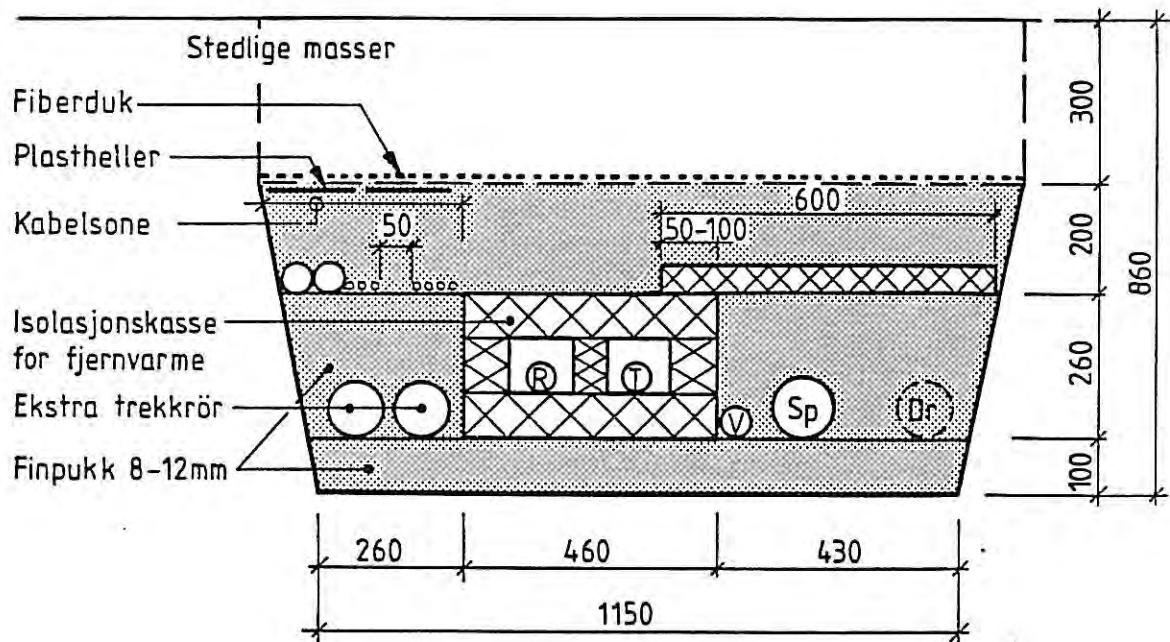


Per Gundersen

Lett kommunalteknikk

Distribusjonsnett for fjernvarme, el og VA

- Produkt- og systemutvikling
- Eksperimentbygging
- Utprøving i et område med 200 frittliggende eneboliger



Fjernvarmerør i isolasjonskulvert kan legges kostnadsfritt i fellesgrøfter da de forsyner vann- og avløpsledningene med isolasjon og varme for frostsikring.

Bruk av nye materialer, konstruksjoner og utførelse kan redusere distribusjonskostnadene for fjernvarme, vann og avløp i småhusfelt med 60% og elforsyningen med 35%. Dette kan gjøre fjernvarme til et reelt alternativ når det gjelder oppvarming av småhus i boligfelt med konsentrert bebyggelse.

Prosjektrapport 46

Per Gundersen

Lett kommunalteknikk

Distribusjonsnett for

fjernvarme, el og VA

- Produkt- og systemutvikling
- Eksperimentbygging
- Utprøving i et område med 200 frittliggende eneboliger

Norges byggforskningsinstitutt 1989

Prosjektrapport 46

Per Gundersen
Lett kommunalteknikk
Distribusjonsnett for
fjernvarme, el og VA

- Produkt- og systemutvikling
- Eksperimentbygging
- Utprøving i et område med 200 frittliggende eieboliger

ISBN 82-536-0295-2

UDK 697.34;

628.15;

621.316

© Norges byggforskningsinstitutt 1989

Forskningsveien 3B

Postboks 123 Blindern, 0314 Oslo 3

Telefon 02 46 98 80

Telefax 02 69 94 38

INNHold

	Side
Innledning, bakgrunn og målsetting	1
Koordinert prosjektering	2
Eksperimentbygging	4
Framføring av fjernvarme i boligfelt med tett småhusbebyggelse	5
Generelt	5
Systemvalg	8
Hovedanlegg for VA, fjernvarme og kabler	9
Trasévalget	9
Hovedanlegg i fellesgrøfter	16
Plassering i forhold til veien	16
Disponering av grøftetverrsnittet	18
Omfillingsmasser og overdekning på kabler og ledninger	22
Overordnet overvann/drenssystem	26
Frostsikring av hovedvannledninger	29
Sekundærledninger for VA, fjernvarme og kabler	33
Trasévalget	33
Frostsikringen	40
Disponeringen av grøftetverrsnittet	43
Fjernvarme sekundærnett	46
Dimensjoneringsgrunnlaget	46
Fjernvarmekulvert	48
Trasé, rørlengder og -dimensjoner	50
Rørmaterialer	53
Utvendig korrosjon	55
Innvendig korrosjon	59
Ekspansjonsopptak	61
Isolasjonsmaterialer	61
Ekstrudert polystyren (Styrofoam)	63
Temperaturbegrensninger	63
Fuktopptak	65
Krav til trykkstyrke av isolasjon og isolasjonskasse	66
Utførelse av fjernvarmenettet	67
Isolasjonskasser som fjernvarmekulvert	67
Varmetap	70
Utførelse av kummer	71
Innregulering og styring	74
KOSTNADSANALYSE	77
Grøftekostnader hovedgrøft	77
Kabler i hovedgrøfta i samleveien	79
Hovedvann- og avløpsledninger	83

Grøftekostnader sekundærgrøft	84
Fordeling av grøftekostnader	87
Sekundærnett for vann- og avløp	87
Kabler	88
Fjernvarme, isolasjon og rør	92
Isolasjonskasse	93
Rør	94
Kummer	97
Ekspansjonselementer	98
Avgreninger	98
Stikkledninger	99
Kostnadsoverslag	100
Husinstallasjoner	101
Individuell energimåling	103
Undersentralen	104
Primærnettet	105
Totalkostnader	106
Lønnsomhetsbetraktninger for fjernvarme i småhusområder	108
Kostnader for fremføring av elkabler i boligområder med frittliggende eneboliger	111
konklusjon	113
Oppsummering	120
Bilag 1. Ekspansjonsopptak	122
Bilag 2. Fuktopptak i isolasjonen, laboratorieforsøk	129
Bilag 3. Trykkstyrke av isolasjonskulverten i grunnen	131

Forord

Det er en generell oppfatning at fjernvarme i områder med tett småhusbebyggelse ikke lønner seg. Likevel bygges det i dag flere større småhusområder med fjernvarme. Det gjelder også i våre naboland der de 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. Når fjernvarmeutbyggingen allikevel kan forsvares rent økonomisk skyldes det lett tilgang på varme fra lokale varmekilder som søppelforbrenningsanlegg, renseanlegg for spillvann, industriell spillvarme, varmekraftverk el.l. hvor varmen ikke kan utnyttes på annen måte.

Bygging av småhus er og vil være et høyt prioritert felt. Bakgrunnen for vårt prosjekt var at vi ønsket å se om bruk av ny teknologi og nye materialer kunne gjøre fjernvarme til et reelt alternativ til elektrisk oppvarming, også i områder med konsentrert småhusbebyggelse. Ved å tilføre fjernvarme til områder med liten varmetetthet, vil distribusjonskostnadene relativt sett stå for en stadig større del av produksjonskostnadene. Det betyr at det er langt viktigere enn tidligere å få ned kostnadene for distribusjonsnettet. Distribusjonsnettet utgjør hovedkostnadene i enhver utbygging av fjernvarme. Vi ville utnytte den kompetansen Byggforsk har på fremføring av kommunaltekniske anlegg i boligområder, for å senke kostnadene. Prosjektet startet som et utviklingsprosjekt i samarbeid med Oslo kommune. Målet var å redusere kostnadene for opparbeidelse av et område med 200 frittliggende eneboliger som skulle varmes opp med fjernvarme.

Fjernvarmenettet må sees i en større sammenheng, hvis en skal oppnå en samlet kostnadsreduksjon for fremføring av de tekniske anleggene. Et nøkkelord er samordning av de ulike systemene i fellesgrøfter. Det er avgjørende å utnytte de forskjellige systemenes spesielle egenskaper, f.eks. varmeavgivelse, bruk av isolasjon, omfyllingsmaterialer osv.

Prosjektet startet våren 1985 og ble avsluttet i desember 1988. Alle grunnarbeidene i byggefeltet var da fullført og omkring 2/3 av boligene var tatt i bruk. Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd har støttet Prosjektet gjennom 3B-programmet ("Bedre boliger billigere"), og det er også finansiert av Olje- og energidepartementet. Prosjektet ble definert som fullskala eksperimentbygging, med Dow Chemical Norway A/S som industripartner. Dette firmaet har levert ekstrudert polystyren isolasjon (Styrofoam) som inngår som et vesentlig element i fjernvarmekonseptet. Østlandskonsult A/S har vært konsulent for de tekniske anleggene, mens Byggforsk var systemansvarlig og ledet prosjektet. Våren 1989 kom fjernvarmeanlegget i permanent drift med ferdig undersentral. Eksperimentbygging forutsetter en viss oppfølging de nærmeste årene, bl.a. for å etterprøve dimensjoneringsgrunnlaget. Det kan danne grunnlaget for en videreføring av konseptet med bruk av alternative rørmaterialer.

Det er laget en videofilm som belyser en del av anleggsdriften og intensjonene med prosjektet, i tillegg til denne prosjektrapporten. Dessuten er det utarbeidet en 3B-prosjektrapport der bebyggelsesplan, massebehandling og fremføring av tekniske anlegg for hele utbyggingen er sett i sammenheng.

Oslo, mai 1989

Per Gundersen

LETT KOMMUNALTEKNIKK - FJERNVARME

EKSPERIMENTBYGGING MED 200 FRITTLIGGENDE ENEBOLIGER

Innledning, bakgrunn og målsetting

Det skal bygges 200 frittliggende eneboliger som skal oppvarmes med fjernvarme, på Brenna. Brenna-området er en del av Oslo kommunes utbyggingsområde på Søndre Nordstrand, og det ligger nær kommunens søppelforbrenningsanlegg som leverer varme til området. Målsettingen for Brennaprosjektet er å redusere kostnadene og terrenginngrepene ved å ta i bruk såkalt lett kommunalteknikk. I tillegg er Brenna et fullskala eksperimentbyggingsanlegg der målsettingen er å vise at fjernvarme, bl.a. ved bruk av ny teknologi på distribusjonssiden, kan være et reelt alternativ når det gjelder oppvarming av småhus i boligfelt med konsentrert småhusbebyggelse.

Samtidig er det viktig å legge opp en strategi for tomteopparbeidelsen som innebærer en hurtig klargjøring av delområdene. Det vil sikre en rasjonell anleggsdrift der husproduksjon og innflytting kan skje fortløpende. I et så stort boligfelt som Brenna vil dette stille store krav til opparbeidingsgraden av de tekniske fellesanleggene fordi husproduksjon og innflytting også kan foregå i vinterhalvåret. Målet er å ta i bruk det permanente anlegget så fort som mulig for å unngå kostbare, provisoriske anlegg.

Det er derfor lagt opp til en mest mulig samkjøring av tekniske anlegg i fellegrøfter. Bruk av fellesgrøfter sikrer hurtig ferdigstillelse og en mer enhetlig plassering av de tekniske anleggene i terrenget. Grunne grøfter forhindrer uønsket drenering og gjør at forholdet mellom jord og fjellgrøfter blir gunstigere. Kostnadene blir redusert samtidig som man får flere kostnadsbærere.

I tillegg vil større frihet ved fastsetting av leggedybde og trasévalg for ledninger og kabler gi kortere grøftelengder, og lette plasseringen av hus og veier i terrenget.

Dette igjen forutsetter en samordnet massedisponering der husgruver, grøfter og veier blir opparbeidet samlet. Målet bør her være størst mulig gjenbruk av masser internt i området. Det krever en relativt omfattende planlegging også rent produksjonsteknisk. Samtidig stiller det store krav til byggeledelsen og til at den planlagte fremdriftsplanen blir overholdt.

Kort oppsummert omfatter lett kommunalteknikk følgende hovedpunkter:

1. Koordinert prosjektering og utførelse av private og offentlige anlegg som veier, husgruver og tekniske anlegg
2. Minst mulig bruk av arealkrevende og kostbare hovedanlegg
3. Samordning av tekniske anlegg i fellesgrøfter. Dette kan være vann, avløp, el (høy- og lavspent), signalkabler og fjernvarme
4. Frostdimensjonering av hoved-, sekundær- og stikkledninger for vann og avløp
5. Lokal håndtering av overvannet

Erfaringer fra andre utbyggingsprosjekter viser at det er mulig å redusere kostnaden for tomteopparbeidingen med 40-45% ved å ta i bruk lett kommunalteknikk. Med kostnadsnivået i Oslo vil det bety en kostnadsreduksjon på 50.000 - 100.000 kroner pr. boligenhet sammenlignet med tradisjonell opparbeiding.

Sparepotensiale i forhold til tradisjonell utførelse (Kilde NBI/ØK)

	Ledninger	Veier	Tomter
Økonomisk vurdert regulering, lineær bebygg., gunstig veiføring	13 %	13 %	2 %
Koordinerte kommunal- og tomtetekn. arbeider. Uttak av husgruver m.m.	2 %	2 %	34 %
Bruk av lett kommunaltekn., grunne ledninger, samkjøring av tekn. anl. ledninger under hus m.m.	40 %	32 %	1 %
Koordinert opparbeiding	55 %	47 %	37 %

Koordinert prosjektering

Det man skal bygge er et boligfelt på ca. 200 frittliggende eneboliger; ikke 1 km offentlige VA-ledninger, 6 km private VA- og fjernvarmeledninger, 1 km offentlig samlevei, 2 km private atkomst-

veier osv. Boligfeltet må derfor prosjekteres som ett anlegg, og man må komme fram til helhetsløsninger. Dette krever at en får godkjent kompromissløsninger i de enkelte fagetatene.

På et tidlig tidspunkt i planprosessen ble det holdt et møte med ledelsen i fagetatene hvor man diskuterte og fikk godkjent de hovedprinsippene som måtte legges til grunn for å få til en samordning av de tekniske anleggene. Samtidig ble det utarbeidet et notat der de enkelte etatene forpliktet seg til å ha en positiv innstilling til en samordning. Dette gjorde det enklere å få godkjent detaljløsningene hos saksbehandlerne i de enkelte etatene.

Det har likevel vært nødvendig med mange møter for å diskutere detaljløsninger og komme fram til kompromiss som kunne godkjennes av alle parter. Det skyldes i hovedsak to forhold.

For det første er det stor avstand mellom saksbehandlerne i de enkelte fagetatene, og mellom disse og prosjektet. Det er derfor lett å foreslå eller kreve kostbare løsninger ut ifra snevre faginteresser. Tilsynelatende små detaljer kan i et større prosjekt som Brenna, representere store kostnader. For eksempel vil forskjellige plasseringer av varerør i grøftetverrsnittet kunne bety en kostnadsøkning på flere hundre tusen kroner når den totale grøftelengden er ca. 10 km.

For det andre blir ikke nye personer informert om endringer som er vedtatt i normer og rutiner. Resultatet er nye møter og forsinkelser.

En samordning av de tekniske anleggene krever at:

1. Tidlig i planfasen holder man et møte med ledelsen i fagetatene å få godkjent visse hovedprinsipper.
2. Dersom det er problemer med å få godkjent detaljløsninger i en etat, holder man møte med saksbehandlerne fra flere etater for å komme fram til kompromissløsninger.
3. Når en ikke kommer fram til enighet, bør en ta med alternative løsninger i anbudet, slik at de økonomiske konsekvensene av detaljkravene kommer fram. Man har da grunnlag for å diskutere løsningene på nytt. Dette kan imidlertid være noe problematisk fordi andre løsninger kan kreve en fundamental endring av forutsetningene, f.eks. detaljløsninger i forbindelse med overvannshåndteringen.

Ved utførelse av fullskala eksperimentbyggingsanlegg er det i tillegg viktig at ansvarsforholdene er fullt ut klarlagt før prosjekteringen starter. Videre kreves det en grundig dokumentasjon av de løsningene som man ønsker å bruke, og hva man ønsker å oppnå.

Eksperimentbygging

Et eksperimentbyggingsanlegg der det skal inngå elementer av lett kommunalteknikk må ikke være for lite. I dette tilfellet hvor fjernvarme skal integreres i de øvrige tekniske anleggene, bør et representativt forsøksanlegg omfatte alle elementer av fjernvarmeutbyggingen med primær-, og sekundæranlegg, undersentraler, start under vinterforhold, generelle driftsforhold m.m. Området bør ha en størrelse på min. 100 da som svarer til ca. 100 frittliggende eneboliger. I et representativt område bør det i tillegg til fjernvarme, inngå hovedvann- og avløpsledninger, høyspent/lavspent- kabler, samle/atkomstveier, variert topografi og grunnforhold m.m. Videre er det viktig at anleggsperioden har så lang varighet at man får drift av delområder under vinterforhold. Dette er spesielt intressant fordi en rekke forhold som inngår i en koordinert opparbeiding og lett kommunalteknikk, forutsetter drift for å være frostsikre. Det omfatter plate på grunn fundamentering i telefarlige materialer og bruk av grunne grøfter. En viss størrelse på anlegget er også viktig for å unngå en suboptimalisering av delementer i anlegget uten at en samlet oppnår noen besparelse. Man kan også tenke seg løsninger med høyere enhetspriser, men at man pga. mer rasjonell produksjon allikevel oppnår totalbesparelser. Det snakkes her om rene produksjonsbesparelser. Hvem som går av med gevinsten vil ofte være et markedsspørsmål.

Brenna-anlegget har en størrelse på ca. 200 dekar. Dette er noe stort for å være et eksperimentbyggingsanlegg fordi hele anlegget blir utført som en entrepris. Det gjør det vanskelig å justere uheldige utførelser eller materialvalg da en opererer med faste enhetspriser for hele anlegget. Brennafeltet ble lagt ut til vanlig anbudsinnbydelse. Også dette er problematisk fordi nye utførelser som er ukjente for entreprenøren, blir priset relativt høyt. Det kunne derfor vært mer hensiktsmessig først å bygge ut det område med 100 boliger før man innhentet tilbud på de resterende arbeidene. Dette vil kunne gjøre en i stand til å korrigere uheldige utførelser også økonomisk.

Et annet problem ved et eksperimentbyggingsanlegg med Brennass størrelse er at både planleggings- og byggetiden er forholdsvis lang, dvs. to-tre år. Hvis en samtidig skal ha en driftsoppfølging, kan det gå uforholdsmessig lang tid før de endelige resultatene vil foreligge. Samtidig er de økonomiske konsekvensene ved et eksperimentanlegg av denne størrelsen også relativt store.

Lang anleggsperiode har imidlertid den store fordelen at man kan studere anleggsdriften over et lengere tidsrom hvor man har mulighet til å innarbeide nye metoder. Dette gjør en langt bedre i stand til å komme fram til utførelser som er mer gjennomarbeidet. Man har også en

god mulighet til en teknisk og økonomisk analyse av resultater og av konsekvenser av forskjellige utførelser. Bruk av fullskala eksperimentbygging gir en mulighet for å prøve ut nye materialer og konstruksjoner under realistiske forhold. Det er også mulig å påvirke og etterprøve anbudsbeskrivelser og andre forhold som indirekte kan ha store konsekvenser for kostnadene. Eksperimentbygging gjør at en hurtig kan komme ut med nye forskningsresultater i praktisk bruk, samtidig som man får et referanseanlegg der man også kan studere driften av anlegget. Dette er ikke minst viktig i en fjernvarmesammenheng fordi ikke bare anleggskostnadene, men også driftskostnadene er av stor betydning.

FRAMFØRING AV FJERNVARME I BOLIGFELT MED TETT SMÅHUSBEBYGGELSE

Generelt

En helhetsvurdering hvor økonomi, energi, miljø, fleksibilitet osv. trekkes inn, viser at det optimale energibildet er en kombinasjon av ulike energiformer og systemer. Det omfatter utnyttelse av ulike lokale energiressurer så som søppel og avfall, industriell spillvarme og tilfeldig kraft. I tillegg kommer utnyttelse av lavtemperaturkilder som kloakk, fjordbasseng som varmereservoar o.a. ved hjelp av varmpumper. Dette er ytterligere aktualisert i den senere tid da det er under utredning å plassere gasskraftverk i sentrale, tettbebygde strøk i landet. Fjernvarmen står sentralt i dette bildet.

Kostnadene med å føre fram fjernvarme i Norge er store, ikke minst på grunn av topografi og grunnforhold. Distribusjonsnettet utgjør i dag ca. 60% av investeringene i et fullt utbygd fjernvarmesystem. Dersom fjernvarme skal bli et reelt alternativ til elektrisk oppvarming, må det utvikles nye systemer som utnytter og ivaretar de spesielle forhold som finnes her i landet. I dag er dette arbeidet i mer eller mindre grad overlatt til utenlandske leverandører av fjernvarmesystemer.

I dette prosjektet har vi særlig sett på nybyggingsområder med konsentrert småhusbebyggelse. Dette er et prioritert felt i framtiden fordi fjernvarme idag har vanskelig for å konkurrere på grunn av høye distribusjonskostnader. Ved å ta i bruk lett kommunalteknikk som innebærer at alle tekniske anlegg samordnes i fellesgrøfter, har man mulighet for betydelige reduksjoner i framføringskostnadene. Men det krever at man utvikler fjernvarmesystemer som egner seg for en samordning. En realistisk utprøving av integrerte systemer kan bare skje ved hjelp av fullskala eksperimentbygging. Et omfattende samarbeid mellom de berørte etater er en absolutt forutsetning for å lykkes.

Viktige parametre for å kunne føre fram fjernvarme på lønnsom basis er:

- distribusjonssystemet (direkte/indirekte/trasé/samordning)
- dimensjoneringsgrunnlaget (temperaturnivå/varmeforbruk/samlagring)
- materialteknologi (isolasjon/rør/levetid)
- drift (innregulering/styring)

Alle disse forholdene vil ha direkte eller indirekte innvirkning på distribusjonskostnadene som omfatter både investeringskostnader, varmetapskostnader og pumpekostnader.

Figur 1 viser en prosentfordeling av kulvertdimensjonene i forhold til total leggelengde for fjernvarme i Sverige. Dette omfatter den totale utbyggingen av fjernvarme og det som er bygget i tidsrommet 1978-1980.

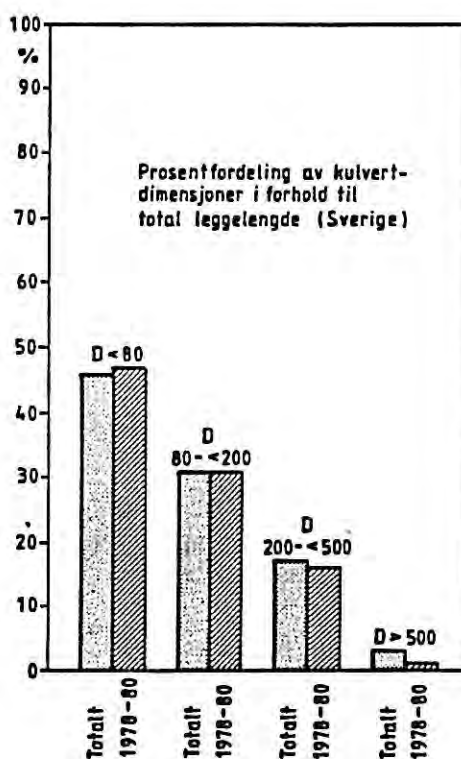


Fig. 1. Prosentfordeling av fjernvarme kulvertdimensjoner i forhold til total leggelengde (Sverige)

Det framgår her at ca. 50% av rørrettet har dimensjoner mindre enn 80 mm \emptyset . Hvis en ser på rørdimensjoner ≤ 100 mm \emptyset , utgjør disse mer enn 65% av rørrettet. Det viser med all tydelighet at det er sekundærnettene som utgjør de store rørlengdene. Denne utviklingen er forsterket i de senere årene. Det gjelder i stor grad også i Danmark.

Dette betyr at man er i ferd med å foreta en fjernvarmeutbygging i områder med stadig mindre varmetetthet. De mest lønnsomme områdene med størst varmetetthet er allerede utbygd i disse landene. Derfor vil distribusjonskostnadene relativt sett stå for en stadig større del av varmeproduksjonskostnadene. Det betyr at det er langt viktigere enn tidligere å få ned kostnadene for distribusjonsnettene. Skal man lykkes, må det tas i bruk nye materialer og konstruksjoner samtidig som det er viktig å få ned grøfttekostnadene.

Figur 2 viser fordelingen mellom materialer og grøfttekostnader. Det fremgår her at grovt sett vil grøfttekostnadene i løsmasser utgjøre halvparten av fremføringskostnadene. I fjellgrøfter som det er mest av i Norge, vil grøfttekostnadene kunne utgjøre en stadig større del av framføringskostnadene. En metode å redusere grøfttekostnadene på, er å samordne de tekniske anleggene i fellesgrøfter.

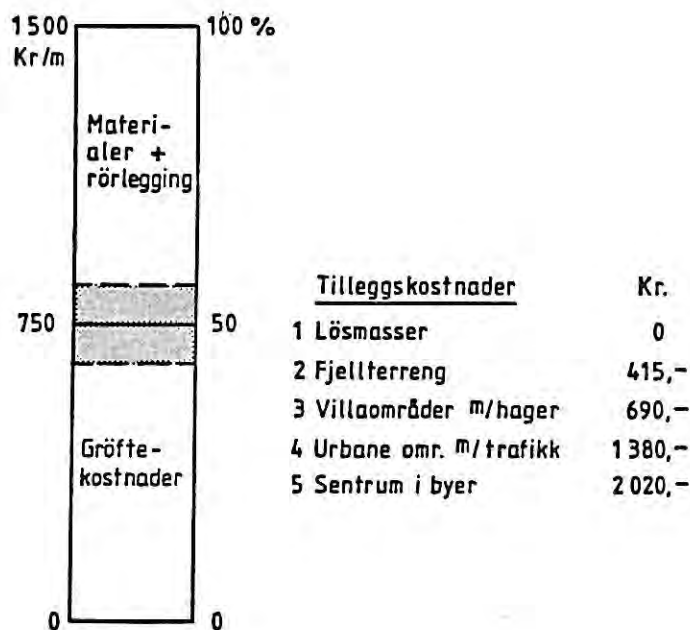


Fig. 2. Fremføringskostnader for fjernvarme, fordeling mellom materialer- og grøfttekostnader (tradisjonell utførelse)

I nybyggsområder er det mulig å gjøre noe med disse forholdene. Men også i mer etablerte strøk er det vanligvis behov for en sanering eller rehabilitering av de tekniske anleggene, noe som tilsier en samordning. Det er særlig behov for å legge nye vannledninger hvis det er store lekkasjer i de eksisterende ledningsnettene.

Vannledningene egner seg spesielt godt for en samordning med fjernvarmenettet fordi fjernvarmenettet gir et tilskudd av varme og kan legges betydelig over frostgrensen. Dette er en forutsetning for å få ned kostnadene.

Selv om sekundærnettene utgjør de store rør/grøftelengdene, er primærnettene, med store rørdimensjoner, arealkrevende og representerer store enhetskostnader. Da det er de samlede utgiftene for primær- og sekundærnettene med undersentraler som bestemmer totaløkonomien, krever dette optimalisering av alle ledd. Ofte vurderes primærnettene som en fast kostnad, der en opererer med faste kostnadsparametre. Det er derfor kostnadene for sekundærnettene som er avgjørende for om det vil være lønnsomt med fjernvarme. En kan imidlertid ikke se på primær- og sekundærnettene uavhengig av hverandre. Vi har tilsvarende forhold i forbindelse med hovedledningsanlegg for VA-ledninger. Det har vært relativt enkelt å gjøre noe med kostnadene på sekundærnettene, mens en er bundet av et omfattende norm- og regelverk når det gjelder hovedledningsnettene. Urasjonelt utført kan det påføre området betydelige merkostnader.

Et viktig forhold er at det ikke skal bygges ut mer primær- eller hovedledninger enn det som er absolutt nødvendig, og at en velger traséer som samlet gir de laveste kostnadene. Som en tommelfingerregel vil det vanligvis være den traséen som har de korteste grøftelengdene, som gir de laveste kostnadene. Det er imidlertid langt lettere å gå i terrenget med et sekundærnett med relativt små dimensjoner. Hvis det er mulig, bør man unngå områder med fjell i dagen, eller man anlegger fellesgrøfter med andre tekniske anlegg. Dette vil kunne gi lavere anleggskostnader selv om grøftelengdene blir noe større. Ved hjelp av effektive isolasjonsmaterialer kan varmetapet allikevel holdes på et meget lavt nivå.

Systemvalg

På Brenna er det vurdert å benytte enten et direkte eller et indirekte fjernvarmesystem. I det direkte systemet vil vannet i sekundærnettene sirkulere også i abonnentens eget varmesystem. I det indirekte systemet er det plassert en varmeveksler i hvert hus. Det betyr at vannet i sekundærnettene er atskilt fra vannet hos abonnenten. Valg av system for fjernvarmedistribusjon er avhengig av områdets utstrekning, høydeforskjell, vanntemperatur og trykkforhold m.m. Økonomiske forhold og krav til forsyningsikkerhet er også viktige faktorer for valg av system. Her er kostnaden for og kvaliteten på innreguleringen av anlegget av stor betydning.

Rent generelt egner det direkte systemet seg for mindre områder med små høydeforskjeller, der det samtidig er ønskelig å bruke lave temperaturer i fjernvarmenettet. Det indirekte systemet er godt egnet for områder med store høydeforskjeller. En annen vesentlig fordel ved det indirekte systemet er at abonnentens system ikke vil innvirke direkte på sekundærnettene. Ekstra kostnader til abonnentsentralen (varmeveksleren) i hvert hus kan delvis oppveies ved at et indirekte fjernvarmesystem er betydelig enklere å innregulere enn et direkte

system. Samtidig inngår en bereder for varmt forbruksvann i abonnentsentralen. I småhusområder med relativt lange rørstrekk pr. bolig viser analyser at det ikke er lønnsomt å ha en sentral varmtvannsforsyning med et eget rørrnett. Med dagens rørpriser er det også tvilsomt om det er lønnsomt å benytte tappevannsvarmevekslere som krever større rørdimensjoner ute i nettet.

På Brenna er det en høydeforskjell på ca. 40 m mellom det høyeste og det laveste punktet i anlegget. Denne store høydeforskjellen og kostnadene med å innregulere et direkte anlegg, er årsaken til at det ble valgt et indirekte system. Hvert hus er utstyrt med en egen varmeveksler med forrådsbereder av typen OSO 30 RX - 200.

En desentralisert varmtvannsforsyning med en forrådsbereder er et fleksibelt system som muliggjør elektrisk oppvarming av forbruksvannet i sommerhalvåret eller i anleggsperioder når bare enkelte hus er innflyttingsklare. På grunn av tap av temperatur i abonnentsentralen setter dette en nedre grense for turtemperaturen. Tap av temperatur i abonnentveksleren betyr imidlertid lite for kostnadene for radiatoranleggene i boligen når turtemperaturen i sekundærnettet ligger på 80 °C. De fleste av beboerne har for øvrig installert gulvvarme i underetasjen. Det ville ha vært større kostnad forbundet med å øke trykklassen på radiatorene hvis det direkte systemet var valgt.

HOVEDANLEGG FOR VA, FJERNVARME OG KABLER

Vi skiller i rapporten mellom hovedanlegg (primæranlegg) og sekundæranlegg. Større ledninger som kommunen overtar drift og vedlikehold av, betegnes som hovedanlegg. Sekundæranlegget består av private fellesledninger som beboerne i fellesskap overtar ansvaret for. De er dekket av en privat forsikringsordning på linje med stikkledningene til den enkelte boligen.

Det er tre forhold som er avgjørende for kostnadene til hovedanlegg:

- trasévalget
- forlegningen
- valg av tekniske løsninger

Trasévalget

Hoved/primærledningene bør føres fra de eksterne forsyningsledningene og korteste veien fram til et sentralt fordelingspunkt for området.

Brenna-feltet har en største bredde på ca. 300 meter og en lengde på ca. 1 km. Den beste traséen for hovedanleggene er å komme inn midt på feltet og derfra forgrene det i et sekundæranlegg i lengderetningen (nord/syd), fig. 3.

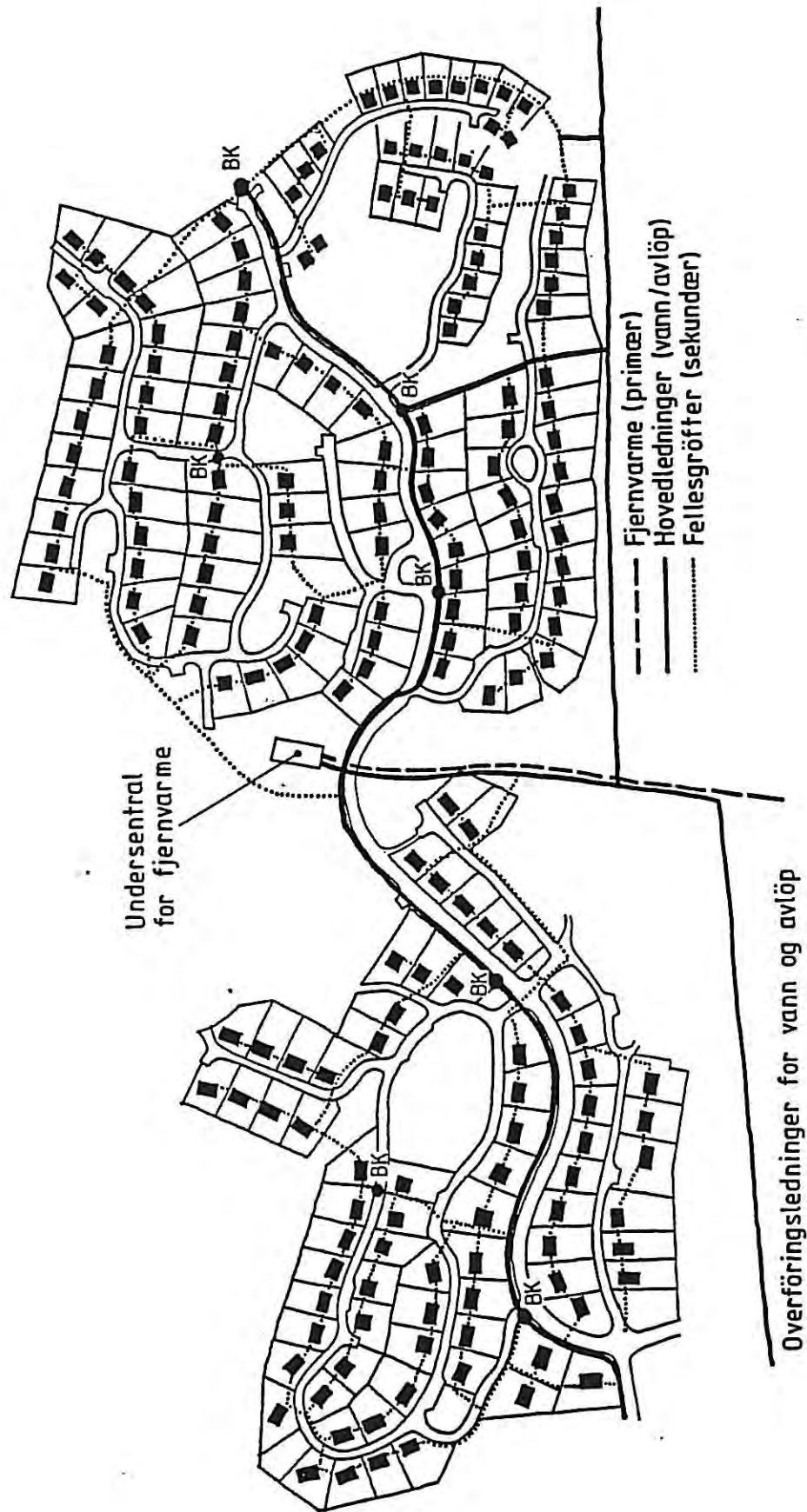


Fig. 3. Hoved/primærnett for vann og fjernvarme på Brenna med plassering av undersentral og brannventiler. Sekundærnettet for vann og fjernvarme ligger under boligene.

Hovedkravet til traséen for de tekniske hovedanleggene er at den skal ligge på offentlig grunn. Dette gjør det naturlig å tenke seg samme trasé for samlevei og tekniske anlegg. Utformingen av bebyggelsesplanen blir derfor viktig for å få til et rasjonelt hovedanlegg.

Men de eksterne randbetingelsene som foreligger på Brenna, for samleveien og tilkobling til vannettet, fører til at man må bruke en annen planløsning enn den optimale vi her har skissert.

- Den aktuelle traséen for samleveien går sentralt gjennom området i lengderetningen (nord/syd).
- Tilknytningen for vann og elektrisitet er nord i feltet. En større overføringsledning for vann og en hovedavløpsledning går i dalbunnen vest for feltet.
- Hovedvannledningen internt gjennom feltet skal også forsyne eventuelle nye boligområder i syd.

Den beste traséen for høyspentkabler og hovedvannledningen under disse forutsetningene, er langs samleveien i gang/sykkelveien som går parallelt med samleveien gjennom området, fig. 3. Denne traséen tilfredstiller to viktige krav for hovedvannledningen:

- Lengste avstand til en tomt/bolig er 200 m langs kjørbare vei. Brannvannsdekningen kan da løses ved å plassere 5 brannvannsuttak på hovedledningen. I Oslo er største tillatte avstand langs kjørbare vei 350 m, fig. 4.
- Hovedvannledningen blir en del av et ringledningssystem. Dette sikrer tosidig tilførsel til brannvannsuttakene og forenkler frostsikringen spesielt i anleggsperioden. Se eget punkt om frostsikring.

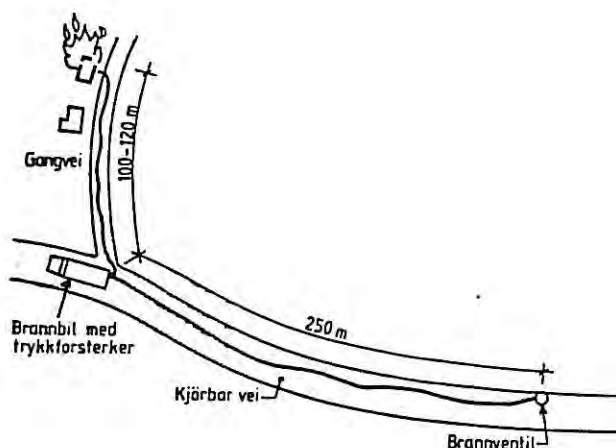


Fig. 4. Gjeldende bestemmelser for avstander mellom brannvannsuttak og brannobjekt i boligfelt med småhus i Oslo kommune (1989)

Avskjærende spillvannsledninger er ført ned til hovedledningen i dalbunnen i vest på fire naturlige uttrekksteder. Et av disse uttrekkene er bekkedalen sentralt i området. To av disse uttrekkene har også en hovedvannledning. På grunn av fallforholdene i området ligger det spillvannsledninger bare i mindre deler av hovedgrøfta langs samleveien.

For å unngå for store tap på elektrisitetsnettet, kan ikke fordelingskablene (lavspent) være for lange. Det medfører at høyspentnettet blir noe mer omfattende enn hovednettet for vann og avløp. Der hvor høyspentkabelen ikke lenger følger hovedledningene for vann og avløp, er kabelen lagt langs atkomstveien sammen med gatelyskabelen, fig. 5.

Trafostasjonene blir ofte stående som fremmedelemeter i boligområdet. For å unngå dette må man ta plasseringen av disse like alvorlig i planleggingen som hus og garasjer. Det må løses i samarbeid mellom arkitekt og konsulent for elforsyningen.

Fire av de syv trafostasjonene er plassert i tilknytting til samleveien. Dette er gunstig med hensyn til drift og vedlikehold, men det gir noe begrenset mulighet til å gi de en nøytral og skjermet plassering i området, fig. 6.

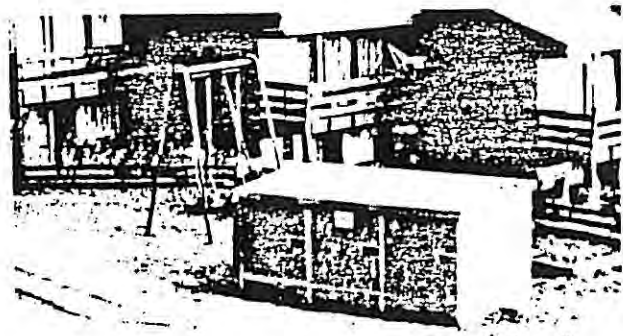
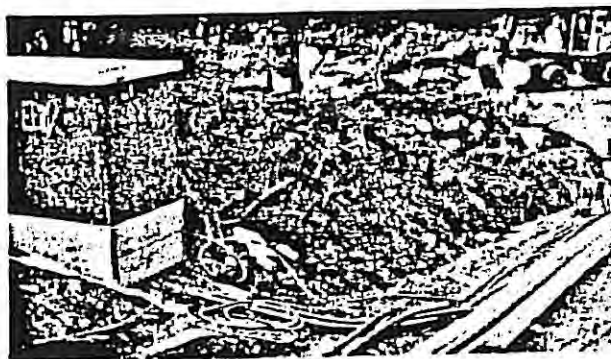


Fig. 6. Eksempler på god og dårlig Trafoplassering

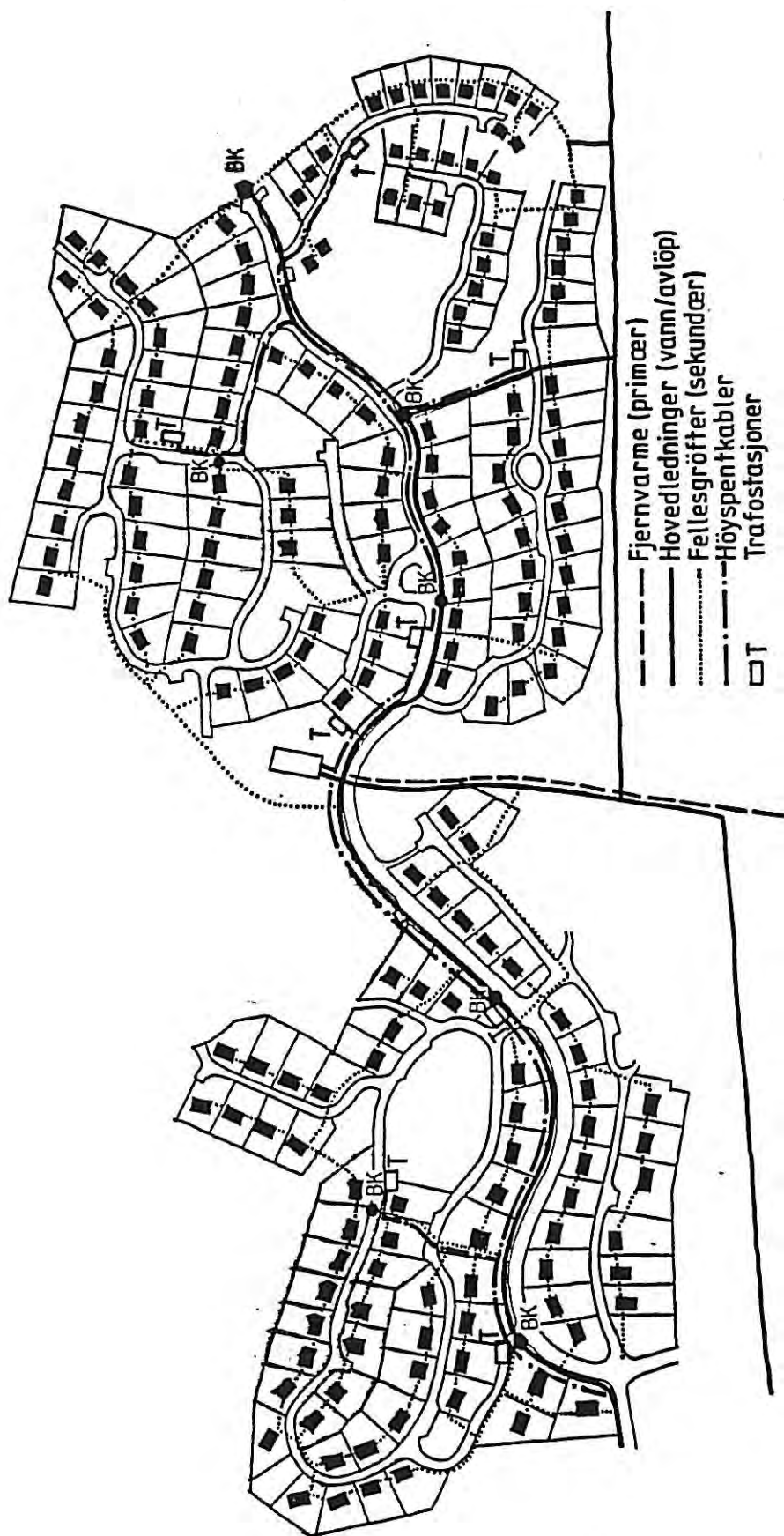


Fig. 5. Plassering av trafostasjoner og traseer for høyspentnettet

Tilknytningen til fjernvarmenettet er meget gunstig fordi primærledningen følger bekkedalen sentralt i området opp til hovedvarmeveksleren. Traséen for primærledningen gir et kortest mulige rørnett, samtidig som hovedvarmeveksleren får en gunstig, sentral plassering i området. Traséen for primærnettet er samtidig trasé for hoved vann- og spillvannsledningen. De tekniske løsningene som i dag blir benyttet på primæranleggene for fjernvarme, gjør imidlertid at det er vanskelig å samordne dem med de andre tekniske anleggene. De viktigste årsakene til dette er:

- Sveising av skjøtene på stålrørene krever stor avstand mellom rørene. Fellesgrøftene blir brede, og grøftetraséen blir vanskelig å tilpasse en smidig veiføring. Dermed må en øke isolasjonsmengden for å utnytte varmetapet for fjernvarmen til frostsikring av vannledningen.
- Det brukes ofte en leggemetode for primærledningen hvor denne forvarmes til en gitt temperatur før man fyller igjen etter at hele ledningen er lagt. Grøfta står derfor lenge åpen, og dette gjør det i praksis vanskelig å samordne leggingen av fjernvarmerørene med de andre tekniske anleggene i fellesgrøfter, fig. 7a.
- Primærledningenes spesielle krav til omfyllingsmasser



Fig. 7a. Preisolerte fjernvarmerør i separate grøfter på Brenna. Grøftene ble liggende lenge åpne ved rørskjøtene.

