektbehov og energiforbruk

Karakteristisk for boligoppvarming er en stor variasjon i varmebehovet over fyringssesongen. Figur 51a viser et effekt-varighetsdiagram for en bolig med konstant varmt tappevannsbehov over året. Det fremgår her at det bare er i meget korte perioder man har behov for dimensjonerende effekter. Grovt kan man regne at et varmeanlegg som yter 60% av den dimensjonerende effekten, vil dekke rundt 90% av energibehovet over året. Kjennskap til dimensjonerende effekter og varigheter er derfor en viktig forutsetning for å kunne foreta en riktig dimensjonering av distribusjonsnettets for fjernvarme. Når lønnsomheten og systemløsninger for varmeanlegget som helhet skal vurderes, må man også kunne bestemme energiforbruket med god nøyaktighet. Alle forhold som kan ha betydning for energiforbruket, inkl. tilleggsvarme fra sol, personer og elektrisk utstyr m.m. må regnes med.

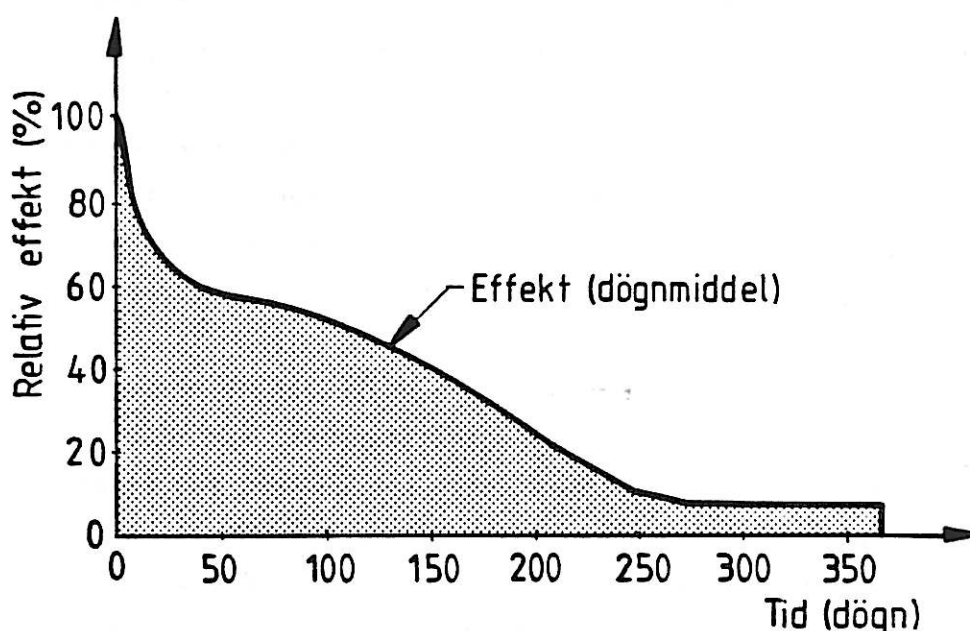


Fig. 51a

Effekt varighetsdiagram skjematisert fremstilt for en bolig med konstant tappevannsbehov over året.

I områder med lav varmetetthet er det viktig at varmetapet fra rørrettet er lavt. Vanntemperaturen i tur- og returrøret skal derfor være lavest

mulig. Dette gjelder generelt for fjernvarmeanlegg, uavhengig av energikilden. Like viktig er det å utnytte tilgjengelig temperatur mest mulig. Lavtemperaturanlegg vil gi lave varmetap, men økte rørdimensjoner hvis man ikke får en god utnyttelse av temperaturen. Riktig utført og med fornuftig valg av varmesystemer vil vannbåren energi kunne utnyttes ved meget lave vanntemperaturer. Man kan i prinsippet tenke seg en seriekobling av varmeforbrukende enheter der man starter med oppvarming av varmt forbruksvann som krever de høyeste temperaturene, og avslutter med et gulvvarmesystem. I et gulvvarmesystem kan vannet utnyttes helt ned til temperaturer på 25-30 °C. Lavtemperaturvarme bør derfor alltid kombineres med gulvvarmeanlegg. Det finnes også konvektorsystemer som kan utnytte vannet ned til en 40 - 50 °C.

## 52 Rørdimensjoner og sammenlagring

Da rørkostnadene stiger meget sterkt med diameteren, må rørdimensjonene holdes nede. Spesielt viktig er dette i områder med lav varmetetthet der rørene utgjør en vesentlig kostnadsfaktor. En sikkerhetsfaktor på effektberegningene bør derfor ikke slå ut i økte rørdimensjoner. Rørdimensjonene kan holdes nede ved å benytte en behovsstyring av vannmengder og temperaturer. Effekttopper som oppstår under dimensjonerende klimaforhold kan da opptas ved en kortvarig økning i vannføringen eller i temperaturen. Ved å bruke turtallstyrte sirkulasjonspumper kan man på en enkel måte legge inn en sikkerhetsfaktor på effektleveransen i pumpekapasiteten, uten å øke rørdimensjonene.

For sekundærnett er det de større samleledningene som setter begrensninger når det gjelder materialvalget, samtidig som disse ledningene representerer de største kostnadene. Ved dimensjonering av samleledningene til større boliggrupper, bør man ta hensyn til sammenlagringen både for boligoppvarmingen og forbruket av varmt forbruksvann. Alle tar ikke ut maksimal effekt samtidig. Målinger viser at når boligantallet er større enn 10, kan man regne med en sammenlagringsfaktor på 0,75 - 0,8 når det gjelder boligoppvarming.

Når det gjelder produksjon av varmt forbruksvann, vil effektforbruket være avhengig av beredertypen. Ved bruk av en varmeveksler for tappevann uten vannvolum, kan følgende verdier benyttes for sammenlagringen, se tabell 52.



Tabell 52

Sammenlagringsfaktorer ved bruk av gjennomstrømningsberedere

Antall boliger	1	2	5	10	50	>100
Sammenlagringsfaktor	1	0,9	0,7	0,3	0,2	0,1

Settes dimensjonerende varmtvannsmengde til 0,3 - 0,4 l/s vil effektbehovet for en varmeveksler for tappevann uten vannvolum ligge på 45 - 60 kW. Det forutsettes da at vannet varmes opp fra 5 til 40 °C. Selv med en sammenlagringsfaktor på 0.1 vil bruk av gjennomstrømningsberedere slå sterkt ut på rørdimensjonene.

En måte å redusere effektbehovet for varmtvannsproduksjonen er å bruke forrådsberedere. Et lavt effektbehov forutsetter en riktig avstemning mellom beholdervolum, vanntemperaturer og heteflater.

Berederkonstruksjonen bør være slik at denne har en relativt stor akkumuleringskapasitet. Hvis forrådsberederene har et vannvolum og heteflate som er tilpasset varmtvannsforbruket og energikilden (temperaturnivået), vil effektbehovet være beskjedent i forhold til en tappevannsvarmeveksler (5-10%). Et gjennomsnittlig effektbehov for varmtvannsproduksjon for en vanlig bolig ligger på 0,3 - 0.4 kW. Dimensjonerende effekt og sammenlagringsfaktorer ved bruk av forrådsberedere, vil være bestemt av vanntemperaturen, berederens vannvolum og konstruksjon, og kan fastlegges når disse forhold er kjent.

Når man tar hensyn til sammenlagringen i effektbehovet ved bruk av forrådsberedere, vil varmtvannsproduksjonen ha relativt liten betydning for de største rørdimensjonene. For at dette skal være riktig, må forrådsberederen være konstruert slik at denne har en riktig effektkarakteristikk ved vanntapping.

Berederens kapasitet kan økes uten å benytte for stort vannvolum som krever plass, ved at varme også tilføres ved hjelp av en elektrisk varmekolbe eller det monteres en egen elektrisk spisstemperaturbereder. Dette kan være aktuelt ved bruk av lavtemperaturvarme. Det vil bare være beskjedne energimengder i form av el som er nødvendig for å heve vanntemperaturen opp til et ønsket nivå. Figur 12c viser et eksempel på hvordan denne berederen og varmeveksleren i prinsippet kan være utført.