På grunn av den høye temperaturen, 120 °C, er det benyttet preisolerte stålrør, der verken isolasjonsmaterialet (PUR) eller røret tåler å bli

utsatt for fuktighet fra grunnen. Spesielt er skjøtene sårbare når det er benyttet en enkelt tetting med krympemuffe. Kravet til omfyllingsmasser for disse rørene er derfor vanligvis sand eller liknende. Ved lekkasjer fra vannledningen eller annen vannføring i grøftene, vil det være en reell fare for utvasking av omfyllingsmassene med etterfølgende setningsskader. Det er spesielt kritisk i dette tilfellet hvor primærnettets følger en bratt bekkedal opp i området som har relativt stort tilsig av vann. På grunn av stedvis samordning med VA-ledninger er det imidlertid benyttet finpukk med kornstørrelse 4-8 mm i omfyllingen. Figur 7b viser et snitt av hvordan denne grøfta rent teoretisk kan bli utført. Bruk av stabile masser ved vannføring i grøfta er her et overordnet krav.

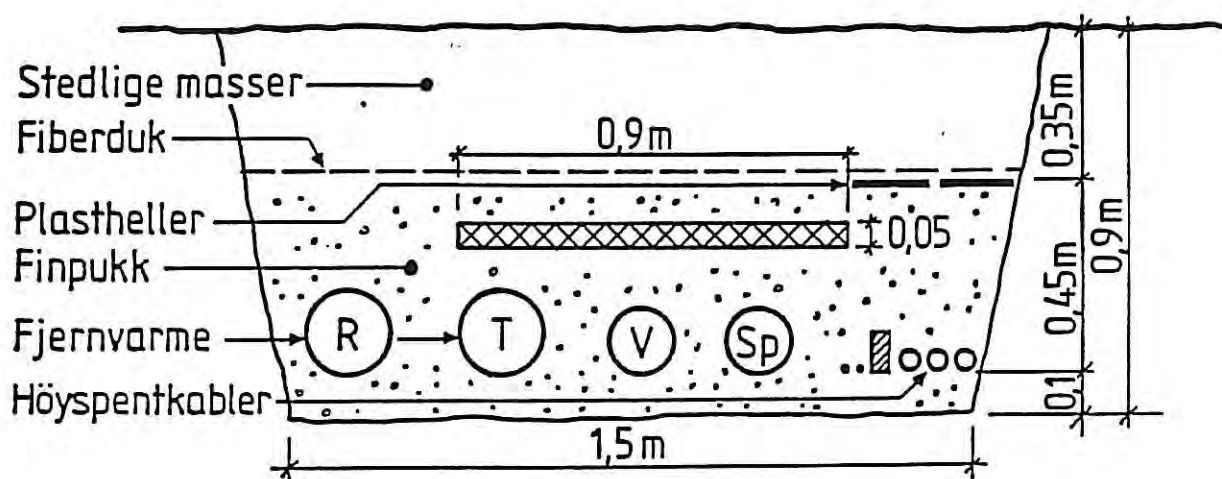


Fig. 7b. Preisolerte fjernvarmerør (primær) i fellesgrøfter med VA-ledninger og kabler

Selv om primærledningene bare har en diameter på 125 mm \emptyset kreves det relativt mye maskinelt utstyr å få lagtledningene ned i grøfta og få sveist skjøtene. Det ble derfor bygd en anleggsvei på siden av grøfta. På grunn av de omfattende grøftearbeidene for å få fram primærledningen har bekkedalen sentralt i området fullstendig endret karakter. Man bør bevisst vurdere under planleggingen om traséen kan bli brukt som turvei, parkanlegg, akebakke e.l. Bare dette kan rettferdiggjøre så store inngrep og grøftkostnader.

Andre tekniske løsninger på primærsiden for fjernvarme kan gjøre det mulig å samordne det med andre hovedanlegg, og dermed senke grøftekostnadene for framføringen av primærledningen. Man bør også vurdere å bruke stålrør med mekaniske skjøter. Det kan forhindre en rekke av de problemene som er nevnt over. En bør også nøye vurdere temperaturnivået i fjernvarmenettet i nye utbyggingsområder. Fjernvarmerørene kan legges i en isolasjonskulvert av ekstrudert polystyren dersom det foretas en tilleggsisolering av rørene avhengig av det valgte temperaturnivået, fig. 8. Dette er et område som man bør vie en langt større oppmerksomhet enn det som er tilfellet i dag.

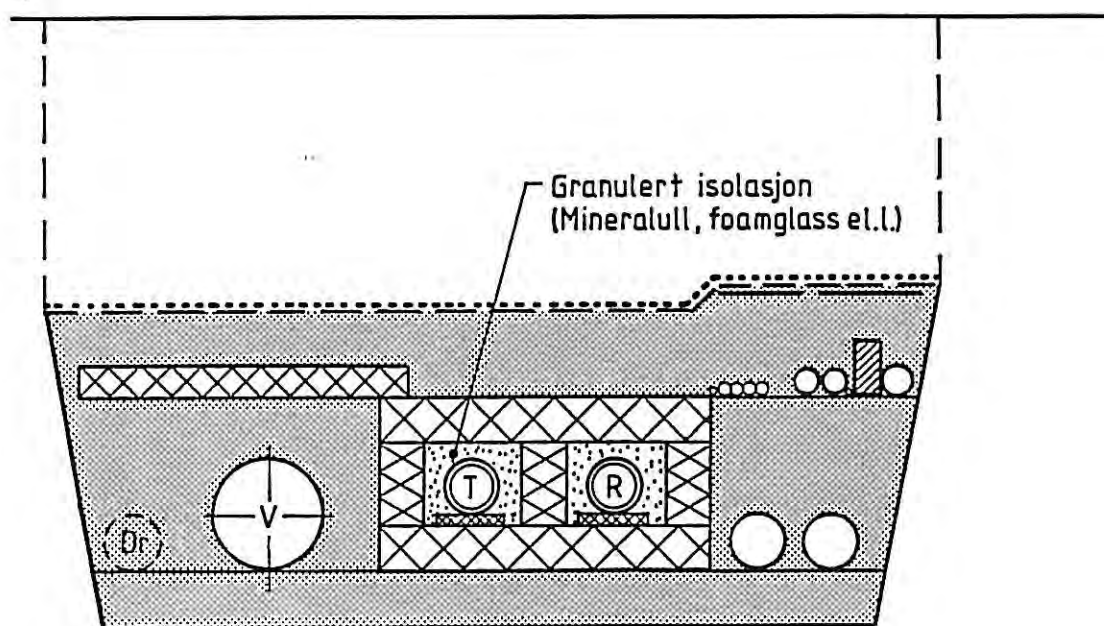


Fig. 8. Primærledningen i en isolasjonskulvert med tilleggsisolasjon

Fra den sentrale plasseringen varmeveksleren har fått, har en ved å se bebyggelseplanen og fordelingsnett (sekundærnett) for fjernvarmen i sammenheng, holdt største rørdimensjon under 90 mm. Det er største praktiske rørdimensjon når en benytter kobberør.

HOVEDANLEGG I FELLESGRØFTER

Plassering i forhold til veien

Vi har valgt å legge traséen for hovedanleggene for vann, avløp, kabler og hovedforgreningene på fjernvarme-sekundærnett langs samleveien. Dette gir et rasjonelt opplegg og god tilgjengelighet for drift og vedlikehold. Forutsetningen er imidlertid at:

- anleggene får en entydig plassering i forhold til veien
- lednings- og kabeltraséen må kunne tilpasses veiens linjeføring og ikke omvendt

For å oppfylle disse ønskene må VA-ledninger og fjernvarmerør kunne legges i bue. Dette er mulig både for stive og fleksible rørtyper. For de stive rørene, f.eks. duktile støpejernsrør, tillates det retningsavvik på opptil 4° i hver skjøt. Større retningsavvik kan man få ved å bruke 11° bend kombinert med maksimalt retningsavvik i hver skjøt. I tillegg finnes det lange, slake bend for noe større retningsavvik. Når det gjelder fleksible rør, f.eks. plast avløpsrør, kan man også foreta retningsavvik ved å bøye selve røret. Fordelene ved å bruke en buet rørføring er flere:

1. Samordning med andre tekniske anlegg i grunnen blir lettere.
2. Entydig plassering av VA-ledningene i forhold til veiens linjeføring
3. Drift og vedlikehold av VA-nettet kan forgå uten ulemper for trafikken.
4. Antallet kostbare kummer reduseres. Dette minsker også faren for skader på ledningene pga. setninger ved kumpunktene.
5. Ved bruk av buet rørføring og strekkfaste skjøter kan man som regel unngå kostbare forankringer på vannledningen.

På Brenna er vannledningen lagt under gangveien i en fast avstand på 5,5 m fra samleveiens senterlinje, fig.9.



Fig. 9. Hovedvannledning og høyspentkabler i fellesgrøfter i bue langs samleveien. Det benyttes duktile støpejernsrør med strekkfaste skjøter.

En bedre plassering hadde imidlertid vært mellom gangveien og samle-veien. Dette hadde gitt den samme tilgjengeligheter, men billigere frostsikring fordi frostbelastningen her er mindre på grunn av snølagringen. Dette var imidlertid ikke mulig fordi en besluttet å plante trær og plassere lysmastene i denne rabatten.

Også i gang/sykkelveien er frostbelastningen noe redusert fordi veien bare er 2,5 m bred og har snølagring på begge sider. Hovedlednings-traséen i gang/sykkelveien er derfor en akseptabel løsning med hensyn på frostsikringen.

Disponering av grøftetverrsnittet

Samordning av alle tekniske anlegg i fellesgrøfter krever kompromiss-løsninger både når det gjelder disponering av grøftetverrsnittet og bruk av materialer. Produksjonstekniske hensyn må tillegges stor vekt.

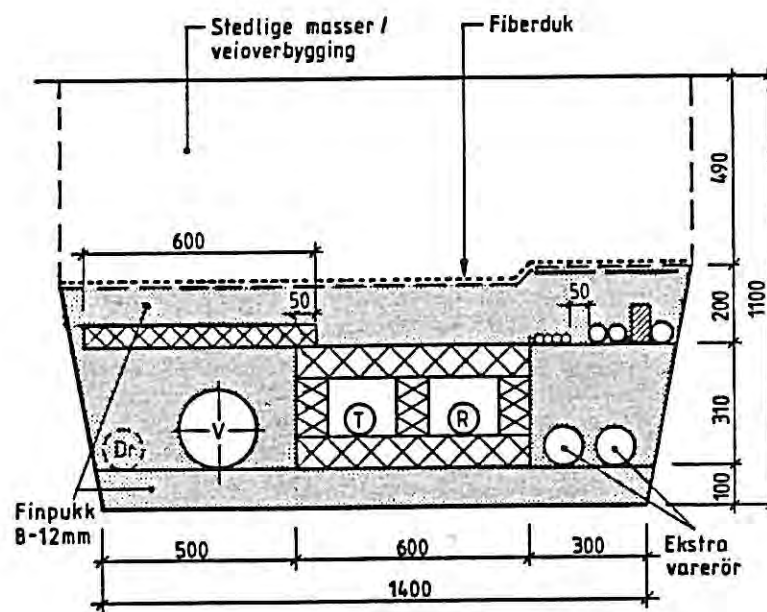


Fig. 10. Hovedgrøft med fjernvarme, vann og kabler.

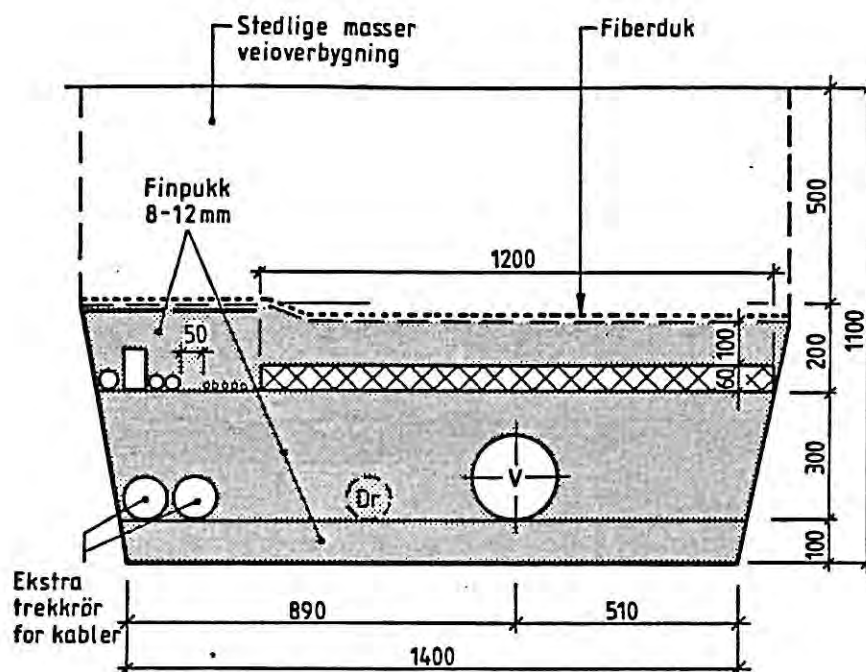


Fig. 11. Hovedgrøft med vannledninger og kabler.

Etter en rekke diskusjoner med de tekniske etatene og entreprenøren kom en fram til en generell utførelse av grøfta, hvor hovedprinsippet er:

- Grøftebredden holdes konstant på 1,4 m, fig. 10 og 11. Det vil si at grøftebredden ikke må økes dersom flere anlegg bruker samme grøften. Vi oppnår dermed en betydelig kostnadsreduksjon.
- Vannledningen som er mest frostutsatt, legges alltid nærmest fjernvarmekassen.
- Ledningsfundamentet er et 100-200 mm tykt pukklag. Sammen med et drenerør skal dette sikre en tilfredstillende drenering av grøfta, dvs. hindre at ledningsanlegget ligger i vann. På den måten sikrer man vannledningen mot forurensing ved en eventuell lekkasje på avløpsledningen og hindrer økt avkjøling av fjernvarmeledningen. Fellesgrøfter er alltid lagt med fall, og lavpunktene er drenert.

- Dreneringsevnen til ledningsfundamentet og ledningssonen sikres ved å bruke fiberduk, fig. 12.

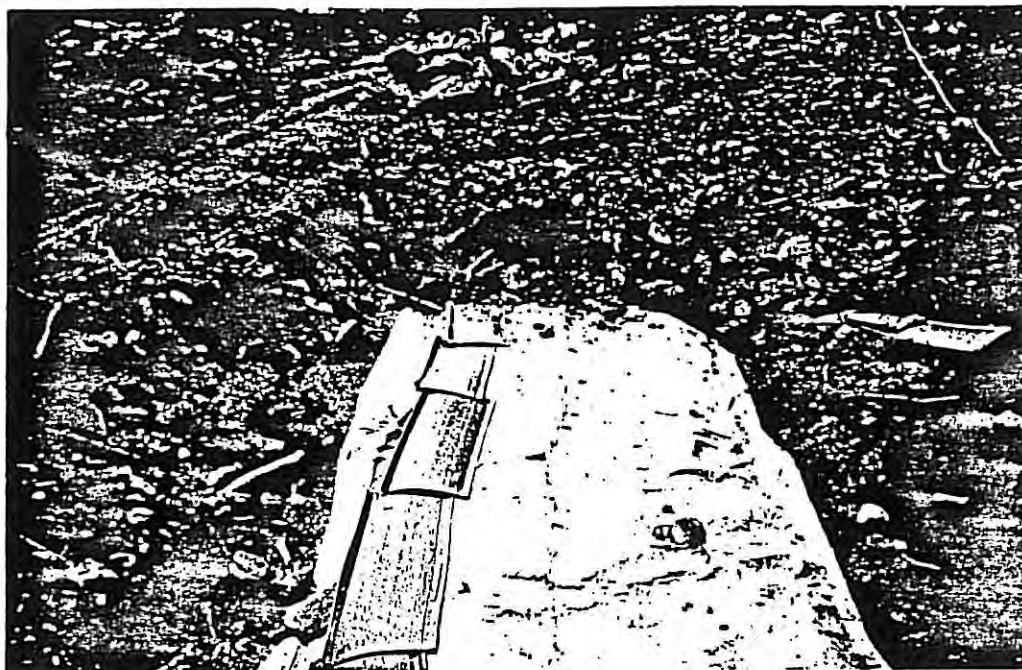


Fig. 12. Bruk av fiberduk over grøfta forhindrer at finstoffer trenger ned i pukklaget i grøtfelement og omfylling.

- Når ledningsfundamentet er klart, legges, avhengig av hvilke anlegg som skal være med, vannledningen, avløpsledningen, isolasjonskassen, fjernvarmerørene, drensør og varerør for kabler.
- I alle grøftene som inneholder kabler, er det lagt to ekstra trekkerør for senere kabeltrekking ved feil eller supplering av nettet.
- Finpukk blir fylt rundt fjernvarmekassen og vann- og avløpsledningen før kablene legges. Dette har flere produksjonstekniske fordeler:
 1. Man unngår skade på isolasjonen under kabeltrekkingen.
 2. Enklere arbeidsforhold i grøfta ved kabeltrekkingen
 3. Lettere å koordinere entreprenørens og kabeletatens arbeid
 4. Grøftebredden kan holdes på et minimum.
- Kablene legges på samme nivå som den horisontale isolasjonsplaten over VA-ledningene. Dette gir en overdekning på høyspentkabelen på ca. 0,7 m, fig. 10 og 11. Plassering av kablene relativt høyt i grøfta gir kablene også en optimal kjøling vinterstid da belastningen normalt er størst. Dersom andre forhold tilsier det, kan kablene også legges direkte på ledningsfundamentet i bunnen av grøfta. Varerørene bør da legges over kablene for å holde samme grøftebredden. Det bør alltid være et mål i fellesgrøfter å ha færrest mulig arbeidsoperasjoner. En bør imidlertid velge samme utførelse for hele anlegget.

- Høyspentkablene blir lagt av elverket med assistanse fra grunnentreprenøren som koordinerer arbeidet og stiller med mannskap. Det har vært et problem at grøftene har stått lenge åpne på grunn av skjøting av kablene. Vinterstid medfører dette ofte problemer på grunn av dreinsvann som fryser i grøftene. Når isen blir tint før tilbakefyllinger er det lett å skade isolasjonen og plastledningene. Vinterstid er det derfor nødvendig å unngå skjøter på kablene, eller at disse blir utført umiddelbart, slik at man raskt kan foreta gjenfylling. Når temperaturen er så lav at en ikke kan trekke kabler, kan en legge ned varerør og trekke kablene når temperaturen er blitt høyere.

I deler av hovedgrøfta langs samleveien er fjernvarmerørene lagt i fellesgrøfter med hovedvannledningen. Dette er sekundærledninger som går fra hovedsentralen og fram til delområdene. Disse fjernvarmeledningene har relativt grove dimensjoner og består av 90 mm Ø kopperledninger. Det er benyttet en forholdsvis stor isolasjonskasse for disse rørdimensjonene for å lette legging og sikre opptak av ekspansjon på grunn av termisk utvidelse. På de stedene der fjernvarmerørene krysser veier, er isolasjonsskassen fylt med finpukk for å tåle en langvarig trafikkbelastning. Dette vil representere fastpunkter i fjernvarmenettet som derfor må ha mulighet til å ekspandere i begge retninger. Da fjernvarmeledningene legges i bue og dermed følger veitraséen, vil en del av ekspansjonen naturlig tas opp langs traséen, mens den resterende ekspansjonen tas opp i bend eller i spesielle ekspansjonselementer, fig. 13. Ved tyngre anleggstrafikk over hovedgrøfta utenfor veier ble det benyttet kjøreplater i stål.

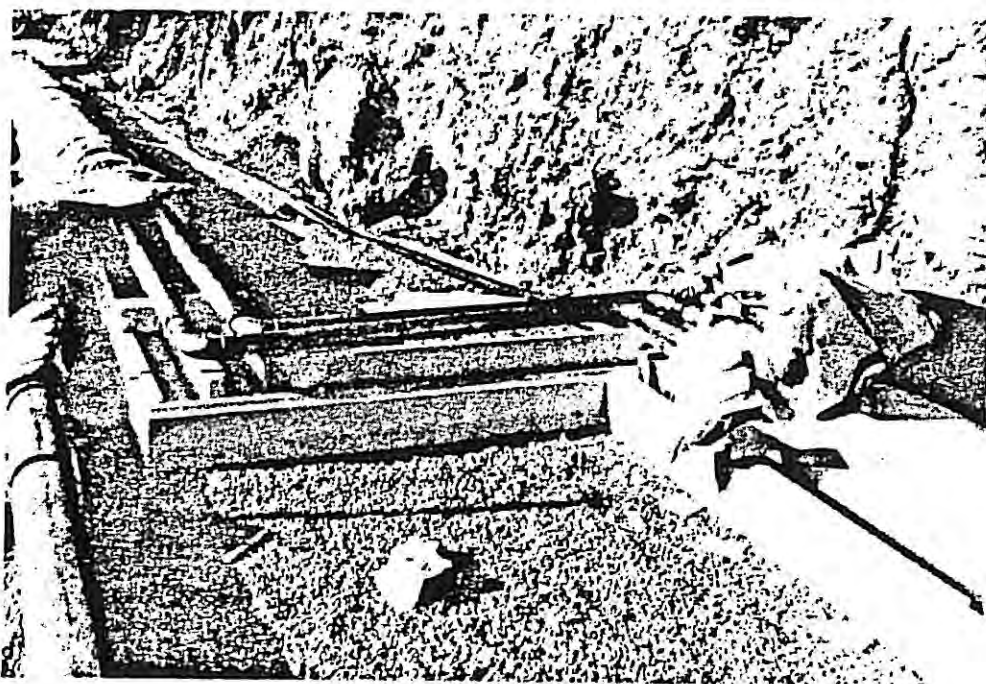


Fig. 13. Z-ekspansjon på hovedfordelingsledningen fra undersentralen (90 mmØ) benyttes bare på lange rettstrekk.

Omfillingsmasser og overdekning på kabler og ledninger

Generelt

Det er brukt finpukk 8-12 mm både i grøttestamentet og som omfillingsmaterialer for kabler og ledninger. Bruk av finpukk i grøttestament og omfilling er viktig for å hindre skader på kabler og ledninger i fellesgrøfter. De vanligste skadene skyldes setninger i grøfta. Dette kan føre til utette skjøter og i de alvorligste tilfellene til deformasjoner eller bruddskader på kabler og ledninger.

Et overordnet krav til materialene i fundamentet og omfillingen i fellesgrøftene er at de skal være stabile ved vanngjennomgang.

Gunstige materiale i denne sammenhengen er ensgradert finpukk eller singel. Skal finpukk brukes som omfillingsmasser rundt kabler, bør kornstørrelsen ikke være større enn ca. 12 mm. For singel med runde korn kan kornstørrelsen økes til ca. 20 mm. Karakteristiske material-egenskaper for finpukk er følgende:

1. Selvkomprimerende
2. Termisk og mekanisk stabil (overfor vibrasjoner, vann, frost)
3. Stor porøsitet (40 % romvekt 1300 kg/m^3)
4. Lav varmeledningsevne (0.5 - 0.7 W/mK)
5. Gode lastfordelende egenskaper
6. Liten evne til å holde på fuktighet (maks. 1-2 vektprosent)

Pukkens gode lastfordelende egenskaper er viktig når det gjelder å hindre skader på kabler, ledninger og isolasjon under en anleggsperiode med begrenset overdekning. Figur 14. viser at ved små overdekninger ($h \leq 0.8 \text{ m}$) der det er brukt finpukk som omfillingsmasse, vil jordtrykket i jordmassene med god tilnærming kunne fordeles etter 2:1 metoden.

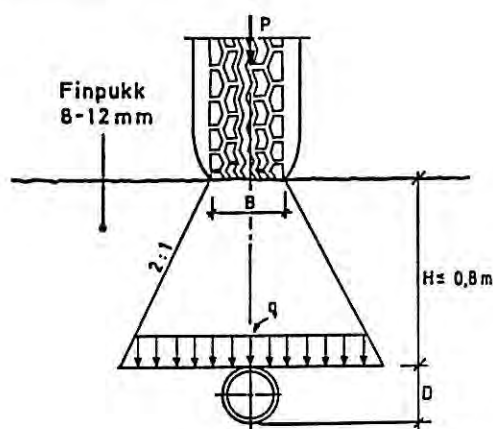


Fig. 14. Finpukk (8-12mm) har gode lastfordelende egenskaper og gir et lite jordtrykk på kabler og ledninger.

Allerede med en overdekning på 0.4 - 0.5 m vil derfor ledninger og kabler kunne tåle anleggstrafikken, fig. 15. Dette kan redusere skader på ledningene i en anleggsperiode der forholdene kan være relativt uoversiktlige rent trafikkmessig.

Det brukes isolasjon med trykkstyrke (350 kN/m^2) som tillater en minste overdekning på isolasjonen på 0.3 m i trafikkerte områder.

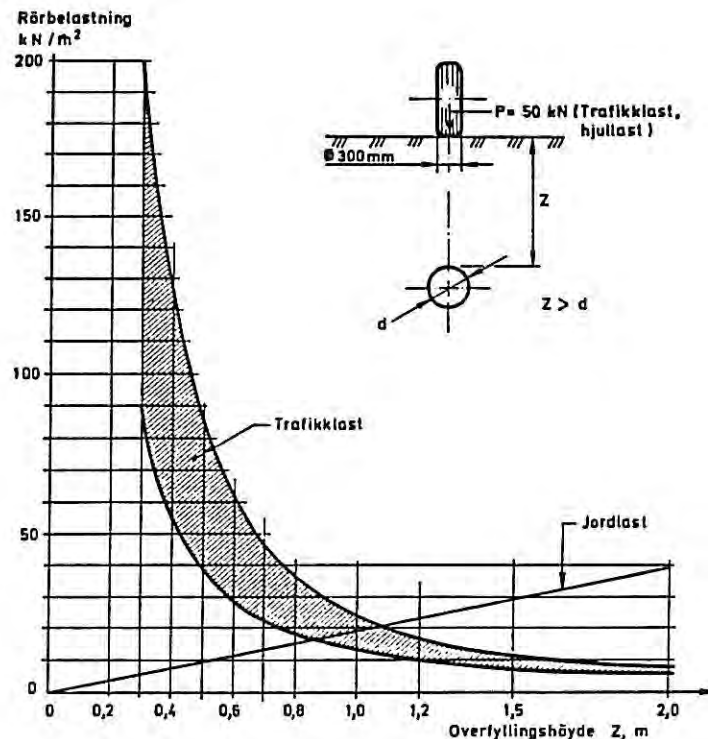


Fig. 15. Jord- og trafikklast på nedgravde kabler og rør. Den nedre kurven gjelder når omfyllingsmaterialene er finpukk.

Kabler

Det har vært meget omdiskutert å bruke finpukk som omfyllingsmasser for de forskjellige kabeltypene. I den forbindelse utførte Byggforsk i begynnelsen av 1980 årene en rekke laboratorie- og feltforsøk for å måle jordtrykket på nedgravde kabler med forskjellige omfyllingsmasser. Hvis kablene blir lagt i finpukk med en overdekning på 0.5 m, vil en maksimal hjullast fra en hjullaster på 82 kN eller et flatestrykk på 500 kN/m^2 gi et jordtrykk på kabelens nivå i grunnen på bare 1/5 eller ca. 100 kN/m^2 . 2:1 metoden er lagt til grunn for beregningen. Finpukk 4-8 mm gir noe lavere verdier for jordlastene enn fraksjonen 8-12 mm. Forskjellen er imidlertid ikke vesentlig. Finpukk 4-8 mm vil ofte ha et så stort innhold av finstoffer at pukken ikke kan regnes som helt selvkomprimerende. Vi anbefaler derfor å bruke

finpukk med en kornstørrelse på 8-12 mm som er bedre i så måte, og som bare gir en relativt liten økning i jordtrykket. De ovennevnte jordtrykkene er så lave at det ikke er mulig å se noen merker på kablene. I laboratoriet ble det brukt pukk helt opp til kornstørrelse på 16 mm uten at dette skadet kablene. Vi anbefaler imidlertid ikke å gå over 12 mm i kornstørrelse for knuste masser i kabelgrøfter.

Når det bare er jordlast over kablene, er jordtrykket på kablene kun 3-4 % av det trykket en får ved trafikkbelastning. Dette er så lavt at det ikke har noen innvirkning på kablene. Det er ikke rapportert om skader på kabler som skyldes bruk av finpukk. Tilsvarende forhold gjelder også for VA-ledninger der rørmaterialet kan være av et bløtere materiale enn kabelmantlen samtidig som de også blir utsatt for betydelige temperatursvingninger.

Der kabler passerer samleveien eller atkomstveier med relativt stor trafikk, er kablene lagt i varerør, fig. 16. Dette skyldes ikke at kablene ikke tåler trafikkbelastningen, men at det rent anleggsmessig er en fordel hurtigst mulig å få lukket grøfta. En har da mulighet til å benytte veisystemet umiddelbart uten å vente på kabeltrekkingen som nødvendigvis vil ta noen tid. Det er selvfølgelig også viktig at en kan skifte ut eller legge nye kabler uten å måtte grave opp veien. Det legges derfor alltid ned et visst antall ekstra trekrør ved veipasseringer. Tradisjonelt blir rørene støpt inn når de legges i veien. Dette er ikke nødvendig når man bruker finpukk som omfyllingsmasser. Ved bruk av finpukk vil deformasjoner på røret, selv med dimensjonerende hjullaster, bare ligge i størrelsesorden 1-2 %. Rørene ved veipasseringer er ikke innstøpt på Brenna.

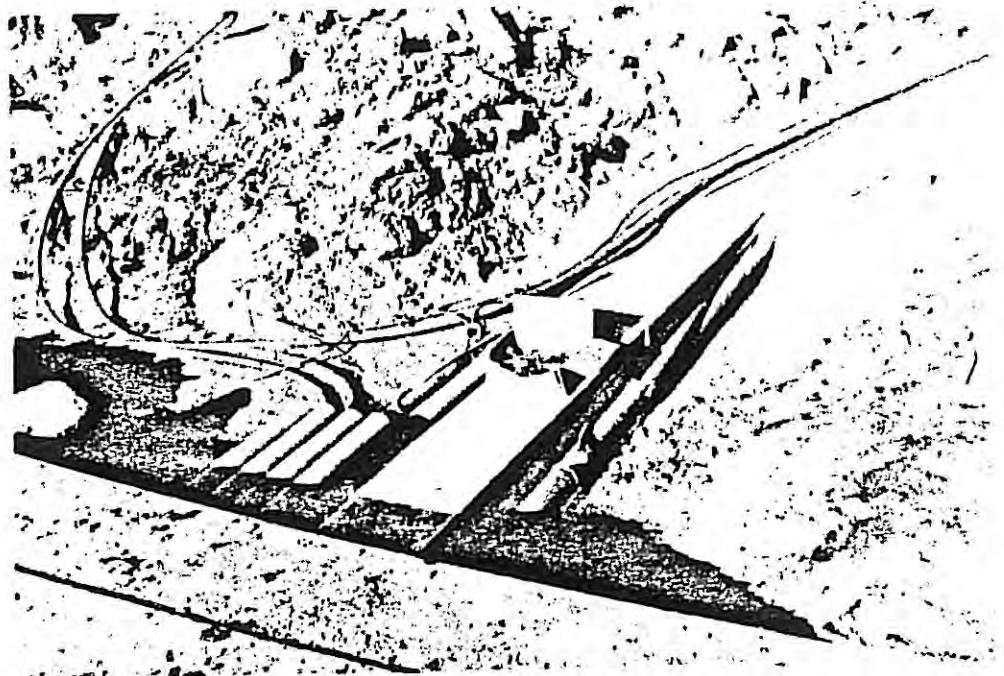


Fig. 16. Kablene trekkes i varerør ved veipasseringer. Forøvrig legges kablene direkte i pukkmasser i grøftene.

Da finpukk har lavere varmeledningsevne enn fuktig sand, vil varmeavgivelsen fra kablene i finpukk være noe dårligere enn fra kabler lagt i fuktig sand. Laboratiemålinger utført på Byggforsk viser at varmeangivelsen fra elektriske kabler i pukk eller i varerør i pukk eller sand, er redusert med ca. 20 % i forhold til kabler i fuktig sand. Alle kabler i boligområder må dimensjoneres under forutsetning av at disse stedvis legges i varerør. Det vil derfor i praksis ikke føre til noen økning i kabeltverrsnittet om kablene legges i finpukk eller sand. Dette gjelder for kabler internt i boligområdet.

Det kan være hensiktsmessig å la gatelyskabelen følge atkomstveiene. Kabelen kan legges i veiens bærelag eller i veigrøfta. Gatelyskabelen på Brenna er lagt i veigrøfta, i pukkmasser (8-12mm), og har en overdekning på ca. 0.35 m, fig. 17.

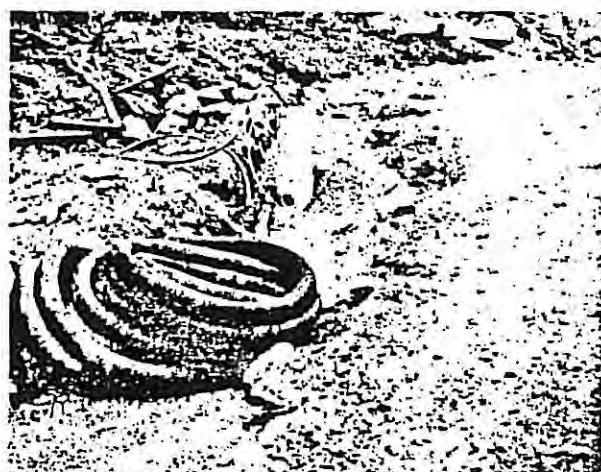


Fig. 17. Gatelyskabelen legges med en begrenset overdekning (0.35 m) i veigrøfta. For å utnytte veibredden i atkomstveiene er veigrøftene pukkfylte. Alle veigrøftene har drensledning.

Ved husatkomstene er kabeloverdekningen på 0.4 m. Hvis det blir brukt lukkede veigrøfter som på Brenna, er disse vanligvis fylt med finpukk i tillegg til at det er lagt ned en drensledning. Åpne grøfter reduserer effektiv veibredde og krever at det blir lagt kjørestærke betongrør under husatkomstene. Dette vil gi noe dypere grøfter og mindre tilfredsstillende bruksegenskaper for veiene. Minste tillatte overdekning på gatelyskabelen er 0.2 m. På Brenna ble det innhentet pris på å trekke gatelyskabelen i et varerør med diameter 50 mm for å lette en utskiftning. Dette ble imidlertid vurdert for kostbart. Ved utskiftning av kablen kan drensøret som ligger i veigrøfta benyttes. Det kan også være en løsning å legge ned et tomt varerør (50 mm Ø), og trekke kablen på et senere tidspunkt. Dette kan lette koordineringen hvis kablene skal legges av kabeletaten.

Overordnet overvann/drenssystem

Som et overordnet prinsipp skal overvannet i området håndteres lokalt. Det betyr i praksis at det blir anlagt et internt drenssystem der de interne bekkene i området vil bli benyttet som overløp for overskuddsvann. Det interne grøftesystemet og fyllinger blir benyttet som vannvei og vannmagasin, fig. 18.

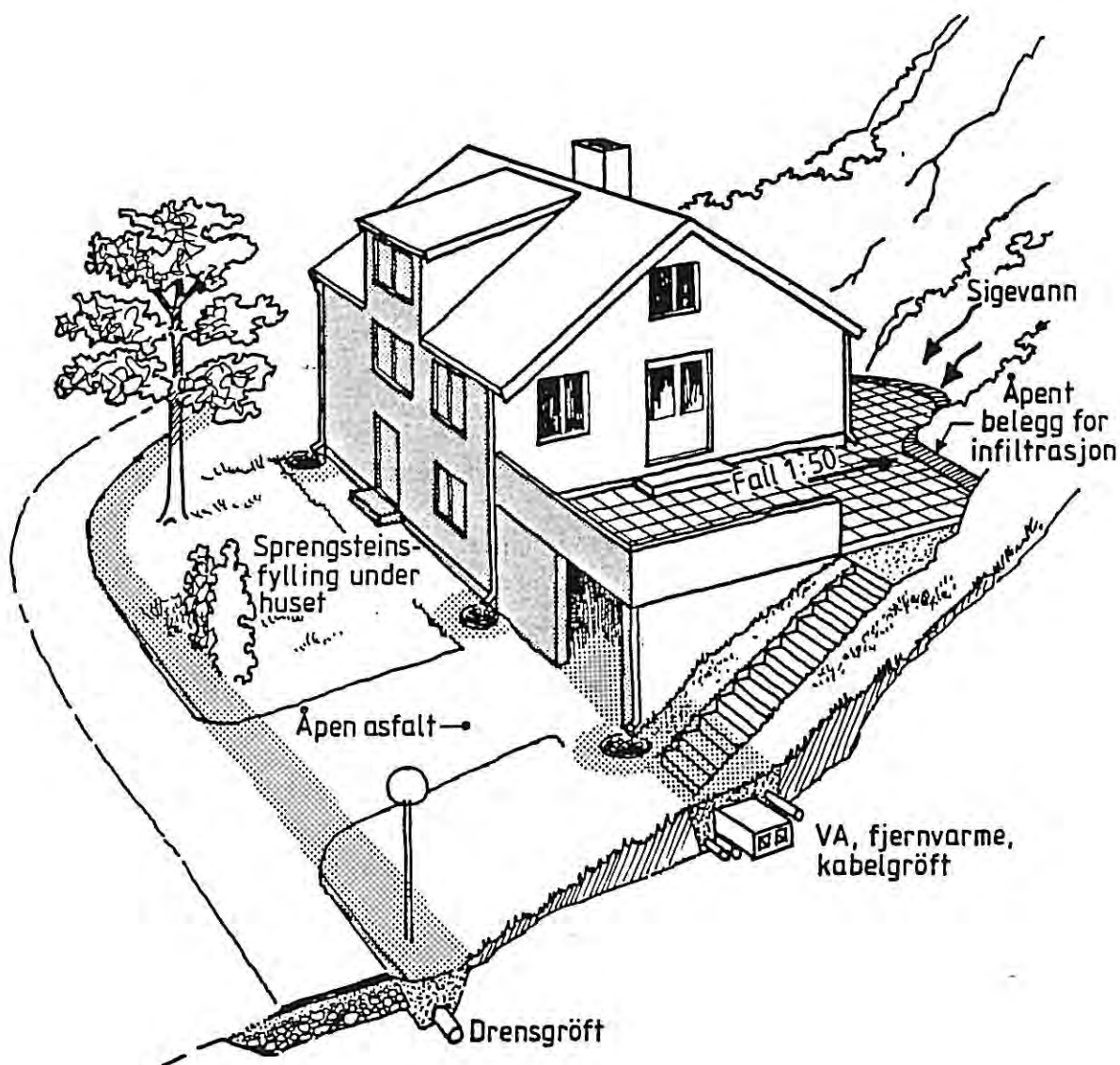


Fig. 18. Lokal håndtering av overvannet. Det interne grøftesystemet og fyllinger benyttes som vannvei og magasin for over/drensvannet.

Det er for øvrig tre tverrgående bekkedar i området, ett i nord, ett i syd og ett midt i området, og et parallelt med området i dalbunnen. Denne bekken brukes til å transportere overskuddsvannet bort fra Brenna-feltet. Hoveddrenssystemet og beliggenheten av bekkene i området er vist på fig. 19.

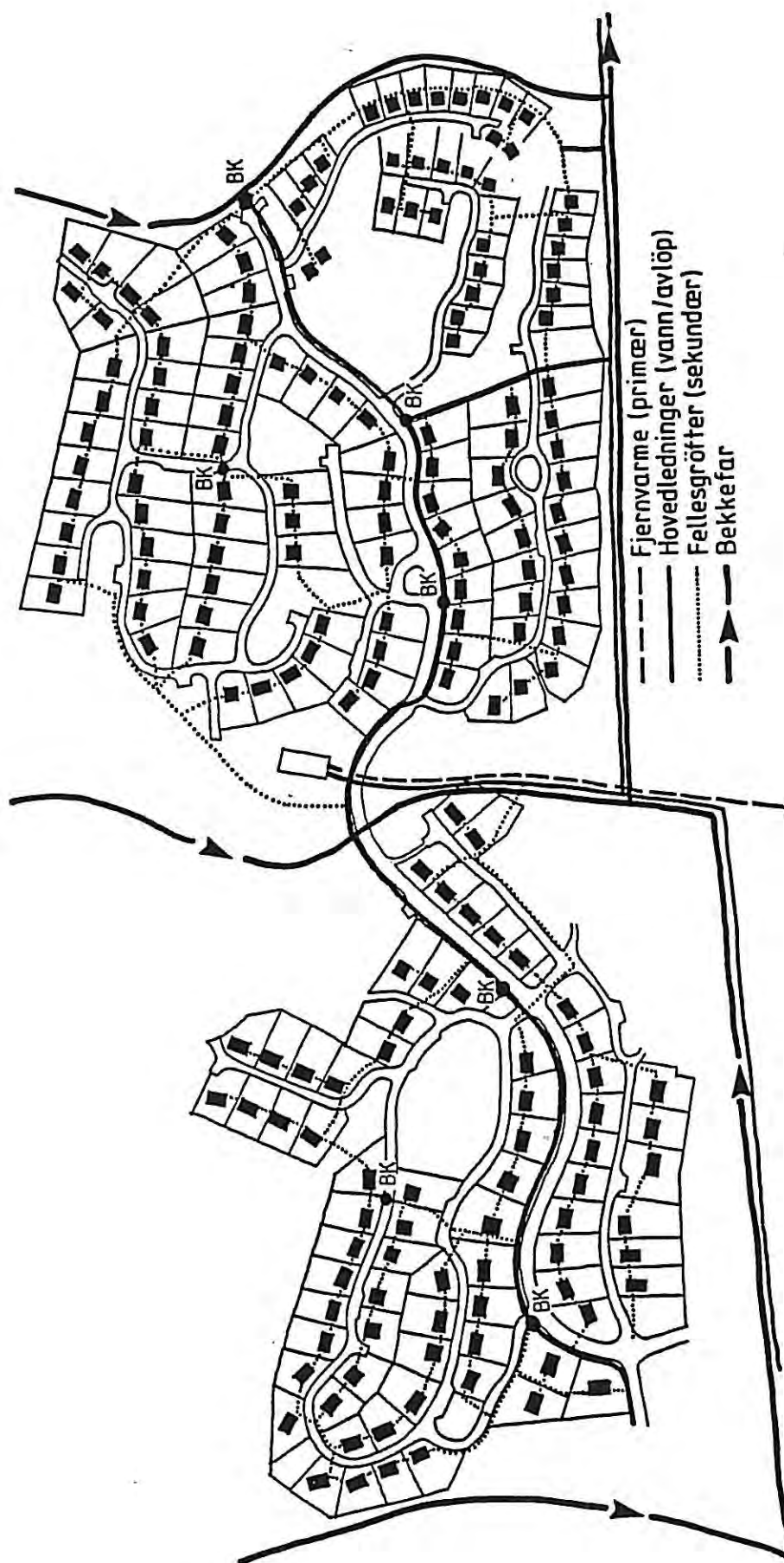


Fig. 19. Bekkefar i tilknytning til Brennaområdet som benyttes som overløp for over/drensvann i området

Hovedledningsgrøfta tjener også som et magasin og og en vannvei for overvannet fra samleveien og fra de overliggende tomteområdene. Denne funksjonen er ivarettatt av en drensledning i kombinasjon med et pukklag/sprengsteinsmagasin. Drensledningen er lagt der for å øke kapasiteten og hindre for høy vannstand i grøfta i flomperioder.

I lavpunkter kan det etter behov plasseres infiltrasjonskummer som kan overføre overflatevann til grøftemagasinet eller tverrgående bekker, fig. 20. Slike kummer er plassert i området mellom samle- og gangveien.

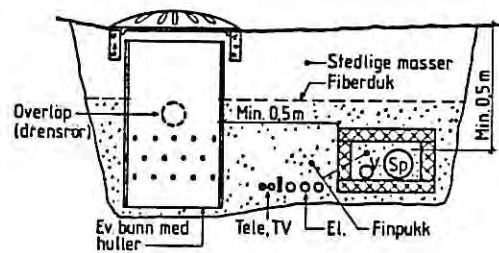


Fig. 20. Infiltrasjonskummer plasseres i lavpunkter i terrenget og har kontakt med ledningsgrøftene via drensledninger. Ledningsgrøftene virker som magasin og vannvei for over/drensvannet.

For å hindre for stor vannføring til infiltrasjonskummene, som dermed må ha et betydelig sandfang, har samleveien en åpen asfalttype. Hvis asfalten forblir åpen, kan dette sikre en god fordeling av vannet i grunnen, og man unngår erosjonsproblemer og oversvømmelser om våren når overvannsslukene ofte er tette på grunn av frost. For å hindre for stor vannføring eller for høy vannstand i grøftene har grøftene overløp til bekker eller tverrgående grøfter på flere steder.

Høyden på pukklaget i grøftefundamentet er dimensjonert slik at vannstanden under normale forhold vil ligge under vannledningens nivå. Pukklaget varierer i tykkelse fra 100 til 200 mm, avhengig av om vannledningen ligger alene eller i fellesgrøft med spillvannsledningen. I tillegg er det lagt en drensledning i hovedgrøfta som et overløp for å sikre en øvre grense for vannstanden i grøfta i flomperioder. Dette vil sikre vannledningen fra enhver form for forurening ved en ev. lekkasje i spillvannsledningen. Samtidig vil det forhindre at fjernvarmeledningene blir avkjølt fordi disse blir ikke liggende under vann. Infiltrasjon av finstoffer i pukklaget i fundamentet har man unngått ved at det er lagt en fiberduk over grøfta, fig. 12.

Frostsikring av hoved VA-ledningene

Samordning av de tekniske anleggene i fellesgrøfter forutsetter at det ikke er store forskjeller i kravene til leggedybde for anleggene. Det vil si at vi må isolere vannledningen slik at den kan ligge med en overdekning på ca. 1 m istedenfor 1,8 - 2,0 m som er frostdybden på Brenna i fjellgrunn i snøryddet terreng.

Hovedprinsippene i frostsikringen av hovedvannledningen er:

- Traséen bør ha minst mulig frostbelastning. Den beste plasseringen er derfor mellom gangveien og samleveien, hvor en har snølagringen. Men også gangveien er en brukbar trasé fordi den bare er 2,5 m bred med snølagring på begge sider.
- Isolasjonsmengden dimensjonerer man ut fra vannføringens egenvarme som den primære varmekilden.
- VA-ledningene legges på samme horisontale plan.
- I anleggs- og driftsperioden sikrer man nødvendig vannsirkulasjon i hovedledningen ved at den er en del av et ringledningssystem.
- For å hindre kuldebroer og for å bruke samme isolasjonsutførelse i hele ledningsnett, er det viktig å benytte forenklede, prefabrikkerte kumløsninger, nedgravde ventiler og rør med strekkfaste skjøter.