Da de fleste typer plastør i en fjernvarmesammenheng har en glatt overflate i forhold til stålrør, vil trykket kunne holdes innenfor akseptable korttidsgrenser selv med relativt høye vannhastigheter (2-3 m/s) under dimensjonerende forhold. Dette er særlig aktuelt for større samleledninger for å holde rørdimensjonene og dermed kostnadene nede. Det å erstatte stålrør med mer glatte plastør er spesielt viktig i lavtemperaturanlegg. Dette vil forhindre en ellers uheldig økning av trykktapet på grunn av lave vanntemperaturer.

Da trykktapet for de minste rørdimensjonene er meget følsom for en økning i vannhastigheten, bør denne ligge godt under 1,0 m/s. Det betyr relativt lite for kostnadene om en øker dimensjonen for stikkledningene inn til de enkelte boligene med en størrelse f.eks fra 15 til 18 mm Ø. Denne dimensjonsøkningen er gunstig og reduserer trykktapet i stikkledningene. Dette er viktig for å kunne oppta de relativt store svingningene i det individuelle effektforbruket som vi vet kan forekomme.

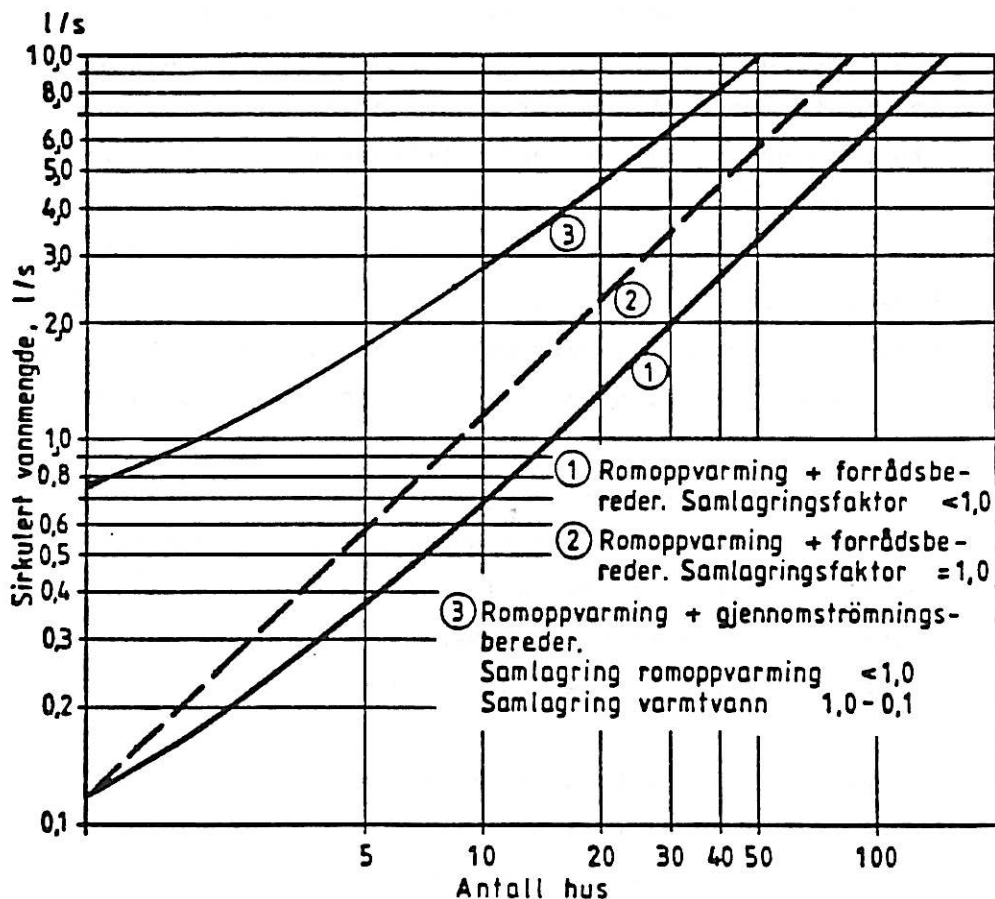


Fig. 52a

Dimensjonerende sirkulert vannmengde i et fjernvarmenett avhengig av antall boliger og type varmtvannsberedning. Dimensjonerende effekt for romoppvarmingen er 7 kW.

Figur 52a gir et eksempel på sirkulert vannmengde i et fjernvarmenett avhengig av antall hus og type varmtvannsberedning. Det er her forutsatt et dimensjonerende varmebehov på 7 kW for romoppvarmingen og 3 kW for varmt forsyningsvann når det benyttes en forrådsbereder. Det er sett bort fra varmetap i rørrettet. Forrådsberederen i dette tilfellet har et relativt stort vannvolum (200 l).

Hvis forrådsberederen har et lite vannvolum i forhold til forbruket, vil forskjellen mellom vannmengden for en gjennomstrømnings- og en forrådsbereder bli mindre for et større boligantall. Man mister da den gunstige effekten som en varmelagring har når det gjelder å redusere rørdimensjonene. Dette viser at viktige data for rørdimensjoneringen er effekt- og tappevannskarakteristikker for de forrådsberederne som skal brukes. En optimalisering av rørdimensjonene krever inngående kjennskap både til sammenlagring og effektbehov.

### 53 Temperatur- og mengderegulering

Fjernvarmeanleggets effektleveranse kan styres ved hjelp av to reguleringssystemer, temperatur- og mengderegulering eller en kombinasjon av disse. I lavtemperaturvarmesystemer vil det ofte bare være en mengderegulering som er aktuelt. Anlegget kjører da over hele året tilnærmet med en konstant turtemperatur som er tilpasset temperaturkravet for varmt tappevann.

Ved en temperaturregulering vil turtemperaturen ut fra varme- og abonnentsentralen følger en på forhånd fastlagt kurve avhengig av utelufttemperaturen. Turtemperaturen er utetemperaturkompensert. Figur 53a viser eksempel på et driftstemperaturdiagram for primær- og sekundærsiden. Maksimale turtemperatur henholdsvis for primær- og sekundærsiden er 120 og 80 °C. I godt isolerte boliger vil balansepunktet for varmeanlegget ligge mellom 0 og 10 °C.