Det primære er å frostsikre vannledningen. Spillvannsledningen er normalt lite frostsatt på grunn av høye vanntemperaturer og at ledningen har fall. I hovedledningsgrøfta på Brenna ligger vannledningen alene og stedvis sammen med spillvann og fjernvarme. Ved frostsikring av hovedvannledningen er det som nevnt en fordel å dimensjonere isolasjonen slik at det er vannledningens egenvarme pga. vannføringen som er primærvarmekilden. Dette vil i prinsippet bety at det blir brukt samme isolasjonsbredde om grøfta bare har en vannledning eller både vann- og spillvannsledning. Fordelen med dette er at man i en anleggsperiode der det ikke er noen vannføring i spillvannsledningene, allikevel har en tilfredstillende frostsikring av vannledningen.

På Brenna er frostsikringen basert på et gjennomsnittlig varmetap fra hovedvannledningen på 5,0 W/m. Med en leggedybde på 1,0 m, er vannledningen frostsikret med en isolasjonsplate som er 1,2 m bred og 60 mm tykk, se fig. 11.

Lengden på hovedledningen er ca. 1 km. Dette gir, med et tillatt varmetap på 5.0 W/m, en minste, gjennomsnittlig vannføring i vannledningen over døgnet på ca. 0.8 l/s. Dette kan bestemmes av følgende uttrykk:

$$V = q \cdot L / C \cdot \Delta T = 5 \cdot 1000 / 4.2 \cdot 10^3 \cdot 1.5 = 0.8 \text{ l/s}$$

$$V = (\text{vannføring i vannrøret}) = \text{kg/s} = \text{l/s}$$

$$q = (\text{varmetap fra røret}) = \text{W/s}$$

$$C = (\text{vannets sp.varme}) = 4.2 \text{ kJ/kgK} = 4.2 \cdot 10^3 \text{ Ws/kg}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = (\text{tillatt temperaturfall}) = ^\circ\text{C}$$

$$L = (\text{rørlengden}) = \text{m}$$

Med et tillatt temperaturfall over ledningsstrekket på 1.5 °C, krever det en gjennomsnittlig vannføring over døgnet på ca. 0,8 l/s. Dette forutsetter at laveste inngangstemperatur for vannet ligger på 1,5 til 2.0 °C. Det er tilfredsstillt med god margin når feltet er ferdig utbygd.

I anleggsperioden sikrer man en minste vannføring på ca. 0,4 l/s (halve ledningsstrekket ferdig) i vannledningen ved hjelp av en trykk-reduksjonsventil, vannmåler og ringledningssystem.

I de tilfellene hvor hovedvannledningen ligger sammen med fjernvarmeledningen (sekundærnett), kan isolasjonsforbruket til frostsikring av vannledningen reduseres til det halve, fig. 10. Dette fordi isoleringen av fjernvarmeledningen er utformet slik at den kan inngå som en del av frostsikringen av vannledningen. Som en ekstra sikkerhet kommer selve varmetapet fra fjernvarmeledningen. Selv om fjernvarmeledningen er satt ut av drift, vil frostsikringen av hovedvannledningen være opprettholdt med et varmetap i samme størrelsesorden som når fjernvarmenettet er i drift. Varmeavgivelsen fra fjernvarmerørene vil derfor øke frostsikkerheten av vannledningen ved driftstans i vannledningen eller andre uregelmessigheter i driftsforholdene.

Det blir brukt nedgravde brann- og avstengningsventiler på hovedvannledningen, og disse isoleres på samme måte som ledningen for øvrig med en 1,2 m bred og 60 mm tykk horisontal isolasjonsplate, fig. 21. Det benyttes en spesiell type brannventil hvor selve ventilen ligger nær vannledningens nivå. Den vertikale stammen opp til brannstenderen er frostutsatt og er derfor drenert for vann, fig. 22a og b. Det er brukt prefabrikkerte spillvannskummer i plast der det ikke er nødvendig med isolasjon i lokket, fig. 22c.

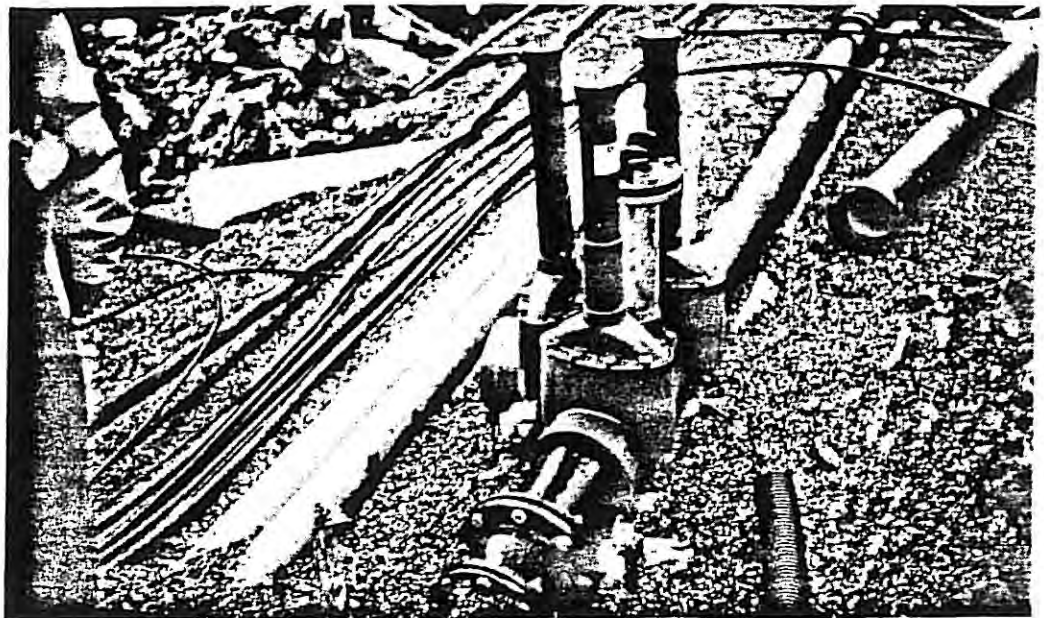
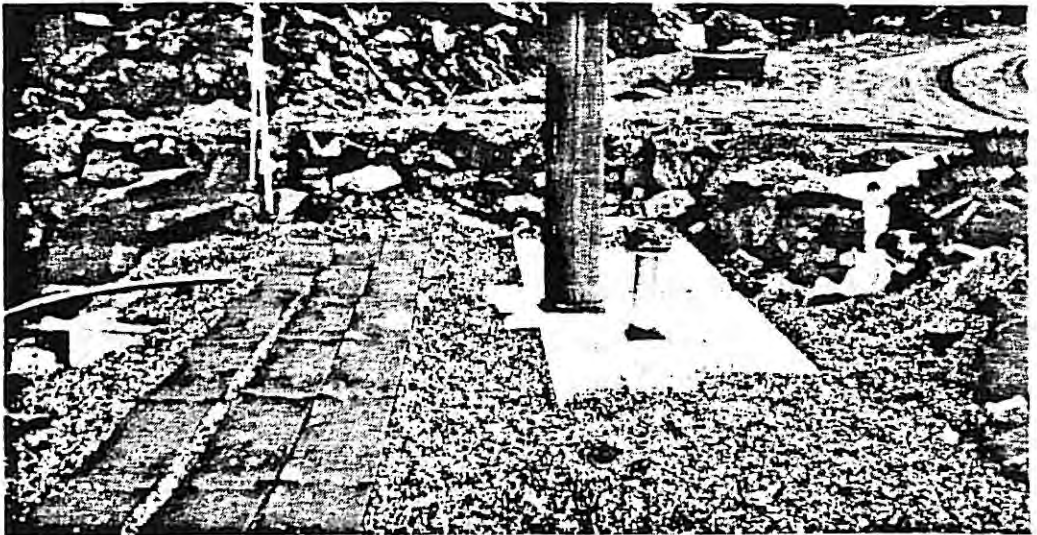
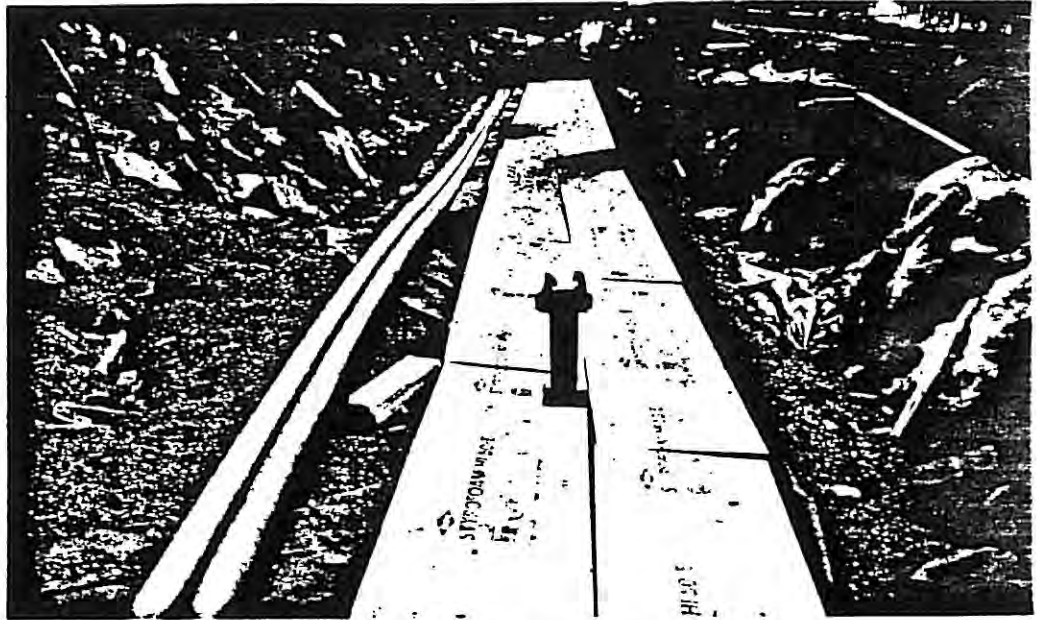


Fig 21. Det benyttes nedgravde ventiler og prefabrickerte spillvannskummer frostsikret med en horisontal isolasjonsplate.

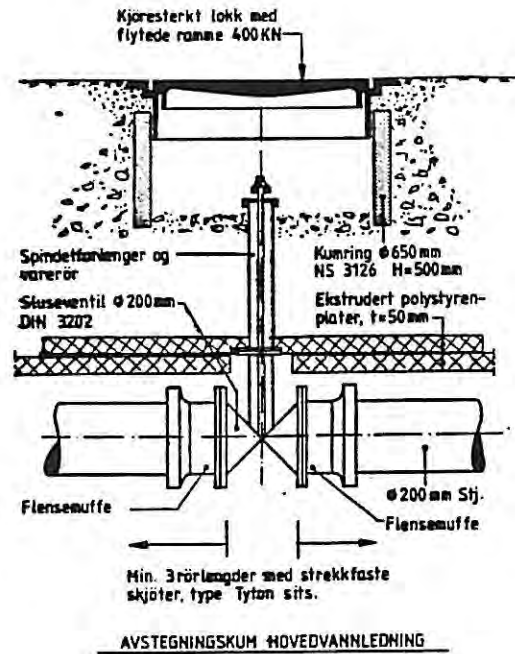


Fig. 22a. Nedgravd avstengningsventil på hovedledningen.

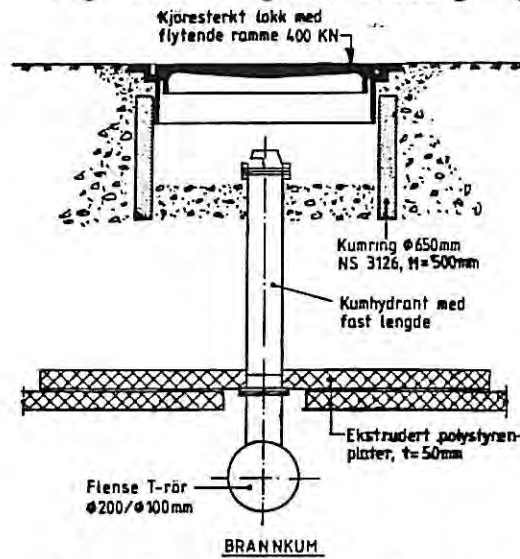


Fig. 22b. Nedgravd brannventil.

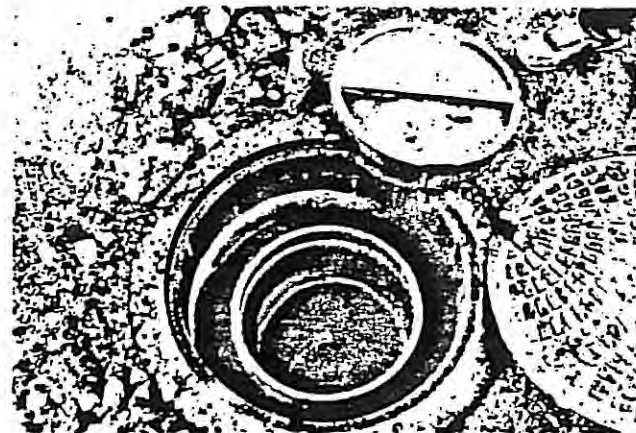
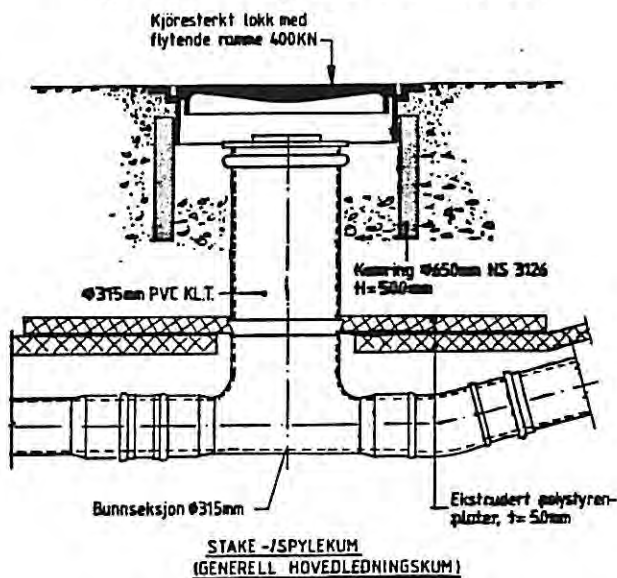


Fig. 22c. Prefabrikkert spillvannskum for hovedledninger.

SEKUNDÆRANLEGG FOR VA, FJERNVARME OG KABLER

Internt i et småhusfelt med tett bebyggelse vil det nesten uten unntak være sekundær/stikkledningsanleggene som utgjør hovedtyngden av de tekniske anleggene. Det er derfor av avgjørende økonomisk betydning å få ned antall løpemeter grøfter til et minimum, samtidig som det velges tekniske løsninger som gir lave enhetspriser. Det vil alltid være et samspill mellom trasévalget og valg av tekniske løsninger fordi det er de totale anleggskostnadene pr. bolig som skal være lavest mulig. Det er viktig å være klar over dette slik at en unngår at en optimalisering på enkelte områder fører til betydelige tilleggskostnader på andre områder. Ved en økonomisk optimalisering av tomtarbeidene kommer man ikke utenom en koordinert planlegging med samordning av de tekniske anleggene i fellesgrøfter. Fellesgrøfter vil ha funksjoner. Samtidig vil fleksibilitet, som bl.a. forutsetter minst mulig arealkrevende anlegg, være av avgjørende betydning for reguleringsarkitektene slik at de får størst mulig frihetsgrad ved utformingen av områdene.

Av det totale fordelingsnett for VA, fjernvarme og kabler er ca. 2/3 sekundær- og stikkledningsanlegg.

Størrelsen på sekundær- og stikkledningsanlegget er i hovedsak bestemt av bebyggelseplanen. Det er derfor avgjørende at bebyggelseplanen og planen for de tekniske anleggene blir løst parallelt, dvs. koordinert planlegging.

Reduserte enhetspriser oppnår man først og fremst ved å samordne alle tekniske anlegg i fellesgrøfter. For ikke å binde opp bebyggelseplanen for sterkt med hensyn til f.eks. husplassering og veiføring er det viktig å ha stor frihet når det gjelder fastsettelse av traséer og leggedybder.

Trasévalget

Bebyggelseplanen på Brenna er planlagt etter det lineære prinsippet, dvs. at boligene ligger tett sideveis. Dersom vi velger en lednings-trasé som går under og mellom husene, gir dette det korteste ledningsnett, fig. 23.

I skrått terreng som på Brenna, vil en ikke kunne oppnå en tosidig utnyttelse av et ledningsnett i atkomstveiene. Selv med en tosidig utnyttelse av ledningsnett i atkomstveiene, fig. 24, vil dette allikevel bli 20 - 30% lenger enn et ledningsnett under husrekkene.

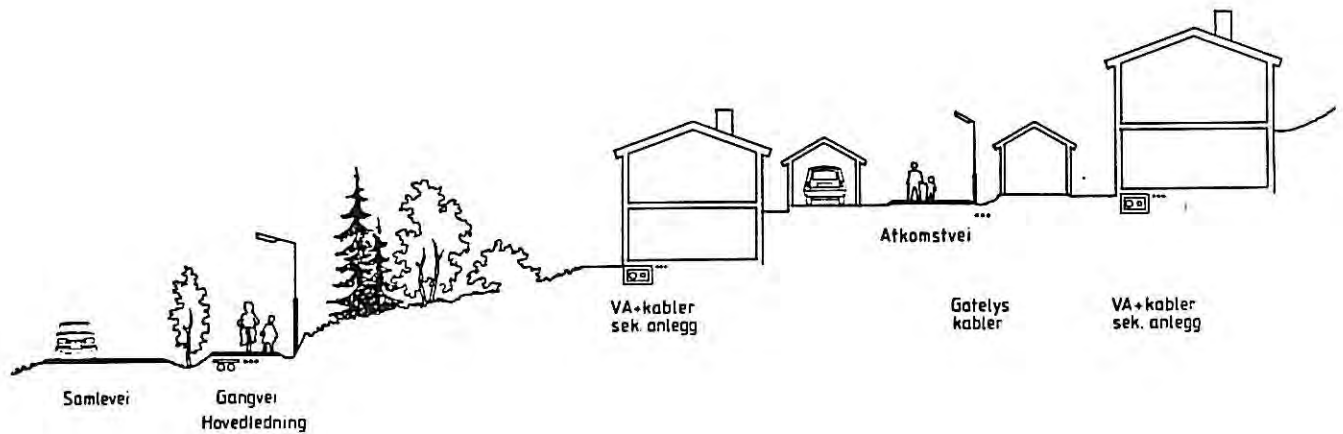


Fig. 23. Hovedledninger og høyspentkabler følger samleveien, og sekundærnettet legges under husrekkene. Gatelyskabelen legges grunt (0.30m) i veigrøften i atkomstveiene.

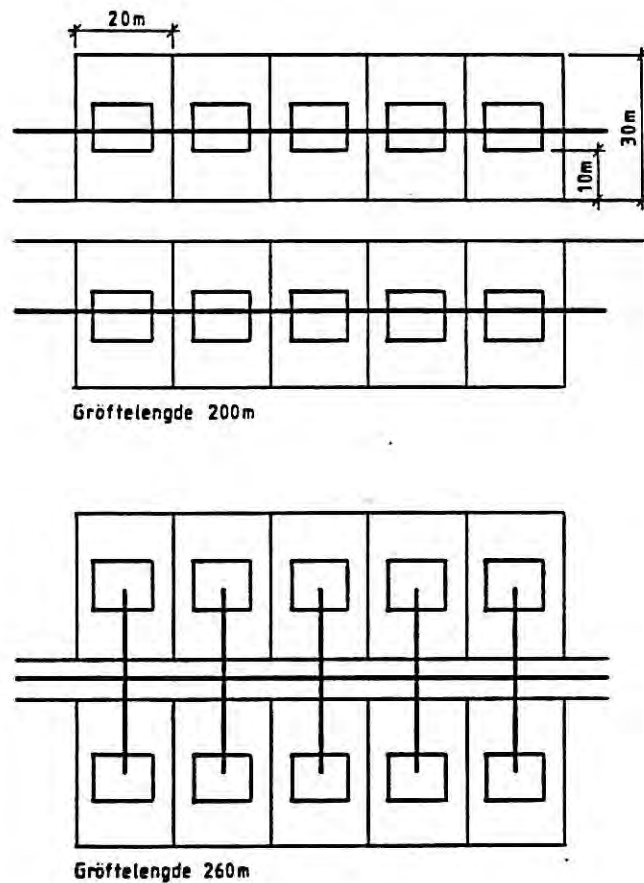


Fig. 24. Selv med en tosidig utnyttelse av ledningsnettet i atkomstveien vil grøfte- og ledningslengdene bli 20-30 % lengere enn når ledningene legges under husrekkene.

I tillegg til et kort ledningsnett gir traséen under husene bl.a.:

- større frihet til å tilpasse veiføringen til terrenget
- raskere ferdigstilling av veien
- redusert varmetap fra fjernvarmeledningene

Den stiller imidlertid større krav til planleggingen fordi det er mer direkte avhengighet mellom plassering av husene og ledningstraséen dersom en skal oppnå de tekniske og økonomiske fordelene dette trasévalget innebærer.

På Brenna er de tekniske anleggene prosjektert etter en anbefalt husplassering og en gitt høyde på kjellergolvet. Den endelige plasseringen av huset på tomten er begrenset av byggesonen. Dette utgangspunktet er tilstrekkelig for detaljprosjektering av grøfta.

Den endelige traséen er prosjektert fra kartmaterialet og befaringer i terrenget. En har søkt å:

- ta hensyn til bevaring av terreng og vegetasjon
- minimalisere andelen av fjellgrøfter. Selv i det som blir betegnet som fjellgrunn, er det ofte et overliggende jordlag. Med en grøftedybde på 0,8-0,9 m, kan en ved terrengbefaringer tilpasse traséen slik at den i det vesentlige går i løsmasser. Med den planlagte grøftetraséne på Brenna er bare ca. 35 % av grøftene en kombinasjon av fjell/løsmasser mens 65 % av grøftene er grøfter i løsmasser.

Følgende krav ble satt til ledningsføringen under og mellom husene:

I Vannledningen

1. Sekundærledningen for vann legges som ringledning, med mulighet for seksjonering i boliggrupper som naturlig hører sammen, f.eks. de som har felles avløpsledning.
2. Vannledningen skal ikke ha skjøter under hus.
3. Alle tilkoblinger på vannledningen og stoppekraner skal ligge utenfor fundamentplaten
4. Stikkledningen for vann skal ha en utvendig og en innvendig stoppekran. (Dette kravet kan det ev. lempes på i meget vanskelig terreng der en kan få problemer med å plassere en utvendig stoppekran.)

5. Sekundær- og stikkledningene skal være frostsikret til 1 meter innenfor fundamentplaten. Stikkledningen inn til hver enkelt bolig legges som en kveil på ca. 10 m i hver byggegruve.
6. Vannledningen under hus skal kunne skiftes/erstattes uten omfattende bygnings tekniske arbeider.
7. Det stilles krav om tetthetsprøving av vannledningen før overlevering av de ferdige byggegruvene.

II Avløpsledningen

1. Når antallet hus som er tilknyttet spillvannsledningen, er større enn 10-15, legges det to spillvannsledninger eller spillvannsledningen legges utenfor nedenforliggende husrekke.
2. Alle hovedavgreninger på spillvannsledningen skal foretas utenfor huset.
3. Ved moderate fyllinger legges ledningsnett på eksisterende grunn for å spare en arbeidsoperasjon.
4. Man tillater å legge avløpsledningen i bue både i vertikal- og horisontalplanet (ikke rettstrekk mellom kummer)
5. Det avsettes en vertikalt gren på spillvannsledningen sentralt i hver husgruve. Bunnledningene som blir tilknyttet grenen, skal ha en utforming som muliggjør en intern staking/spyling.

III Kabler

1. Kabler under hus og i terrenget mellom hus skal kunne erstattes/suppleres uten omfattende anleggs- eller bygningsmessige arbeider.
2. Alle forgreninger på kabler skal foretas utenfor fundamentplaten.
3. Fordelingsskap for el- og signalkabler skal være en enhet med felles fundament og plassert i tilknytning til grøftetraséen på tomteområdet, eller om mulig på hus- eller garasjevegg. Tomteeier pålegges å sikre tilgjengeligheten til fordelingsskapet, fig. 25.
4. Stikkabler inn til de enkelte boliger kveiles opp og henges på et stativ utenfor byggegraven i anleggsperioden.
5. Måleskap for strømforbruk og fjernvarme og hovedbryter monteres utvendig på husveggen, umiddelbart over grøfta, fig. 26a og b.

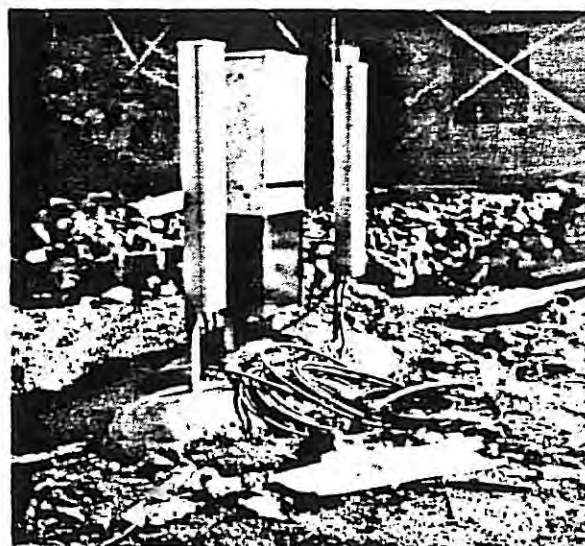
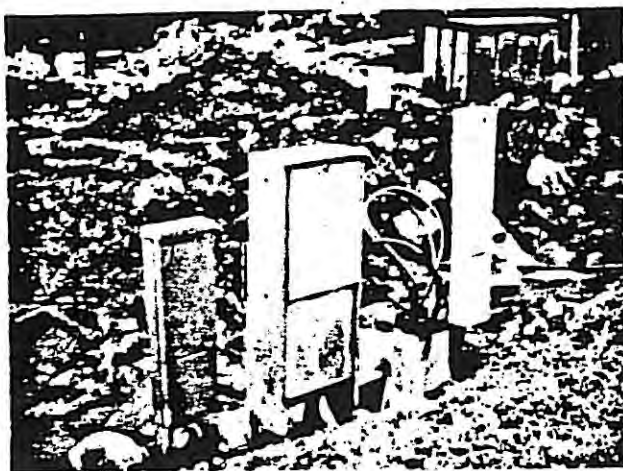


Fig. 25a. Tradisjonell utførelse av fordelingsskap for el, tele og TV med separate fundamenter, plassert i veigrøften og i terrenget. Dette gir en kostbar og lite tiltalende løsning.

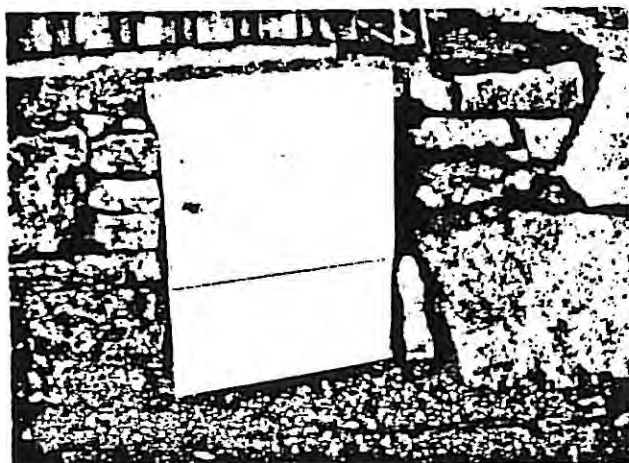


Fig. 25b. Alternativ plassering på hus, garasje e.l. i tilknytning til kabeltraseen og bruk av fellesfundament.

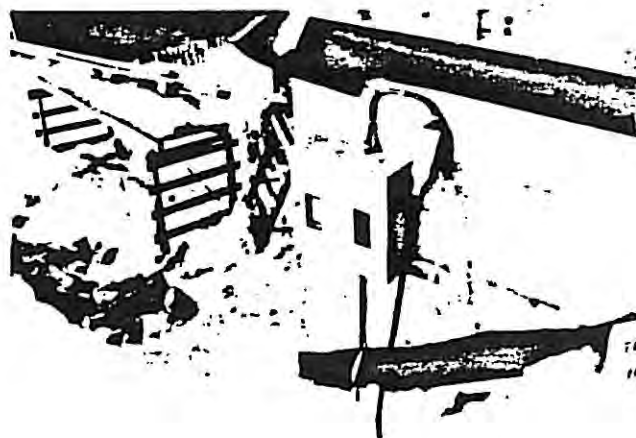


Fig. 26b. Målerskap for fjernvarme og el. med hovedbryter, plassert direkte over grøftetraseen.

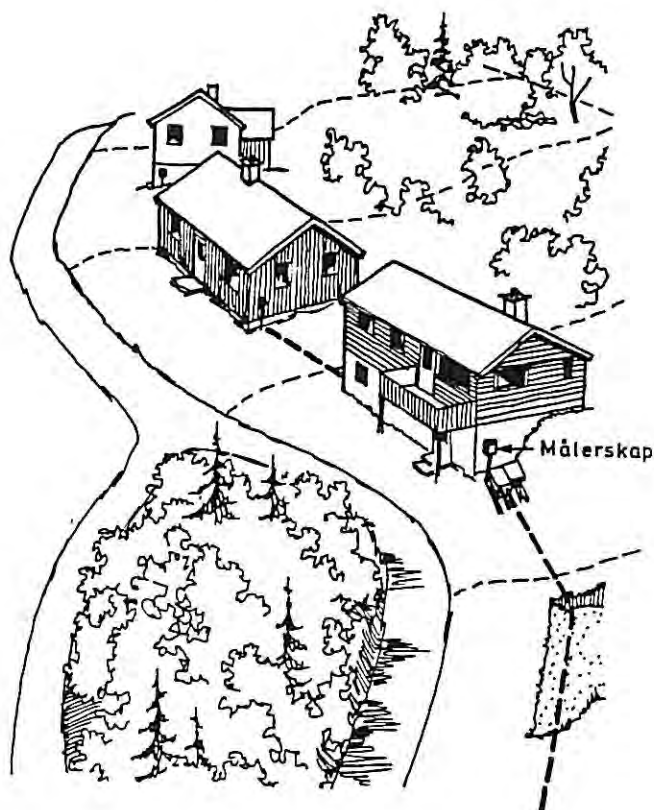


Fig. 26a. Målerskap med hovedbryter for el. plassert på boligen umiddelbart over grøftetraseen.

IV Fjernvarme

1. Fjernvarmenettet skal være minst mulig arealkrevende.
2. Sekundærledningene for fjernvarme skal være utskiftbare også under hus uten omfattende oppgravingsarbeider.
3. Avgreningene for stikkledningene til enkelthus skal foretas utenfor fundamentplaten.
4. Stikkledningene skal være relativt fleksible og føres fram til en oppgitt plassering av villavarmeveksleren hvor ledningen skal avsluttes med en stoppe- og innreguleringsventil.

5. Man skal bruke tekniske løsninger som sikrer en hurtig framdrift.
 - a) fjernvarmerørene bør monteres uten forvarming (fri eller undertrykket ekspansjonskompensering)
 - b) hurtig og sikker sammenføringsteknikk (helst mekaniske skjøteforbindelser)

6. Rør og isolasjon bør tåle:
 - a) å ligge i grunnen uten omfattende fuktbeskyttelse
 - b) omfylling av ensgraderte, knuste masser f.eks. finpukk 8-12mm

7. Varmetapet fra fjernvarmenettet må være lavt også på lang sikt (forhindre uønsket oppvarming av el-kabler).

8. Kumsystemer, fastpunkter e.l. utføres som en integrert del av rørnettet.

9. Fjernvarmenettet bør utføres som et ringnett for å gi god forsyningsikkerhet.

Fordi den endelige hus- og garasje plasseringen og utomhusplanen ikke er tilgjengelig på prosjekteringstidspunktet, men bestemmes via byggemeldingene eller enda senere, må en angi fleksible løsninger på detaljer som avgreninger til enkelthus, plassering av kabelskap og kummer. De endelige plasseringene av kumpunktene på privat grunn bør derfor ikke fastsettes før en kjenner utomhusplanen. Dette viser seg imidlertid å være vanskelig fordi beboerne først bestemmer utomhusplanen etter at de har bodd en tid i huset.

Fordelingsskapene for el-kabler og signalkabler bør settes opp i tilknytning til grunnarbeidene, og før en starter med husbyggingen. Fordelene med dette er at:

- byggestrøm kan hentes tidlig fra hovedanlegget, og en unngår provisorium
- kabelene blir ikke liggende i kveiler på tomte i anleggsperioden, med store sjanser for skader

Elektrisitetsverket og Televerket ønsket en tradisjonell plassering av fordelingskapene for el- og signalkabler i tilknytning til veien. Dette gir god tilgjengelighet, men er totalt sett en dårlig løsning fordi:

- Kostandene for kabelanleggene øker vesentlig på grunn av at kabel-lengdene øker med 30-40%. Videre blir denne grøfta en ren kabel-grøft som må betales av kabeletaten alene.

- Kabelgrøften gjør det vanskeligere å verne vegetasjon og terreng på den private tomte.
- Fordelingsskapene skades lett på grunn av veivedlikehold og snøbrøyting.
- Plasseringen langs veien er ofte skjemmende.

På Brenna-feltet ble man derfor noe ut i anleggsperioden enige om å plassere fordelingsskapet i tilknytning til grøftetraséen som går under og mellom hus. Denne løsningen forutsetter:

- Elskapet og signalskapene bør festes til hverandre og ha felles fundament. Denne detaljen ble kabeletatene ikke enige om på Brenna.
- Beboerne må ta hensyn til plasseringen av fordelingsskapene når tomte opparbeides, slik at skapene får god tilgjengelighet.

For alle avgreningene og kumpunktene på vann og fjernvarme, gjelder tilsvarende krav om tilgjengelighet.

Erfaringene fra Brenna viser at man ikke får de optimale detaljløsningene når den endelige husplasseringen, garasjeplasseringen og utomhusplanene ikke er løst under detaljprosjekteringen.

Kjennskap til utomhusplanen gjør det mulig å:

- sikre god tilgjengelighet til ventiler uten kostbare kumløsninger
- redusere bruken av isolasjon når en skal ha oppfylling på tomte
- få riktig høyde på fordelingsskap i terrenget

Kjennskap til endelig husplassering gjør det også mulig å plassere fordelingsskapene på husveggen.

Rent generelt bør det være en viktig oppgave å se på hele kabelnettet i et byggefelt for å komme fram til utførelser der alle kablene ses i sammenheng. I dag er det ofte slik at de forskjellige etater kommer med krav til utførelsen av egne kablenett uten at dette er tilfredsstillende samordnet.

Frostsikringen

Hovedprinsippene for varmefordeling i fellesgrøfta og frostsikringen av sekundærnettet er:

- Disponering av grøftetverrsnittet eller plasseringen av de forskjellige tekniske anleggene er utført slik at fellesgrøfta fungerer som en varmeteknisk enhet.
 - a) varme avgitt fra fjernvarmenettet bidrar til å øke frostsikkerheten av VA-ledningene
 - b) fjernvarmeisolasjonen inngår som en del av frostisolasjonen for VA-ledningene
 - c) effektiv kjøling av kablene
- Traséen blir primært lagt i de områdene som har minst frostbelastning, dvs. under og mellom hus. Der hvor en traséen følger veien, legges den alltid i veiens sidegrøft for å nyttiggjøre snøopplagringen.
- Vannledningens og avløpsledningens egenvarme er den primære varmekilden ved dimensjonering av nødvendig isolasjon
- Sekundære varmekilder er varmetap fra fjernvarme og elkabler
- Vannledningen legges som en ringledning slik at den samlede varmebalansen for hele nettet danner grunnlaget for frostsikringen. Under hus vil vannledningen bli tilført varme og mellom hus vil den avgi varme. Når ledningen er lagt som en ringledning med små dimensjoner, vil den på grunn av vannutskiftningen/sirkulasjonen, fungere som en varmeveksler.
- VA-ledningene bør ha en tilfredsstillende frostsikring også når fjernvarmenettet er ute av funksjon.

For Brenna la man til grunn en samlet varmeavgivelse fra vannledningen på 4.0 W/m når man dimensjonerte nødvendig isolasjonsmengde. Denne forutsetningen holder når vannledningen er lagt som ringledning og laveste inngangstemperatur på vannet antas å være ca. 1.0 °C. Figur 27 viser beliggenheten av frostgrensen i en sekundærgrøft under dimensjonerende klimaforhold når fjernvarmenettet er i drift. Figur 28 viser tilsvarende med fjernvarmenettet ute av drift.

Den viktigste sekundære varmekilden er fjernvarmen. Varmetapet fra fjernvarmeledningene ligger på ca. 20 W/m avhengig av jord- og vann-temperaturen. Men man tar ikke med dette varmetilskuddet når man dimensjonerer nødvendig isolasjon for vannledningen. Det vil si at det ikke oppstår noen frostfare dersom fjernvarmen er ute av drift. Derimot inngår isolasjonskassen for fjernvarme som en del av isoleringen av vannledningen. Det er da bare en liten tilleggsisolasjon som er nødvendig for å frostsikre vannledningen. Denne tilleggsisolasjonen brukes bare mellom hus og ca. 1 m innenfor ringmuren. Maksimal turtemperatur på fjernvarmen varierer mellom 80 °C om vinteren og 65-70 °C om sommeren, fig. 50.

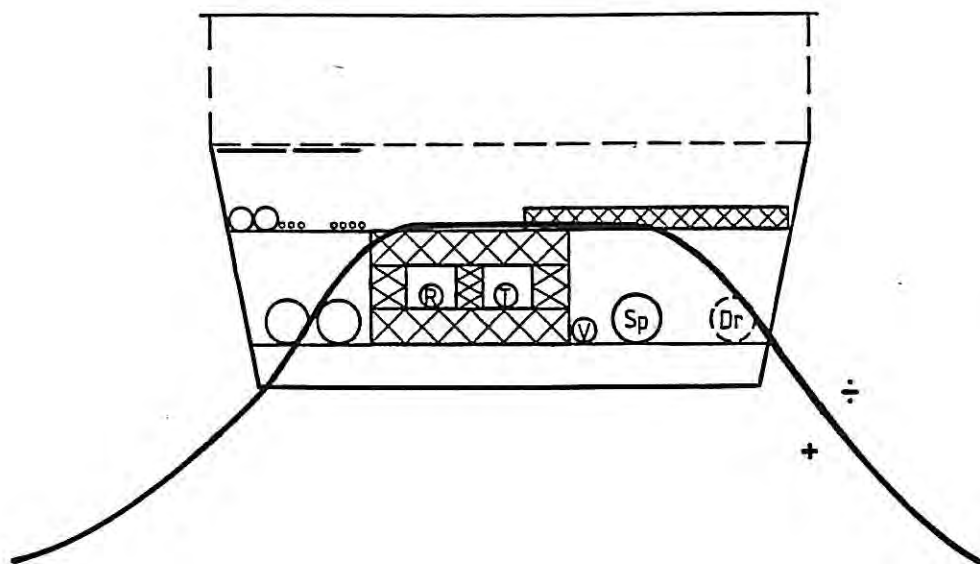


Fig. 27. Frostgrensen i sekundærgrøfta under dimensjonerende klimaforhold med fjernvarmenettet i drift.

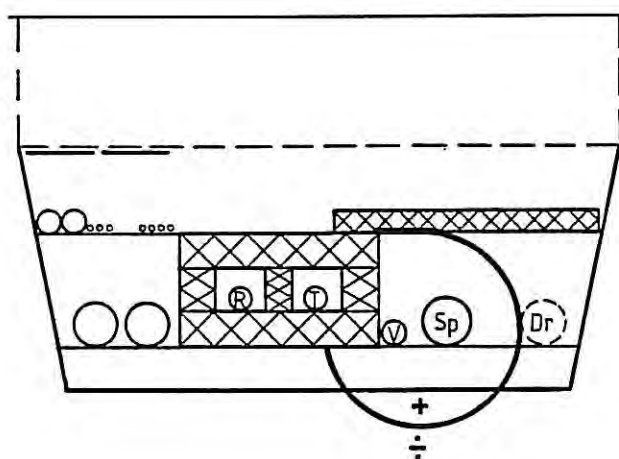


Fig. 28. Frostgrensen i sekundærgrøften når fjernvarmenettet er ute av drift.

Når vannledningen er lagt som ringledning og dimensjonert for normalt forbruk, gir dette en vannsirkulasjon i nettet som hindrer frost om vinteren og sikrer en lav vanntemperatur om sommeren. En hurtig vannutskiftning i vannledningen gir en også en bedre vannkvalitet og mindre groing i ledningene.

Den stasjonære belastningen på elnettet når man bruker fjernvarme, er relativt beskjeden. Dette gjør at en kan se bort fra varmeavgivelsen fra kablene i denne sammenhengen.

Disponering av grøftetverrsnittet

Her følger man samme prinsipp som for hovedledningsanlegget. Kablene legges på samme nivå som isolasjonsplaten som ligger over og på siden av isolasjonskassen. Dette følger de samme produksjonstekniske forutsetningene som for hovedanlegget. Rent varmeteknisk bør elkablene legges på den samme siden som VA-ledningene. Eventuelt varmetap fra kablene vil da kunne øke frostsikkerheten for VA-ledningene. Imidlertid vil kablene da komme i veien for fjernvarmeavgrensningene. Det er derfor rent produksjonstekniske forhold som har ført til plasseringen av kablene, samtidig som grøfta kan gjøres smalere. Figur 29 og 30 viser representative snitt av en sekundærgrøft med og uten fjernvarme.

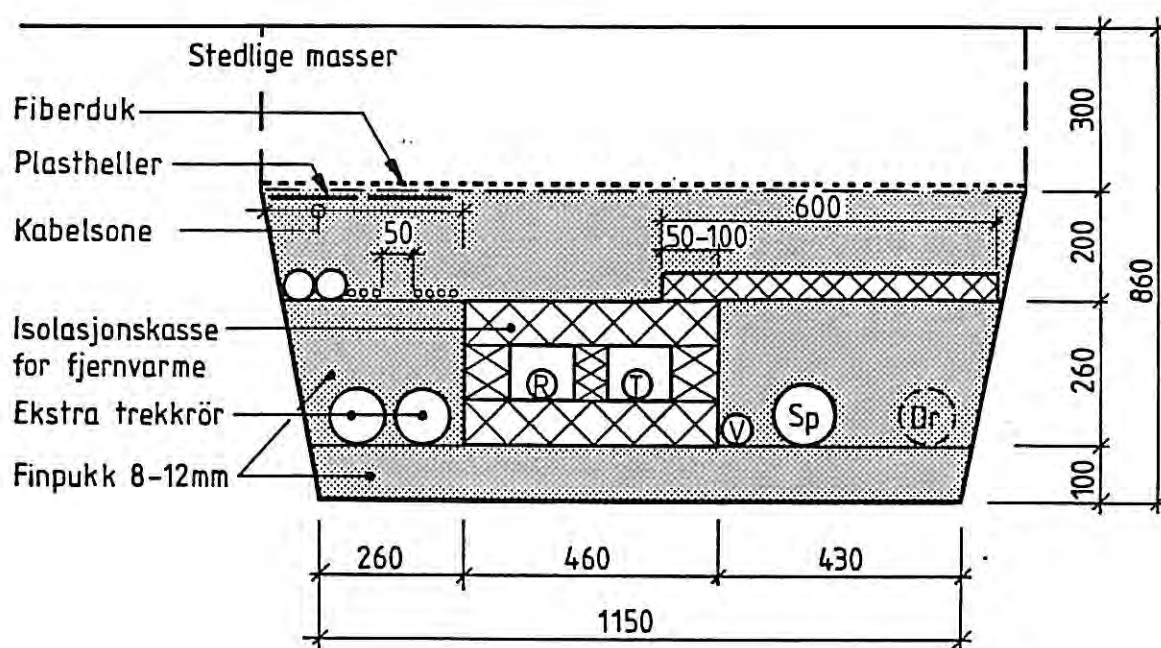


Fig. 29a. Sekundærgrøft med fjernvarme. Drensrør benyttes bare i jordgrøfter der det også er fiberduk i grøftesider og grøftebunn.



Fig 29b. Sekundærgrøfter med fjernvarme.

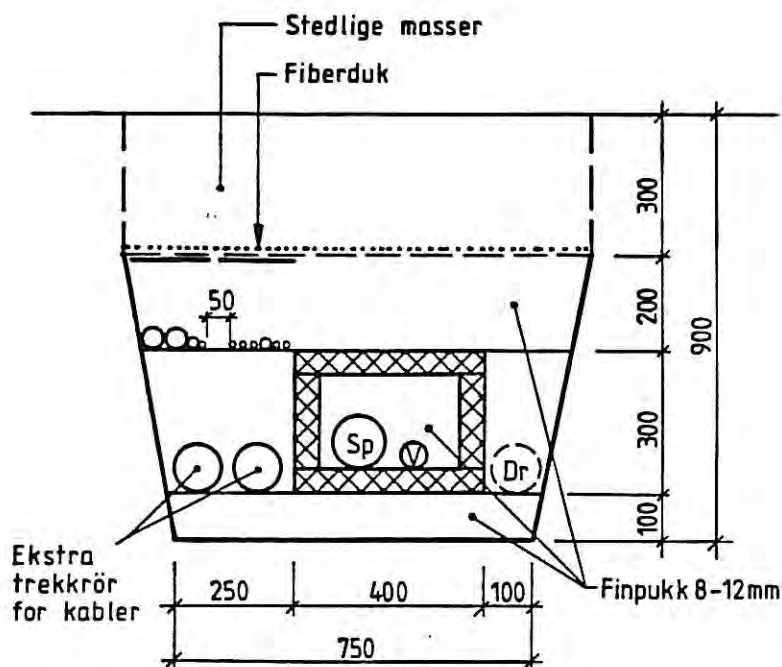


Fig. 30. Sekundærgrøfter uten fjernvarme.

For å ivareta kravet til utskifting av kabler eller legging av nye kabler uten omfattende gravearbeider, er det lagt to tomme varerør fra fordelingsskapene. Disse varerørene skal også kunne brukes ved utskifting av vannledningen.

Prinsippet for disponeringen av grøftetverrsnittet er:

1. Det skal fungere positivt med hensyn til frostsikringen av vannledningen og kjølingen av elkablene.
2. Det skal gi en rasjonell produksjon med færrest mulige arbeidsoperasjoner.
3. Det skal gi en sikker utførelse med hensyn til kvalitet.