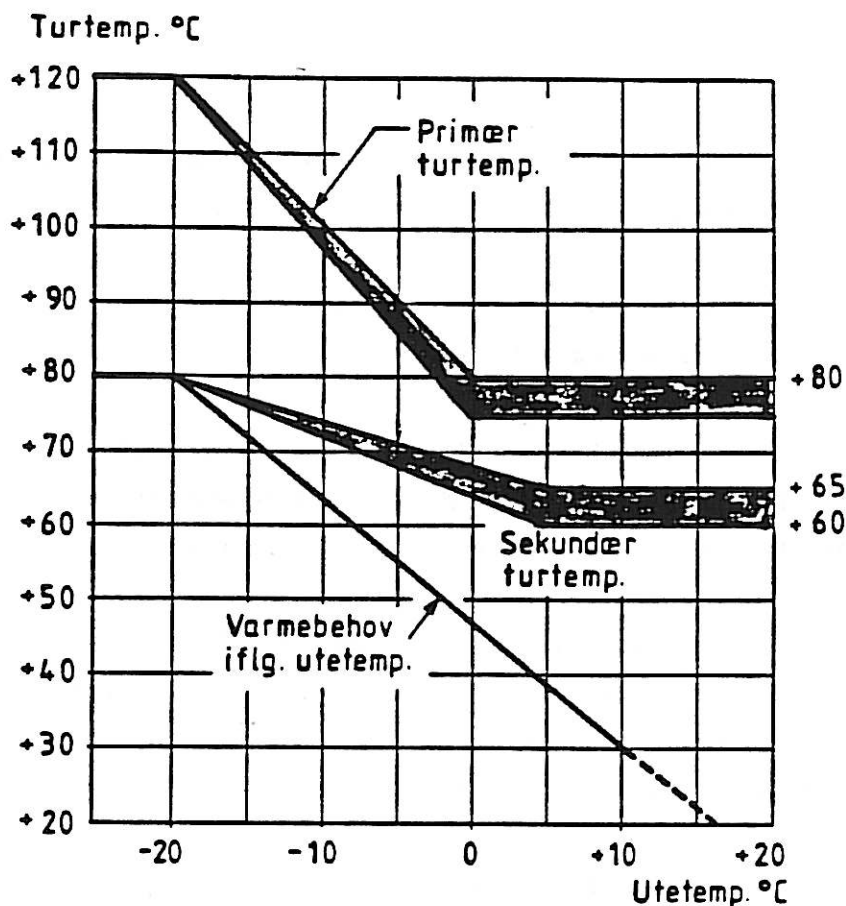


Fig. 53a

Eksempel på et driftstemperaturdiagram for primær- og sekundærsiden.

I tillegg til en temperaturregulering kan anleggene også være utstyrt med en mengderegulering. Det kan f.eks. monteres termostatventiler i forbindelse med villavarmevexlerne som regulerer vannmengden til den enkelte bolig. Disse termostatventilene sørger da for at returtemperaturen fra de enkelte forbrukerne ikke er for høy. I prinsippet vil dette kunne gi en enkel styring av vannmengdene til de enkelte brukerne. En desentralisert mengderegulering forutsetter bruk av et stort antall termostatventiler. Termostatventiler er kostbare og har ofte en relativt treg karakteristikk som kan være uheldig med tanke på produksjon av varmt forbruksvann. De fleste termostatventilene må justeres manuelt i en driftssituasjon. Dette igjen krever tilgang til boligene etter at disse er innflyttet. En desentralisert mengderegulering fører også til en uheldig trykkøkning ute i anlegget ved små varmebehov. Store trykkdifferanser kan igjen føre til støy og ventilproblemer. Å basere vannfordelingen i området på bruk av termostatventiler alene, vil også lett kunne skape sirkulasjonsproblemer ved svikt i enkelte ventiler, eller hvis vanntemperaturen i perioder er lav.

Høye trykk ute i anlegget kan effektivt forhindres ved bruk av en trykkstyrt turtallsregulering av sirkulasjonspumpene. En holder da trykket tilnærmet konstant ute i anlegget ved å variere pumpeturtalet. En trykkstyrt turtallsregulering forutsetter bruk av termostatventiler som gir et relativt kostbart anlegg.

En annen metode er å benytte flere faste pumper med forskjellig kapasitet. Et minste krav er å benytte to pumper, en vinter- og en sommerpumpe. Systemet med to faste pumper er ofte brukt, men vil for større anlegg kunne føre til unødig høye pumpekostnader.

### 531 Turtallsregulering

For å oppnå lavest mulig pumpekostnader bør et fjernvarmeanlegg være utstyrt med en sentralisert mengderegulering. Dette bør være et absolutt krav ved lavtemperaturanlegg med bruk av plastrør. Denne mengdereguleringen løses best ved å turtallstyre sirkulasjonspumpene. I tillegg til økt levetid for rørene, vil en sentralisert mengderegulering redusere pumpens energiforbruk. I et fjernvarmenett med vesentlig rørmotstand, ligger forholdene spesielt godt til rette for en turtallstyring av sirkulasjonspumpene. Man kan da kjøre med høye virkningsgrader på pumpen over et stort turtallsområde. Man har følgende sammenheng mellom en pumpes volumstrøm  $Q$ , løftehøyde  $H$ , akseleffekt  $P$  og pumpeturtalet  $n$ :

$$Q_2 = Q_1 \cdot n_2/n_1$$

$$H_2 = H_1 \cdot (n_2/n_1)^2$$

$$P_2 = P_1 \cdot (n_2/n_1)^3$$

Det fremgår her at akseleffekten, og dermed pumpens energiforbruk, er svært følsom for endringer i volumstrømmen eller pumpeturtalet, fig. 531a. En halvering av turtallet vil redusere trykkøkningen til 1/4 og effektforbruket til 1/8.

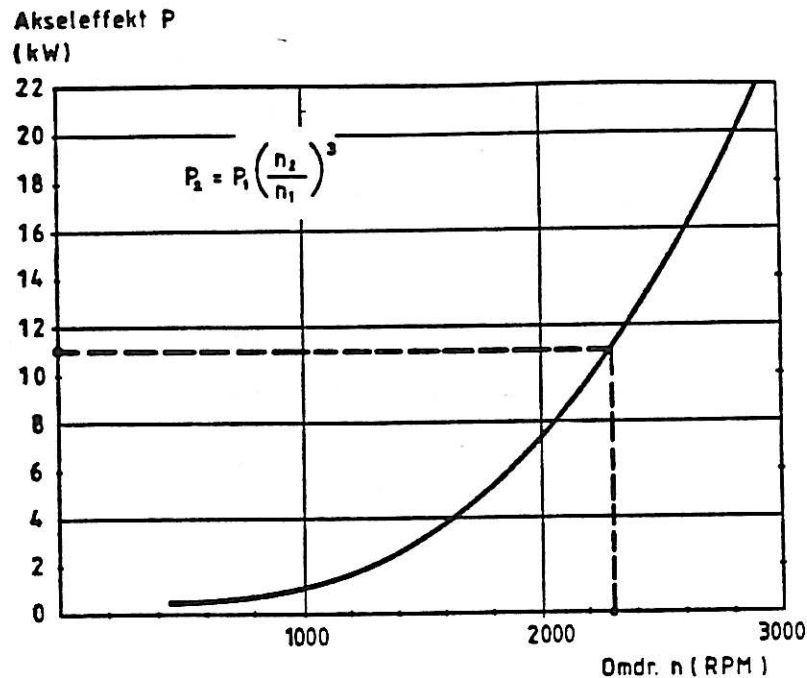


Fig. 531a

En sirkulasjonspumpes akseleffekt P som funksjon av turtallet n.

Hvis det ikke inngår termostatventiler i anlegget, vil volumstrømmen være konstant. Vannfordelingen til de enkelte boligene ivaretas da av rørdimensjonene og faste strupeventiler. I dette tilfellet kan volumstrømmen eller pumpeturtallet styres etter utelufttemperaturen. Man kan benytte en utetemperaturkompensert mengderegulering. Pumpeturtallet styres vanligvis ved bruk av en frekvensomformer. Man kan da ha en direkte kobling mellom utetemperaturen og frekvensen analogt med turtemperaturen ved en temperaturregulering. Under sommerforhold må man ha en vannføring som kompenserer for varmetap i rørene og avgir varme for produksjon av varmt forbruksvann. Volumstrømmen vil da normalt reduseres i størrelsesorden 50-60% (min. 40% turtall) i forhold til dimensjonerende forhold. Det stilles derfor små krav til en frekvensregulering under 20 Hz.

En kombinasjon av en sentralisert temperatur- og mengderegulering er spesielt gunstig når det gjelder levetidsbetraktninger når det benyttes plastrør. En individuell tilpassing av vannmengden kan man allikevel oppnå ved å montere en strupeventil i tilknytning til varmeveksleren i hver bolig. Det vil forenkle abonnentsentralen og driften å montere to like pumper (en i reserve) som kan brukes over hele året.