For å få dette til med lavest mulige kostnader, må grøftebredden holdes på et minimum. Det krever at en utnytter ledig plass i grøfta til plassere nødvendig antall varerør. Det vil si under kablene slik som det framgår av figurene, og ikke ved siden av som man tradisjonelt har lagt varerørene, fig. 31a og b.

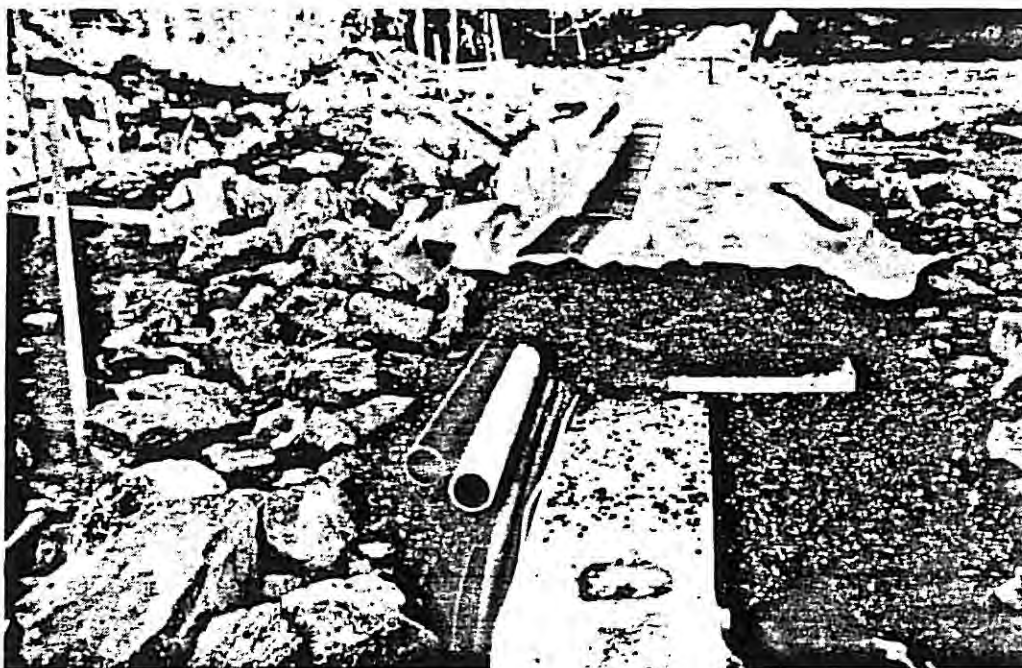


Fig. 31a. Kablene legges høyt i grøfta. Dette er produksjonsteknisk gunstig og gir elkablene god kjøling vinterstid. Trekkrorene er lagt på samme plan som kablene.



Fig. 31b. Ved å legge trekkrorene under kablene får man en langt bedre plass til kablene uten å utvide grøfta.

FJERNVARME SEKUNDÆRNETTET

Dimensjoneringsgrunnlaget

Da hustypene ikke er kjent på prosjekteringstidspunktet for grunnarbeidene er det nødvendig å gjøre visse antagelser når man skal bestemme varmebehovet. Det er grunn til å anta at de fleste vil legge seg opp mot maksimal tillatte husstørrelse som er satt til 200 m² bruttoareal inkl. frittliggende garasje og bod. Som et utgangspunkt for varmebehovsberegningene er det derfor valgt et hus med et bruksareal på 170m² på hovedetasje, underetasje og loft. Dimensjonerende ute- og inne temperaturer er satt til henholdsvis -20 °C og 20 °C.

Beregninger viser at dimensjonerende varmebehov ligger på ca. 7.0 kW pr. bolig, og at maksimal effekt for varmtvannsoppvarmingen (forrådsbereder) kan anslås til 3.0 kW. Det gir et totalt effektbehov for en enkelt bolig på 10 kW og en vannmengde på 0.12 l/s ved et dimensjonerende temperaturforhold på 80/60 °C. Som stikkledninger inn til de enkelte boligene er det brukt 22 mmØ kopperledninger. Dette gir en vannhastighet i rørene på under 0.5 m/s.

For å bestemme de større rørdimensjonene er det nødvendig å se på sammenlagringen både av boligoppvarmingen og varmtvannsforsyningen. Forbruksmålinger av varmtvannsforsyningen for småhusfelt viser et gjennomsnittsforkbruk på 0.3 -0.4 KW og et maksimalt effektbehov for varmtvann på 1.0 kW. For å beregne det samlede effektbehovet for varmtvannsforsyningen kan man bruke verdiene som er vist i tabell 1.

Ant. hus	1 - 10	10 - 100	> 100
Effekt (kW)	3.0 - 1.0	1.0 - 0.5	0.5

Tabell 1. Dimensjonerende effektbehov for varmtvannsberedning (forrådsbereder)

Når det gjelder sammenlagringen av boligoppvarmingen er dette også avhengig av antallet boliger, tabell 2. Det er her antatt en sammenlagingsfaktor på 0.75 når boligtallet er større enn 10. Dette er imidlertid noe usikkert og bør følges opp med målinger.

Ant. hus	1 - 10	> 10
Sammenlagring	1.0 - 0.75	0.75

Tabell 2. Antatt sammenlagring for boligoppvarmingen.

Den dimensjonerende sirkulerte vannmengde må også korrigeres for varmetap som ligger i størrelsesorden 20 W/m. Figur 32 viser sirkulert vannmengde i fjernvarmenettet avhengig av antall hus og varmtvannsberedningen. Figur 33 viser dimensjonerende sirkulert vannmengde korrigert for varmetapet i nettet.

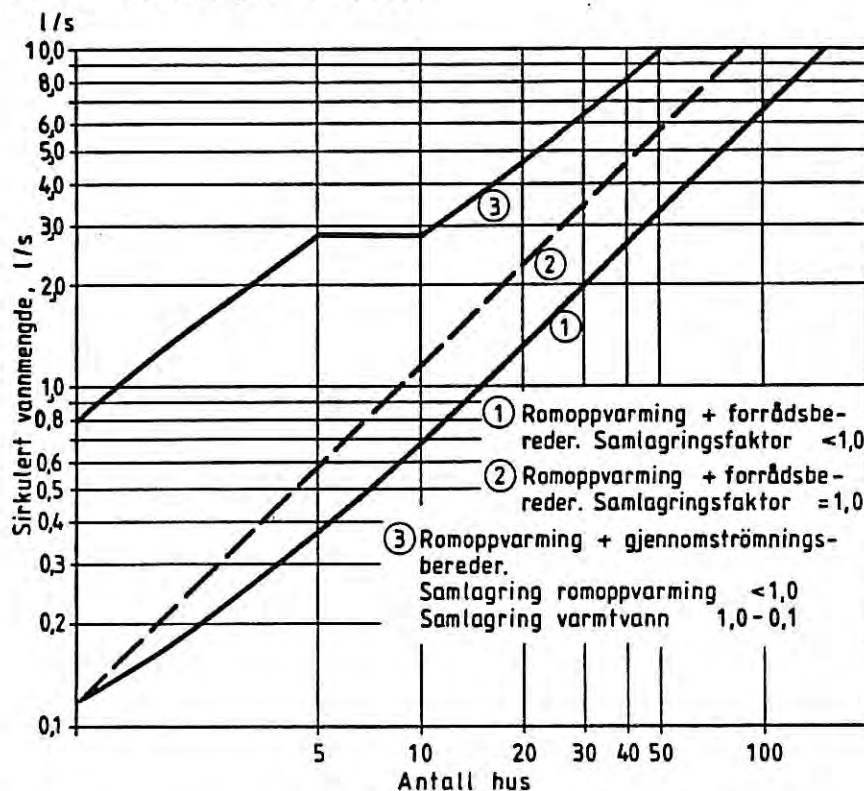


Fig. 32. Dimensjonerende sirkulert vannmengde i fjernvarmenettet avhengig av antall hus og varmtvannsberedning.

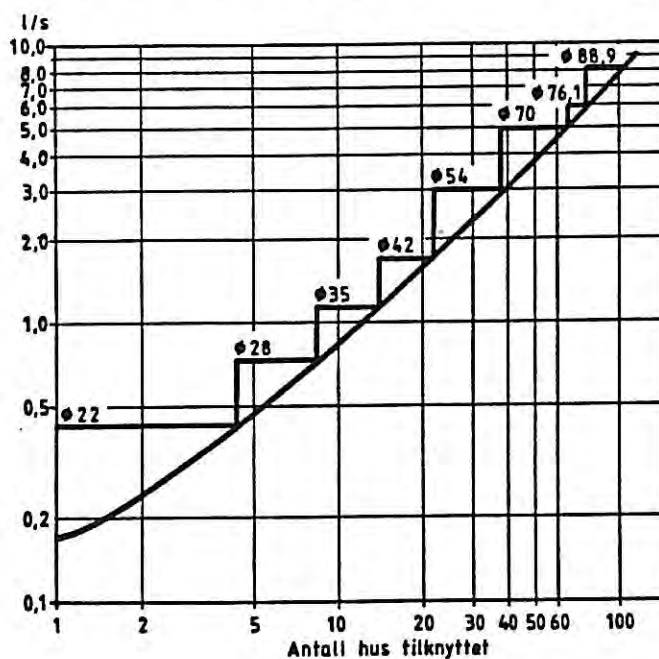


Fig. 33. Dimensjonerende sirkulert vannmengde korrigert for varmetap i nettet.

Beregning av rørdimensjoner og ventilsettinger er utført med EDB for å få en optimalisering av rørdimensjonene. Disse beregningene vil også gi svar på temperaturfallet i rørnett pga. varmetap, nødvendig størrelse på pumpene og en spesifisering av rørlengder og dimensjoner.

I beregningene er det regnet med en total effekt pr. bolig på 10 kW. Det er i prinsippet da brukt en sammenlagring på 1.0 for romoppvarmingen og et effektbehov til varmtvannsberedning på 3.0 kW. For å holde den maksimale rørdimensjonen på 90 mmØ ut til de tre delfeltene, har man under ovennevnte forutsetninger tillatt en vannhastighet i rørene på ca. 1.7 m/s under dimensjonerende forhold. Bortsett fra enkelte større fordelingsledninger ligger vannhastigheten i rørene under 1.0 m/s. Når det tas hensyn til sammenlagringen av varmtvannsforbruk og husoppvarming, vil vannhastigheten i hovedgrenene komme ned mot 1.2 m/s. Imidlertid er husstørrelsen etter prosjekteringen av fjernvarmenettet tillatt økt til brutto 230 m². Dette vil slå ut i et noe større varmebehov.

Fjernvarmekulvert

Når man legger fjernvarmerør og VA-ledninger er det mange felles arbeidsoperasjoner. Det er derfor naturlig å vurdere en samordning av ledningene i fellesgrøfter både for å redusere kostnadene og for å redusere arealbehovet for de tekniske anleggene. Både fjernvarmerør og elkabler avgir varme til omgivelsene, i dette tilfellet grøfta. Vann- og avløpsledninger i fellesgrøfter blir liggende betydelig over frostgrensen og trenger varmetilskudd eller isolasjon for å være frostsikre.

For fjernvarmerørene er det viktig å redusere varmetapet til et minimum ved å bruke varmeisolasjon, mens det for de elektriske kablene er viktig å ha en effektiv avkjøling av kablene. Tapene i elektriske kabler er direkte avhengig av kabeltemperaturen fordi motstanden øker med temperaturen. Et annet forhold er at den varmen som blir avgitt fra elektriske kabler, følger kabelbelastningen som kan variere sterkt. Det er derfor vanskeligere å nyttiggjøre seg varmen som blir avgitt fra elektriske kabler, til frostsikring av VA-ledningene sammenlignet med fjernvarmerør med en relativ stasjonær varmeavgivelse.

Med bakgrunn i dette fjernvarmerør meget fordelaktig i en fellesgrøft hvor VA-ledningene krever frostsikring, noe som bare kan oppnås i form av dype grøfter eller betydelige mengder varmeisolasjon. Fjernvarmen er i utgangspunktet meget attraktiv fordi den avgir varme til grøfta. Dette er imidlertid ikke nok. For å kunne nyttiggjøre varmen og tilpasse fjernvarmenettet til fellesgrøfta er det som tidligere nevnt satt visse tilleggskrav til et fjernvarmenett som skal samordnes med de øvrige tekniske anleggene. Utformingen av fjernvarmeisolasjonen bør helst være slik at den inngår som en naturlig del av frostisolasjonen

for VA-ledningene. Det bør alltid kreves en tilfredsstillende frostsikring av VA-ledningene selv om fjernvarmenettet er ute av drift.

De fjernvarmerørene som er på markedet i dag, er primært utviklet for å ligge i separate grøfter, i relativt flatt terreng og i lettsjaktelige masser. Tradisjonelt utført fjernvarme sekundærnett der f.eks. rørene må legges i sinusform, der kappen utenpå isolasjonen ikke tåler finpukk eller utførelsen er slik at utskiftning under hus ikke er mulig, egner seg dårlig for en samordning. På Brenna er det derfor tatt i bruk ny teknologi i fjernvarmesammenheng ved å bruke omtrent samme isolasjonskasse som for grunne VA-ledninger, fig. 34.

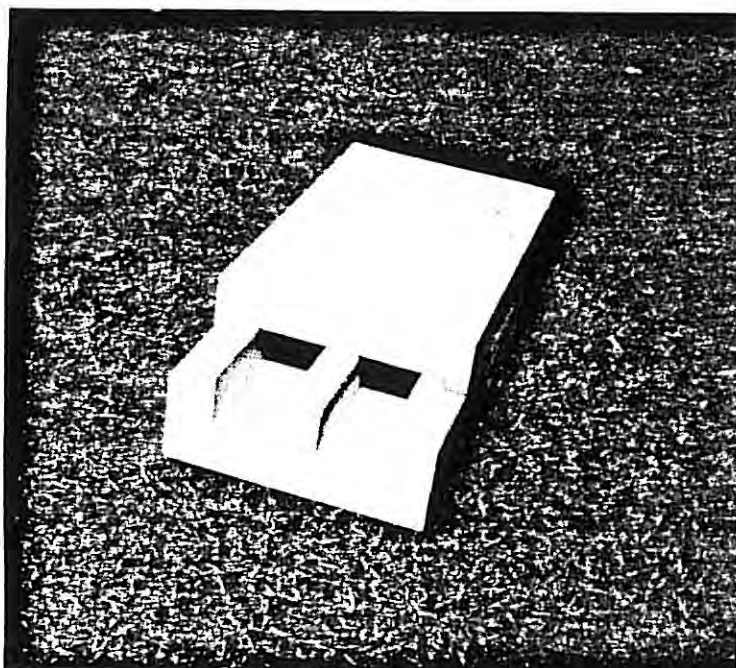


Fig. 34. Fjernvarmekulvert i ekstrudert polystyren (Styrofoam) brukt på Brenna.

Isolasjonskassen har en bredde på 460 mm og opptar derfor liten plass i grøfta. Derimot er teknologien velkjent fra lett kommunalteknikk med legging av grunne VA-ledninger i isolasjonskasser. Fjernvarmesystemet er bygd opp av velkjente og utprøvde materialer og konstruksjoner. Materialene er valgt under den forutsetningen at både isolasjon og rør må tåle å ligge i grunnen uten omfattende fuktbeskyttelse. Dette vil øke levetiden på anlegget samtidig som anleggsarbeidet blir lettere. Legging av fjernvarmeisolasjon og fjernvarmerør er derfor redusert til nøyaktig de samme operasjonene som ved legging av grunne VA-ledninger. Som isolasjonsmaterialer er det brukt ekstrudert polystyren som man har mer enn 35 års erfaring med brukt i grunnen. Bruk av isolasjonskasser er godt innarbeidet av entreprenører og rørleggere fordi kassene brukes i forbindelse med frostsikring av grunne ledninger. Det er i de senere årene bygd mer enn 25.000 boliger med slike anlegg.

Rørene er utskiftbare under hus da disse ligger fritt i egne kamre i isolasjonskassen med alle tilkoblinger utenfor husene. I motsetning til andre fjernvarmesystemer er anlegget basert på kontrollert fri ekspansjon som gir meget lave spenninger i rørnettet under drift, og krever ingen forvarming av rørene.

Valg av materialer i fjernvarmerrør vil avhenge av en rekke forhold så som rørdimensjoner, temperaturnivå og utformingen av fjernvarmenettet. For et sekundærnett vil det i praksis være tre aktuelle materialtyper: Stål, kopper og plast. Som rørmaterialer har vi valgt å bruke kopper. Dette er et materiale som er velkjent brukt i fjernvarmeanlegg og krever under spesielle forutsetninger ingen utvendig korrosjonsbeskyttelse.

Trasé, rørlengder og dimensjoner

Fra hovedvarmeveksleren går det tre sekundærledninger, hver med en diameter på 90 mm til delfeltene A/B/C i nord med 70 boliger, E feltet i sydøst med 58 boliger og D/F feltet i sydvest med 64 boliger. Fellesgrøftene med fjernvarme har en lengde på ca. 5 km eller ca. 30 m pr. bolig. Allerede her kan man trekke den konklusjonen at med en tradisjonell utførelse med fjernvarmerørene i separate grøfter med en grøftkostnad på 1.000 kr pr. m i fjellterreng, er fjernvarme i småhusfelt relativt uinteressant. Bare grøftkostnadene alene vil ligge på 30.000,- pr. bolig, et beløp som er større enn det hele distribusjonsnettet pr. bolig bør koste.

Fjernvarmenettet på Brenna er prosjektert som et ringledningsnett. Dette er viktig for forsyningssikkerheten. Feil på hovedgrener i et stjernenett kan få store konsekvenser hvis det medfører at vannforsyningen må stenges. Enkelte delgrener på Brenna forsyner opptil 28 boliger med varme. Da vannledningen er lagt som et ringnett, er alle nødvendige traséer for å etablere et tilsvarende ringnett for fjernvarmen, allerede opparbeidet. Det vil derfor bare være rørnettet som kommer i tillegg. På grunn av uforholdsmessig høye rørkostnader ble imidlertid en sammenkobling av delgrenene som et ringnett ikke gjennomført.

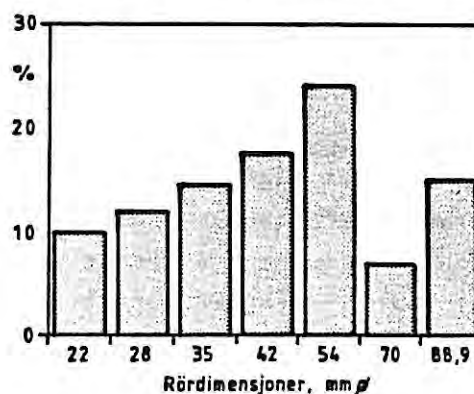


Fig. 35. Prosentvis fordeling av rørdimensjonene på Brenna. Total rørlengde på sekundærnettet er vel 10 km ekskl. stikkledninger.

Den totale grøftelengden i feltet er ca. en km lenger enn fjernvarmenettet da VA-ledningene legges som et ringledningsnett. Lengden av sekundære fjernvarmerør er vel 10 km. Fordelingen av de forskjellige rørdimensjoner er vist fig. 35. Det framgår her at 78 % av sekundærnettet har dimensjoner mindre eller lik 54 mmØ. Det er viktig at anlegget ikke overdimensjoneres fordi prisen på kopperrør og armaturer øker kraftig når diameteren kommer over 54 mm. Når rørdiameter på 90 mm inngår med hele 15 % av rørstrekket, skyldes det at området er relativt langstrakt, og at de sentrale delene av området ved undersentralen i det vesentlige består av en eksisterende bebyggelse som ikke er tilkoblet fjernvarmenettet.

Fordi det er nødvendig å lage generelle løsninger på Brenna, er alle avgreningene for stikkledningene foretatt utenfor boligene, fig. 36. Det er utført en fleksibel avgrening hvor det er brukt et preisolert dobbeltrør med 20 mmØ lagt fram til varmeveksleren.

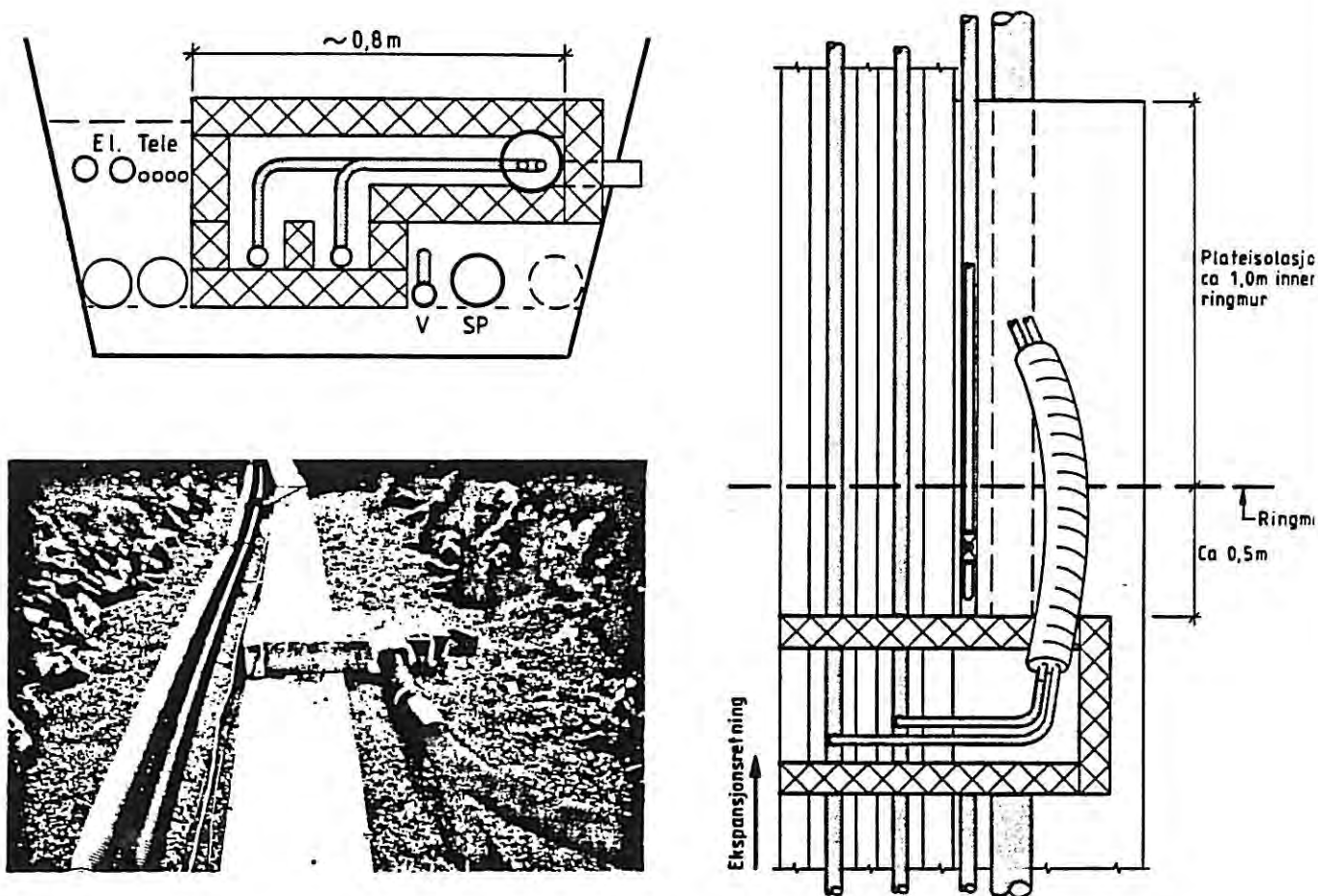


Fig. 36. Stikkledningene tilknyttet sekundærledningene utenfor boligene

Varmevekslern er som regel plassert nær bakveggen i underetasjen, og stikkledningene har en gjennomsnittlig lengde på ca. 10 m. Med en kjent husplassering og mulighet for å påvirke plasseringen av varmeveksleren kan lengden på stikkledningene reduseres til et par meter samtidig som avgrensningene kan gjøres enklere. Plassering av fjernvarmerørene under boligen er varmeteknisk meget gunstig. På Brenna ble nærmest alle hus fundamentert med en plate på grunnen, og de fleste har sokkeletasje, fig. 37.

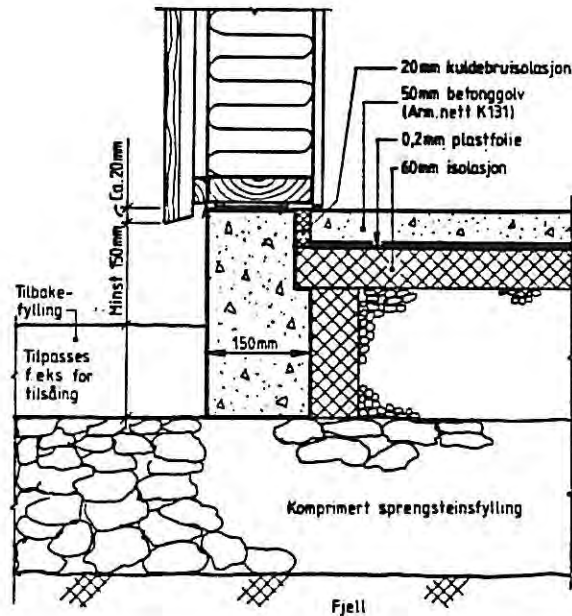


Fig. 37. En plate på grunn fundamentering med ringmur og sokkeletasje benyttet på Brenna. Ofte benyttes gulvvarme.

Varmetapet fra fjernvarmerørene under hus blir redusert med ca. 25 % eller, fordi ca. 40 % av ledningene ligger under hus, totalt med 10 %, fig. 38. Noe av denne varmen kommer også indirekte boligen til gode fordi varmetapet fra boligen til grunnen blir mindre.

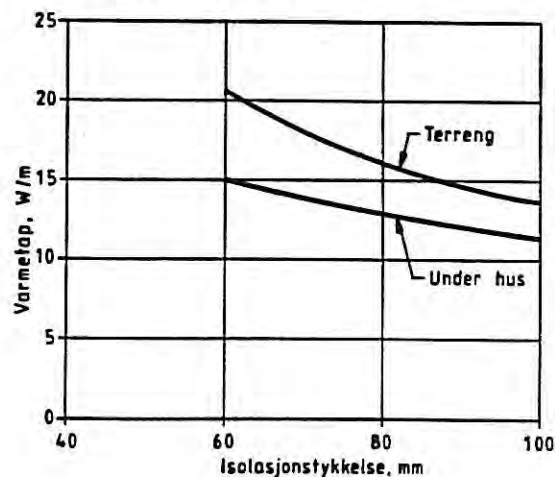


Fig. 38. Varmetap fra fjernvarmekulverten i terrenget og under hus.

Rørmaterialer

Figur 39 viser dimensjons begrensninger (økonomiske) for enkelte aktuelle materialtyper for fjernvarmerør: plast, kopper og stål. En del av hensikten med å bruke utførelsen med isolasjonskasser er at en i prinsippet skal stå relativt fritt når det gjelder valg av rørmaterialer. Et vesentlig krav er imidlertid at det ikke skal være fare for utvendig korrosjon med denne utførelsen. Innvendig korrosjon vil det være enklere å ha kontroll med i et fjernvarmenett fordi nettet representerer et lukket system. Man har mulighet for å foreta en vannbehandling som reduserer korrosjonsfaren innvendig i røret til et minimum.

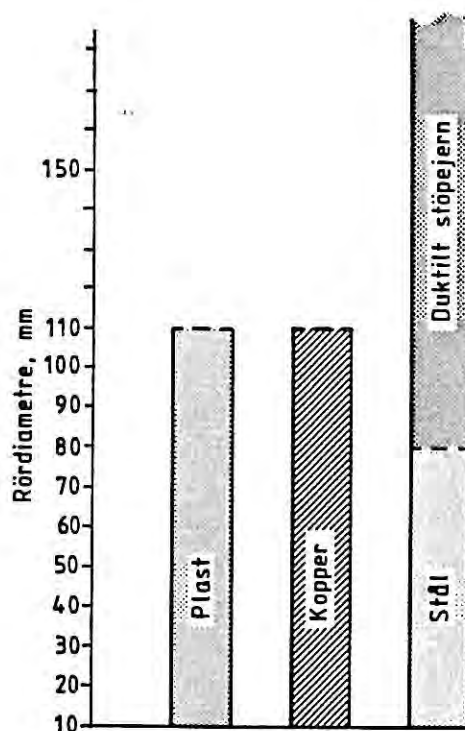


Fig. 39. Aktuelle materialtyper for fjernvarmerør, økonomiske dimensjonsbegrensninger. Det er bare vurdert PEX plastrør med diffusjonssperre.

Et annet krav er at rørene skal være enkle å legge og ha en sikker skjøtemetode. I et småhusfelt vil det nødvendigvis være behov for et stort antall skjøter og forgreninger. I tillegg skal rørkostnadene være lave. Dette omfatter både material- og leggekostnadene. Rørleggerkostnadene er sterkt materialavhengige og er bl.a. bundet opp i tariffen som kan være utviklet i en helt annen sammenheng enn utvendige fjernvarmenett. Her vil plastrør komme gunstig ut fordi disse rørene i prinsippet nødvendigvis ikke krever bruk av rørlegger. Stålrør og spesielt kopper som er et relativt vanlig materiale i fjernvarmerør, kommer uheldig ut rent kostnadmessig. Vi tenker her

spesielt på sveiste stålrør og kopperrør med sølvloddede kapillarskjøter. Som vi skal se er det en mulighet i tillegg til plastledninger, å bruke duktile støpejernsrør med mekaniske skjøter med gummipakninger, fig. 40.

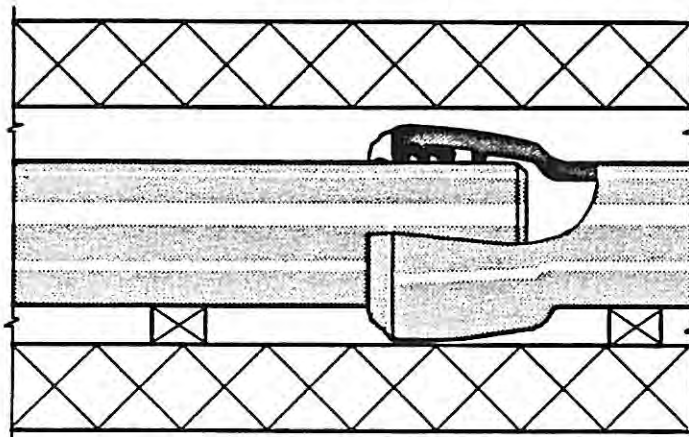


Fig. 40. Duktile støpejernsrør med konvensjonell Tytonskjøt med spiss- og muffende med og uten strekkfast forbindelse.

Det er imidlertid ikke tillatt å bruke plastrør på Brenna. Dette skyldes dårlige erfaringer med første generasjon av rørene pga. oxygendiffusjon gjennom rørveggen, noe som har gitt driftsproblemer. I dag foreligger det imidlertid plastrør i mindre dimensjoner som er utført med en effektiv diffusjonssperre. Det mest interessante rørmaterialet i denne sammenheng er tverrbundet polyetylen (PEX) med en diffusjonssperre av et etylenvinylalkohol (EVAL) materiale. Denne rørtypen foreligger allerede i produksjon i forskjellige rørdimensjoner. Det er utført akselererte korttidstester med rørene som gir grunn til å anta at de også vil ha gode langtidsegenskaper. Rørene er også tatt i bruk i våre naboland, og har åpnet nye muligheter for bruken av fjernvarme. Det foreligger eller er under utvikling en rekke andre plastrørstyper med lavere materialpriser som kan være interessante i en fjernvarmesammenheng.

Fordelene med plastrør er åpenbare. I tillegg til relativ lav pris er de enkle å legge pga. mekaniske skjøteforbindelser, fig. 41, de har lav vekt og det er ikke problemer med ekspansjonen som for andre materialer. Det er derfor bare et tidsspørsmål før plastrør helt vil overta markedet for mindre fjernvarmerør, dvs. dimensjoner under 40-50 mm. Dette er også helt i tråd med den utviklingen vi har sett på VA siden, der plastrør i dag er helt enerådende for mindre rørdimensjoner.

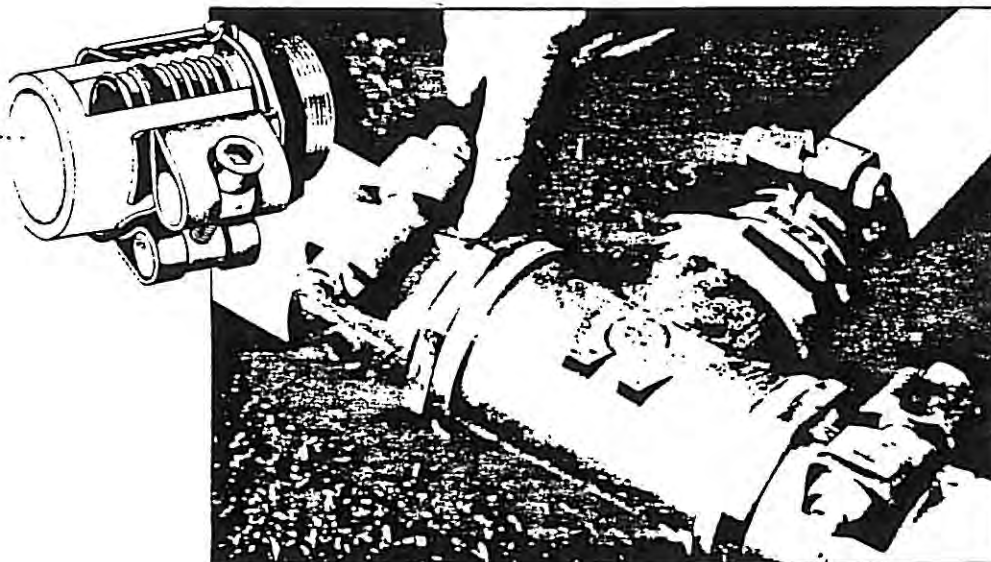


Fig. 41. Diffusjonstette plastrør med mekaniske skjøteforbindelser.
(PEX-rør)

For større rørdimensjoner vil materialkostnadene bli relativt høye pga. stor rørtykkelse og kostbare rørdeler. Hvor langt opp i rørdimensjoner det vil være lønnsomt å gå med plastrør, vil være avhengig av summen av material- og leggekostnader, og selvfølgelig også hvilke andre alternativer som finnes. Disse forhold vil bli behandlet videre i avsnittet om kostnader.

Som vist tidligere består 78 % av rørnettets på Brenna av dimensjoner under og lik 54 mmØ og hele 24 % av rørnettets har dimensjonen 54 mmØ. Største dimensjonen ligger på 90 mmØ. Fordi man ikke tillater å bruk av plastrør, har vi valget mellom kopper eller stål eller en kombinasjon av disse materialene. Korrosjonsproblematikken vil her være en viktig faktor.

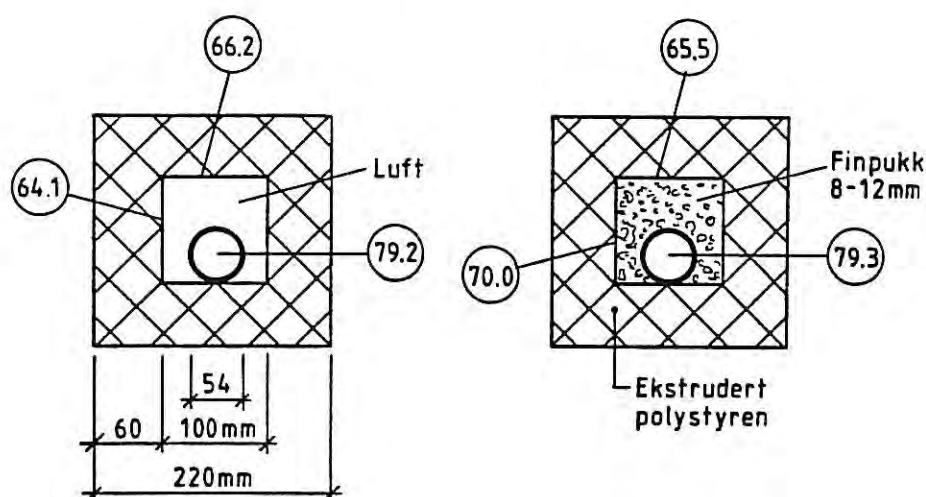
Utvendig korrosjon

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 isolasjonskassens indre overflate på 10 til 15 °C, vil relativ fuktighet rundt røret ligge under denne verdien. Da isolasjonskassene er lagt med fall, vil ev. vann som trenger inn i kassen, renne ut i skjøtene mellom kassesegmentene. Fuktighet på røret eller i kassebunnen vil hurtig fordampe og kondensere på den kaldeste overflaten. Dette vil være de øvre hjørnene under kasselokket.

Tilgangen på fritt vann til kassen bør rent generelt være minst mulig. Det er også viktig i varmetapsammenheng. Da en vesentlig del av

ledningsnettene ligger i terrenget utenom veiene, vil kravet til overdekningsmassene over pukklaget variere avhengig av den mekaniske belastningen grøfta blir utsatt for. Hvis det benyttes stedlige masser med stort innhold av finstoffer, vil det bli lagt en fiberduk over pukklaget. Dette vil effektivt kunne forhindre transport av finstoffer inn i pukklaget. Samtidig vil sigevann fra overflaten bare i begrenset grad kunne trenge ned i grunnen. Vannhastigheten i pukklaget er liten, i størrelsesorden 1-2 cm pr. sek. Dette betyr at tilførselen av fritt vann til isolasjonskassen vil bli beskjedent. Samtidig blir vannhastigheten så liten at vannet bare vil kunne sive inn i isolasjonskassen i skjøtene i topplaten. Det er ikke snakk om at det kan oppstå et vanntrykk på isolasjonskassen noe som er en forutsetning for at vannet skal renne inn i større mengder. Da isolasjonskassene har samme fundament som VA-ledningene, er disse lagt med fall. Fritt vann som trenger inn i isolasjonskassen vil derfor renne ut i skjøtene i bunnen. Det vil bare være i perioder i sommerhalvåret at fritt vann kan trenge ned til isolasjonskassen når denne er i drift. Under vinterforhold vil dette ikke være tilfellet. Eventuelt flomvann vil ikke bli ført ned i grøfta, men ledes på overflaten til nærmeste naturlige uttrekk.

Laboratoriemålinger viser at temperaturdifferansen mellom røret og den kalderste delen av kassens indre overflate vil ligge mellom 10-17 °C, fig. 42, noe avhengig av rørets overflatetemperatur. Disse forholdene vil også gjelde når kassen er fylt med finpukk.



Omgivelsestemperatur 21°C
Varmetilførsel til rørene 12,2 W/m

Fig. 42. Temperaturfordelingen inne i isolasjonskassen med og uten finpukk. Varmetapet fra begge kassene er like stort.

Finpukken er så åpen at en vil få en intern konveksjon som tørker ut massene rundt røret. Dette vil foregå relativt hurtig på grunn av

pukkens begrensede evne til å holde på fuktighet. Fuktforholdene inne i isolasjonsskulverten er derfor slik at utvendig korrosjon på røret ikke kan forekomme. Dette bekreftes også ved å se på et stålrør som har ligget 8 år i en isolasjonsskulvert, fig. 43.

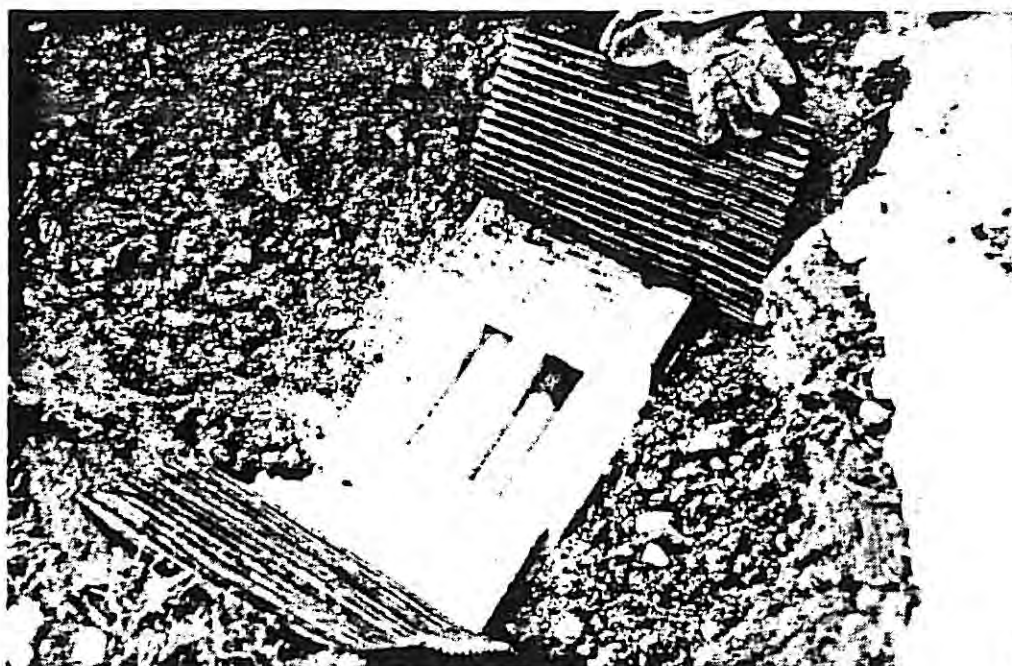


Fig. 43. Stålrør i en isolasjonsskulvert. Etter 8 år i grunnen har det bare oppstått lett overflatekorrosjon på ubehandlede rørdeler.

Høye temperaturer inne i kassen vil føre til et høyt damptrykk når det er fuktighet til stede. Dette resulterer i en uttørking av lufta inne i kassen, da fuktighet vil diffundere ut gjennom isolasjonen og i kasseskjøtene. Samtidig vil man stedvis kunne ha en svak trekk langs røret som vil gi samme effekt.

Finpukken er fremstilt av mager kalkstein som dermed ikke er aggressiv overfor kopper. Samtidig vil denne kunne øke sigevannets pH-verdi. Dette er meget gunstig for å minske risiko for korrosjon.

Ved temperaturer over 50-60 °C vil det på kopperrør dannes et oksydlag på røroverflaten. Dette er svart og langt mer stabilt enn det hydroksydlaget (grønt) som dannes ved temperaturer under 50 °C. Dette korrosjonsbeskyttende oksydsjiktet dannes svært hurtig ved høye temperaturer, og vil beskytte røret mot ytterligere korrosjon. En nedslitning av dette oksydlaget gjennom erosjon kan utelukkes på den ytre overflaten.

Hvis det skal benyttes stålrør inne i kassen, kan det være en fordel å legge røret på klosser av isolasjon for å løfte det litt opp fra kassebunnen. Dette kan beskytte røret effektivt mot direkte kontakt med vann som ev. trenger inn i kassen og samles i bunnen før det renner ut i skjøtene.

Stål- og kopperrør i isolasjonsskylverten vil under stasjonære driftsforhold være nærmest likeverdige mht. korrosjon. Kopperrøret har større sikkerhet mot korrosjon ved lengere driftsavbrudd når overflaten på stålrøret er ubehandlet. Når det gjelder skjøtemetodene, vil vi vurdere kopperrøret som noe gunstigere. Det vil her bli brukt kapillarlodding med sølv, mens det for stålrøret vanligvis benyttes sveisede skjøter. Materialkostnadene for kopperrør, spesielt for større dimensjoner, er derimot vesentlig høyere enn for vanlige stålrør. For mindre rørdimensjoner vil ikke forskjellen bli så stor. Da vi ikke ønsket å blande stål- og koppermaterialer ute i anlegget, falt valget på kopperrør.

Skal en benytte stålrør i isolasjonsskassen, er det mest hensiktsmessig å benytte duktile støpejernsrør med mekaniske skjøter med gummi-pakninger. Disse rørene leveres som standard med en varmforsinket overflate, og rørene er meget motstandsdyktige mot utvendig korrosjon, når de ligger i en isolasjonsskylvert. På Brenna ble det imidlertid ikke tillatt verken å benytte diffusjonstette plastrør eller duktile støpejernsrør med mekaniske skjøteforbindelser.

For stikkledningene fra sekundærledningene og inn til de enkelte boliger er det benyttet preisolerte kopperrør. Disse er utført som et dobbeltrør isolert med mineralull og med en felles mantel av polyetylen, et såkalt Aquawarmrør. Så lenge dette systemet er absolutt fukttett, vil det ikke være noen problemer med utvendig korrosjon på disse kopperledningene. Praksis viser at det særlig er i skjøtene, som må gjøres absolutt fukttette, at problemer kan oppstå. Rørene er i tillegg sårbare for skader på mantelen under transport og håndtering i anleggsperioden, og skader kan forårsake vanninntrengning. Lekkasje på selve røret eller i rørskjøtene vil også resultere i at vann trenger inn i isolasjonen. Da er det risiko for at fuktighet sprer seg over hele rørlengder.

Fukt i isolasjonen reduserer isolasjonsevnen. Selv relativt små volumandeler fukt i mineralullisolasjon fører til stor økning i varmeledningsevnen. Det betyr igjen at en vesentlig del av mineralullas isolasjonsevne går tapt. Fuktinntrengning i isolasjonsmaterialer er ofte vanskelig å oppdage og kan føre til omfattende følgeskader. Dette skyldes at vann som trenger inn i isolasjonsmaterialene, som omgir kopperledningene kan forårsake korrosjon. Salter, f.eks. sulfider og klorider, kan utfelles fra isolasjonen og medføre akselererende korrosjon på kopperrøret.

Stikkledningene hvor denne utførelsen er brukt, er lagt helt uten skjøter og vil i det vesentlige ligge under hus der det er liten fuktpåvirkning. Det er imidlertid oppstått flere mekaniske skader på disse rørene noe som skyldes at beboerne har behandlet dem uforsiktig under husbyggingen. Her ville preisolerte diffusjonstette plastrør vært å foretrekke, da disse er vesentlig mer fleksible, og de kan leveres for halve kostnaden av kopperrørene.

Bortsett fra Aquawarmrørene, er det benyttet samme godstykkelse i kopperrørene som for vannledninger i mark, og ikke glødde rør. Dette betyr at for en rørdimensjon på f.eks. 54 mmØ er godstykkelsen 2.0 mm i stedet for 1.5 mm som er vanlig i varmeanlegg, fig. 44. Denne godstykkelsen er brukt for å øke levetiden for fellesanleggene.

Ytterdiameter (D _y)		Serie				
		1	2		3	
Nominelt mått mm	Tolerans		Godstjocklek (T) mm	Vikt kg/m	Godstjocklek (T) mm	Vikt kg/m
6	±0,045		0,8	0,12		
8	±0,045		0,8	0,16		
10	±0,045		0,8	0,21		
12	±0,045		1	0,31		
15	±0,045		1	0,39	1,2	0,46
18	±0,045		1	0,48	1,2	0,57
22	±0,055		1	0,59	1,5	0,86
28	±0,055		1,2	0,90	1,5	1,12
35	±0,055		1,5	1,41	2	1,85
42	±0,055		1,5	1,71	2	2,25
54	±0,055		1,5	2,21	2	2,92
70	±0,2		2	3,82	2,5	4,74
76,1	±0,2		2	4,16	2,5	5,17
88,9	±0,25		2	4,88	2,5	6,06
108	±0,25		2	5,95	2,5	7,4

Fig. 44. Standardiserte rørtykkelser for kopperrør. På Brenna benyttes serie 3.

For ikke å bygge opp for store spenninger i nettet, er enkelte rørstrekk ved ekspansjonselementer o.l. glødde. Dette gjør at disse elementene ikke behøver å være så store, idet man kan tillate en mindre bøyning i oppstartingsfasen. Når rørtemperaturen har nådd maksimalverdi, vil rørene ikke lenger bøyes ved de temperatursvingningene som vil opptre under sommer- og vinterforhold.

Innvendig korrosjon

Det er også foreskrevet en behandling av vannet i sekundærnettet ved oppherdning (øke vannets pH-verdi). Den enkleste måten dette kan oppnås på, er å la vannet passere gjennom et kalkfilter som vil sørge for at vannets pH-verdi kommer over 7,5. Kalkfiltret er plassert i undersentralen. Denne vannbehandlingen er svært viktig, fordi det er en blanding av stål og kopper i sekundærnettet. Alle rør i grunnen er kopper. Da delanlegg vil bli tilknyttet anlegget over en svært lang periode, er det ikke til å unngå at det lett kan oppstå uregelmessigheter som resulterer i en tilførsel av oksygenrikt vann. Det er derfor viktig både å komme i gang med en vannbehandling ved å øke vannets pH-verdi og hurtigst mulig komme opp i full driftstemperatur. Det vil raskt bygge opp et oksydsjikt på røroverflaten som vil virke som et

korrosjonsbeskyttende belegg. For å bevare dette belegget, er det viktig at vannhastigheten ikke er for stor. Under dimensjonerende forhold vil de største fordelingsledningene ha en maksimal vannhastighet på rundt 1,5 m/s. De øvrige ledningene vil ha en vannhastighet på under 1,0 m/s. Ved å bruke turtallstyring på pumpene (mengderegulering) vil en over store deler av året kunne holde lave vannhastigheter i rørrettet, fig. 45.

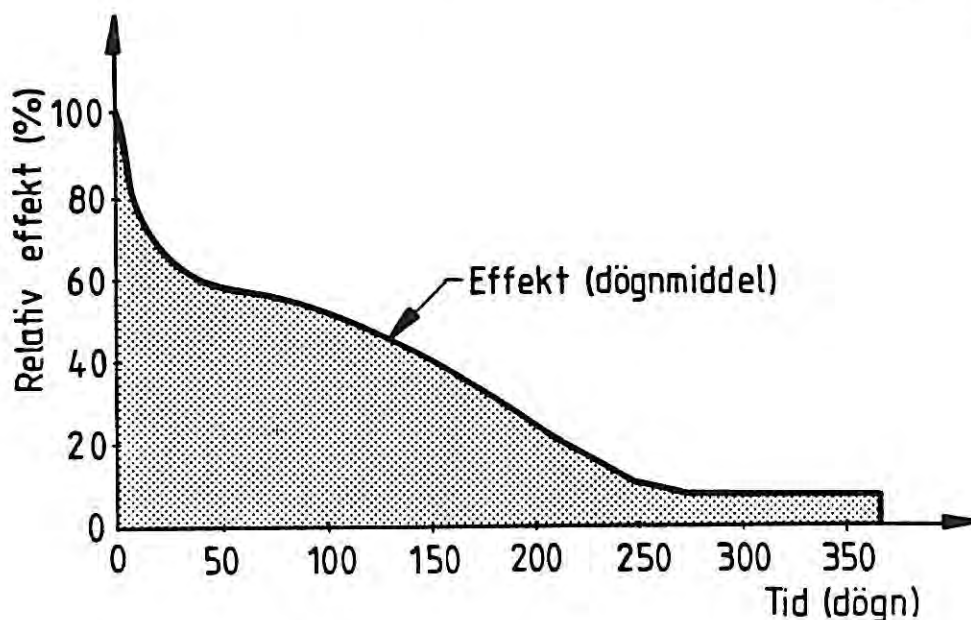


Fig. 45. Effekt varighetsdiagram sjematisk fremstilt for en bolig med konstant tappevannsbehov over året. Det fremgår her hvor kort tid det er behov for maks. dimensjonerende effekt.

Det er derfor ikke riktig når det ofte hevdes at kopper ved høyere temperaturer generelt har dårligere korrosjonsegenskaper enn ved lavere temperaturer. Dette er bare riktig når det korrosjonsbeskyttende overflatesjiktet slites ned av erosjon (stor vannhastighet) eller brytes ned av stoffer som er aggressive overfor kopper, da korrosjonsprosessene generelt øker med stigende temperaturer. Generelt er korrosjon innvendig avhengig av oksygen. Normalt vil det bare være små mengder tilstede i et lukket fjernvarmeanlegg.

For å sikre kopperrør mot korrosjon ved høye temperaturer (60-80 °C), er det en forutsetning, som for stålrør, at man benytter en form for vannbehandling for å ha kontroll med vannkvaliteten. På Brenna vil vannbehandlingen ikke være kommet i gang før etter at undersentralen er bygd. Anlegget er derfor i en toårs periode vært kjørt provisorisk med en mobil kjel. Dette har vært uheldig og vil kunne ha betydning for anleggets levetid da det i denne perioden til stadighet har vært tilknyttet nye anlegg, som har ført til tilførsel av oksygen til vannet.

Ekspansjonsopptak

Det er viktig å ha kontroll med ekspansjonen for å hindre at det bygger seg opp uheldige spenninger i rørene, som vil kunne føre til uakseptable deformasjoner, eller over tid til spenningskorrosjon. I bilag 1 har vi vist hvordan vi har kompensert for at rørene ekspanderer i forbindelse med utførelsen av isolasjonskulverten.

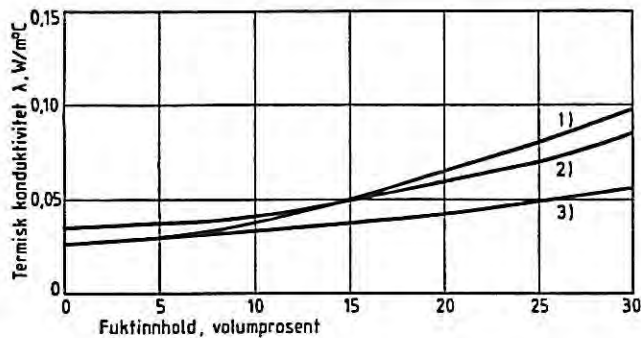
Isolasjonsmaterialer

På grunn av store differanser mellom temperaturene på vannet og omgivelsene må det stilles strenge krav til isolasjonsmaterialene som skal brukes i fjernvarmeanlegg, for å holde varmetapet på et akseptabelt nivå. Følgende egenskaper er det viktig å ha kjenskap til for isolasjonssmaterialer som skal benyttes i fjernvarmeanlegg:

1. trykkstyrke (krav til mekanisk beskyttelse)
2. varmeledningsevne
3. kryp og aldringsegenskaper
4. fuktømfientlighet (krav til fuktbeskyttelse)
5. temperaturbegrensninger
6. aggresivitet i forhold til aktuelle rørmaterialer
7. krav til omfyllingsmasser.

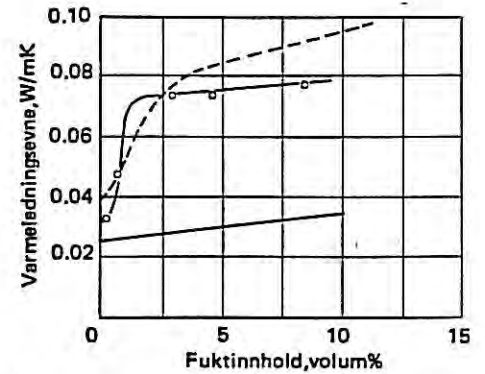
Fjernvarmerørene skal legges i et miljø med 100% relativ fuktighet. En avgjørende faktor for utformingen av isolasjonssystemet er derfor isolasjonsmaterialenes egenskaper under påvirkning av fukt. Ethvert isolasjonsmateriale vil hurtig miste isolasjonsevnen selv ved relativt beskjedne fuktopptak, fig. 46. Fritt vann som er tilstede i fjernvarmegrøfta, enten i form av grunnvann eller overflatevann, vil også kunne fjerne betydelige varmemengder fra fjernvarmerørene. I det hele tatt vil de varmetekniske egenskapene for omfyllingsmaterialene bety mye for fjernvarmerørenes varmetap.

Systemet må også ha tilstrekkelig trykkstyrke til å motstå ytre belastninger, som opptrer i anleggsfasen eller senere i form av jord- og trafikklaster. Rør, isolasjon og omfyllingsmasser utgjør en konstruksjon som virker sammen for å oppta belastninger. Dette vil også bestemme materialvalg og utførelse.



Eksempel på hvordan termisk konduktivitet varierer med fuktinnholdet i isolasjonen. $T_m = 10\text{ }^\circ\text{C}$

- 1) Polyuretanskum, 35 kg/m^3
- 2) Polystyrenskum, ekspandert 20 kg/m^3
- 3) Polystyrenskum, ekstrudert 35 kg/m^3



Varmeledningsevne for ulike isolasjonsmaterialer som funksjon av fuktinnhold.

—	polystyren	$\rho_d \sim 30\text{ kg/m}^3$
- - -	glassull	$\rho_d \sim 62\text{ }^*$
—o—	steinull	$\rho_d \sim 38\text{ }^*$

Fig. 46. Varmeledningsevne for ulike isolasjonsmaterialer som funksjon av fuktinnhold.

Det er fremstilt en rekke forskjellige kulvertsystemer der isolasjonsmaterialene kan være mineralull, polyuretan, polyetylen, ekstrudert polystyren o.l. Av disse materialene vil mineralull, polyuretan og polyetylen kunne tåle temperaturer over $100\text{ }^\circ\text{C}$, mens ekstrudert polystyren kan tåle temperaturer opp mot $80\text{ }^\circ\text{C}$.

Mineralull, polyetylen og polyuretan er svært ømfintlige for fukt og krever spesielle tiltak for å hindre fuktopptak utenfra. Det er ikke bare isolasjonsevnen som forringes ved fuktopptak, men det vil også føre til korrosjon på rørene. I tillegg vil fuktige isolasjonsmaterialer kunne være aggressive mot rørene. Fuktige mineralull i kontakt med kopper vil f.eks. føre til en akselerert korrosjon av røret. Det er svært uheldig da mindre lekkasjer i skjøter e.l. hurtig vil ødelegge røret. Bruk av disse materialene krever derfor en omfattende fuktbeskyttelse i form av en plastkappe e.l. På grunn av de store følgeskadene ved en vannlekkasje innen- eller utenfra, er en del av disse systemene utført med en varslingsanordning som trer i kraft hvis fuktighet trenger inn i isolasjonen.

Polyuretan har stor nok trykkstyrke til å motstå ytre laster i form av jord- og trafikklaster. Det er imidlertid viktig å hindre store statiske laster, da alle plastmaterialer vil være utsatt for kryp, og da særlig ved høye temperaturer. Mineralull derimot har svært liten trykkstyrke og må i tillegg til fuktbeskyttelse også ha en mekanisk

beskyttelse. Det sier seg selv at dette er en meget sårbar konstruksjon. Særlig er skjøter, avslutninger og de stedene der rørene understøttes, f.eks. fastpunkter, sterkt utsatt og krever en nøyaktig utførelse. Dette vil under alle værforhold være vanskelig å oppnå i grøfta. En tilfredstillende funksjon av disse systemene er derfor avhengig av at den ytre beskyttelsesmantelen er inntakt. Et annet forhold er at det av praktiske hensyn benyttes krympefolie i skjøtene. Folien er meget sårbar for mekaniske påkjenninger og setter klare begrensninger når det gjelder bruk av omfyllingsmaterialer, se fig. 47.



Fig. 47. Skader på krympefolien på preisolerte fjernvarmerør vil hurtig ødelegge polyuretanens isolasjonsevne, og vil føre til korrosjon på stålrøret.

Ekstrudert polystyren (Styrofoam)

Bruk av ekstrudert polystyren (Styrofoam) som fjernvarmeisolasjon er av relativt ny dato. Man har imidlertid mer enn 35 års erfaring med dette materialet brukt i grunnen. Det er materialets gode egenskaper i forbindelse med fuktopptak som gjør det interessant i denne sammenheng.

Temperaturbegrensninger

Akselererte laboratorieundersøkelser, se fig 48, viser at ekstrudert polystyren (Styrofoam) har tilfredstillende krypegenskaper for temperaturer opp mot 80 °C, fig. 49. Materialet vil imidlertid ikke begynne å smelte før temperaturen kommer opp i 95 - 100 °C. Dette betyr at temperaturbegrensningen oppad er avhengig av belastningen.

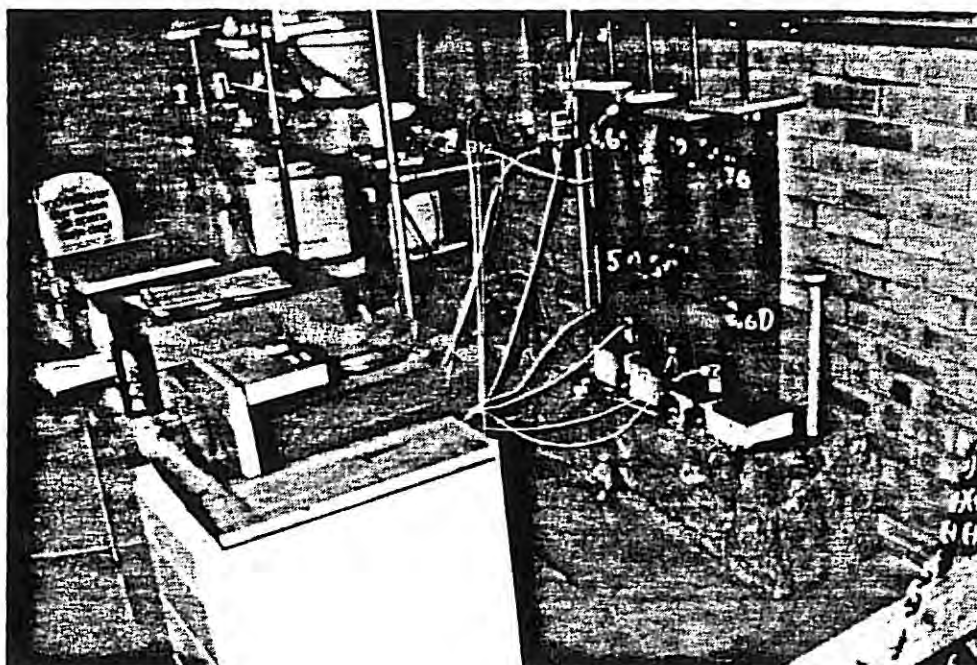


Fig. 48. Krypforsøk ved høye temperaturer.

Kryp Styrofoam HI 50

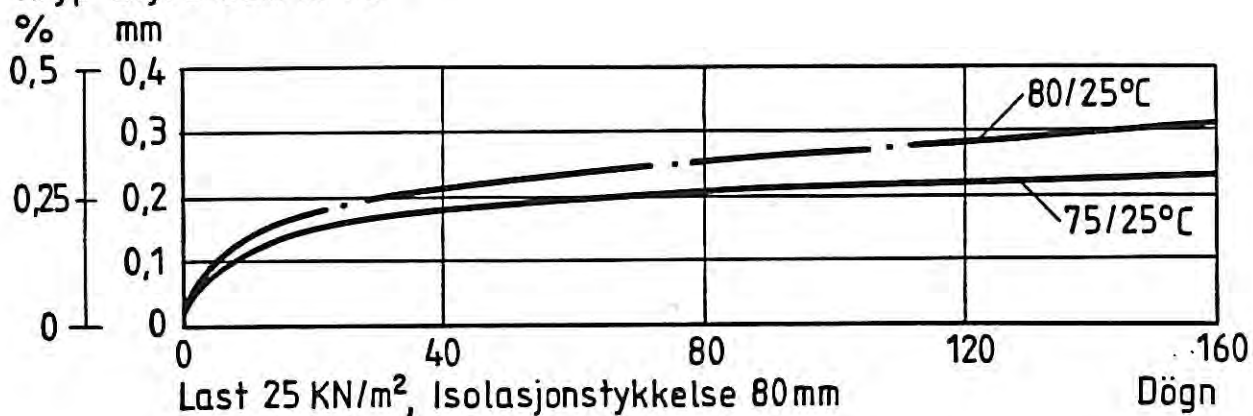


Fig. 49. Krypkurver for ekstrudert polystyren (Styrofoam). Kryptet øker med økende last og temperatur. Ved 80°C og vanlig jordlast er kryptet uten praktisk betydning. Hurtig lastvekslinger fra trafikk gir lite kryp.

Temperaturfordelingen inne i isolasjonskassen er vist på fig. 42. Det fremgår her at konveksjonsgraden på luften inne i kassen er liten, med den følge at temperaturforskjellen mellom røroverflate og isolasjonskassens indre overflate er relativt stor. Temperaturforskjellen mellom fjernvarmerøret og underkanten av lokket på isolasjonskassen ligger på

15-17°C når rørtemperaturen har en maksimalverdi på 80 °C. Kasselokket får alltid størst mekanisk belastning og er dermed mest utsatt for kryp. Av sikkerhetsmessige grunner er maksimal temperatur på turvannet satt til 80 °C når isolasjonen er ekstrudert polystyren (Styrofoam). Systemet kan imidlertid i en kortere periode tåle en del overtemperatur. Man har derfor en betydelig sikkerhet bygd inn i systemet ved ev. overtemperaturer. Men det gjelder generelt at en ikke bør kjøre anlegget med høyere temperaturer enn det som til enhver tid er nødvendig rent varmeteknisk. Dette vil redusere varmetapet og øke levetiden både for isolasjon og plastrør.

Fuktopptak

Figur 50 viser fuktopptaket i forskjellige typer isolasjon som er lagt ut i veier, som funksjon av tiden. Det fremgår her at ekspandert polystyren og polyuretan kan oppta betydelige fuktmengder, mens ekstrudert polystyren kan ta opp meget lite fukt. I motsetning til mineralull som har en dramatisk økning av varmeledningsevnen selv ved lite fuktinnhold, er forholdet langt bedre for polystyren, fig. 46.

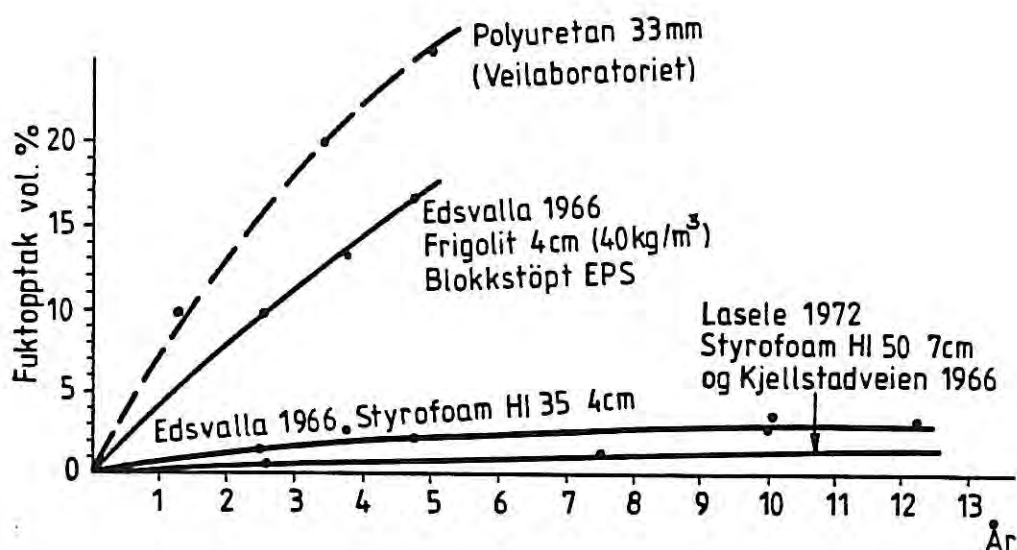


Fig. 50. Fuktopptak i polyuretan, ekspandert- og ekstrudert polystyren i vei. Prøver utført av Statens väg- och trafikinstitut i Sverige og Veglaboratoriet i Norge.

Det er grunn til å tro at ekstrudert polystyren, brukt i tilknytning til fjernvarmeanlegg, vil kunne vise tilsvarende positive resultater med hensyn til fuktopptak. Dette er også bekreftet ved målinger i laboratorium og i felt.

Figur 43 viser et anlegg ved bruk av ekstrudert polystyrenkasser (Styrofoam) som ble satt i drift i 1980/81. Energiproduksjonen foregår

i et flisfyringsanlegg, og varmen blir fraktet til våningshus og driftsbygninger. Det er benyttet vanlige stålrør som er grunnet med ett lag. Skjøtemuffene er ikke rustbeskyttet. Det er ikke lagt noe masse inne i kassen. Omfyllingsmassene er grus med et relativt høyt innhold av finstoff. Over isolasjonen er det i lagt et lag korrugerte polyetylenplater i kassens bredde. Anlegget kjøres kontinuerlig hele året og driftstemperaturen ligger mellom 70 - 80°C. I en kortere periode har temperaturen kommet opp i 85 °C.

Temperaturmålinger som ble utført da anlegget var nytt og etter en femårs periode, kunne ikke påvise noe økning i varmetapet. Oppgraving av kassen i april 1986 og uttak av prøver viser et gjennomsnittlig vanninnhold i topplaten på 1,4 volumprosent. På grunn av det lave fuktinnholdet, ble det ikke foretatt nærmere undersøkelser av fuktfordelingen i platen. det så ut som om fukten var konsentrert i begge endene av isolasjonsplaten, mens materialet over røret var tørt. For øvrig vil et vanninnhold på 1,4 volumprosent ha relativt liten innvirkning på materialets varmeledningsevne, fig. 46. Eventuell fukt som trenger inn i kassen, vil kunne kondensere på de kaldeste flatene som enten er de vertikale skjøtene mellom kassene eller skjøten mellom lokket og kassebunnen. Skjøtemuffene i vannrøret var ikke rustbeskyttet, og hadde bare fått lett overflatekorrosjon. Dette tyder på et relativt tørt miljø inne i isolasjonskassen.

For å undersøke disse forholdene nærmere, er det utført fuktforsøk i laboratoriet, se bilag 2.

Krav til trykkstyrke av isolasjon og isolasjonskasse

På grunn av anleggstrafikk over ledningstraséene, vil fjernvarmeisolasjon og rør bli utsatt for stor mekanisk påkjenning. Hvis det ikke er en spesiell mekanisk beskyttelse av fjernvarmeisolasjonen, bør det stilles samme krav til denne som til veiisolasjon. Figur 51 viser trykket på en horisontal isolasjonsplate fra anleggstrafikk, som funksjon av overdekningen.

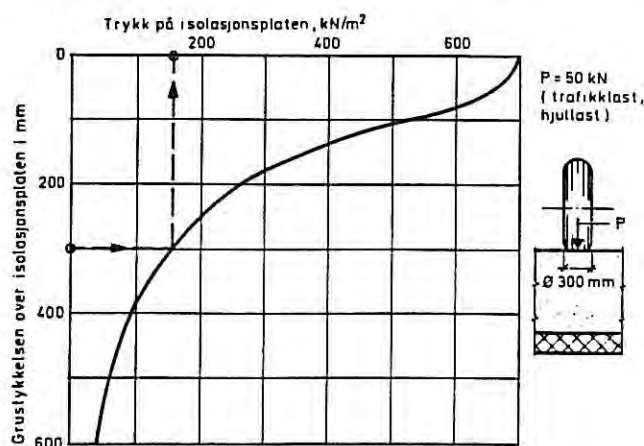


Fig. 51. Trykk på isolasjonen avhengig av overdekningen.

Trykket på isolasjonsplaten fig. 51, forutsetter at underlaget for isolasjonen er fast fjell, sprengstein e.l., noe som ikke er tilfelle hvis det benyttes en isolasjonskulvert. Denne kan være fylt med finpukk, mens det vanlige er at rørene ligger fritt i kulverten. For å undersøke hvilke hjultrykk isolasjonskassen kan tåle med en overdekning på 0,45 m og en omfylling med finpukk, har vi utført div. laboratoriemålinger, se bilag 3.

Isolasjonskassen er fylt med finpukk ved veipasseringer. Det vil da være styrken på isolasjonsmaterialet som er avgjørende. Under drifts- og anleggsperioden vil det normalt kunne tillates belastninger på 60-80 % av isolasjonsmaterialenes kortidstrykkstyrke. For særlig utsatte områder, veipasseringer e.l., bør kortidstrykkstyrken for isolasjonsmaterialet ligge rundt 350 kN/m². En vil da kunne tåle en overdekning helt ned mot 250 mm. Isolasjonskulverten er derfor fremstilt av ekstrudert polystyren (Styrofoam) med en kortidstrykkstyrke på 400 kN/m². Dette gjør at isolasjonskulverten kan legges direkte ned i grunnen uten ytterligere mekanisk beskyttelse. Ved påvirkning av ytre laster vil kulvert og omfyllingsmasser virke som en enhet. Bruk av ensgradert finpukk er derfor en forutsetning for ovennevnte, da finpukken har en svært god evne til å fordele lastene, samtidig som den kan regnes å være nesten selvkomprimerende. Ved store eksterne laster på grøfta, vil enkelte steiner kunne trenge noe ned i isolasjonsoverflaten. Dette har ingen praktisk betydning, men isolasjonsmaterialet må være homogent slik at det ikke bare er et ytre skikt som forhindrer inntrenging av fukt. Ekstrudert polystyren har disse egenskapene.

Utførelse av fjernvarmenettet

Isolasjonskasser som fjernvarmekulvert

Isolasjonskassen leveres i elementer på 1,2 m som legges etter hverandre i grøfta uten å limes. Isolasjonskassen legges med fall, da den har felles fundament med VA-ledningene. Finpukk 8 - 12 mm vil bli brukt både i fundamentet og som omfyllingsmasser rundt isolasjonskassen. I tillegg er det lagt ned et drensør for å ha full kontroll med vannstanden i grøfta. Eventuelt flomvann vil ikke bli ført ned i grøfta, men ledes på overflaten til nærmeste naturlige uttrekk. Pukklaget og drensledningen vil sikre at alle lavpunkter er drenert.

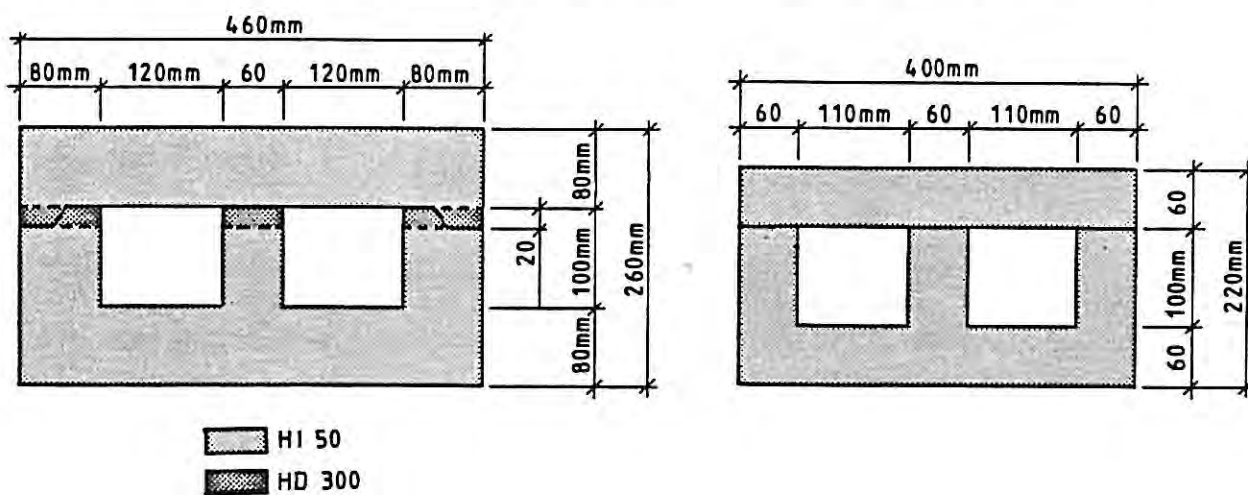
Grunnentreprenøren legger isolasjonskassene både for VA-ledninger og fjernvarme. Kravet til utførelse og nøyaktighet er det samme for begge typer isolasjonskasser. I beskrivelsen er det spesifisert at kassene skal legges butt i butt med en maksimal spalte mellom kasseelementene på 2 mm. Dette kravet er i strengeste laget og har vist seg å være vanskelig å oppnå i praksis. Temperaturmålinger av tidligere utførte

anlegg viser at varmetapet bare øker ubetydelig selv med spalter opp mot 10 mm. Det er under forutsetning at det brukes finpukk i omfyllingen og relativt tette masser over pukklaget. På Brenna vil alle åpne steinfyllinger bli dekket med løsmasser som hindrer konveksjon i sprengsteinsfyllingene.

Selv om beskrivelsen angir samme krav til utførelse og nøyaktighet for begge typer isolasjonskasser, er leggingen priset med henholdsvis kr 15,- pr. m for VA-kassen og kr 70,- for fjernvarmekassen. Dette skyldes sannsynligvis det forholdet at legging av VA-kasser er kjent fra før mens fjernvarmekasser oppfattes som noe nytt.

For å holde et meget lavt varmetap, er det benyttet en isolasjonstykkel på hele 80 mm. Det var også et ønske at kassen skulle være relativt stiv for at den skulle kunne tåle en del ukontrollerbar anleggstrafikk. Vanligvis er det ikke fylt pukk inne i kassen rundt rørene. Ved veipasseringer eller andre steder der det er ønskelig med fastpunkter, er det fylt finpukk rundt rørene inne i kassen. Stedvis bruk av finpukk inne i kassen vil også forhindre konveksjon langs rørene (skorsteinsvirkning) ved utettheter i kummer o.l. Kassene tåler en betydelig last uten at det er fare for at de skal bryte sammen. Dessuten er entreprenøren pålagt å benytte kjøreplater ved anleggs- trafikk over grøftene.

Det er fremstilt en standardkasse, fig. 52, som har tilstrekkelig størrelse for alle rørdimensjoner som var aktuelle på Brenna.



Standard kasse:	
Materialer	kr 130,- pr. m
Legging.....	70,- "
SUM	kr 200,- pr. m

Alt. Utførelse:	
Materialer	kr 87,- pr. m
Legging	25,- "
SUM	kr 112,- pr. m

Fig. 52. Standardkasse brukt på Brenna, og en alternativ utførelse i Styrofoam HI 50.

For å lette rørleggerens arbeid og kunne tillate noe mer ekspansjon, er det i tillegg fremstilt en noe større kasse som ble benyttet for rørdimensjonene 70 og 90 mm Ø. Denne kassen har en bredde på 600 mm. De store rørdimensjonene legges vanligvis sammen med hovedledningene for vann og avløp langs samleveien eller i terrenget der grøftebredden er større, se fig. 10.

På Brenna er det i motsetning til i vanlige fjernvarmenett benyttet såkalt fri ekspansjonskompensering. Terrenget på Brenna er svært kupert. Dette medfører relativt hyppige retningsendringer av grøftene både i horisontal- og vertikalplanet, samtidig som grøftene er lagt i bue langs samleveien, se fig. 53. Disse forholdene gjør at varmeutvidelsen av rørene relativt lett kan kompenseres når en tar hensyn til dette under prosjekteringen.

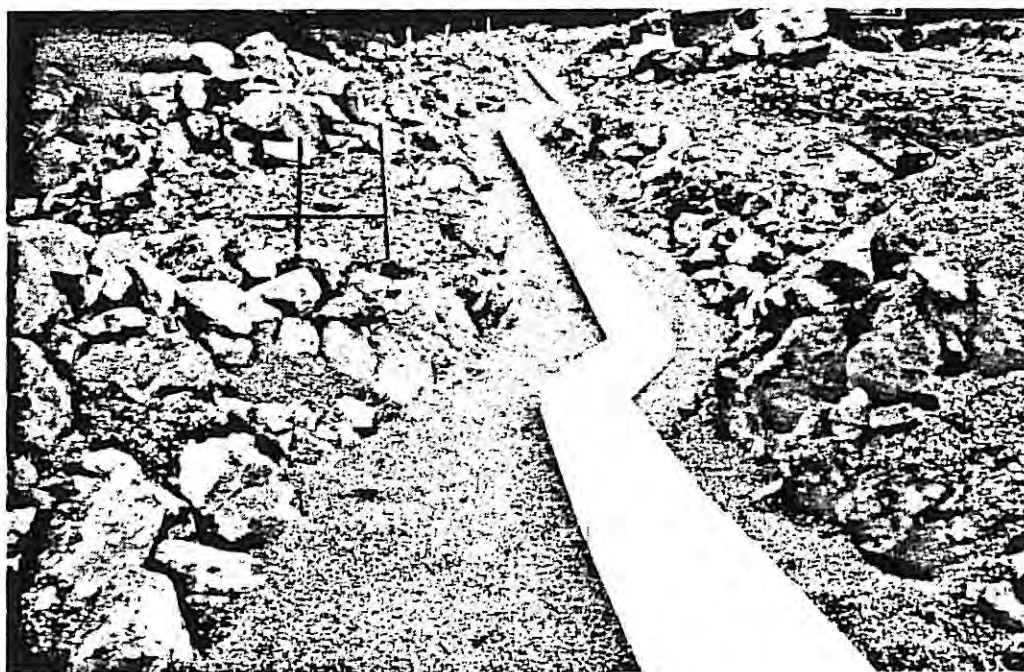


Fig. 53. Isolasjonskulverten følger terrenget og har hyppige retningsendringer. Under hus legges kulverten uten knekk.

Ved lengere rettstrekk er det lagt inn 90° bend, såkalt Z-ekspansjon, for å oppta ekspansjonen. Dette er det bare behov for på relativt få steder. Ved alle avgreninger og knutepunkt er utførelsen slik at det er muligheter for ekspansjon, fig. 54. En har full kontroll med ekspansjonen ved at det stedvis er fylt pukk rundt rørene inne i kassen. Ved bruk av en fri ekspansjonskompensering, er det viktig å ha visse referansepunkter i nettet der en har fastpunkter. En kan ellers risikere at all ekspansjon overføres til den delen av nettet som har de minste rørdimensjonene.

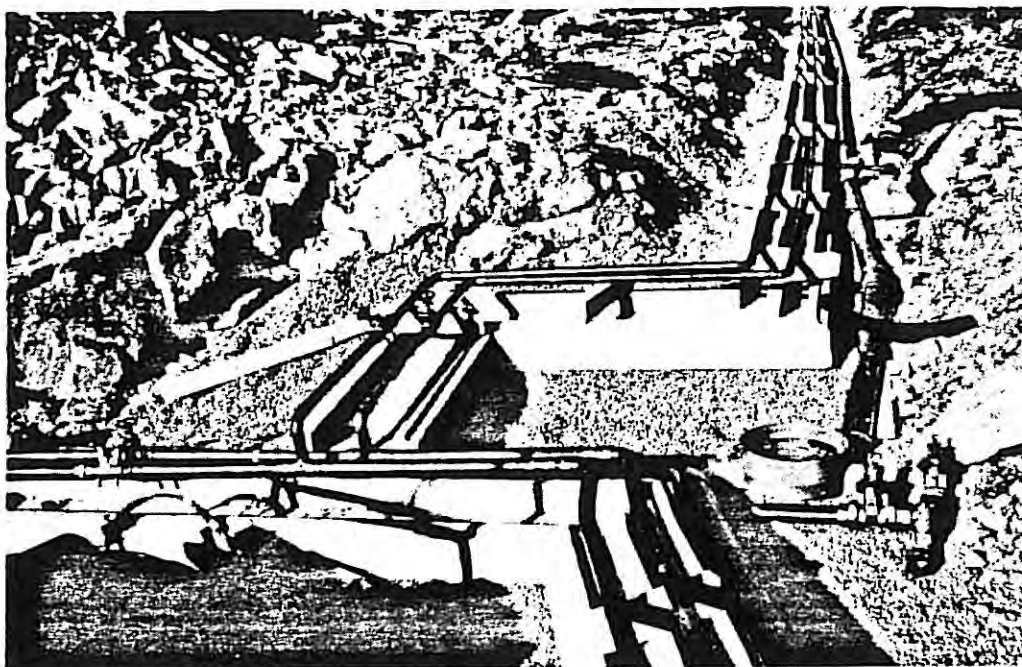


Fig. 54. Eksempel på knutepunkt for fjernvarme, vann og spillvann. Utførelsen av knutepunktet for fjernvarmenettet gir mulighet for å kunne oppta ekspansjoner i flere retninger.

Isolasjonskassen er utført slik at de vertikale sidene i kassen har relativt liten trykkstyrke i tverretningen. Det er lett å utføre dette da ekstruder polystyren har langt større trykkstyrke på tvers enn på langs av ekstruderingsretningen. Det tillates derfor at kopperrøret stedvis kan deformere isolasjonsveggen opptil et par cm uten at dette har noen innflytelse på varmetapet. Det er derfor ikke nødvendig å ha et så stort kassevolumen at ekspansjonen fullt ut kompenseres. På grunn av at isolasjonsmaterialet ekstrudert polystyren er utsatt for kryp ved relativt store belastninger ved høye temperaturer, vil ledningene etter en tids bruk ligge nærmest spenningsfritt i isolasjonskassen. Dette har stor betydning for levetiden for kopperrør.

Varmetap

En rekke faktorer påvirker varmetapet fra fjernvarmenettet, spesielt når det benyttes en isolasjonskulvert. Slike faktorer er:

- vanntemperaturen
- jordtemperaturer
- isolasjonstykkelse
- isolasjonsmaterialets varmeledningsevne (fukt i isolasjonsmaterialet)
- størrelse på kulverten

- omfyllingsmassenes termiske egenskaper
- kuldebruer i anlegget ved kumpunkter pga. unøyaktig utførelse som kan føre til konveksjon på langs av isolasjonskassen
- trasévalg.

På bakgrunn av disse faktorer kan det være vanskelig å oppgi et tall som skal være representativt for varmetapet fra fjernvarmerørene. For eksempel blir varmetapet fra fjernvarmerørene under en isolert fundamentplate redusert med ca. 25 % i forhold til rørene i terrenget. Dette slår sterkt ut på Brenna der ca. 35 % av rørnettets ligger under hus. Når det benyttes en isolasjonskasse, vil varmetapet fra rørene være uavhengig av rørdimensjonen, hvis det benyttes en standardkasse. Dette betyr at det prosentvise varmetapet blir vesentlig mindre for de større rørdimensjonene.

Hvis en allikevel skal oppgi et varmetap for isolasjonskulverten under stasjonære forhold, med en midlere temperaturdifferanse på 50 °C, vil dette ligge på ca. 13,0 W/m for standardkulverten med en tykkelse på 80 mm. Tilsvarende vil varmetapet fra en kulvert med isolasjonstykkel på 60 mm ligge på ca. 15 W/m eller en økning på 15 %. Under dimensjonerende forhold vil varmetapet fra fjernvarmerørene på Brenna ligge mellom 3-5 %. Om sommeren vil selv dette beskjedne varmetapet være like stort som forbruket. Det innebærer at varmetapet fra fjernvarmerørene tilsvarer den energien som brukes til oppvarming av varmt forbruksvann. Dette gir et tap over året på 15-20 %. Ved bruk av andre fjernvarmesystemer, med langt mindre isolasjon, vil tapet kunne bli betydelig høyere. Det er derfor viktig å velge et fjernvarmesystem som gir et lavt varmetap.

På grunn av det beskjedne varmeforbruket om sommeren, kan det være et spørsmål om det ikke er mer hensiktsmessig i denne perioden å varme opp varmtvann med en elektrisk varmekolbe i hver villavarmereksler. Dette må vurderes mot anleggets levetid idet et søppelforbrenningsanlegg, som er varmekilden på Brenna, vil ha et betydelig varmeoverskudd under sommerforhold som ikke kan nyttiggjøres, og vil være et rent tap. Et anleggs totale levetid som funksjon av driftstiden er lite kjent og bør utredes nærmere.

Utførelse av kummer

Sekundærnettets på Brenna er planlagt som et stjernesystem med tre hovedgrener ut fra undersentralen. Hver hovedgren er igjen planlagt som et ringledningsnett. Dette er naturlig da alle grøftene for å etablere et ringledningssystem er opparbeidet i forbindelse med anlegg av ringledninger for det sekundære vannledningsnettets. Dette gir en høy grad av leveringssikkerhet for en beskjeden tilleggs kostnad. Men ringledningen på fjernvarmenettet er senere oppgitt av økonomiske grunner.

Et sekundærnett for fjernvarme bør dimensjoneres slik at det er mest mulig i balanse uten bruk av strupeventiler. Man kan til en viss grad gjøre det ved å velge riktige rørdimensjoner. Imidlertid er det nødvendig, spesielt ved avgreninger nær undersentralen, å sette inn reguleringsventiler i nettet. Det vil gi riktig varmfordeling og hindre støyproblemer pga. store trykkdifferanser over villavarmevekslerne i de enkelte boligene. I tillegg er det viktig med en seksjonering av rørnettet for at ikke for store deler av nettet skal falle ut når det oppstår problemer ute i nettet. I stedet for avstengningsventiler er det montert innreguleringsventiler med trykkuttak for vannmengdemåling ved alle avgreninger. En rekke av disse ventilene er dimensjonert for å stå åpne, men vil gi oss en mulighet for å kontrollere vannmengder og foreta justeringer hvis det oppstår uforutsette driftsproblemer.

Alle avstengnings- og innreguleringsventiler bør plasseres i kummer slik at disse er lett tilgjengelige. Kummer i fjernvarmenettet bør som for VA-nettet være en integrert del av rørnettet med samme prinsipputførelse av isolasjonen, for å forhindre kuldebruer og holde kostnadene lave. Figur 55 viser to kumutførelser. Den ene er standardutførelsen der røroverdekningen er som prosjektert, uten oppfylling av terrenget, fig. 56. Den andre benyttes hvis overdekningen er større på steder der det monteres mange betongringer, nødvendig. Det fremgår her at man benytter samme isolasjonskasse i kummen som for fjernvarmerøret, og monterer et lokk på denne. Dette er den enklest mulige utførelsen av en kumløsning der kumringene settes direkte ned i pukkmasser. For kummer i veibanen eller på andre asfalterte steder, benyttes en flytende kumring med et kjøresterkt stållokk.

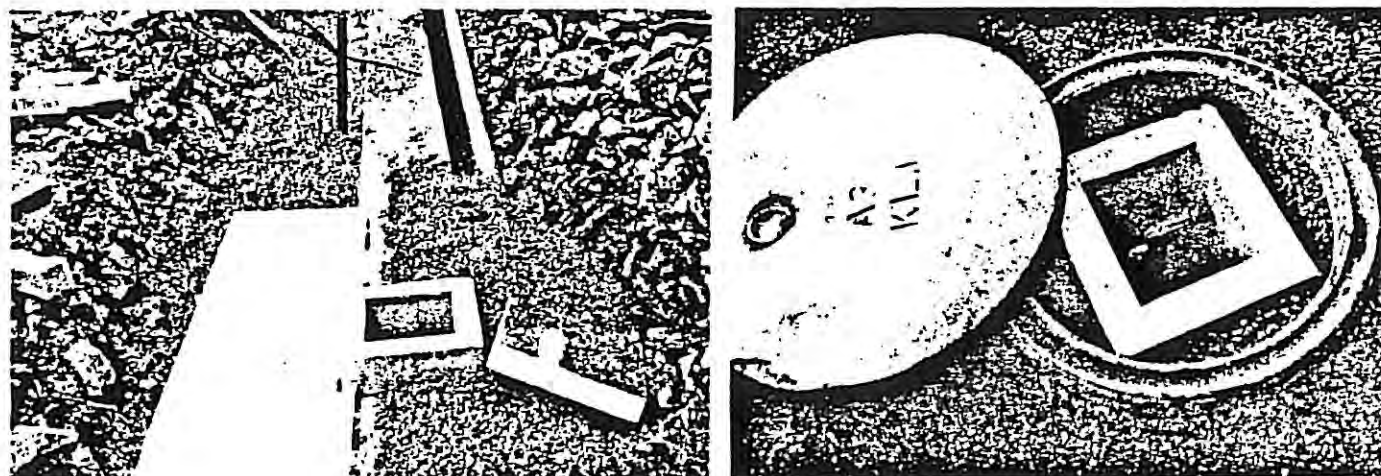


Fig. 56. Fjernvarmekum, standardløsning.

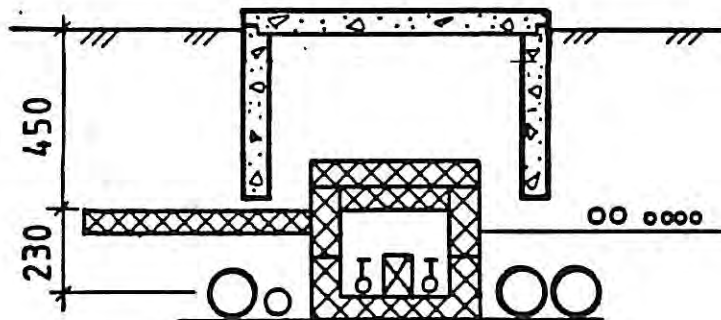
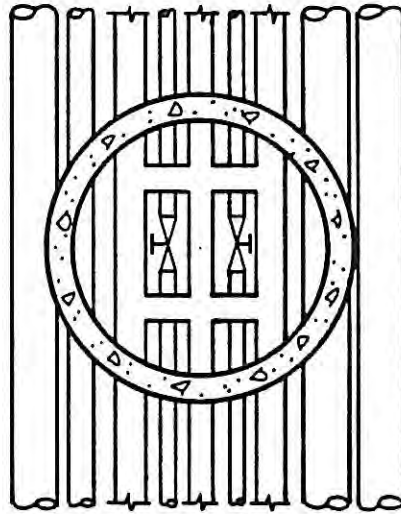
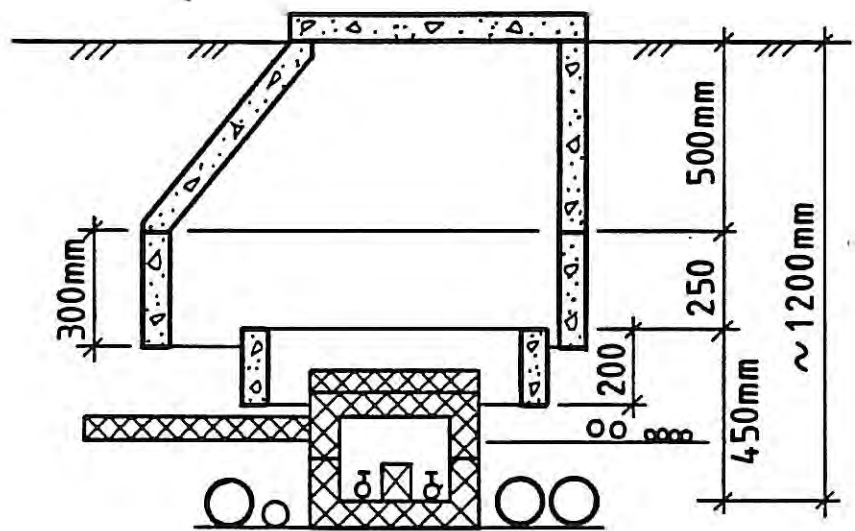


Fig. 55. Utførelsen av en fjernvarmekum. Standardløsning og en type med større overdekning. Med full kontroll med utomhusplanene bør standardløsningen benyttes. All betjening av ventilene foregår da fra overflaten.