## 6 Innregulering

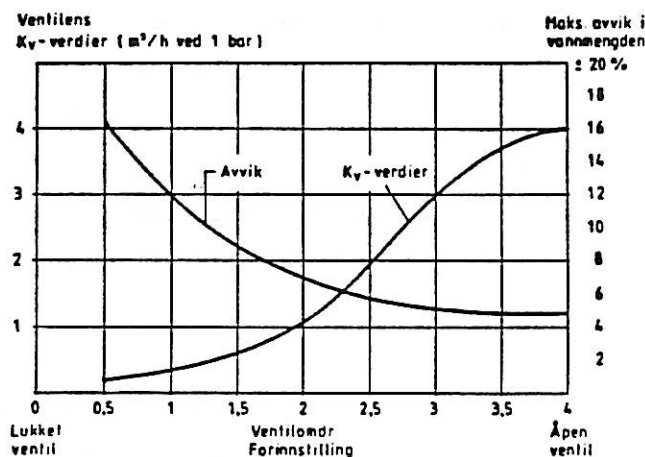
Med innregulering av et fjernvarmeanlegg forstås en justering og kontroll av anlegget for å sikre at den enkelte forbruker til enhver tid får den varmen vedkommende har behov for. Dette omfatter både en riktig varmfordeling mellom boligene og korrekte varmemengder. Det er ikke uvanlig at innreguleringen av varmeanlegg utføres etter mer eller mindre tilfeldige prøve-og-feile-metoder. Det primære målet er da å sikre at ingen får for lite varme. Hvis det ikke stilles krav til en optimalisering av anleggs- og driftsøkonomien, vil resultatet lett bli en kraftig overdimensjonering både av distribusjonsnett og interne varmeanlegg. En nødvendig forutsetning for en god driftsøkonomi er at anlegget er tilfredstillende innregulert. Det finnes flere prinsippielt forskjellige metoder som kan benyttes for å innregulere anlegget. Dette kan være en såkalt proporsjonalmetode som bygger på målinger og manuelle justeringer, en forinnstillingsmetode basert på beregninger, og en kombinasjon av disse metodene.

En optimalisering av rørnettet forutsetter at det ikke benyttes større rørdimensjoner enn strengt nødvendig. En grov varmfordeling i området oppnås derfor ved å velge riktige rørdimensjoner. Skal en ha en mer nøyaktig varmfordeling, er det nødvendig å bruke et stort antall strupeventiler. Strupeventilene kan ha forskjellig konstruksjon. Det kan f.eks. være automatisk virkende termostatventiler og manuelle strupeventiler. Det vanlige er å bruke manuelle strupeventiler av typen vist på fig. 43a med trykkuttak for kontroll av vannføringen. Disse ventilene er plassert ute på rørnettet ved avgreninger og i tilknytning til varmevekslerne i de enkelte boligene.

Hvis rørnettet er riktig dimensjonert og en har en tilfredstillende regulering av varmemengden, vil det bare kreves en relativt moderat struping av vannstrømmen over ventilene. Dette er gunstig og vil gi et meget godt anslag av vannføringen ( $\pm 5-10\%$ ) som funksjon av ventilstillingen, fig. 6a. God nøyaktighet muliggjør en forinnstilling av ventilene på grunnlag av beregninger. Da disse ventilene i tillegg til avgreninger ute på anlegget også er plassert hos abonnentene, har man begrenset tilgang til ventilene etter at anlegget er satt i drift. En forinnstilling av ventilene under monteringen vil derfor lette innreguleringen i vesentlig grad. Innreguleringen vil da kunne begrenses

til mindre justeringer, basert på en kontroll av vannføringen i hovedgrenene og en stikkprøvekontroll av vannfordelingen på utsatte steder ute i anlegget. Samtidig kan anlegget fungere tilfredstillende i en anleggsfase, når bare deler av det er i drift. I en anleggsfase vil man ofte ha en del luft i rørnett som vanskeliggjør direkte vannmengdemålinger. Bruk av en forinnstillingsmetode krever at det legges mer arbeid i å optimalisere rørnett ved å velge riktige rørdimensjoner. I tillegg er det viktig å kontrollere at anlegget utføres etter forutsetningene. Det vil også tvinge fram en bedre dokumentasjon av komponenter brukt i varmeanlegg enn tilfellet er i dag.

15mm Ø ventil STA-D15



65mm Ø ventil STA-F65

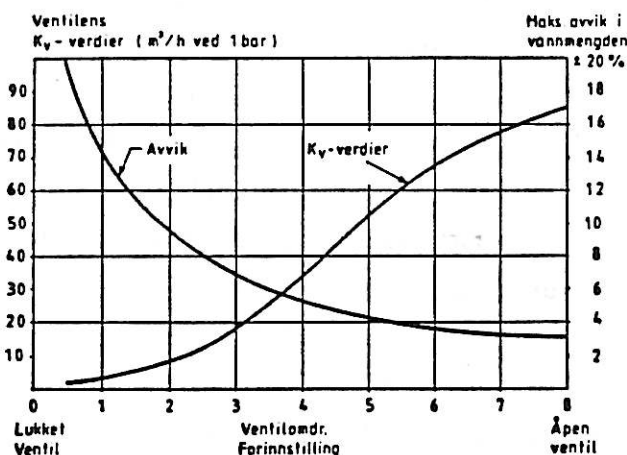


Fig. 6a

To strupeventilers  $K_v$ -verdi og prosentvise avvik i vannføringen som funksjon av ventilstillingen. Stor struping gir dårlig nøyaktighet.