Innregulering og styring

Effektleveransen fra fjernvarmeanlegget styres både ved en temperatur- og en mengderegulering. Temperaturen på turvannet fra varmesentralen på Klemetsrud er temperaturkompensert og følger en oppsatt kurve, avhengig av utetemperaturen. Maksimal temperatur på turvannet fra varmesentralen er 120 °C. Sekundærnettet fra undersentralen på Brønna er dimensjonert for en høyeste turtemperatur på 80 °C, fig. 57.

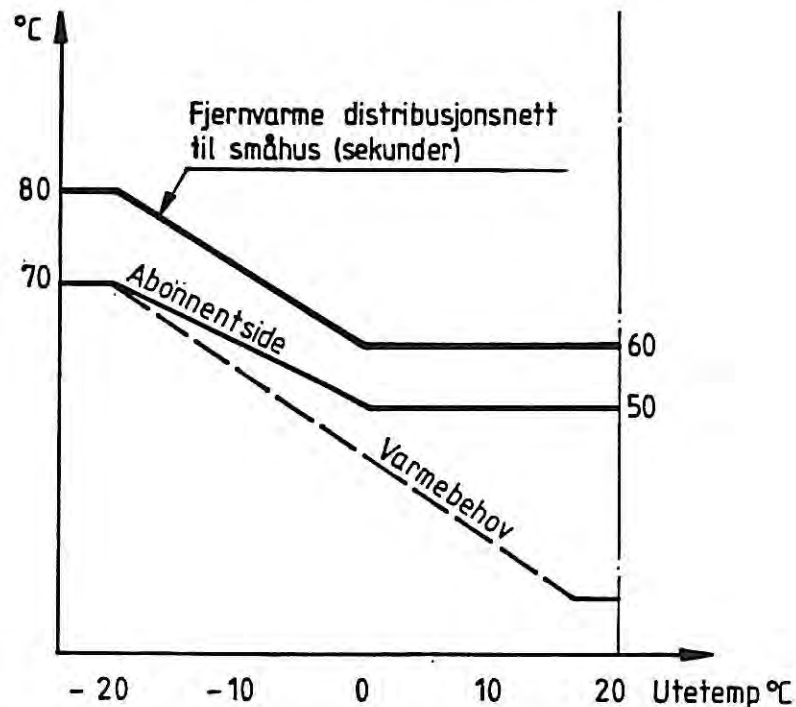


Fig. 57. Turtemperaturen i sekundærnettet og hos abonnent.

Radiatoranlegget i boligene er dimensjonert for en tur-/returtemperatur på 70/50 °C. For å sikre at hver bolig får en riktig effektleveranse, er det her benyttet en mengderegulering. Det er derfor montert en innreguleringsventil i hver bolig. Samtidig er rørdimensjonene valgt slik at reguleringsventilene som er plassert ved alle avgreninger står mest mulig åpne. Dette er viktig for å kunne holde dimensjonene på sekundærnettet på et minimum. Det er konsekvent benyttet reguleringsventiler ved alle hovedavgreninger, for å kunne måle vannmengden. Det er nødvendig hvis vannforsyningen skulle bli uregelmessig for å kunne kartlegge feilen hurtig. Alle innreguleringsventiler er forhåndsinnstilt etter beregninger ut fra dimensjonerende verdier. Proporsjonaliteten i nettet beholdes ved å benytte en regulering av pumpeturtallet. Den enkleste måten å styre dette turtallet på er å regulere det etter returtemperaturen. Hvis returtemperaturen tilbake til pumpen er for høy, reduseres pumpeturtallet. Dette er den enkleste formen for styring av pumpeturtallet og vil gi en meget økonomisk drift av pumpene.

På Brenna er i tillegg hver abonnentsentral utstyrt med en returbegrenser som har til funksjon å sikre at returvannet ikke kommer tilbake til hovedvarmeveksleren med for høy temperatur. Denne returbegrenseren gjør at vannføringen i sekundærnettet kan variere sterkt over året. Returbegrenseren koster omkring kr 1.500,- pr. bolig og kan være berettiget når ledningsnettet er overdimensjonert og forbruksmønstret ukjent. I et riktig dimensjonert og innregulert rørnett vil en mengderegulering ved hjelp av en returbegrenser i hver bolig kunne føre til et uønsket høyt trykk ute i nettet når vannmengdene er små. For å forhindre denne trykkstigningen i nettet som kan gi støyproblemer, er det viktig med en pumperegulering. Den mest effektive måten dette kan utføres på, er igjen å bruke pumper med turtallsregulering. Dette vil gi den enkleste utførelsen av rørnettet i undersentralen, idet en bare benytter en pumpe, pluss en i reserve. Bruk av returbegrensere i hver bolig vil komplisere styringen av pumpeturtallet som ellers direkte kan styres av returtemperaturen. Imidlertid kan en utføre en enkel trykk- eller temperaturstyring når driftsforholdene er kjent. En annen mulighet for styring er flere pumper eller en shuntkobling i undersentralen. Dette vil gi en dårligere styringsmulighet når det som på Brenna er montert retur- begrensere i abonnentsentralene som gir en direkte mengderegulering. Bruk av en shuntkobling vil gi høyere returtemperaturer og føre til høyere driftskostnader på pumpene. Fjernvarmenettet på Brenna er prosjektert under forutsetning bruk av pumper med variabelt turtall. Men det ble av prinsipielle grunner ikke akseptert av Oslo lysverker, som ønsker pumper med fast turtall.

Turtallstyring av motorer ved hjelp av frekvensomformere er i dag vanlige i en rekke forskjellige anlegg og er meget driftssikkert. Spesielt i anlegg som inneholder komponenter av plast, både som isolasjon og rørmaterialer, er det viktig for å øke levetiden at anlegget kjøres med lavest mulig trykk og temperatur. Levetiden på kopperrør er også avhengig av vannhastigheten, som ikke bør være for høy. Lavt temperaturnivå er en forutsetning for å holde et lavt varmetap. En mer dynamisk styring av fjernvarmeanleggene vil derfor både være gunstig rent driftsøkonomisk, gi mindre muligheter for støy, og gi anleggene økt levetid. Disse forholdene kan i praksis bare oppnås ved å ta i bruk en turtallstyring av pumpene.

Sirkulasjonspumpene på Brenna har en løftehøyde på 5,5 bar ved 30 l/s. Motoreffekten er på 22 kW. Figur 58 viser sjematisk trykkforholdene i anlegget. Overslagsberegninger viser at tilleggskostnadene på å kjøre med faste pumper ligger fra kr 10.000,- til kr 15.000,- pr.år. Dette skyldes økte driftsutgifter på pumpene. En del av denne pumpeenergien vil bli overført til vannet i form av oppvarming. Dette må imidlertid betraktes som tap da en vil få en tilsvarende reduksjon i leveranse av fjernvarme. Frekvensomformerer kan spares inn i løpet av en treårs periode, når det tas hensyn til at monteringskostnadene med flere

pumper i undersentralen vil bli høyere ved bruk av faste pumper. Hvis det velges pumper med turtallstyring, vil bruk av returbegrensere være unødvendig og direkte uønsket. Ved ikke å montere returbegrensere reduserer kostnadene på Brenna med kr. 300.000,-.

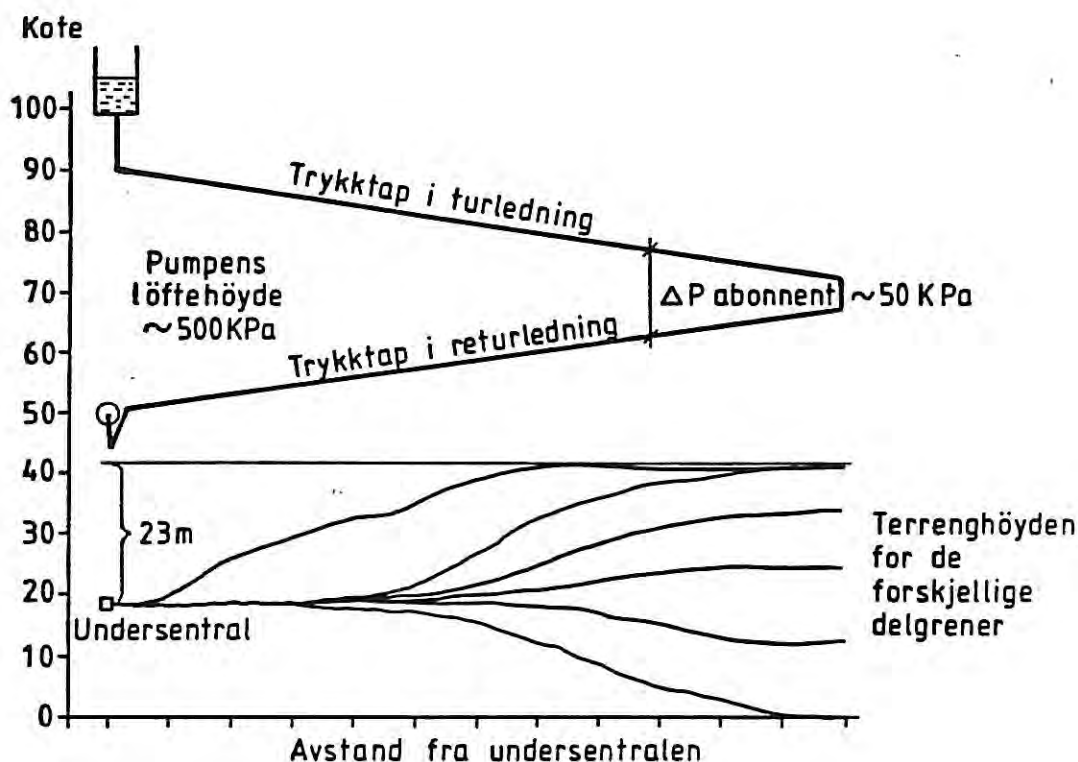


Fig. 58. Trykkforløpet i rørettet på Brenna sjematisk fremstilt. (Indirekte anlegg)

Om en forhåndsinnstilling av innreguleringsventilene vil gi et tilfredstillende resultat, gjenstår ennå å se. Det vil avhenge av hvor nøyaktige innreguleringsventilene er, og om nettet er utført i overensstemmelse med planene. Med moderne beregningsverktøy skulle det imidlertid være mulig å komme fram til en tilstrekkelig stor nøyaktighet ved en forinnstillingsmetode, og bare foreta mindre justeringer hvis enkelte brukere skulle ha et unormalt stort forbruk pga. spesielle forhold. Dette vil kunne redusere innreguleringsposten i anbudet på kr 300.000,- til en brøkdel, da rørleggeren med ubetydelige tilleggskostnader kan forhåndsinnstille ventilene under monteringen.

Innregulering og styring av fjernvarmeanlegg i områder med en småhusbebyggelse er et område som bør vies en langt større oppmerksomhet. Det er viktig at anlegget utføres så driften blir så enkel som mulig. Dette må imidlertid ikke gå på bekostning av dårlig driftsøkonomi. Man må her finne et balansepunkt der både anleggs- og driftsøkonomien forsøkes optimalisert. Her kan moderne teknologi tas i bruk med automatisk styring av pumper etc.

KOSTNADSANALYSE

Grøftekostnader hovedgrøft

På Brenna har hovedgrøfta i gang-/sykkelveien langs samleveien en lengde på ca. 900 m. I hele grøftestrekket ligger det en hovedvannledning, samtidig som grøfta tjener som en kabelgrøft. I 90% av grøftetraseen ligger det en eller flere høyspentkabler. I 180 m av grøfta mot syd ligger det en 150 mmØ vannledning. For øvrig er ledningsdimensjonen 200 mm Ø. Materialet i vannledningen er duktilt støpejern. 52% av grøfta er fellesgrøft med hovedgrener på fjernvarmesekundærnett. Bare ca. 30% av grøfta har en spillvannsledning. I hele grøftelengden er det lagt ned en eller flere drensledninger og to tomme ekstra varerør for kabler. Ved alle veipasseringer er kablene lagt i varerør. Karakteristiske grøftesnitt er vist på Figurene 10 og 11. Den totale grøftebredden ligger på 1,4 m, og grøftedybden på 1,1 m. Med denne grøftedybden vil ca. 65% av grøftene ligge i løsmasser, mens de resterende 35% ligger i en kombinasjon av fjell og/eller løsmasser.

Grøft i løsmasser:

Grøftebredden 1,4 m, dybde 1,1 m justerte anbudspriser ekskl. mva. og rigg:

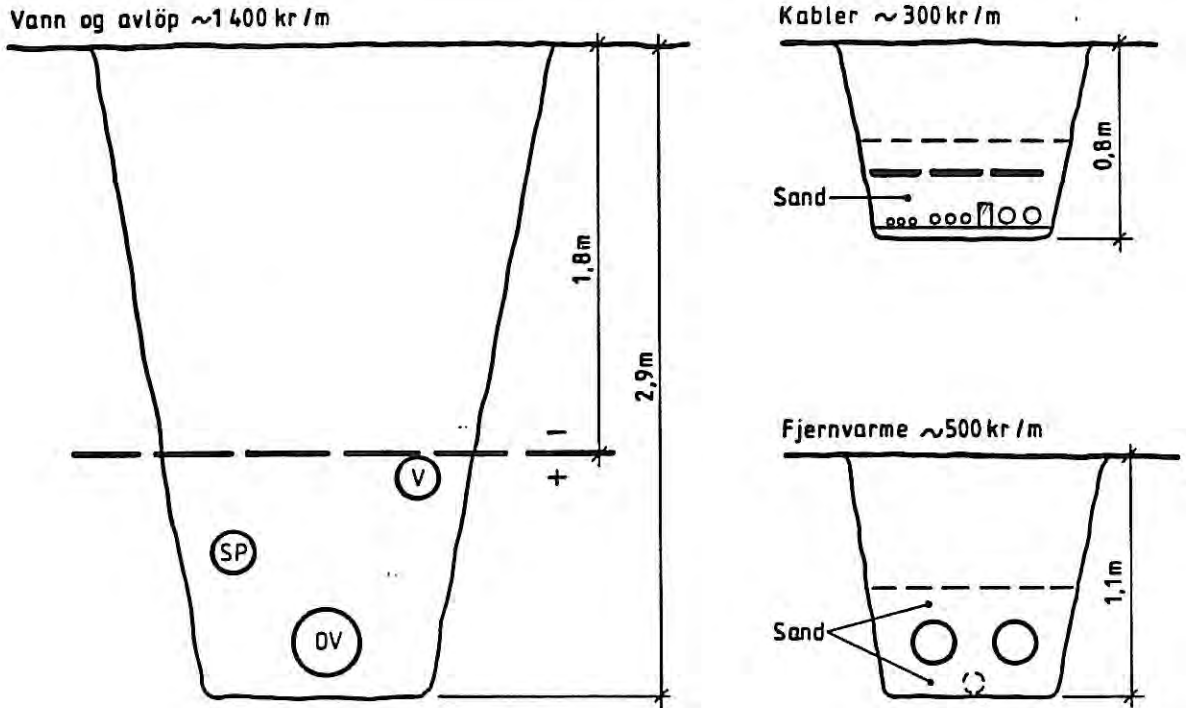
	Grøft u/fjernvarme kr/m	Grøft m/fjernv. kr/m
Graving	100,-	100,-
Oppfylling/planering (gangvei)	80,-	80,-
Pukk i fundament	80,-	80,-
Omfilling med pukk	140,-	100,-
VA-isolasjon	88,-	45,-
Fiberduk topp/side/bunn	45,-	45,-
SUM	533,-	450,-

Grøfter i fjell/løsmasser:

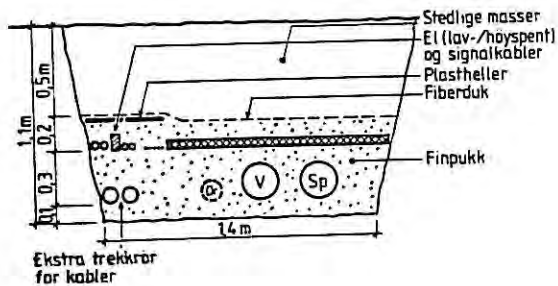
Graving/sprengning	290,-	290,-
Oppfylling/planering (gangvei)	80,-	80,-
Pukk i fundament	80,-	80,-
Omfilling med pukk	140,-	100,-
VA-isolasjon	88,-	45,-
Fiberduk topp	20,-	20,-
SUM	698,-	615,-

Tabellen viser at den gjennomsnittlige grøftekostnaden for fellesgrøftene med fjernvarme langs samleveien ligger på ca. 500,- kr/m. Figur 59 gir en oversikt over grøftekostnadene med tradisjonell utførelse med separate grøfter og fellesgrøfter. Kostnaden for fellesgrøfta utgjør bare ca. 23% av kostnadene for de separate grøftene. Samtidig er det flere kostnadsbærere i

fellesgrøftene.



Fellesgrøft uten fjernvarme
583 kr/m



Fellesgrøft med fjernvarme
500 kr/m

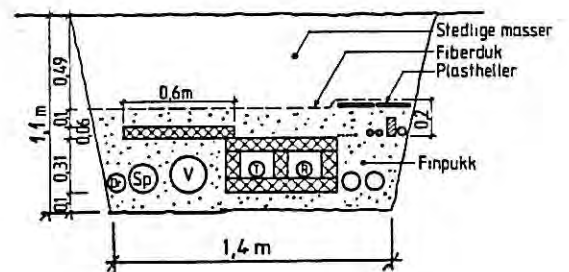


Fig. 59. Grøftekostnader hovedgrøft. En fellesgrøft med og uten fjernvarme har samme grøftebreidde, men grøfta med fjernvarme har lavere kostnad som bare utgjør 23% av de samlede kostnader for de separate grøftene.

Vi ser at i en hovedgrøft i løsmasser reduseres grøftekostnadene for VA-ledninger og kabler med 16% eller 83 kr/m når denne grøfta kombineres med fjernvarme. Tilsvarende gjelder for en kombinert løsmasse/fjellgrøft der reduksjonen er 12%, da denne har noe høyere total kostnad. Denne reduksjonen skyldes det forholdet at frostisoleringen halveres når det legges fjernvarme i grøfta.

Utførelsen, med bruk av en isolasjonskasse for fjernvarmerørene, gir også et bidrag til den generelle frostisoleringen av VA-ledningene. I tillegg vil pukkmengden reduseres med ca. 30% på grunn av isolasjonskassen. Isolasjonskassen er relativt stor og kan ta rør opp til en dimensjon på 120 mm Ø.

Da hovedgrøfta også er et magasin og en vannvei for overvann, er det forlangt at det skal benyttes en fiberduk både i topp, side og bunn i grøfter i løsmasser. I fjellgrøfter er det bare brukt fiberduk over grøfta. På grunn av relativt grunne grøfter, ligger kostnaden i en kombinert løsmasse/fjellgrøft bare 30-40% høyere enn for en grøft i rene løsmasser.

Reduksjonen i grøftekostnader på 83 kr/m vil kunne trekkes fra framføringskostnadene for fjernvarme, i tillegg til at fjernvarmenettet kan legges kostnadsfritt i grøfta. Dette er forhold som må komme i betraktning når man skal vurdere om det skal anlegges fjernvarme i et område. Et annet forhold er fordeling av grøftekostnader mellom etatene. For hovedgrøfter vil de forskjellige etatene bli belastet for grøftekostnadene. Denne fordelingen må man forhendle om. Vanligvis tar man utgangspunkt i den plassen som de forskjellige etaters anlegg opptar av grøftetverrsnittet. Men som det går fram foran kan et slikt vanlig utgangspunkt føre til skjev fordeling når det gjelder fjernvarmenettet, som bidrar positivt til å redusere de samlede grøftekostnadene. Et forslag til en mer rettferdig fordeling av grøftekostnadene er behandlet i avsnittet om sekundærledninger.

Kabler i hovedgrøfta langs samleveien

Figur 5 viser plassering av trafostasjoner og trasé for høyspentkablene. Høyspentkablene ligger i fellesgrøft med de øvrige kablene, fjernvarme og hovedvann- og avløpsledningen som følger samleveien, fig. 10. Denne samleveien har ni krysninger med andre atkomstveier der kablene skal trekkes i varerør. Når det gjelder anlegg av kabler i fellesgrøfter, vil utførelsen og plasseringen ha stor innflytelse på grøftekostnadene. Som det framgår av grøftesnittene, er det en rekke kabler som skal følge hovedgrøfta. Hovedgrøfta kan f.eks. inneholde de kablene som er vist i tabellen som følger, der det er angitt de prisene som er benyttet på Brenna, når det gjelder trekking av kabler i grøft og i varerør.

Leggekostnader kr/m		u/varerør	i/varerør eks.varerør
Høyspent 3·240 mm ² A1	..... 2 stk.	2·10 = 20,-	2·40 = 80,-
Lavspent 3·240 mm ² A1	..... 2 "	2· 5 = 10,-	2·20 = 40,-
" 25 Cu (gatelys)	..... 1 "	2,-	20,-
Tele	..... 1 "	2,-	20,-
TV	..... 1 "	2,-	20,-
Jord	..... 1 "	2,-	2,-
SUM	8 stk.	38,-	182,-

På Brenna er det hovedentreprenøren som trekker kablene. Prisene i tabellen er rene anbudspriser, ekskl. mva., som viser størrelsen på legge- og trekkekostnader for kablene.

Det er planlagt å legge kablene direkte i grunnen uten bruk av trekkør. Varmeteknisk vil det ha liten innflytelse om kablene legges i varerør i pukkmasser eller direkte i pukkmassene. Som en ekstra sikkerhet er det lagt ned to tomme varerør på 100 mm Ø i hele grøftas lengde. I et karakteristisk grøftesnitt vil leggekostnader for kablene, inkl. trekkørørene, ligge på 108,- kr/m.

Hvor mye varme kablene avgir, blir det samme enten de ligger direkte i pukkmasser eller i varerør i pukk. Plasseringen i grøftetverrsnittet er mer viktig i denne forbindelsen. Som det framgår av grøftesnittene, er kablene plassert relativt høyt i grøfta. I tillegg til rent produksjonstekniske fordeler, se fig. 60, vil denne plasseringen gi elkablene en optimal avkjøling vinterstid når belastningen er størst.



Fig. 60. Kablene trekkes etter at VA-ledninger og fjernvarme er lagt.

Når det benyttes ensgradert finpukk som omfyllingsmaterialer rundt kablene, viser målinger at det ikke er nødvendig med ytterligere mekanisk beskyttelse av kablene ved å legge dem i varerør ved veipasseringer. Imidlertid er kablene av produksjons- og vedlikeholdsmessige grunner trukket i varerør i en lengde på ca. 6 m ved veipasseringer. Da trekkørerne legges på samme fundament som VA-ledninger og fjernvarme, oppnår man en hurtig produksjon ved at grøfta kan fylles igjen umiddelbart uten å vente på kabeltrekkingen. Dette er viktig ved veipasseringer slik at en stans i trafikken blir kortest mulig. Da høyspent- og de store lavspenstkablene som benyttes på Brenna, er relativt kostbare (200-100 kr/m), vil disse vanligvis repareres hvis det oppstår brudd e.l. Dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle idet kabelskjøter, spesielt for høyspenstkablene, er meget kostbare. Mindre kabler kan det være mer hensiktsmessig å erstatte. Internt i boligområdet er det lagt opp til en erstatning av kablene, idet her vil ingen kabler bli trukket i varerør.

Varerørerne kan kreve bredere grøfter, i tillegg til kostnadene for å legge dem ned. Plasseringen av trekkerørerne i grøftesnippet er derfor viktig. Som det framgår av grøftesnippet, er trekkørerne plassert under kablene. Dette er gjort for å utnytte tilgjengelig plass i grøftesnippet. Ved å benytte denne plasseringen, kan en få plass til 6 varerør uten å utvide grøfta. I tillegg vil pukkmengden reduseres, se fig. 61.

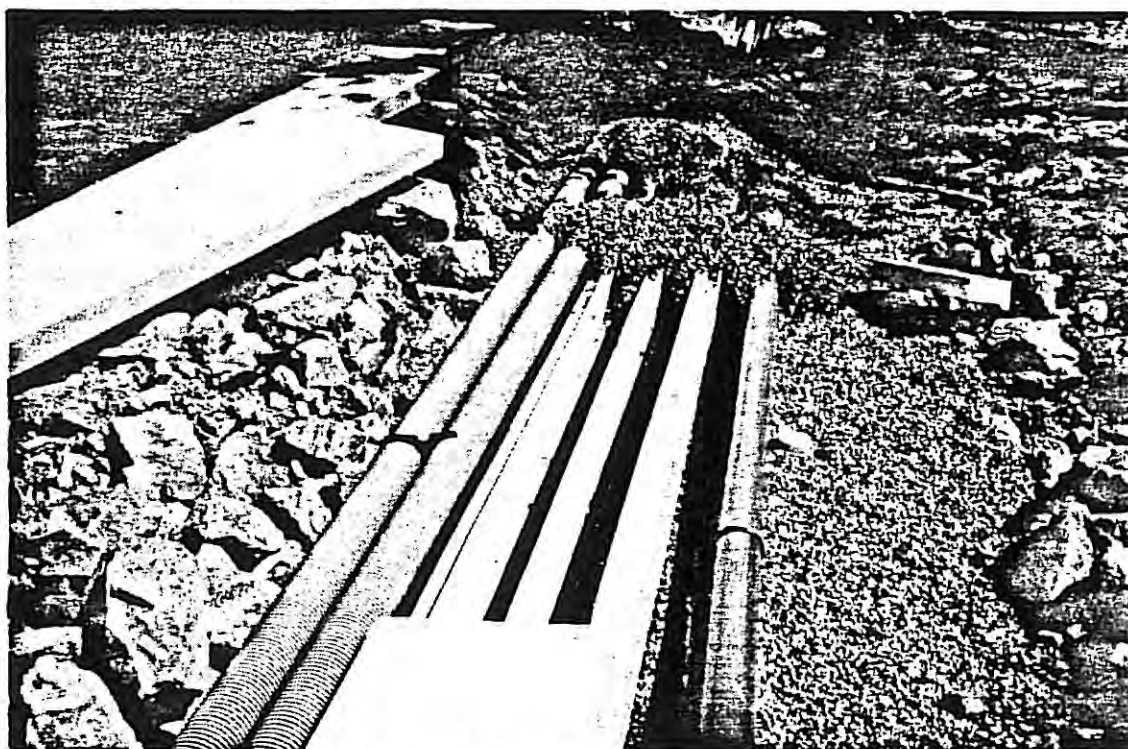


Fig. 61. Ved å utnytte ledig plass i grøfta kan en få plass til 6 stk. varerør, f.eks. ved veipassering uten å øke grøftebredden.

Vanligvis er det et krav om å legge kablene i varerør, hvis de legges i veibanen eller krysser veier. På Brenna koster et 110 mm Ø trekkør 30,- kr/m ferdig lagt i grøfta. Dette komme i tillegg til trekkekostnadene, angitt i tabellen. Høy- og lavspenstkablene legges i egne rør, mens signal-

kablene kan legges i et fellesrør. Dette gir et minste antall på 5 rør. I tillegg bør det legges med et par tomme rør for senere supplering. Kravet om å legge kablene i rør gir en rørkostnad på 210,- kr/m og en total leggekostnad på 392,- kr/m.

Tradisjonelt bruker man prefabrikkerte, omstøpte rørkryss når det benyttes sand som omfyllingsmaterialer. Denne konstruksjonen er kostbar, og det er innhentet priser på en slik utførelse på Brenna på totalt 465.000,- kr eller ca. 2.400 kr/bolig. Hvis denne utførelsen erstattes med vanlig trekkør omfylt med finpukk, er det ikke nødvendig med omstøping selv i samleveier med tung trafikk. Trekkørerne koster 30 kr/m, eller totalt ved alle veikryss ca. 90.000,- kr, eller 450 kr/bolig. Det gir en besparelse på ca. 2.000,- kr/bolig eller totalt på Brenna på 380.000,-.

Av ovennevnte kostnader framgår det at det skal relativt vektige grunner til før det kan lønne seg å trekke kablene i varerør med de trekkeprisene som benyttes på Brenna. Av rent produksjonstekniske grunner kan det f.eks. være hensiktsmessig å legge ned varerør om vinteren og trekke kablene når temperaturforholdene er mer gunstige for kabeltrekking. På Brenna koster det mer å trekke høyspentkablene i varerør enn selve rørkostnaden, mens de store lavspenkablene (3·240 mm²Al) kan trekkes i varerørerne for 20,- kr/m. Produksjonsteknisk kan det lønne seg for grunntreprenøren å legge ned tomme trekkør og trekke kablene på et senere tidspunkt. Denne gevinsten vil vanligvis ikke komme fram i prisene idet bruk av varerør alltid vil føre til betydelige tilleggskostnader. Når grunntreprenøren selv har ansvar for koordinering og trekking av kablene, vil en ofte kunne unngå unødig bruk av trekkør.

Den løsningen som er valgt på Brenna, gir et rimlig kompromiss. Her er kablene lagt av grunntreprenøren og bare trukket i varerør ved veipasseringer. Videre er det lagt ned to tomme trekkør i hele hovedgrøftas lengde og et visst antall tomme ekstrarør ved veipasseringer. Det ligger også et drenerør i hele grøftas lengde. Dette kan også benyttes til kabler hvis de andre rørene er fulle. Utførelsen gir langt den rimligste løsningen med å legge kabler. Disse forholdene blir nærmere vurdert for sekundærgrøftene som utgjør de store lengdene der de økonomiske konsekvensene for valg av løsning slår langt mer ut.

Grøftkostnadene kan reduseres mye ved å benytte fellesgrøfter for høyspentkablene. Avhengig av av de totale grøftkostnadene, antallet kostnadsbærere, og den plassen i grøfta som kablene opptar, vil en lett kunne halvere grøftkostnadene i forhold til at man bruker egne grøfter for hovedkablene. Hvis en tar utgangspunkt i grøftkostnader i egne grøfter på 300 kr/m, vil en kunne betale bare ca. 150 kr/m i fellesgrøfter. Det er da viktig å være mer nøktern mht. krav til grøftebredden, og utnytte ledig plass i grøfta til trekkør uten å forlange at disse skal legges på samme horisontale plan som kablene. På Brenna er det ca. 1300 m med høyspentkabler. Med en kostnadsbesparelse på 150 kr/m, vil dette bare for høyspentkablene gi en reduksjon i kostnadene totalt på 195.000,- kr eller ca. 1.000,- kr/bolig.

I alt er det mulig å spare om lag kr 575 000,- bare for elkablene i hovedgrøfta ved å benytte omfylling med finpukk ved veikryss på Brenna. Det er ca. 3.000,- kr pr. bolig.

Hovedvann- og avløpsledninger

Hovedledningsnettets på Brenna er utført meget rasjonelt, samtidig som det bare er ca. 5 m hovedvann- og vel halvparten hovedspillvannsledninger pr. bolig. Ved å legge ledningene grunt, på samme horisontale plan i fellesgrøfter, og bruke prefabrikkerte spillvannskummer, nedgravde ventiler, forenklet overvannssystem m.m. ligger kostnadene bare på ca. 20% av hva et tilsvarende tradisjonelt hovedledningsnett vil koste. Denne besparelsen vil på Brenna utgjøre ca. 2 mill. kr. Hvis en sammenligner med et tradisjonelt hovednett med hovedledninger også i atkomstveiene, vil besparelsene bli enda større. På Brenna vil en stor del av et tradisjonelt utført hovedledningsnett bli erstattet av et langt rimligere sekundærnett, se fig. 62.

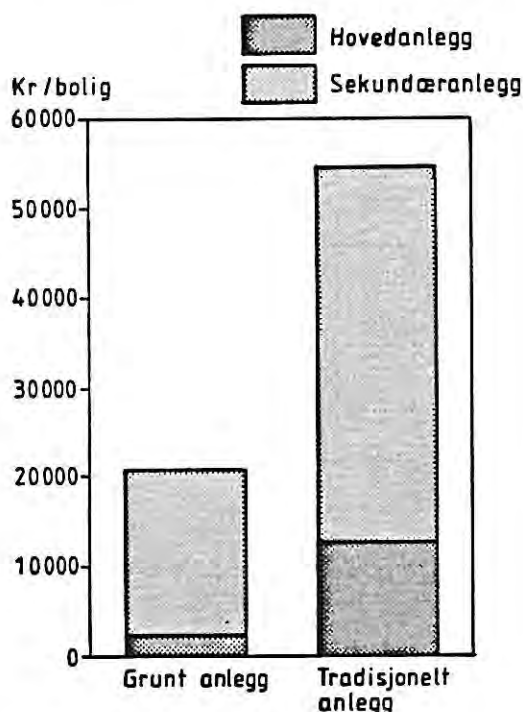


Fig. 62. Besparelsene på vann- og avløpsnettets på Brenna sammenlignet med en tradisjonell utførelse. Kostnadene for hovednettets er redusert med ca. 80%, og sekundærnettets med ca. 56%.

Hele hovedgrøfta langs den offentlige samleveien tjener som et magasin og en vannvei for overvann fra samleveien, og er derfor fritatt for merverdiavgift. Da hovedgrøfta er fellesgrøft for VA-ledninger, fjernvarme og kabler, vil dette slå svært gunstig ut. Avgiftsfritaket blir i samme størrelse som elkablens andel av grøftekostnadene. Hvis det brukes en tradisjonell utførelse med separate grøfter, vil det bare bli VA-grøfta med overvannsledning som får avgiftsfritaket, mens de øvrige grøftene for kabler og fjernvarme blir belastet med fulle avgifter.

Grøftekostnader sekundærgrøft

I et boligområde med småhus er det sekundærgrøftene i terrenget og under hus som utgjør hovedtyngden av grøftene i området. På Brenna er det vel 6 km med sekundærgrøfter. Figurene 29 og 30 viser et representativt snitt av disse grøftene. Omkring 90% av grøftene er fellesgrøfter med VA-ledninger, fjernvarme og kabler. Da det er benyttet ringledninger på vannledningsnettet, er det en del grøfter uten fjernvarme, men med kabler, vann- ev. spillvannsledninger i en isolasjonskasse. Denne grøfteutførelsen ville bli benyttet generelt i feltet hvis det ikke skulle framføres fjernvarme. Dette gir oss en god anledning til å vurdere kostnadene med og uten anlegg av fjernvarme.

I dette tilfellet vil fellesgrøfta med fjernvarme ha en bredde på 1,15 m og en dybde på 0,86 m, mens den ordinære VA-grøfta har en bredde på 0,75 m og en dybde på 0,9 m. Ifølge anbudet vil ca. 65% av grøftene ligge i løsmasser, og ca. 40% av grøftene ligger under hus. Dette er i god overensstemmelse med andre anlegg i tilsvarende terreng.

Grøft i løsmasser:

Justerte anbudspriser ekskl. mva. og rigg:

Tabell

	Grøft u/fjernvarme kr/m	Grøft m/fjernvarme kr/m
Graving	70,-	70,-
Oppfylling/planering	110,-	110,-
Pukk i fundament	30,-	40,-
Omfilling med pukk	90,-	90,-
Pukk i VA-kasse	20,-	-
Fiberduk topp/bunn	21,-	21,-
VA-isolasjonskasse	115,-	-
Isolasjonsplate VA	-	45,-
Drensledning	30,-	30,-
SUM	486,-	406,-

Grøfter i fjell/løsmasser

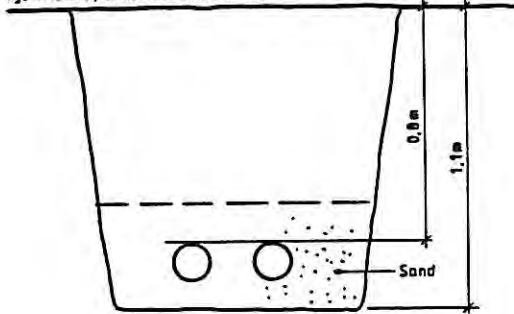
Graving/sprenging	240,-	240,-
Oppfylling/planering	110,-	110,-
Pukk i fundament	30,-	40,-
Omfylling med pukk	90,-	90,-
Pukk i VA-kasse	20,-	-
Fiberduk topp	21,-	21,-
VA-isolasjonskasse	115,-	-
Isolasjonsplate VA	-	45,-
<u>Drensledning</u>	-	-
<u>SUM</u>	<u>626,-</u>	<u>546,-</u>

Tabellen viser at gjennomsnittlige grøftekostnader for sekundærgrøftene med fjernvarme ligger på ca. 455,- kr/m. Figur 63 viser grøftekostnadene ved en tradisjonell utførelse med separate grøfter og fellesgrøfter. Kostnadene for fellesgrøftene utgjør bare ca. 30 % av kostnadene for de separate grøftene. I virkeligheten vil besparelsen bli større da en konvensjonell utførelse med ledninger og kabler i atkomstveien vil føre til en økning av grøftelengden på 25 %, se fig. 24.

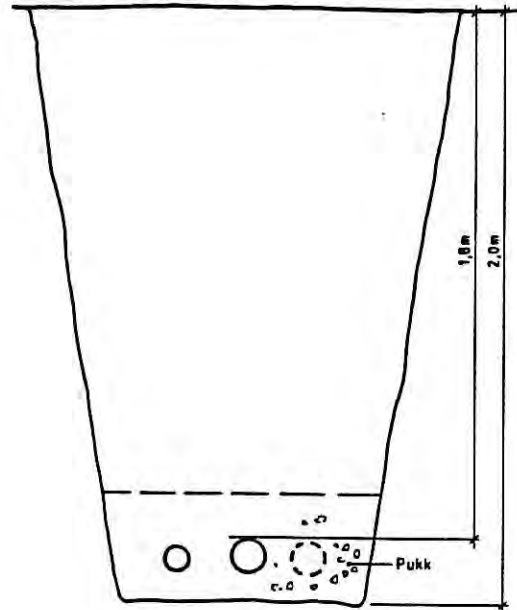
Som for hovedgrøfta framgår det at grøftekostnadene er lavere for en fellesgrøft med fjernvarme enn uten. Differansen er 80 kr/m som gir en reduksjon i grøftekostnadene i jordgrøfter på 16% og 13% i fjellgrøfter, til tross for at grøfta med fjernvarme er 0,4 m bredere. Nå er det imidlertid slik at en grøftbredde under 1,0-1,2 m vanligvis slår lite ut på kostnadene. Dette skyldes det forholdet at det benyttes gravemaskiner med en skuffebredde på rundt en meter.

Grøftekostnadene i fjell er 140,- kr/m høyere enn tilsvarende i løsmasser. Igjen er det bare benyttet fiberduk over grøfta i fjellterreng samtidig som det ikke er lagt noen drensledning i disse grøftene. Fjernvarmeisolasjonen vil som i hovedgrøfta også inngå som en del av frostisoleringen av VA-ledningene. Det er derfor tilstrekkelig å benytte en horisontal isolasjonsplate over VA-ledningene i stedet for å legge disse inne i en isolasjonskasse. Selv om fjernvarmeanlegget settes ut av drift, vil denne isolasjonskombinasjonen allikevel gi VA-ledningene en tilfredstillende frost-sikkerhet, se fig. 27 og 28.

Fjernvarme, sekundær ~500 kr/m



Sekundærledn. VA ~700 kr/m



El., Tele, TV-kabler ~300 kr/m

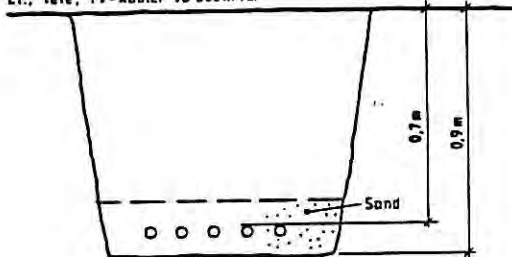
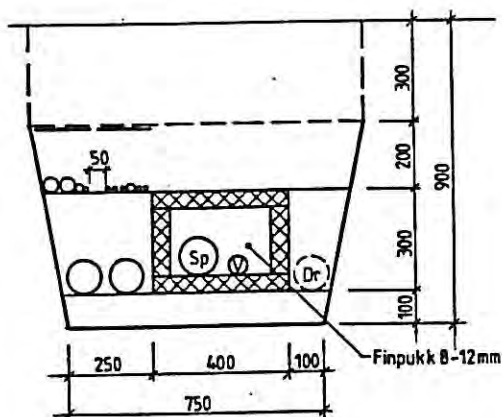
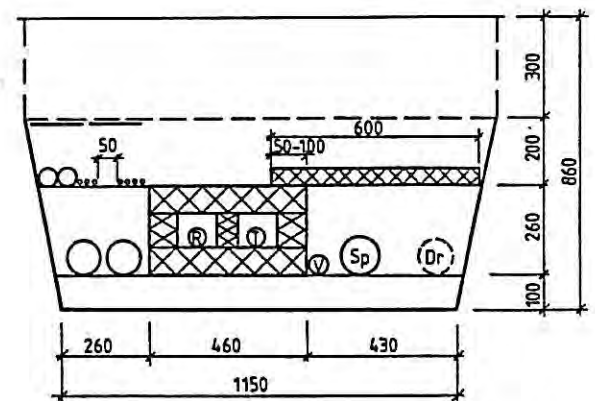
Fellesgrøft uten fjernvarme
535 kr/mFellesgrøft med fjernvarme
455 kr/m

Fig. 63. Grøftkostnader sekundærgrøfter. Sekundærgrøfta uten fjernvarme er mer kostbar da det må benyttes mer isolasjon for å frostsikre VA-ledningene.

Fordeling av grøftekostnader

For grøftene under hus vil grøftekostnadene med og uten fjernvarme bli nærmest de samme. Det benyttes ikke isolasjon på VA-ledningene under boligen. Isolasjonen er ført ca. 1 meter inn under ringmuren på hver side. Dette betyr at det ikke er frostisolering på ca. 28% av VA-grøftene. Ved å samordne fjernvarme med fellesgrøfta for VA og kabler, oppnås en total besparelse for VA-grøfta på ca. kr 320.000,- eller kr 1.700,- pr. bolig. Fjernvarmenettet belastes derfor ikke for grøftekostnader, og får en kostnadsreduksjon på 57 kr/m. Dette resulterer i at leggekostnadene for isolasjonskulverten for VA- og fjernvarmerørene blir nesten de samme.

Tas det hensyn til rigg og mva., vil den delen av grøftekostnadene som skal fordeles på VA-ledninger og kabler ligge på ca. 600 kr/m. Når denne fordelingen skal foretas, kan en ta utgangspunkt i de tradisjonelle grøftekostnadene for VA-ledninger og kabler i egne grøfter, fig. 63, og sørge for at de som benytter grøfta, får samme prosentvise besparelse. Som et gjennomsnitt kan en regne med grøftekostnader for en kabelgrøft på ca. 300 kr/m og en VA-grøft i frostfri dybde på ca. 800 kr/m da denne grøfta i det vesentlige vil ligge i fjell. Med dette fordelingsprinsippet, vil VA-ledningene bli tillagt grøftekostnader på 440 kr/m og kabeletaten 160 kr/m. Begge disse gruppene får en reduksjon i grøftekostnadene på ca. 45% i stedet for å gå i egne grøfter. Når kabelene består både av el- og signalkabler, bør grøftekostnadene deles likt mellom disse. Det betyr at elkablene vil bli tillagt en grøftekostnad på 80 kr/m og Tele- og TV-etat hver 40 kr/m.

Sekundærnett for vann- og avløp

Ved å benytte ovennevnte fordelingsnøkkel når det gjelder grøftekostnadene, viser beregninger at den valgte løsningen med bruk av fellesgrøfter under hus gir en besparelse på 56%. Det er sammenlignet med en tradisjonell utførelse med sekundærledninger i atkomstveiene. På grunn av de helningsforholdene en har på Brenna, vil det ikke være mulig å oppnå en tosidig utnyttelse av en spillvannsledning i atkomstveiene, se fig. 23. Det er derfor i tillegg til grøftene i atkomstveiene nødvendig med en avskjærende avløpsledning i terrenget mellom husrekkene. Dette vil gi en meget kostbar løsning og vil helt kunne ødelegge vegetasjonsbeltet mellom boligene, som er urørt på Brenna.

En besparelse på 56% på sekundærnettet for vann og avløp på Brenna utgjør ca. 4,6 mill. kr, i sammenlikning med et tradisjonelt anlegg som vil koste vel 8 mill. kr. VA-nettet på Brenna har totalt kostet ca. 4,0 mill. kr. En tradisjonell utførelse av hele VA-nettet vil koste i størrelsesorden 10,6 mill. kr. Dette betyr en besparelse ved bruk av grunne fellesgrøfter på hele 6,6 mill. kr eller vel 60%, se fig. 62. Denne besparelsen ligger på samme nivå som tilsvarende andre anlegg med grunne ledninger i fellesgrøfter. Dette bekrefter at den valgte fordelingsnøkkelen for grøfte-

kostnadene er rimlig, og at det å legge fjernvarme i fellesgrøftene kan være økonomisk meget fordelaktig.

Kabler

Som for hovedgrøfta er alle kablene plassert høyt i grøfta for en rasjonell utførelse og god kjøling av elkablene. Dette er bl.a. hovedforsyningskabler som går fra trafostasjonene til og mellom fordelingsskapene og stikkabler inn til de enkelte boligene. Stikkablene er hengt opp på et stativ på siden av byggegruben mens grunnmursarbeidene pågår. For å forhindre skader på kablene og oppnå en hurtig lukking av grøftene, er det viktig at fordelingsskapene settes opp samtidig med grøftearbeidene. Kortest mulige kabler og grøfter oppnås ved å plassere fordelingsskapene i tilknytning til grøftene. En riktig høydefastsetting av skapene krever at en kjenner utomhusplanene i detalj. Det kan i en rekke tilfeller være hensiktsmessig å plassere fordelingsskapene i tomtegrensen hvis en ikke kjenner nøyaktig hus- og garasjeplassing. Fordelingsskapene kan også plasseres i tilknytning til atkomstveiene der sekundærgrøftene passerer disse. En generell plassering av skapene i tilknytning til veiene vil føre til betydelige tilleggskostnader og rasering av terreng mellom husene. Det er et betydelig antall kabler som skal fram og tilbake fra skapene. Da fordelingsskapene er relativt store, og det er viktig at en er nøye med plasseringen og høydefastsettingen slik at disse blir minst mulig skjemmende, men samtidig tilgjengelige. Det er også viktig at koblingsboksene for signalkablene festes på elskapet. Dette ville lette utførelsen og redusere kostnadene. Men det var det imidlertid ikke mulig å få til på Brenna, der det ble brukt separate stativer for de forskjellige skapene, fig. 25.

På Brenna ble det krevd at fordelingsskapene skulle plasseres på tradisjonell måte i veikanten. Et vesentlig argument for denne plasseringen var at driftspersonalet skulle ha lett adgang til skapene. Når grøftetraseen i det vesentlige ligger under hus, vil avstanden fra grøfta og fram til atkomstveien ligge mellom 10-15 m, og i enkelte tilfeller helt opp til 30 m.

Som for høyspentnettet følger fordelingsnettet for kablene fellesgrøftene for VA-ledninger og fjernvarme. For å få en oversikt over kostnadene ved forskjellig utførelser av kabelnettet, kan dette best belyses ved et enkelt eksempel, fig. 64. Her er kablene lagt tradisjonelt i veien med stikkledninger inn til de enkelte husene og tilsvarende kabler under husrekkene. Tabellen vist i fig. 65 angir kabellengder og kostnader ved forskjellig utførelser av elnettet. I dette regneeksemplet er det brukt priser på fordelingskablene ($240 \text{ mm}^2 \text{Al}$) på 100 kr/m og stikkablene ($16 \text{ mm}^2 \text{Cu}$) 50 kr/m. Det er videre regnet med en grøftepris for kabelgrøftene på 300 kr/m, og 150 kr/m for fellesgrøftene med VA-ledningene. Det forutsettes at det ved den tradisjonelle utførelsen er benyttet en omstøpt kabelkryssing med de prisene som er gitt i anbudet. På Brenna ble det bare lagt pukkomfylte trekkør med en pris på 30 kr/m. For kabelnettet under hus er standardløsningen på Brenna at ingen kabler er lagt i varerør under hus. Derimot er

det lagt ned to tomme trekrør på 110 mm \emptyset der ett rør er forbeholdt elektriske kabler, fig. 29:

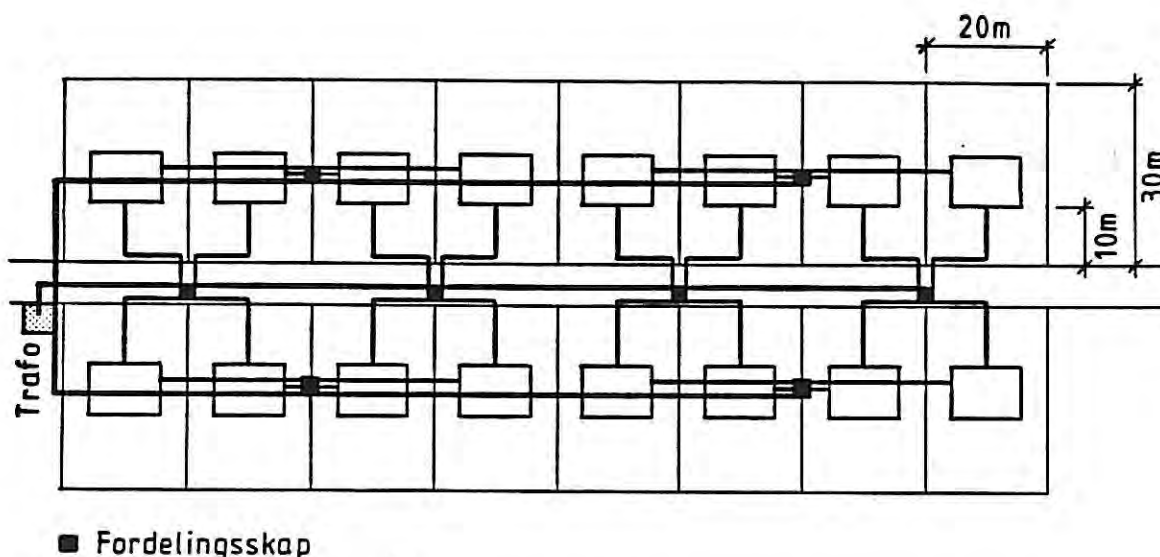


Fig. 64. Eksempel på kabelføring i vei og under hus.

Av tabellen fig. 65 framgår det at grøftelengden for kabeltraseen under hus er 35 % kortere og materialkostnadene ca. 6% lavere enn tilsvarende for et tradisjonelt anlegg med kabler i veien. Den løsningen som er utført på Brenna, med å benytte fellesgrøfter under hus, gir en besparelse på nær 50% når det gjelder framføring av fordelings- og stikkablene. Dette utgjør 6.400 kr/ bolig eller totalt ca. 1,25 mill. kr. Dette er under forutsetning at fordelingsskapene plasseres i tilknytning til grøfta. Kostnadene ved å trekke disse skapene ned til veien er bare for elkablene ca. 12.000 kr/skap eller ca. 3.000 kr/bolig da det er ca. 50 fordelingsskap på Brenna. Hvis man samtidig tar med kablene for tele og TV, vil tilleggskostnadene ligge på ca. 4.000 kr/bolig eller totalt 800.000 kr. På Brenna ble det forlangt at en rekke skap skulle trekkes ned til veien der avstanden fra veien til kabeltraseen var langt større enn i regneeksemplet. Når det er valgt å benytte fellesgrøftene under hus for kablene, er det derfor viktig at fordelingsskapene plasseres i tilknytning til grøftetraseen. Skapene kan plasseres på hus/garasjevegger eller i terrenget, gjerne i naboskillet. Beboerne har ansvar for å sikre at skapene har en brukbar tilgjengelighet.

Det kan for øvrig diskuteres hvor hensiktsmessig en plassering av fordelingsskapene i atkomstveiene er, når en tenker på snøbrøytingen. Skapene er her plassert svært utsatt og kan lett bli skadet eller liggende i en snøfonn. I tillegg kan det ikke sies at denne plasseringen er særlig tiltalende, fig. 25 a. Vi oppnådde da også ut i anleggsperioden å få plassert en del av fordelingsskapene i tilknytning til grøftetraseen. Med litt omtanke vil disse skapene bli minst like lett tilgjengelige som skapene langs atkomstveiene, i tillegg til at de rent visuelt vil ha en langt mer skjermet beliggenhet fig. 25 b.

Regneeksempel. 16 boliger. Elkabler

	Stikkabler 3x16 mm ² Cu	Fordelingsk. 3x240 mm ² Al	Skap	Veikryssing	Trekkør	Grøfter	Trekking	SUM kr/bolig	Skap ned til vei	Alle kab- ler i rør under hus
Kabler i vei	376 m	200	4	4	-	488 m	-	-	-	-
Kostnad/bolig	1.175 kr	1.250 kr	900 kr	750 kr	-	9.150 kr	176 kr	13.401 kr		
Kabler under hus	232 m	274 m	4	(1) varerør	280	322 m	-	-	3.000	1.500
Kostnad/bolig	725	1.712	900 kr	15	525	3.018 kr	115 kr	7.010 kr	-	-

Diff. 6.391 kr

Fig. 65. Kostnader ved å trekke kabler i separate grøfter i atkomstveiene med stikk inn til enkeltboliger (tradisjonelt) og en kabelføring i fellesgrøfter under hus.

Ved å basere elnettet på å erstatte kabler som skades, kan det som på Brenna legges ned et visst antall tomme varerør og legge kablene direkte i grøftene. Dette vil gi lave trekkekostnader for kablene ca. 115 kr/bolig, og en tilleggs-kostnad for trekkørret på ca. 525,- kr/bolig. Hvis man legger opp til en mulighet for å skifte ut kablene, bør kablene trekkes i varerør både under og mellom hus. Dette vil koste ca. 1.500 kr/bolig eller et tillegg på 1000 kr/bolig, eller totalt 200.000 kr hvis man ikke ønsker å legge ned et tomt trekkør som en ekstra reserve. Dersom tilsvarende resonnement legges til grunn også for signalkablene, vil tilleggs-kostnadene mer enn fordobles.

For å holde grøftebredden på et minimum, er det viktig at trekkørrene kan legges på en ledig plass i grøftesnittet. Oslo Lysverker ønsket imidlertid å legge varerørrene i samme horisontale plan som kablene, se fig. 31 a. Denne plasseringen vil innebære at grøftebredden og dermed grøftekostnadene vil øke. Noe ut i anleggsperioden ble trekkørrene lagt på en ledig plass i grøftesnittet under kablene, se fig. 31 b og 61. Fordelen med denne plasseringen er at varerørrene også kan brukes hvis det er behov for å skifte ut vannledningen under huset. Alle etater som har anlegg i felles-grøftene kan ha nytte av disse varerørrene som dermed får flere kostnadsbærere idet antallet varerør kan reduseres. Det kan uten å øke grøftebredden plasseres 6 trekkør i sekundærgrøftene. Det riktige antallet trekkør vil være bestemt av sannsynligheten for at det kan oppstå feil på anleggene, vurdert i forhold til tilleggs-kostnadene ved å legge ned rørene. Det kan diskuteres om ikke det riktige antallet rør burde vært tre, ett for hver etat. Det å øke antallet varerør med ett rør, vil gi en tilleggs-kostnad på vel kr 150.000,-. Hvis entreprenøren har problemer med å koordinere leggingen av kablene, kan det produksjonsteknisk være lønnsomt å legge ned rør for å trekke kablene på et senere tidspunkt. Dette må i så fall direkte komme til uttrykk ved lavere enhetspriser på grøfta.

Ved å benytte felles fundament for fordelings-skapene, vil en bare i skap-montering kunne spare ca. 520 kr/bolig eller totalt 100.000 kr. Det var ikke mulig å få gjennomført dette på Brenna.

Stikkablene for el føres direkte fra grøfta og opp til målerskapet med energimålere for el og fjernvarme og med en hovedbryter. Målerskapet bør derfor settes opp på grunnmuren umiddelbart over grøfta, fig. 26, i stedet for som tradisjonelt ved siden av inngangspartiet. Også signalkablene kan legges sammen med elkablene. Fra målerskapet føres kablene inne i huset fram til sikringsskapet i boligen. Denne utførelsen sikrer en god kontroll med kabelnettet også internt i boligen, samtidig som det permanente anlegget hurtig kan tas i bruk i anleggsperioden. Dette var særlig tilfellet på sørfeltet der fordelings-skapene for det meste ble plassert over ledningstraseen og dermed kunne monteres opp hurtigere. Samtidig ble det en innarbeidet rutine at målerskapet ble plassert på veggen til sokkeletasjen. Denne plasseringen vil kunne redusere kabellengdene med gjennomsnittlig 10 m/bolig. Også dette gir en besparelse i størrelsesorden på 500 til 1000 kr/bolig eller totalt 100.000 til 200.000 kr.

Det er ikke lagt skillestein mellom el- og signalkablene i sekundærgrøftene. Bruk av skillestein kan være direkte uheldig fordi disse lett kan skade kablene. Det er ca. 5 km med sekundærgrøfter, og skillesteinene koster 15 kr/m, vil dette gi en besparelse på ca. 75.000,- kr eller 400 kr/ bolig.

Det er brukt dekkheller over kabeltraseen også under boligene. Ved bruk av finpukk i omfyllingen og i byggegruben, vil disse plasthellene kunne sløyfes under boligene. Disse hellene koster 40 kr/m og dette gir en kostnadsreduksjon på 400 kr/bolig.

Da gatelyskabelen kan legges med begrenset overdekning i veigrøfta, som på Brenna er fylt med finpukk med en dremsledning, vil kabelen kunne legges kostnadsfritt i grøfta. Det vil bare være kabelen og selve trekkingen som vil bli belastet elnettet.

Fjernvarme, isolasjon og rør

Bruk av prefabrikkerte ferdigisolerte fjernvarmerør kan være gunstig produksjonsteknisk, fordi man sparer en leggeoperasjon i forhold til å legge rør og isolasjon separat. Men rørene vil bli relativt tunge, og samtidig vil skjøting og fukttetting være meget tidkrevende og kostbar. Disse rørene gir relativt høye leggekostnader også fordi ekspansjonskompenseringen krever spesielle tiltak. Skjøtene er sårbare, og derfor stilles det krav til omfyllingsmassene, som vanskelig kan aksepteres i fellesgrøfter med flere funksjoner, fig. 47.

En annen metode er å legge isolasjon og rør i to operasjoner. Dette gjør at en står relativt fritt når det gjelder å velge rørmaterialer. For at dette skal være lønnsomt, må isolasjonsmaterialene være rimlige og gjerne ha funksjoner i grøfta i tillegg til primærfunksjonen å redusere varmetapet fra fjernvarmerørene. Denne tilleggsfunksjonen kan f.eks. være å tjene som en frostisolering for VA-ledningene selv om fjernvarmenettet er ute av drift. Dette kan oppnås ved at isolasjonen har en viss horisontal utstrekning. Samtidig bør isolasjonsmaterialene ha stor trykkstyrke, må kunne tåle å ligge i grunnen uten fuktbeskyttelse og kunne ligge i finpukk som omfyllingsmaterialer. Det eneste isolasjonsmaterialet som har disse egenskapene er ekstrudert polystyren. Dette isolasjonsmaterialet har man over 35 års erfaring med, brukt i grunnen, og det er enerådende når det gjelder frostisolering av nedgravde VA-ledninger. Da VA-ledninger og fjernvarme legges i fellesgrøfter, er det også en fordel om det benyttes samme isolasjonsmaterialer og utforming for begge type ledninger.

Isolasjonskasse

Fjernvarmeisolasjonen leveres som en prefabrikkert isolasjonskasse med ytre bredde 460 mm og høyde 260 mm, fig. 52. Isolasjonstykkelsen er 80 mm og dette gir innvendig bredde for hvert rør på 120 mm, og en høyde på 100 mm. Skilleveggen har en tykkelse på 60 mm. Det er maksimalt en temperaturdifferanse mellom tur- og returtemperaturen på 20 °C. I store deler av fyringssesongen er denne temperaturdifferansen betydelig mindre.

Isolasjonen mellom rørene er derfor ikke av avgjørende betydning, men skilleveggen har også den funksjonen å stive opp kassen. Rent teoretisk skulle denne kassen ha tilstrekkelig dimensjoner for å kunne romme alle de rørdimensjonene som er aktuelle på Brenna. For å lette leggingen av 90 mm Ø-røret og tillate noe mer ekspansjon, er det også benyttet en noe større kasse for denne rørdimensjonen, se fig. 10.

Prototypen av kassen ble levert med en plastbelagt alfolie under lokket. Samtidig var det frest spor i kassevanger og lokk for å få en bedre tilpassing av lokket. Denne kassen ble levert byggeplassen for kr 130,- pr. meter. Kasselengden var 1,25 m. Optimal isolasjonstykkelse for å kunne holde varmetapet på et akseptabelt nivå vil ligge på 60 mm. Når det ble valgt å benytte en isolasjonstykkelse på 80 mm, skyldes dette at det var ønskelig å ha en kasse med stor stivhet samtidig som vi kan tillate at rørene på grunn av ekspansjon deformerer kasseveggen noe. Det ble også innhentet pris på en enklere kasse med en tykkelse på 60 mm uten alfolie og fresning i lokk og vanger, se fig. 52. Denne kassen kunne leveres byggeplassen for kr 87,- pr. meter, altså en reduksjon på 33%. Nyere beregninger og målinger, se bilag 2, viste at det ikke er nødvendig med en alfolie i lokket. En gikk derfor over til å levere kasser uten alfolie.

Isolasjonskassen for VA-ledninger, fig. 30, er nærmest identisk med den enkle fjernvarmekassen og ble levert byggeplassen for kr 90,- pr. m. Denne kassen legges i grøfta for 25,- kr pr. meter, noe som gir en total kostnad for VA-isolasjonen på kr 115,- pr. m. Normale priser for legging av isolasjonskasser for vann- og avløp ligger mellom 15-25 kr pr. m. Denne prisen inkluderer avgreninger. Derimot forlangte entreprenøren kr 70,- pr. m. for å legge fjernvarmekassen. Dette er bare rene strekk uten avgreninger. På grunn av anbudets oppbygging med prosesskoder er disse på Brenna priset spesielt. Dette har bidratt til å øke totalkostnadene med å legge fjernvarmenettet.

Nøyaktighetsgraden for å legge isolasjonskassene for VA og fjernvarme er den samme. Det tillates spalter mellom kasseelementene på 2,0 mm. Dette kravet er imidlertid unødig strengt og ble ikke oppnådd i praksis. Et mer realistisk krav vil være 5,0 mm. Målinger på tidligere utførte anlegg viser at en kan tillate spalter på opp mot 10 mm hvis det benyttes finpukk i omfyllingen og konveksjonen i kassens lengderetning er liten. En pris på 70,- kr/m må oppfattes som et utslag av at kassen ble kalt for en fjernvarmekasse som entreprenøren ikke hadde erfaring med å legge. Vi fikk samme

høye leggepriser for 15 år siden da vi skulle introdusere isolasjonskasser for VA-ledninger. Dette endret seg imidlertid hurtig da entreprenørene fikk mer erfaring med å legge kassene. Sett på denne bakgrunnen kan vi forvente at leggekostnadene for fjernvarme- og VA-kassen i fremtidige anlegg vil ligge i samme størrelsesorden.

Anbudspriser isolasjonskasse:

	Materialkost.	Leggekost.	Totalt
	kr/m	kr/m	kr/m
Fjernvarmekasse 80 mm	130,-	70,-	200,-
" 60 mm	87,-	25,-	112,-
VA-kasse 50 mm	90,-	25,-	115,-

Med bruk av 60 mm tykk isolasjon og "normale" leggekostnader, vil fjernvarmeisolasjonen kunne legges for samme pris som for VA-kassen. Da det ikke generelt vil bli fylt finpukk inne i fjernvarmekassen, vil det være noe billigere å legge denne. Alle avgreninger er utført som vist på fig. 36 ved at avgreningen legges på et nivå over den første kassen. Dette gir en enkel forgrening og sikrer av vann- og avløpsledningene ikke kommer i konflikt med avgreningen. For alle avgreninger kan det brukes standardkasser og bare sage et hull i bunnen.

Rør

Figur 35 viser at 78% av rørnettets på Brenna har dimensjoner som er mindre eller lik 54 mm Ø. I et område med konsentrert småhusbebyggelse vil det generelt være rør med små dimensjoner som gir de største lengdene. På Brenna ligger tyngdepunktet på 54 mm Ø som utgjør 24% av rørnettets. Figur 68 viser hvilke muligheter man har når det gjelder valg av rørmaterialer for disse dimensjonene. Dette er materialer som plast, kopper og stål. Det vises her både material- og leggekostnadene. Som det framgår av figuren, er materialkostnadene relativt like for de forskjellige materialene. Derimot er leggekostnadene svært forskjellige. Da både plast- og støpejernsrør har mekaniske skjøter, er leggekostnadene for disse relativt lave. Kopper skjøtes med en kapillar søvlodding som er en meget enkel og god skjøtemetode. Da dette krever en del rørleggerarbeid, har det på Brenna ført til uforholdsmessige høye leggekostnader. En må jo stille spørsmål om prisingen på legging av kopperrør på Brenna, når et rør levert byggeplassen til kr 30,- pr. m. etter montering, koster opptil kr 200,- pr. m. Dette er ganske nøyaktig den samme prisen som det koster å legge preisolerte, sveiste stålrør inkl. sveising, skumming og muffing, dvs. en operasjon som er flere ganger mer arbeidskrevende enn en søvlodding.

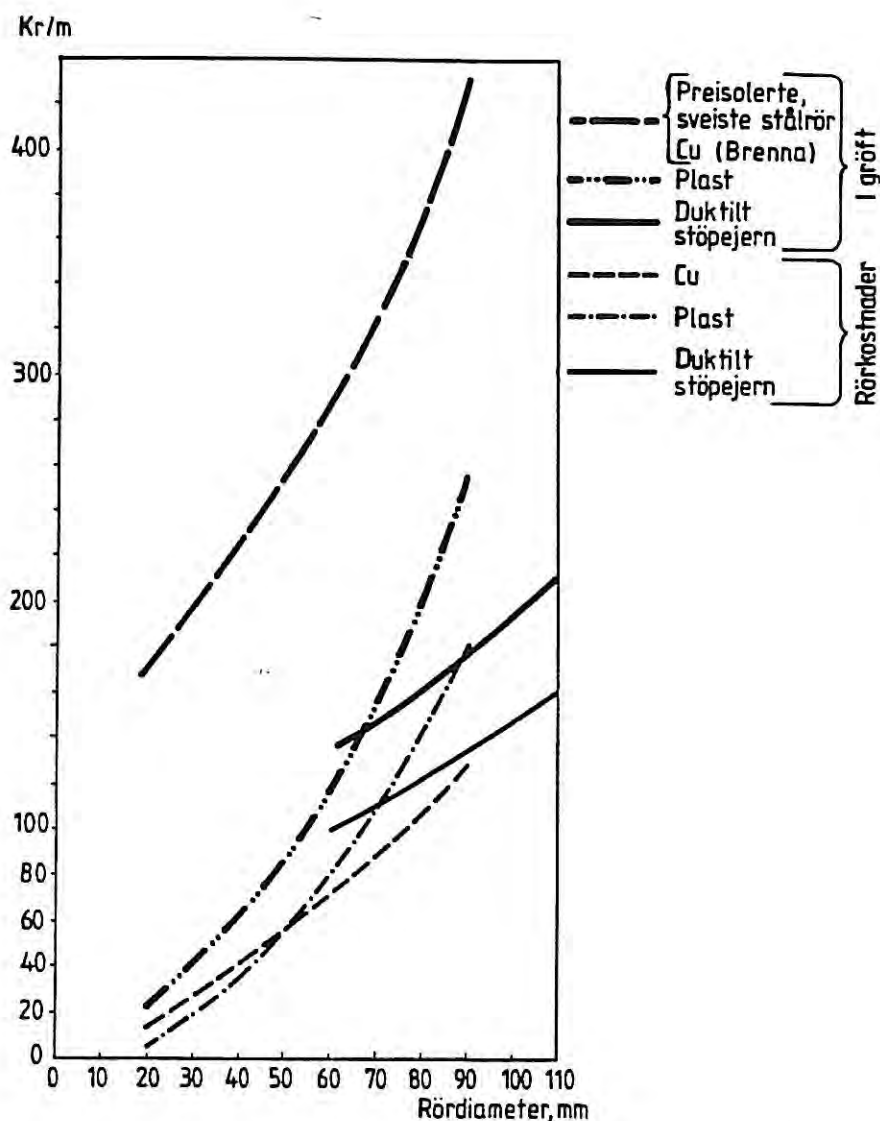


Fig. 66. Material- og leggekostnader for forskjellige rørmaterialer. På Brenna kostet kopperrør ferdig lagt i grøfta ekskl. isolasjon omtrent det samme som preisolerte stålrør.

På Brenna er alle avgreninger, ventilmonteringer og ekspansjonselementer trukket ut som egne poster i anbudet. Legging av rør vil derfor omfatte legging av rene rørstrekk. Den ovennevnte prisen på legging av kopperrør står derfor overhodet ikke i forhold til det arbeidet som dette innebærer. Enkelte målinger viser da også at en rørlegger i løpet av en arbeidsdag kan montere rør for kr 40.000,- i rene arbeidspenger (ekskl. materialer). Disse forholdene gjør det tvingende nødvendig å komme fram til materialer og leggemetoder med mekanisk skjøting som er mindre arbeidskrevende. Mekaniske skjøteforbindelser er enerådende for vannledninger. Dette er en langt sikrere skjøtt enn lodding og sveising der kvaliteten er avhengig av den som utfører arbeidet. Et rør med mekaniske skjøteforbindelser kan legges av en montør etter en kort opplæringsperiode. Bruk av mekaniske skjøteforbindelser har så mange fordeler at det bare vil være et tidsspørsmål før denne skjøtemetoden også vil være dominerende i varmelegg.

Både plastrør (PEX) med mekaniske skjøteforbindelser og kopperrør har en øvre økonomisk grense når det gjelder materialkostnader, på en dimensjon rundt 110 mm Ø. For kopper vil denne grensen i praksis ligge noe lavere, på ca. 90 mm Ø, og kanskje enda lavere for plastrør. Men dette vil selvfølgelig være avhengig av alternativene. Det finnes imidlertid også billigere plastrørtyper som er basert på sveiste skjøter. Det utvikles i dag også mekaniske skjøter for disse rørene som da sannsynligvis kan benyttes også for større rørdiametre. Imidlertid vil det innen et småhusområde være mulig å dimensjonere rørnettets slik at 90 mm Ø vil kunne utgjøre den maksimale dimensjonen. Dette er tilfellet på Brenna der området er delt opp i tre mindre delfelt, hvert med en hovedforsyningsledning på 90 mm Ø. Problemet med plastrør ved større dimensjoner er at disse får en uforholdsmessig stor godstykkelse. Dette, sammen med mekaniske skjøtestykker i messing, gjør at rørprisen øker relativt raskt med økende diameter. Et plastrør med en ytre diameter f.eks. på 110 mm vil ha en godstykkelse på 10 mm. Dette gjelder for et rør som tåler 6 bar. Det er bare diffusjonstette plastrør med mekaniske skjøter som er av interesse. Sveiste plastrør er vanligvis ikke diffusjonstette og krever spesialmannskaper for montering.

Stålrør kan i prinsippet benyttes for alle aktuelle rørdimensjoner. Også her forutsettes mekaniske rørforbindelser da sveiste rørskjøter er kostbare og krever spesialister for utførelsen. En løsning er å benytte duktile støpejernsrør med Tyton skjøt, se fig. 40. Denne skjøtemetoden blir brukt for alle vannrør og kan leveres med og uten strekkfast forbindelse. Duktile støpejernsrør leveres fra 60 mm Ø og opp til flere meter i diameter. Rørene leveres i standardutførelse med en utvendig korrosjonsbeskyttelse av sink og bitumen. Rørene har meget gode korrosjonsegenskaper og leveres med gummipakninger som tåler opp til 130 °C. For et sekundærnett med en øvre temperaturbegrensning på 80 °C, vil pakningene ha like lang levetid som for kaldtvannsrør som vil ligge på minst 30 år. Akselererte tester av gummipakningene ved høye trykk og temperaturer (140 °C) gir grunnlag for å tro at levetiden for disse pakningene kan være betydelig lengere enn 30 år.

Rent generelt er det viktig å ta opp til reell vurdering hvilken levetid en kan forvente av et fjernvarmenett med alle komponenter. Dette vil skjerpe kravet til dokumentasjon av levetid for materialer og komponenter og behovet for vannbehandling. Samtidig bør en også vurdere leggemetoder som gir muligheter for utskifting av rørnettets uten omfattende gravearbeider.

På Brenna ble 200 mm Ø vannrør med Tyton skjøter lagt for kr 60,- pr. meter. Disse rørene hadde en sementforing og er derfor noe tyngere enn rene duktile støpejernsrør. Til sammenlikning kan det opplyses at kostnadene for montering, skumming og muffing av et 200 mm Ø preisolert fjernvarmerør ligger på ca. kr 200,- pr. m.

Av fig. 66 framgår det at det kan være naturlig å bruke plastrør opp til ca. 60 mm Ø og gå over til støpejernsrør for større rørdimensjoner. Prisen på plastrør er her basert på PEX-rør med EVAL diffusjonssperre. Dette rørmaterialet tåler temperaturer opp mot 110 °C. Det finnes også andre typer plastrør f.eks. polybutylen og polypropylen med og uten diffusjonssperre som har en vesentlig lavere materialkostnad. Disse rørene blir vanligvis sveiset, men det finnes også muligheter for en mekanisk skjøteforbindelse. Ved bruk av disse rørene, kan det være økonomisk gunstig å gå noe høyere opp i rørdimensjoner. Disse rørene er spesielt godt egnet for lavtemperatursystemer, f.eks. systemer med varmpumper der maksimaltemperaturen ligger rundt 60 °C. Generelt gjelder det for plastrør at levetiden er direkte avhengig av av temperaturnivået. Det er derfor viktig ikke å kjøre med høyere temperatur enn det som er absolutt nødvendig for å tilfredstille varmebehovet til enhver tid.

Som nevnt tidligere, vil kopperrør være uinteressant i en fjernvarmesammenheng med mindre det tas i bruk andre tariffer for legging av rørene. Ved å ta i bruk plast- og støpejernsrør, vil rørkostnadene totalt kunne reduseres til 1/3 av de rørkostnadene vi hadde på Brenna. For mindre rørdimensjoner vil rørkostnadene bare ligge på 25% av det som ble brukt på Brenna. Rørkostnadene er imidlertid følsomme for dimensjonene. Det er derfor viktig å holde rørdiameteren nede. En overdimensjonering av rørnettet som ofte er vanlig i småhusområder, kan derfor slå uheldig ut på kostnadene. Det er ikke bare rørkostnadene, men også forbruk av isolasjon og grøfteplass som vil øke med rørdiameteren.

Kummer

Som VA-ledningene bør kumpunktene i fjernvarmenettet være en integrert del av rørnettet og rørisolasjonen. Dette er viktig for å forhindre kuldebroer i VA-nettet og tilsvarende varmetap i fjernvarmenettet, og samtidig gjøre kumpunktene så enkle og billige som mulige. Kumpunkter i fjernvarmenettet kan være innreguleringsventiler, luft- og tappepunkter e.l. der en ønsker å kunne komme til for betjening og målinger. Figur 55 og 56 viser en standardutførelse av en fjernvarmekum på Brenna. Ved større overdekning kan en skjøte på med betongringer. Dette er en meget enkel utførelse av et kumpunkt idet det bare er satt en kasse og et lokk på fjernvarmekassen.

På Brenna er fjernvarmekummene priset ca. 30% høyere enn for vannkummene som er nesten identiske. Vannkummene koster fra kr 4.000,- pr. stk. og fjernvarmekummene fra kr 6.100,- pr. stk. Det inngår da et kjøresterkt lokk. Kummer i terrenget trenger ikke et tilsvarende lokk som skal tåle tungtrafikk, og det vil redusere prisen betydelig. Ved bruk av plastmaterialer for fjernvarmerørene, vil kumprisen kunne reduseres med minst 1/3-del. Da rørekspansjonen for plastrør ikke er noe problem, kan kummene gjøres noe mindre enn når det benyttes kopperrør.

Ekspansjonselementer

Ved å bruke isolasjonskulverter oppnår man en tilnærmet fri ekspansjon av fjernvarmerørene. En vesentlig del av ekspansjonen opptas ved 90° retningsendringer. En del retningsendringer som normalt utføres med to 45° bend for avløpsledningen, er erstattet med et 90° bend for fjernvarmekassen. Det er lettere å lage et 90° bend med isolasjonskassen samtidig som det er mer effektivt for å oppta rørekspansjonen. Også mindre retningsendringer eller en buet utførelse kan oppta en del ekspansjon. Det er bare ved lengere rettstrekk eller spesielle avgreninger at det er nødvendig med spesielle ekspansjonselementer, se fig. 13 og 54. Dette utføres vanligvis ved hjelp av såkalte Z-ekspansjoner. Det har vært behov for 8 slike Z-ekspansjoner som har gitt en tilleggs kostnad pr. bolig på kr 400,-.

Ved bruk av plast- og duktile støpejernsrør, vil rørekspansjonen ikke skape noe problem. Isolasjonskassen kan derfor lages betydelig mindre og blir dermed sterkere. Ved å fylle finpukk inne i isolasjonskassen, kan man hindre ekspansjon av plastrøret på visse steder. For øvrig er det unødvendig å fylle pukk inne i kassen da ekspansjonen vil forhindres ved at røret støter mot isolasjonskulverten ved retningsendringer e.l. Over strekninger der det ev. er ønskelig å skifte ut plastrøret, vil det ikke bli fylt pukk inne i isolasjonskassen. Dette kan være under hus, under veier etc.

Tilsvarende forhold gjelder for det duktile støpejernsrøret. Her vil røret kunne bevege seg i muffene. Det kan også være en idé å benytte i det vesentlige strekkfaste skjøter og bare tillate ekspansjon på enkelte kontrollerte steder, f.eks. ved kumpunkter. Ved bruk av plast- og duktile støpejernsrør, vil rørekspansjonen ikke føre til tilleggs kostnader for nettet, noe som er tilfellet på Brenna med bruk av kopperrør.

Avgreninger

Avgreningene er foretatt ved at en legger én kasse over en annen og skjærer et hull i kassebunnen. Dette gir en enkel fleksibel avgrening og sikrer at det ikke blir liggende luftlommer i rørnett. For å lette rørleggerens arbeid, er disse avgreningene tegnet ut spesielt og tatt med som en egen post i anbudet. Avgreningene koster ca. kr 850,- pr. bolig.

I ettertid kan vi se at det er brukt for stor detaljeringsgrad for de forskjellige elementene i fjernvarmenettet. Bruk av prosesskoden har medført at det i hver prosess som kummer, avgreninger og ekspansjonselementer inngår isolasjon, rør, montering etc. Ved en avgrening inngår det vanligvis både ventiler og en Z-ekspansjon integrert i en enhet. For disse elementene har vi nærmest fått en tredobling av prisen når det i de generelle rørleggertariffene inngår både ventilmontering og avgreninger.

Stikkledninger

På prosjekteringstidspunktet på Brenna kjente en ikke nøyaktig husplassering, husets planløsning og plassering av villavarmeveksleren. Det ble derfor tatt i bruk en generell løsning der alle tilkoblinger til fjernvarmenettet ble foretatt utenfor huset. Dette har i enkelte boliger ført til uforholdsmessig lange stikkledninger, avhengig av plasseringen av villavarmeveksleren. Med større kjennskap til nøyaktig husplassering og planløsning kan lengden på stikkledningene reduseres betraktelig.

Avgreningen på sekundærnettet kan godt foretas under hus hvis avgreningen er tilgjengelig for inspeksjon. Ved samtidig å ha avgreningen på vannledningen her, kan også lengden på stikkledningen for vannledningen reduseres.

Ved å ta i bruk plastledninger kan kostnadene drastisk reduseres for stikkledningene. Prisen på en stikkledning i Aquavarmrør kostet i gjennomsnitt ca. kr 6.500,- pr. bolig ekskl. stopp/innreguleringsventil. Aquavarmrør (preisolerte kopperrør med mineralullisolasjon) ble levert som dobbeltrør i lengder på 12 m. Delvis på grunn av kostbare skjøter, ble det tatt full pris på hele røret pr. bolig uansett om det bare ble brukt 6 m. Dette er uheldig med rør som leveres i faste rørlengder. Det ble samtidig innhentet pris på stikkledningene i preisolerte diffusjonstette plastrør inkl. ventiler. Tilbudet lå på kr 2.200,- pr. bolig. Rørene leveres i lange lengder på kveil. Ved å ha full kontroll med husplasseringen og planløsningen, vil denne prisen kunne halvveres og samtidig inkludere tilkoblingen til varmeveksleren. Å benytte plastrør for stikkledningen vil være en stor fordel fordi det er langt mer fleksibelt og tåler en tøffere behandling i byggeperioden. Uforsiktig behandling av Aquavarmledningen i byggeperioden har på Brenna ført til flere skader på stikkledningene.

Kostnadsoverslag

FJERNVARMENETTET (SEKUNDÆR) PÅ BRENNÅ, KOSTNAD pr. BOLIG:

	Kopperrør	Plast/støpejernsrør
Rør	kr 14.200,-	kr 4.000,-
Isolasjon	" 5.800,-	" 3.225,-
Kummer inkl.ventiler	" 1.600,-	" 1.200,-
Eksp.element	" 400,-	" ---
Stikkledn.	" 7.500,-	" 2.200,-
Rigg	" 2.000,-	" 1.000,-
Div.	" 2.000,-	" 2.000,-
SUM	kr 33.500,-	kr 13.625,-
Refusjon for grøftkostn.	" 1.700,-	" 1.700,-
DIFF.	kr 31.800,-	kr 11.925,-
+ Mva.	Kr 38.000,-	Kr 14.000,-

Kostnadsreduksjon 60% og en samlet kostnad pr. m på ca. Kr 500,-

Ved å erstatte kopperrørene med en kombinasjon av plast og stålrør, vil de totale framføringskostnadene for sekundærnettets på Brenna kunne reduseres med ca. 60%. Dette reduserer lm-prisen fra kr 1.270,- til ca. kr 500,-. Her er alle kostnader tatt med inkl. rigg, innregulering og mva. fra flenser på hovedvarmeveksler til kobling på villavarmveksler. Oppstillingen ovenfor er basert på bruk av diffusjonstette plastrør opp til 60 mm Ø. For større rør er det forutsatt duktile støpejernsrør. På Brenna er rør med dimensjonen 70 og 90 mm Ø i det vesentlige større fordelingsledninger som normalt følger samleveien eller ligger i terrenget. Når en kommer opp i selve fordelingsnettets internt i området, er det en fordel å gå over til å bruke plast, da det her er flere avgreninger som det er enklere å utføre med plastrør. For denne kombinasjonen med plast- og støpejernsrør, vil rørkostnadene i gjennomsnitt ligge på kr 4.000,- pr. bolig eller en reduksjon på 70% i forhold til kopperrør som ble benyttet på Brenna. Ved bruk av disse materialene med mekaniske skjøteforbindelser, vil arbeidsinnsatsen og dermed leggekostnadene bli betydelig redusert. Grunnentreprenøren vil i prinsippet kunne legge fjernvarmerørene ved å bruke sitt mannskap på samme måte som når han i dag legger isolasjonskassene og trekker alle kablene. Bruk av mekaniske skjøter med gummipakninger regnes av rørleggerne for en så sikker løsning at de på Brenna ikke fant det nødvendig å trykkprøve vannledningene før fylling av grøftene, til tross for at dette var beskrevet i anbudet. Det er imidlertid ikke registrert noen lekkasje på de minst 1000 skjøtene på vannledningsnettets på Brenna.

I en konsentrert småhusbebyggelse vil tomtebredden variere fra ca. 10 m i en rekkehusbebyggelse til 25 m i et område med frittstående eneboliger, se fig. 67. På Brenna er tomtebredden generelt 20 m, mens tomtebredden på F-feltet med noe tettere bebyggelse ligger på 15 m. Da området har en relativt lang utstrekning med en lengde på ca. en km, har dette ført til en gjennomsnittlig grøftelengde pr. bolig på ca. 29 m. Rent generelt vil en kunne kalkulere med en gjennomsnittlig grøftelengde pr. bolig i et rasjonelt regulert område med frittliggende eneboliger på mellom 20 og 30 meter. I et felt med rekkehus vil grøftelengden ligge på 10 til 20 meter pr. bolig. Med en kostnad på distribusjonsnett i størrelsesorden kr 500,- pr. meter, vil dette i et felt med frittliggende småhus totalt ligge mellom kr 10.000,- og 15.000,-, mens tilsvarende kostnader i et rekkehusområde vil ligge på kr.5.000,- til 10.000,-. Dette er tall som er basert på dagens priser på plastrør og duktile støpejernsrør.

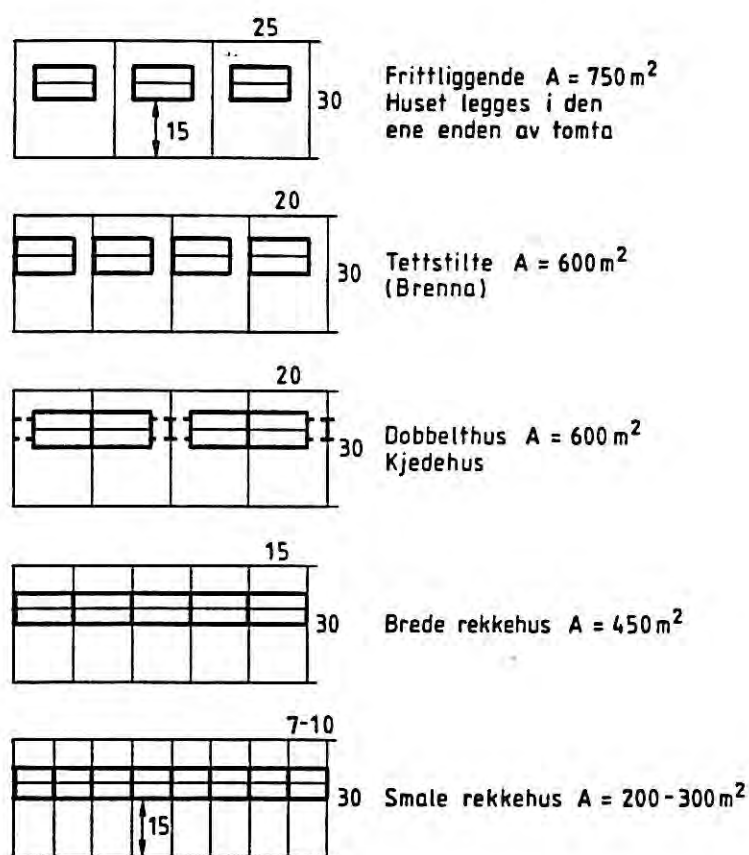


Fig. 67. Forskjellige tomtebredder i områder med konsentrert småhusbebyggelse.

Husinstallasjoner

Det er gjort en rekke undersøkelser som sammenlikner kostnadene for husinstallasjonene for vannbåret anlegg og elektrisk oppvarming. Det er da vanlig å ta utgangspunkt i de billigste løsningene med bruk av radiatorer

og elektriske panelovner. Dette vil vanligvis slå uheldig ut for et vannbåret varmeanlegg. Men er dette et riktig sammenlikningsgrunnlag? I dag bygges så å si alle boliger ved bruk av en golv-på-grunnen fundamentering. For å få tilfredstillende golvtemperaturer er det svært vanlig at underetasjen blir varmet opp ved hjelp av golvvarme. Dette kan gjøres med elektriske varmekabler eller å legge ned varmeslynger med plastrør. Det kreves autorisasjon for å legge ned elektriske varmekabler, mens plastrørene meget enkelt kan legges ned av selvbyggeren. Dette gjør at vannbåren golvvarme er billigere enn å legge elektriske varmekabler. Det er også i den senere tid blitt populært å benytte systemer med vannbåren golvvarme i hus med elektrisk oppvarming. Vannet varmes da opp i en egen beholder før det sirkuleres i varmeslyngene i golvet. Dette er bare et eksempel på at en sammenlikning mellom systemene ikke nødvendigvis bør baseres på den enkleste formen for oppvarming med radiatorer og panelovner.

I et anlegg med fjernvarme leveres det ofte med en villavarmerveksler. I tillegg til varmtvannsberedning vil varmeveksleren forsyne huset med varmt vann til radiatorene. Villavarmerveksleren vil koste i rundt kr 8.500,- når den ikke leveres med en returtemperatur begrenser. En varmtvannsbereder basert på eloppvarming med tilsvarende kapasitet vil koste ca. 5.000,-. Dette betyr at varmeveksleren bare har en tilleggs kostnad på kr 3.500,-.

Imidlertid vil det i dag rent generelt være riktig å regne med noe høyere installasjons- og vedlikeholdskostnader for et vannbåret varmeanlegg i boligene. Hvor stor denne differansen blir, avhenger av installasjonen og boligtypen, men den vil ligge mellom 10.000 - 20.000 kr. Denne differansen blir kompensert ved at energiprisen for fjernvarme er lavere enn tilsvarende for elektrisitet. Det er gjort analyser som viser at med dagens energipriser vil disse merinvesteringene bli spart inn i løpet av en 5-10 års periode uavhengig av boligtype.

Imidlertid er det også et spørsmål om energiforbruket i boliger med vannbåret og elektrisk oppvarming. Målinger viser at det kan være et noe høyere energiforbruk i boliger med vannbåret varme. Dette kan skyldes flere forhold, men i prinsippet burde et riktig dimensjonert varmeanlegg med effektive radiatorermostater ha tilnærmet samme forbruk som et anlegg med elektrisk oppvarming, under forutsetning av en individuell energimåling. Et større forbruk vil ofte kunne føres tilbake til forskjeller i varmekomfort og forbruksvaner og bare i mindre grad til en overdimensjonering som gjør at anlegget blir vanskeligere å styre og regulere. Forskjellen i energiforbruk ved vannbåret og elektrisk oppvarming var mer tydelig tidligere da boligene hadde egne oljekjeler.

En vurdering av installasjonene inne i en bolig med fjernvarme er et felt som bør vies en større oppmerksomhet. Ved et rasjonelt opplegg og ved å ta i bruk nye materiale og utvikle nye konstruksjoner, burde huset med fjernvarme kunne konkurrere med de elektriske installasjonene som ofte benyttes i dag med bruk av golvvarme etc.

Individuell energimåling

Det er av vesentlig betydning for forbruket og muligheten til å kunne påvirke sitt eget energiforbruk at man har en form for individuell varmemåling. Den kan utføres med en energimåler plassert i hver bolig eller under visse forutsetninger, ved hjelp av en vannmåler. En energimåler registrerer vannmengder og temperaturdifferanser. Disse målerne er relativt dyre, med en pris på ca. kr 5.000,- pr. bolig. Den metoden er valgt på Brenna. Det er også lagt inn styreledninger til hvert hus fra undersentralen slik at man har muligheten for en fjernavlesning. Fjernavlesning er en forutsetning for en rasjonell behandling og analyse av data for energiforbruket. Dette gjelder både fakturering, utarbeidelse av statistikker m.m., men samtidig har man mulighet for en fortløpende analyse av driftsforholdene i anlegget.

Grunnen til at energiregistreringen er kostbar, er sammenkoblingen mellom temperaturdifferanser og vannmengdemålinger. Ved å ha kontroll med én av disse faktorene og bare registrere temperaturdifferanser eller vannmengder, vil en kunne forenkle og dermed redusere kostnadene til varmfordelingen i betydelig grad. Om dette lar seg gjennomføre, er også et spørsmål om hvilken nøyaktighetsgrad en bør kreve når det gjelder varmfordelingen mellom de forskjellige boligene. En enkel vann- eller temperaturmåler med fjernavlesning bør en kunne få montert for ca. 500,- kr/bolig. En vannmengde- eller temperaturmåling forutsetter at en kjenner varmetapet i fjernvarmenettet. Fallet i turtemperaturen ute i anlegget og en tilsvarende økning i vannmengden for å kompensere for dette fallet, kan beregnes enkelt ut fra en antakelse om varmetapet og justeres ved hjelp av temperaturmålinger. Da villavarveksleren i hver bolig på Brenna er utstyrt med en returbegrenser, vil returtemperaturen ikke ligge høyere enn 60 °C. Hvert hus får derfor en faktor som vannmengden må korrigeres med, for å få sammenliknbare verdier.