Det er også mulig å sette inn faste motstander i rørnett. Dette vil gi noe rimeligere løsninger, men vanskeliggjør senere justeringer, samtidig som bruk av strupeventiler med trykkuttak gjør det enkelt å foreta en kontroll av vannføringen.



## 7 Drift- og vedlikeholdsinstruks

Sekundærnettet for fjernvarme innen et område kan være privat eller offentlig. Utviklingen i dag går i retning av at offentlig hovedledningsnett for VA-ledninger erstattes av et relativt omfattende privat ledningsnett. Private fellesledninger for VA-ledninger, såkalt sekundærnett, har ofte ledningstraseer over privat grunn og under og mellom boliger. Disse traseene blir valgt for å få kortest mulig grøftelengder og minst mulig terrenginngrep. Ved bruk av fellesgrøfter for alle tekniske anlegg i grunnen, som er en forutsetning for å få grøftekostnadene ned på et akseptabelt nivå, er det naturlig at også sekundærnettet for fjernvarme er privat. Som for VA-anlegget krever dette at det utarbeides en driftsinstruks for fjernvarmeanlegget. Denne driftsinstruksen må i tillegg til selve rørnettet også omfatte abonnentsentralen der rørnettets tilstand kan overvåkes. Ved bruk av fellesgrøfter vil ev. reparasjoner på ett system kunne påvirke flere andre systemer. For eksempel kan fjernvarmeanleggets isolasjon inngå som en del av frostisolasjonen for VA-ledningene. En reparasjon på fjernvarmenettet krever derfor at isolasjonen bringes tilbake til sin opprinnelige tilstand. Dette er opplysninger som det er viktig å få med i en driftsinstruks. I tillegg må driftsinstruksen inneholde detaljtegninger av grøftesnitt som viser de forskjellige anleggenes plassering. Det må også utarbeides kart med inntegning og målsetting av grøftetraseer, rørdimensjoner, kum plasseringer m.m.

Driftsinstruksen for abonnentsentralen skal inneholde data for vannmengder, ventilstillinger, trykkforhold, styringskurver for temperatur- og mengderegulering m.m. Det er også viktig å sette opp prosedyrer som skal benyttes når det oppstår feil i anlegget. Abonnentsentralen må være tilstrekkelig instrumentert så man kan holde en fortløpende kontroll med anlegget. Det kan være hensiktsmessig å legge inn varslingsanlegg som trer i kraft hvis det oppstår alvorlige driftsforstyrrelser som større vannlekkasjer e.l. Forutsetningen for en feilfri drift er at det fortløpende foretas et preventivt vedlikehold. Dette går på overvåking og justering av vannbehandlingsanlegg, funksjonskontroll av ventiler og pumper etc. I private anlegg bør en rekke driftsrutiner automatiseres da man ikke har fast driftspersonell. Det er nødvendig å inngå serviceavtaler med vaktmesterfirma, energiverk e.l. som er kjent med anlegget.

## 8 Litteratur

(1) Gundersen, Per.

Lett kommunalteknikk.

Distribusjonsnett for fjernvarme, el og VA

NBI Prosjektrapport 46. Oslo 1989

(2) Gundersen, Per.

Fjernvarmeanlegg.

Regulering og styring av fjernvarmeanlegg

i områder med lav varmetetthet.

NBI Prosjektrapport 54. Oslo 1989

(3) Ljungquist, John.

Funksjonsprov i fält av prefabricerad segjärnskulvert

Studsvik Arbeidsrapport ED-87/33. Nyköping 1987