En tilfredstillende innregulering, temperaturkompensering av turvannet og sentral mengderegulering ved turtallsstyring av pumpene, basert på returtemperaturen, vil kunne gi tilsvarende nøyaktighet for energiregistreringen uten bruk av returbegrensere. En vil da kunne basere energifordelingen på temperatur-differansemålinger i hver bolig, noe som er enklere enn vannmengdemålinger. Også dette er det mulig å oppnå på Brenna der en har montert en innreguleringsventil i hver bolig.

I undersentralen er det montert varmemengdemålere for hver delstreng. Disse målerne vil angi den totale energimengden som er tilført hvert delområde. Varmefordelingen mellom boligene kan derfor foretas ved hjelp av vannmengde- eller temperaturmålingene som er korrigert for fall i turtemperaturen på grunn av varmetapet i nettet. Dette er meget enkle beregninger og bør kunne gi tilstrekkelig nøyaktighet når det gjelder varmfordelingen mellom de forskjellige boligene. Man kan ev. redusere totalforbruket med varmetapet i de forskjellige delstrengene. Imidlertid burde totalforbruket dekkes av forbrukerne slik at at planleggerne blir tvunget til å legge

større vekt på å redusere varmetapet i sekundærnett. På Brenna der ca. 40% av sekundærnett ligger under hus, vil noe av varmetapet fra fjernvarmerørene indirekte komme boligen til gode.

I Norge blir det ofte brukt betydelig mindre isolasjon på sekundærnett enn det som er tilfellet i Sverige, samtidig som vi benytter et meget høyt temperaturnivå. Dette betyr at det kan være dårlig overenstemmelse mellom den energien som leveres til et område, og den energien leverandøren direkte får betalt for. Med en individuell energimåling etter de prinsippene en benytter på Brenna, vil det være Oslo Lysverker som dekker tapene på grunn av et dårlig isolert sekundærnett. Også på dette området er det nødvendig å tenke alternative løsninger for å få ned driftskostnadene.

Da en individuell energiregistrering, basert på dagens energimålere, er meget kostbar, bør en se nærmere på hvilke andre alternativer som ev. kan benyttes og hvilke nøyaktigheter som kan oppnås. Bare energimålere og returbegrensere vil på Brenna komme på totalt ca. 1,3 mill. kr eller 6.500 kr/bolig. Dette er en helt uakseptabel høy kostnad hvis fjernvarme skal benyttes i forbindelse med småhusbebyggelse.

Undersentralen

Undersentralen består både av en primær og en sekundærside. Varmeoverføringen til sekundærsiden foregår ved hjelp av to varmevekslere med en samlet kapasitet på ca. 2,0 MW. Turtemperaturen i primærnett er temperaturkompensert og har en maks. temperatur på 120 °C. På sekundærsiden skal vanntemperaturen på turvannet under dimensjonerende forhold maksimalt ha en temperatur på 80 °C. For å sikre at denne temperaturen ikke overstiges, er det montert en motorstyrt termostatventil mellom tur- og retursiden. I tillegg vil vannføringen og dermed turtemperaturen på primærsiden automatisk reduseres hvis turtemperaturen på sekundærsiden overstiger 80°C. Da konsekvensene er store ved å kjøre en overtemperatur på sekundærnett, er det viktig å ha en dobbelt sikring av temperaturbegrensningen.

I undersentralen er det montert en luftseparator, to ekspansjonskar, to pumper, et vannbehandlingsanlegg og et nødvendig antall ventiler og målerutstyr. Den absolutt enkleste utførelsen av røropplegget i undersentralen er å benytte pumper med turtallsstyring. Som tidligere nevnt vil en frekvensomformer som kan gi en mer effektiv styring av pumpene betales inn i løpet av få år. Det er viktig at alle nødvendige komponenter monteres inn i undersentralen med en gang da en senere montering vil kunne koste flere ganger så meget. For eksempel vil en luftseparator koste i størrelsesorden kr 20.000,-, mens det er eksempler på at denne ved ettermontering kan komme på kr 50.000,-. Et enkelt vannbehandlingsanlegg lik det som benyttes på Brenna, vil koste ferdig montert i størrelsesorden kr 10.000,-. Driftsutgiftene med denne typen anlegg er helt ubetydelige.

I forbindelse med undersentralen vil man også ha diverse bygningstekniske arbeider. På Brenna kunne underetasjen i driftsbygningen på Bratterud gård benyttes etter mindre innredningsarbeider. Undersentralen er ikke ferdig bygd når denne rapporten skrives, men vil koste rundt kr 3.000,- til kr 5.000,- pr. bolig, avhengig av hvor meget av det provisoriske anlegget som vil bli belastet området. Da primærnettet fra forbrenningsanlegget ikke var ferdig samtidig med utbyggingen på Brenna, har det vært nødvendig å kjøre anlegget med en mobil oljekjel. Dette har gitt ikke ubetydelige tilleggs-kostnader når det gjelder undersentralen.

Primærnettet

Kostnadene til primærnettet vil variere fra prosjekt til prosjekt avhengig av av områdets beliggenhet i forhold til varmesentralen og tilstøtende boligfelt. Hvis en antar at lengden på primærnettet ligger i samme størrelsesorden som hovedvannledningene, vil dette utgjøre ca. 2,5 - 5,0 m pr. boligenhet i et område med frittliggende eneboliger. På Brenna som har en størrelse på ca. 200 dekar, svarer dette til en lengde på fra 500 m til 1 km. Som det framgår i rapporten, vil det på primærsiden være mulig med betydelige kostnadsbesparelser hvis dette er rasjonelt utført. Også her bør det, ved en samordning av systemene, være mulig med en halvering av kostnadene i nye utbyggingsområder i forhold til en tradisjonell utførelse med separate grøfter. I mer etablerte områder vil totalkostnadene være avhengig av av behovet for å rehabilitere ev. sanere andre tekniske anlegg. Det vil imidlertid alltid være avgjørende for kostnadene at man velger riktige grøftetraseer og tekniske løsninger.

Ved å samordne primærledningen for fjernvarme med hovedledningene for vann- og avløp inn til området i fellesgrøfter, bør totalkostnadene for primærnettet ikke overstige kr 1.500,- pr. m inkl. undersentralens primærside. Med disse forutsetningene bør kostnadene for primærnettet på Brenna ligge i størrelsesorden kr 3.750,- til 7.500,- pr. boligenhet. Med utgangspunkt i det sparepotensialet en har kommet fram til på Brenna, vil primærnettet ligge på 15 - 30% av kostnadene for sekundærnettet i et område med frittliggende eneboliger. Det forutsettes da at en har, som på Brenna, ca. en bolig/daa. Primærnettet på Brenna følger samme trase som hovednettet for VA-ledninger, men kan for øvrig ikke sies å være spesielt rasjonelt utført. Det anslås derfor en pris på primærnettet på ca. 8.000 kr/bolig.

I en rekkehusbebyggelse der en i gjennomsnitt har ca. 2,5 boliger/daa, vil tilsvarende primærnett utgjøre ca. kr 1.500,- til 3.000,- pr. boligenhet, eller 10-20 % av sekundærnettet.

En generell forutsetning for bruk av fjernvarme må være at byggefeltet ligger i rimlig nærhet av varmeproduksjonen, og at man samtidig får en tilfredstillende utnyttelse av primærnettet. Trasévalget for primærnett er derfor av avgjørende betydning for å kunne oppnå et kortest mulig rørnett. På Brenna har man oppnådd dette ved å gå direkte inn til undersentralen som ligger sentralt i området.

Totalkostnader

Når en ser på alle eksterne kostnader med å få fram fjernvarme i et småhusfelt som omfatter sekundærnettet inkludert villavarmevekslere, undersentral og primærnettet, vil størrelsesorden av de totale kostnadene på Brenna og tilsvarende med en alternativ utførelse være:

Brenna kopperrør		Alt. utførelse (rørlengde 30 m)	Rekkehus (15 m)
Rørnett sek.	kr 32.000,-	kr 12.000,-	kr 6.000,-
Villavarmev.	" 10.000,- (- bereder)	" 3.500,-	" 3.500,-
Varmemåler	" 4.000,- (tempmåler)	" 500,-	" 500,-
Undersentral	" 4.000,-	" 4.000,-	" 1.600,-
SUM	kr 50.000,-	kr 20.000,-	kr 11.600,-
Primærnett	" 8.000,-	" 5.000,-	" 2.000,-
Totalt	kr 58.000,-	kr 25.000,-	kr 13.600,-
+ Mva.	kr 70.000,-	kr 30.000,-	kr 16.000,-

De totale kostnadene for fjernvarmeanlegg i områder med konsentrert småhusbebyggelse bør med bruk av nye materialer og utførelse koste:

Frittliggende enebolig	25.000,-	til 30.000,-	kr/bolig
Rekkehus	15.000,-	" 20.000,-	"

I den alternative utførelsen er bare differansen mellom villavarmeveksleren og varmtvannsberederen tillagt fjernvarmesystemet. Samtidig er energimåleren erstattet av en vannmengde- eller temperaturdifferansemåler. Igjen er potensialet en reduksjon i totalkostnadene på ca. 60%, fig. 68.

I prisene er det tatt med en diversepost på 2.000 kr/bolig. Denne omfatter også konsulentonorarer som det kan være vanskelig å anslå for et prototypeanlegg, der det er nødvendig å avholde er rekke møter som ellers er unødvendige. Konsulentarbeidet vil forenkles i betydelig grad ved bruk av plastledninger, da en ikke behøver å ta hensyn til rørekspansjonen.

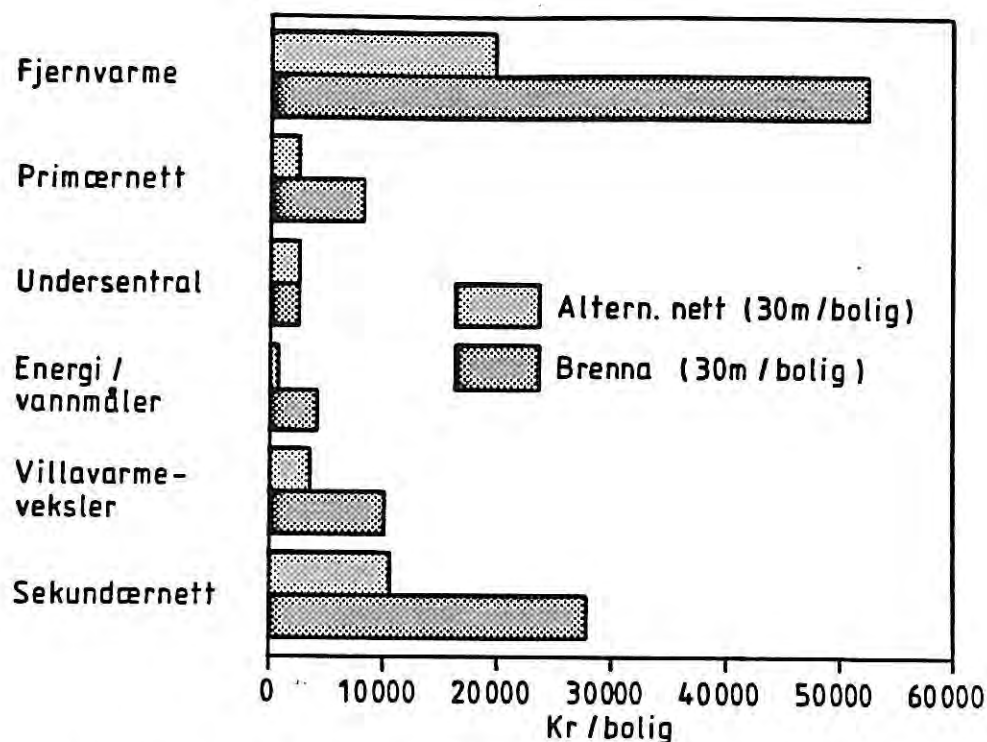


Fig. 68. Fjernvarmekostnadene på Brenna med kopperrør og en alternativ utførelse med plast- og duktile støpejernsrør.

Det er mulig å få ned kostnadene ytterligere på sekundærnettets hvis en har full kontroll med husplasseringen og kjennskap til boligens planløsning. Da dette ikke var kjent på Brenna, var det nødvendig å ta i bruk generelle løsninger der alle stikkledningstilkoblinger er foretatt utenfor boligen. Dette har medført meget høye kostnader for stikkledningene. I kostnadsanslaget er det videre forutsatt en rørlengde pr. enebolig på ca. 30 m. Dette er tilfellet i Brennaområdet som er relativt langstrakt, og der de sentrale delene av området har en eksisterende bebyggelse som ikke skal tilknyttes fjernvarmenettet. I et område med en mer konsentrert bebyggelse er det mulig å komme ned i grøftelengder på ca. 23 m pr. enebolig og 10 m pr. bolig i et rekkehusområde. Disse forholdene vil kunne redusere investeringene pr. boligenhet med ca. kr 4.000,-.

Når lønnsomheten av en fjernvarmeutbygging skal vurderes, er det ikke minst viktig å se på inntektsiden. På Brenna er det store frittliggende eneboliger med en grunnflate på over 200 m². Disse boligene vil få et årlig energiforbruk som leveres fra fjernvarmeanlegget på 25.000 - 30.000 kWh. Et tilsvarende område med rekkehusbebyggelse på 100 m² pr. bolig har et betydelig lavere energiforbruk pr. boligenhet. Det kan f.eks. ligge på 15.000 - 17.000 kWh/år.

På Brenna som består av ca. 200 frittliggende eneboliger, har man en boligtetthet på ca. 1 bolig/daa. Et tilsvarende rekkehusområde vil kunne ha 500 boliger eller ca. 2,5 boliger/daa. Et enkelt regneeksempel kan gi svar på lønnsomheten ved å bygge ut fjernvarme i et rekkehusområde eller et område med frittliggende eneboliger.

Lønnsomhetsbetraktninger for fjernvarme i småhusområder

Avgjørende for lønnsomheten av en fjernvarmeutbygging er differansen mellom produksjons- og markedsprisen på energien, sett i relasjon til investeringene.

Totalt vil investeringene i fjernvarmeanlegget og inntektene pr. boligenhet bli:

Frittliggende enebolig 200 m² :

Totalt investeringer kr 25.000,- til 30.000,-

Årlig energiforbruk: 30.000 kWh

Diff. mellom produksjons- og markedspris på varmeenergi:

	10 øre/kWh	15 øre/kWh	20 øre/kWh
<u>Inntekter:</u>	kr 3.000,-	4.500,-	6.000,-

Rekkehus 100 m² :

Totalt investeringer: Kr 15.000,- til 20.000,-

Årlig energiforbruk: 17.000 kWh

Diff. mellom produksjons- og markedspris på varmeenergi:

	10 øre/kWh	15 øre/kWh	20 øre/kWh
<u>Inntekter:</u>	kr 1.700,-	2.550,-	3.400,-

Hvis vi legger en kalkulasjonsrente på 7% til grunn for lønnsomhetsberegningene, viser diagrammet for en frittliggende enebolig fig. 69 at med en differanse mellom markeds- og produksjonsprisen på 10 øre/kWh, vil anlegget ved bruk av plastrør kunne tjenes inn i løpet av en 13-18-års periode. Tilsvarende vil en i et område med rekkehus trenge 14-26 år før anlegget er tjent inn, se fig. 70. Hvis differansen mellom markeds- og produksjonsprisen ligger på 15 øre/kWh, vil anlegget i et eneboligfelt kunne tjenes inn i løpet av en 7-9-års periode og en 8-12-års periode for rekkehus. Anleggets økonomiske levetid kan settes til 30 år.

Det framgår her at ved få ned kostnadene på sekundærnett til et mer riktig nivå, vil en utbygging av fjernvarme i et felt med relativt store eneboliger gi en bedre lønnsomhet enn i et område med rekkehus. Dette skyldes at energiforbruket i eneboligene er vesentlig høyere enn i

rekkehus, og de faste installasjonene i hver bolig, uansette boligtype, er nesten de samme når det forutsettes en individuell energiavregning. Imidlertid vil begge anleggene med ovennevnte forutsetninger gi en meget god lønnsomhet.

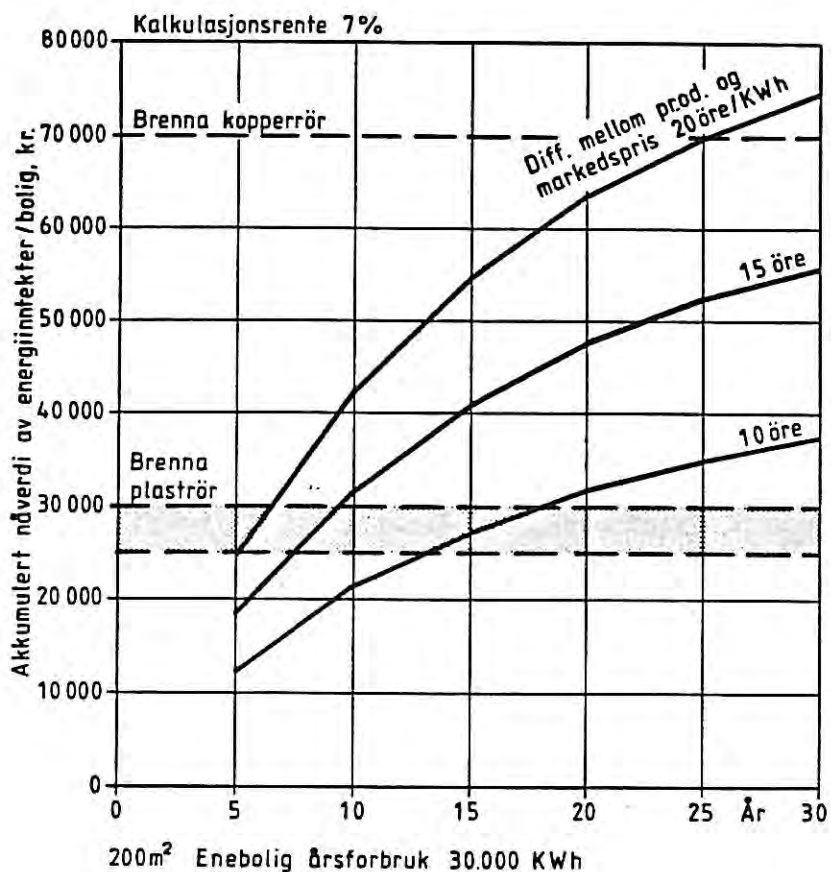


Fig. 69. Akkumulert nåverdi av årlige energiinntekter for en frittliggende enebolig på 200 m² (Brenna).

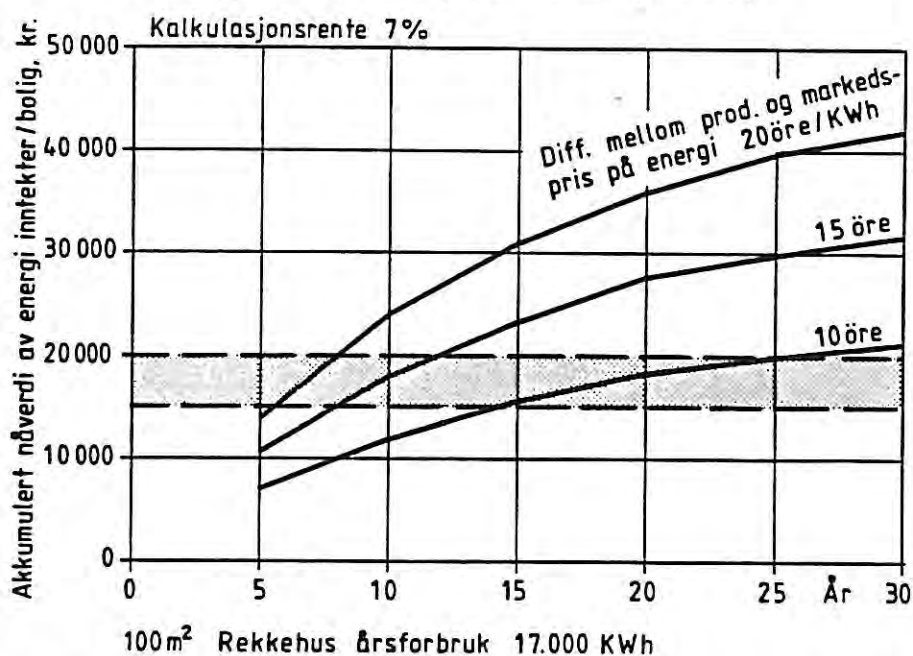


Fig. 70. Akkumulert nåverdi av årlige energiinntekter for et rekkehus på 100 m².

Det vi har redegjort for foran, er basert på meget forenklete forutsetninger. Reelt sett vil lønnsomheten av fjernvarmeutbyggingen også være avhengig av av tilgangen og prisen på elektrisk kraft. Ved et søppel- forbrenningsanlegg har man ofte et varmeoverskudd hvor det er relativt begrensede muligheter til å bli kvitt varmen, bortsett fra til fjernvarme- og noe elproduksjon. Hvis det forutsettes at det ikke er noen alternativ bruk for varmeproduksjonen, vil hele salgsprisen kunne regnes som inntekt. Markedsprisen vil da ligge ekskl. tapene, på ca. 20 øre/kWh. Under disse forutsetningene vil fjernvarmeutbygging i områder med en konsentrert småhusbebyggelse være svært lønnsom med en inntjening av anleggene på mellom 5-8 år.

Alle disse vurderingene er basert på en alternativ utførelse med bruk av plast/støpejernsrør med mekaniske skjøter. Med de kostnadene en har oppnådd på Brenna ved bruk av kopperrør, vil anlegget bare kunne forsvares bygd under den forutsetningen at det ikke finnes alternativ bruk for den produserte varmeenergien. Med en direkte inntekt på ca. 20 øre/kWh, vil fjernvarmeanlegget på Brenna kunne inntjenes i løpet av en 25-årsperiode, se fig 69. Denne investeringen kan aksepteres, men kan ikke sies å være spesiell lønnsom.

Regneeksemplet viser at med bruk av nye materialer og utførelse vil det være meget gunstig å bygge ut et småhusområde med fjernvarme. Det framgår videre at kan være mer lønnsomt å bygge ut et område med relativt store eneboliger med fjernvarme enn et rekkehusområde. Når kostnadene for distribusjonsnettene kommer ned på et mer riktig nivå, vil de faste installasjonene i hver boligenhet slå sterkere ut. Det er derfor en rekke forhold som vil være avgjørende for totaløkonomien. Dette gjelder ikke minst områdets form og beliggenhet. Det er derfor ikke nødvendigvis områdets utnyttelsesgrad (boligtettheten), men energiforbruket pr. boligenhet, kombinert med utnyttelsesgraden (energitettheten) og nødvendige investeringer pr. bolig, som er avgjørende for totaløkonomien. Dette må vurderes i hver enkelt tilfelle.

Selv om det er på sekundærsiden at man har de store rørlengdene, vil enhetskostnadene for primæranlegget være langt høyere. Det er derfor en altfor enkel problemstilling å stille absolutte krav til sekundærnettene når det gjelder kostnader uten samtidig å stille tilsvarende krav til utførelsen på primærnettene. Planlegging og utbygging både av primær- og sekundærnett bør foregå parallelt. Ofte er samordningen av nettutbyggingen svært tilfeldig og på ingen måte koordinert med den øvrige utbyggingen av veier, hovedledninger etc. Dette gjør at fjernvarmeutbyggingen ofte blir urasjonell og derfor unødig kostbar og tidkrevende.

Kostnader for å framføre elektriske kabler i boligområder med frittliggende eneboliger.

Hvilke muligheter har man for å få redusert framføringskostnadene for el-nettet i et boligområde med frittliggende småhus?

Vi har valgt å vurdere dette på et generelt grunnlag, uavhengig av om området får tilført fjernvarme eller ikke. Dette kan vi gjøre ved å ta utgangspunkt i Brennaanlegget. Da Brenna er et eksperimentbyggingsanlegg for fjernvarme, er kabelnettet dimensjonert for å kunne ta full elektrisk oppvarming. Trafostasjonene er derimot dimensjonert for en belastning på 5,0 kW/bolig. Disse kan relativt enkelt byttes ut med større enheter ved bortfall av fjernvarmen.

Oslo Lysverkens interne kostnader på Brenna ligger på ca. 18.000,- kr/- bolig. I denne summen inngår kostnadene for 7 trafostasjoner beregnet for full elektrisk oppvarming, men ikke gatelys. Videre inngår lønn, transport og adm.tillegg for Oslo Lysverkens eget personell. Dette er i det vesentlige personell som er tilknyttet en kontrollfunksjon, og utgjør ca. 3.500,- kr/bolig eller totalt ca. 700.000,- kr. Det er en meget høy kostnad når grunntreprenøren trekker alle kabler. Det er et spørsmål om ikke mer av kontrollen kan overlates til entreprenør og byggeleder.

Kontrollen kan også bli lettere ved å bruke finpukk som omfyllingsmaterialer og ved å basere seg på en utskiftning av kablene internt i området. Eksterne entreprenørkostnader som grøfte-og trekkekostnader for kablene, m.m. kommer i tillegg.

Ved å unngå å trekke fordelingssskapene ned til atkomstveiene, vil denne posten kunne reduseres med 3.000 til 4.000 kr/bolig. På Brenna har vi oppnådd å få plassert et betydelig antall skap i tilknytning til grøftraseen. En konsekvent plassering av fordelingssskapene i tilknytning til grøftraseen kunne ha redusert kostnadene på Brenna med ca. 2.000 kr/- bolig. En gunstig plassering av målerskapene utvendig på boligene umiddelbart over grøftraseen er heller ikke gjennomført konsekvent på Brenna. Dette har gitt tilleggskostnader i størrelsesorden 500,- kr/bolig. Ved å benytte felles fundament for fordelingssskapene, kunne man ha redusert kostnadene med ca. 500,- kr/bolig.

Når det gjelder høyspentnettet, vil en reduksjon i grøftekostnadene ved å legge kablene i fellesgrøfter utgjøre ca. 1.000,- kr/bolig. Ved å benytte trekkør med pukkomfylling i stedet for sand og omstøpte rør ved veipasseringer, vil kostnadene ytterligere kunne reduseres med 2.000,- kr/bolig.

Videre vil kostnadene for fordelings- og stikkledningsnettet ved bruk av fellesgrøfter under boligene, kunne reduseres med ca. 6.400 kr/bolig. I tillegg kommer sløyfing av skillestein i sekundærgrøftene som har gitt en kostnadsreduksjon på 400,- kr/bolig. Det er også brukt dekkheller på kabeltraseen under boligene. Disse kan sløyfes og vil gi en kostnads-

reduksjon på 400,- kr/bolig.

En mer nøktern vurdering av krav til grøftebredden, valg av kabeltraseer, bruk av fellesgrøfter, varerør, omfyllingsmasser, plassering av fordelings- og målerskap etc., vil ha stor innflytelse på kostnadene. Total sett vil en ved en rasjonell utførelse kunne redusere kostnadene ved å føre fram kabelnettet for el på Brenna med ca. 11.000,- kr/bolig eller totalt 2,2 mill. kr. Ved en tradisjonell utførelse med kabler i veiene vil distribusjonsnettet på Brenna, eller et tilsvarende område med full elektrisk oppvarming, koste i størrelsesorden 6,5 mill. kr eller ca. 33.000,- kr/bolig ekskl. gatelys. Sparepotensialet ved å utføre et rasjonelt elanlegg vil ligge på ca. 35%. På Brenna vil besparelsen ligge på ca. 7.000,- kr/bolig eller totalt 1,35 mill. kr idet en ikke fikk gjennomført alle sparetiltakene for hele anlegget, se fig. 71.

I et anlegg med fjernvarme der elkablene er dimensjonert for dette, vil en også kunne få en betydelig reduksjon i kabelkostnadene, spesielt i fordelingsnettet.

Når det gjelder gatelyset på Brenna, vil dette koste ca. 9.000,- kr/lampepunkt eller totalt 1.14 mill. kr da det er 125 lampepunkter. Dette gir en kostnad på hele 6.000,- kr/bolig, til tross for at det ikke er beregnet grøftekostnader for gatelyskabelen som ligger i veigrøfta. Det bør derfor vurderes om det ikke er tilstrekkelig i de områdene der husene ligger tett ned mot atkomstveiene å sløyfe gatelyset, og benytte boligenes eget utelys som gatebelysning.

Når det gjelder de andre signalkablene som kan være TV, tele og kabel for fjernavlesning av energimålere, vil disse vanligvis følge elkablene. Også her får man et betydelig sparepotensiale ved bruk av fellesgrøftene. Hvis det antas at materialkostnadene er tilnærmet de samme som for tradisjonelle anlegg, vil en kunne oppnå en betydelig reduksjon i grøftekostnadene. På Brenna er disse kablene lagt direkte ned i grøftene uten bruk av trekkør. Det er imidlertid lagt med et tomt trekkør for å kunne erstatte eller supplere anlegget med flere kabler. Dette vil også kunne tilfredstille forskriftene for legging av TV-kabler som krever at en kan erstatte hovedkabelen mellom stjernepunktene. Besparelsen er avhengig av hvilke grøftekostnader en normalt legger til grunn for beregningene. Hvis en anntar en besparelse i grøftekostnadene på 70 kr/m, vil dette redusere framføringskostnadene for signalkablene i størrelsesorden 2.000 kr/bolig eller totalt med ca. 400.000 kr.

Ved bruk av fellesgrøfter er det viktig at totalkostnadene blir lavest mulige, da det nesten uten unntak er beboerne som må dekke alle utbyggingskostnadene. Det er ikke uvanlig at en etat som refunderer kostnadene for sine egne anlegg i området, vil få en betydelig større andel av grøftekostnadene enn det som er rimelig. En fordeling av grøftekostnadene mellom de forskjellige etatene bør til en viss grad gjenspeile de reelle kostnadene som de forskjellige anleggene påfører området. Dette vil kunne føre til at

de enkelte etatene blir mer kostnadsbevisste når det gjelder krav til utførelsen. Denne fordelingen bør foretas av en nøytral instans hvis det er mulig. Når det gjelder ev. besparelser, er det viktig at alle etater kommer gunstigere ut enn om de skulle ha benyttet separate grøfter, og at de får direkte uttelling for de tiltakene som settes inn for å oppnå kostnadsreduksjoner.

Disse forhold er imidlertid i dag viet altfor liten oppmerksomhet. På Brenna fikk vi først gjennomslag langt ut i anleggsperioden på flere av de ovennevnte punktene for en mer rasjonell utførelse etter at vi direkte kunne påvise konkrete kostnadsbesparelser. Det er selvfølgelig av stor nasjonaløkonomisk betydning at kostnadene med å føre fram kabelnettet blir så lave som mulig. Dette er ikke minst viktig i områder med fjernvarme der inntektsgrunnlaget for leverandøren på grunn av sterkt redusert strømforbruk er begrenset. Dette kan bare oppnås ved at alle tekniske anlegg føres fram i fellesgrøfter, og at det blir foretatt en kritisk gjennomgåelse av alle forhold for å komme fram til optimale utførelser. Det er derfor nødvendig at dette arbeidet blir fulgt opp også på norm- og forskriftssiden som ofte kan virke som en bremse på utviklingen. Forskriftene for legging av kabler er ikke alltid funksjonelt betinget. For eksempel kan det være et krav om å legge kablene i varerør med en bestemt diameter når intensjonen er at en bør kunne erstatte/skifte ut kablen uten for store kostnader (ved å unngå oppgravingsarbeider). Om en velger å skifte ut kablen eller erstatte den vil være avhengig av en rekke forhold som kabelkostnader, kostnader for å trekke kablene i varerør, kabelskjøting, prisen på varerør etc. Hvilken metode som bør velges, vil derfor kunne avgjøres når en har kjennskap til alle disse faktorene.

KONKLUSJON

Resultatene av eksperimentbyggingen viser at fjernvarmerør i en isolasjonskulvert, lagt i fellesgrøfter med andre tekniske anlegg, gir en teknisk og økonomisk meget gunstig løsning. Dette gjelder både for primær- og sekundærnettet. Med den utførelsen som er valgt for sekundærnettet, ved bruk av en isolasjonskulvert, forsyner fjernvarmenettet vann- og avløpsledningene både med varme og isolasjon for frostsikring. Ikke minst det siste er viktig da VA-nettet må ha en tilfredstillende frostsikring også om fjernvarmen er ute av drift. Denne utførelsen har resultert i en reduksjon i grøftekostnadene for fellesgrøftene med fjernvarme i forhold til rene VA-grøfter på ca. 320.000,- kr eller 1.700 kr/bolig. Anlegg av fjernvarme i fellesgrøfter med VA-ledninger reduserer derfor grøftekostnadene med ca. 60 kr/m. Allerede dette betyr at en har redusert framføringskostnadene for fjernvarmen med kr 500 - 1.000 pr. meter avhengig av om det er jord- eller fjellgrøfter.

De gjennomsnittlige grøftekostnadene som skal fordeles mellom de øvrige etatene som benytter grøftene, ligger da på ca. 600 kr/m. En rettferdig fordeling av grøftekostnadene kan f.eks. oppnås ved å ta utgangspunkt i de tradisjonelle grøftekostnadene for VA-ledninger og kabler, og sørge for at de som benytter fellesgrøftene, får samme prosentvise besparelse. Med dette fordelingsprinsippet vil VA-ledningene og kablene få en reduksjon av de tradisjonelle grøftekostnadene på ca. 45%. Denne fordelingen av grøftekostnadene og med den utførelsen som er benyttet på Brenna, har en oppnådd en total besparelse på VA-nettet på 6,6 mill. kr eller vel 60%. Her inngår det en besparelse bare på hovedledningsnettet på ca. 2,0 mill. kr eller ca. 80% i forhold til en tradisjonell utførelse.

Samtidig er det valgt å bruke en type isolasjon (ekstrudert polystyren) som har stor trykkstyrke, og tåler å ligge i grunnen uten spesiell frostsikring. Ved å forme isolasjonen som en kulvert står man fritt med hensyn til valg av rørmaterialer uten at det er fare for utvendig korrosjon. Dette forutsetter at grøftene er grunne (ligger over grunnvannstanden), at det er brukt finpukk i grøftefundamentet og i omfyllingen, og at lavpunktene er drenerte, noe som automatisk blir oppfylt i fellesgrøfter med VA-ledninger der grøftene har fall.

Videre viser fullskalaeksperimentbyggingen at det må velges rør og rørmaterialer som er rasjonelle å legge. Dette betyr i praksis at det må velges rør med mekaniske skjøteforbindelser. Rør med mekaniske skjøter er i dag enerådende når det gjelder vannledninger i alle dimensjoner. For fjernvarmerør i mindre rørdimensjoner er aktuelle rørmaterialer f.eks. diffusjonstette plastrør, og for større rørdimensjoner (> 80 mm Ø) duktile støpejernsrør, begge med gummipakninger. Disse rørtypene finnes på markedet i dag i de nødvendige dimensjonene. Det er også utviklet pakningsmaterialer som har en levetid fullt på høyden med de øvrige komponentene i fjernvarmenettet. Det er i denne sammenhengen viktig å velge det riktige temperaturnivået som anlegget skal kjøres med. Jo lavere temperaturer en velger, jo friere står man ved valg av materialer. Også anleggets levetid vil være direkte avhengig av temperaturnivået når det benyttes utradisjonelle materialer. Både et lavt temperaturnivå og god isolasjon er viktig for å holde varmetapet nede og øke årsvirkningsgraden.

Da fjernvarmenettet og de andre tekniske anleggene har kortere levetid enn boligene, bør de tekniske anleggene kunne skiftes/rehabiliteres uten for store anleggsmessige arbeider. Valg av en kulvertløsning med begrenset overdekning vil derfor være en fordelaktig løsning.

For å få en god forsyningssikkerhet, bør det vurderes å anlegge et ringledningsnett for fjernvarmen som for vannledningsnettet. Dette vil gi relativt små tilleggskostnader ved bruk av fellesgrøfter der grøftene allerede er opparbeidet. Videre er det viktig at rørdimensjonene er minst mulige. Dette krever god kjennskap til dimensjoneringsgrunnlaget. Små rørdimensjoner betyr noe høyere trykktap under dimensjonerende forhold. Dette forutsetter derfor en turtallstyring av sirkulasjonspumpene for å redusere pumpekostnadene.

Bruk av effektive EDB-programmer for beregning av rørnettet er nødvendig for å optimalisere rørdimensjonene, og det bør kunne muliggjøre en forhåndsinnstilling av innreguleringsventilene. I tillegg til en temperaturkompensering av turvannet i sekundærnettet er det viktig med mengderegulering. Den bør foretas sentralt i undersentralen ved en turtallsregulering av pumpene, f.eks. styrt av returtemperaturen. En desentralisert mengderegulering ved hjelp av returbegrensere i alle villavarmevekslerne som er benyttet på Brenna, vil gi en meget kostbar løsning og bør unngås. Hvis innreguleringen av hele anlegget er basert på bruk av returbegrensere, vil varmfordelingen i området bryte sammen hvis turtemperaturen i en periode faller under innstillingstemperaturen, f.eks. 60°C.

Med en effektiv styring av anlegget ved bruk av turtallstyrte pumper (sentral mengderegulering) vil støyproblemer i anlegget kunne unngås. I tillegg vil man oppnå en betydelig økning av årsvirkningsgraden for anlegget. Ved bruk av nye materialer vil også en sentral mengde- og temperaturregulering kunne øke levetiden for anlegget. Beregninger viser at de reelle kostnadene som er forbundet med turtallstyringen (frekvensomformer) vil kunne spares inn i løpet av en 3-4-årsperiode. En turtallstyring av pumpene vil kunne overflødiggjøre bruken av returtemperaturbegrensere i hver villavarmeveksler. Dette vil på Brenna kunne redusere kostnadene med ca. kr 300.000,- eller 1.500 kr/bolig.

En bør også vurdere rimligere metoder for en individuell registrering av varmeforbruket i boligene enn bruk av energimålere, som på Brenna med dagens priser koster ca. 1 mill. kr eller 5.000 kr/bolig. Da det sentralt i undersentralen måles varmeforbruket i hver delstreng, vil det bare være varmfordelingen mellom de forskjellige boligene som skal foretas. Om dette kan utføres ved hjelp av enkle vannmengde- eller temperaturdifferansemålinger, bør undersøkes. Dette vil i så fall kunne redusere kostandene til ca. kr 500,- pr. bolig.

Generelt bør en foreta en fjernavlesning av alle energimålerne. Dette gir en langt enklere behandling og analyse av data for energiforbruket. En fjernavlesning kan også benyttes til en driftsoppfølging av anlegget. Det er lagt opp til en fjernavlesning av energimålerne på Brenna da det er lagt ned styrekabler fra alle boligene fram til undersentralen.

Bruk av et indirekte fjernvarmesystem med villavarmevekslere med forrådsbereder, gir en relativt rimelig og god løsning i et terreng med store høydeforskjeller. Det er bare deler av varmevekslen som direkte vil omfatte fjernvarmesystemet, idet en bolig allikevel må ha en varmtvannsbereder. I motsetning til et direkte system, er det indirekte systemet mer fleksibelt og langt rimligere å innregulere. Det bør også vurderes om villavarmeveksleren skal utstyres med en elektrisk kolbe. Dette vil føre til en beskjeden tilleggskostnad og vil kunne sikre varmforsyningen i en anleggsperiode, ved skader og ved langvarige utbedringer på rørnettets eller i undersentralen. En elektrisk kolbe i varmeveksleren vil også kunne sørge for oppvarmingen av tappevannet om sommeren da det kan være direkte ulønnsomt å kjøre fjernvarmeanlegget i områder med småforbrukere.

I rapporten framgår at det ligger et reelt sparepotensiale for fjernvarmedistribusjonen på sekundærsiden i småhusfelt på 60% ut fra dagens priser. For å oppnå dette, må man være villig til å ta i bruk nye materialer og konstruksjoner. Rapporten viser at det er mulig med materialer som er tilgjengelig på markedet i dag å komme ned i kostnader for sekundærsystemet for fjernvarme i en småhusbebyggelse på mellom 20.000 til 25.000 kr/bolig, avhengig av utbyggingsformen for frittliggende eneboliger. Tilsvarende kostnader for en rekkehusbebyggelse vil ligge mellom 12.000 til 15.000 kr/bolig. Dette omfatter alle kostnader inkludert undersentral og den delen av villavarmeveksleren som er direkte fjernvarmerelatert. Selve rørnettets vil koste 400 - 500 kr/m.

Anleggets økonomi er også direkte avhengig av at en utfører et rasjonelt primærnett der en tradisjonelt har relativt høye enhetskostnader. Også her bør det ved en samordning av systemene være mulig med en halvering av kostnadene i nye utbyggingsområder. I mer etablerte områder er total-kostnadene avhengige av behovet for å rehabilitere, ev. sanere, andre tekniske anlegg, veianlegg etc. Det vil imidlertid alltid være avgjørende for kostnadene at man velger riktige grøftetraseer og tekniske løsninger som gir en rasjonell og rimelig produksjon.

Primærnettets andel av distribusjonskostnadene vil variere fra område til område, men kan ligge i størrelsesorden 15-30% i et område med frittliggende eneboliger og 10-20% i et rekkehusområde. Dette vil gi total-kostnader for distribusjonsnettets i nye felt med frittliggende eneboliger på 25 - 30.000,- kr/bolig og tilsvarende fra 15 - 20.000,- kr/bolig i rekkehusområder.

Lønnsomheten for fjernvarmeoppvarmingen vil derfor være direkte avhengig av tilgangen og prisen på varmeenergien. Med en forskjell i markedes- og produksjonsprisen på 10 øre/kWh vil tilbakebetalingstiden for anleggene ligge på 13-18 år for eneboligene og tilsvarende på 14-26 år for rekkehusene. Hvis det ikke er alternativt bruk av varmen, f.eks. fra søppel-forbrenningsanlegg, overskuddsvarme e.l., og en kan regne med en energipris på 20 øre/kWh, vil tilbakebetalingstiden for anleggene bare være 5-6 år,

fig. 69 og 70. Dette må sies å være meget tilfredstillende da anleggets økonomiske levetid kan settes til 30 år. Det er lagt en kalkulasjonsrente på 7% til grunn for vurderingene. Hvis det kan legges til grunn en netto energipris på 20 øre/kWh, vil fjernvarmeanlegget på Brenna med bruk av kopperrør kunne tjenes inn i løpet av en 25-årsperiode. Under disse forutsetningene kan investeringen forsvares, men kan ikke sies å være spesiell lønnsom.

Det framgår her at med den boligtettheten vi har på Brenna, med gjennomsnittlig en frittliggende enebolig eller alternativt 2,5 rekkehus/daa, vil energitettheten bli noe større i et rekkehusområde i forhold til et frittliggende eneboligområde. Imidlertid vil kostnadene for de faste installasjonene i tilknytning til hver boligenhet slå noe sterkere ut, når kostnadene for distribusjonsnettene kommer ned på et mer riktig nivå. Dette gjør at det vil være noe mer lønnsomt å bygge områder med relativt store frittliggende eneboliger enn tilsvarende områder med rekkehus.

Når det gjelder den privatøkonomiske lønnsomheten av å ha et anlegg med fjernvarme, er det utført beregninger som viser at med den prisforskjellen en i dag opererer med når det gjelder energiprisen på el og fjernvarme, vil en kunne tjene inn en tilleggsinvestering i boligene med fjernvarme på ca. 8 år. Dette er under forutsetning av at det benyttes billigste typer installasjoner med radiatorer og panelovner. Hvis det benyttes golvvarmeanlegg, som er ganske vanlig i boliger med plate-på-grunn-fundamentering og sokkeletasje, er forskjellen i investeringene svært beskjedent. Her vil en fjernvarmeoppvarming kunne gi en meget stor privatøkonomisk lønnsomhet.

Parallelt med fjernvarme-utbyggingen er det viktig at også kostnadene for framføring av kabelnettet blir lagest mulig. Dette er ikke minst viktig for det elektriske anlegget i områder med fjernvarme. Her vil inntektsgrunnlaget for elforsyningen være mer begrenset på grunn av et sterkt redusert strømforbruk. Vanlige kostnader for framføring av elkabler i et eneboligområde ligger i dag i størrelsesorden 33.000 kr/bolig ekskl. gatelys. Det er vist i rapporten at ved en samordning av systemene i fellesgrøfter, med fornuftig bruk av trekkør, plassering av fordelingsskap i terrenget i tilknytning til grøftene, rasjonell hustilslutning m.m., bør det være fullt mulig å redusere disse kostnadene med ca. 35%. Dette betyr en besparelse på ca. 11.000 kr/bolig, eller for hele Brenna-feltet ca. 2,2 mill. kroner. På Brenna ligger besparelsen på elframføringen på ca. 7.000,- kr/bolig eller totalt 1,35 mill. kr da en ikke fikk gjennomført alle sparetiltakene for hele anlegget, se fig. 71.

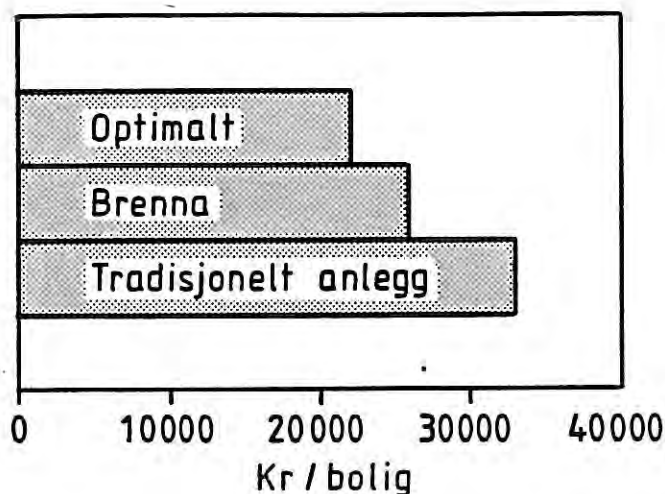


Fig. 71. Besparelser på elnettet på Brenna med angivelse av totalt sparepotensiale (eksl. gatelys).

Figur 72 gir en oversikt over de økonomiske resultatene en har oppnådd på Brenna når det gjelder framføring av de tekniske anleggene, sett i relasjon til en tradisjonell utførelse. Den totale besparelsen vil ligge i størrelsesorden 10 mill. kr eller rundt 50.000 kr/bolig. Samtidig er det angitt et sparepotensiale av en tilsvarende størrelse på fjernvarme- og kabelsiden. Dette viser at vi har nådd langt når det gjelder VA-nettet, men at det gjenstår enda en del på kabelsiden og et betydelig sparepotensiale når det gjelder fjernvarmedistribusjonen.

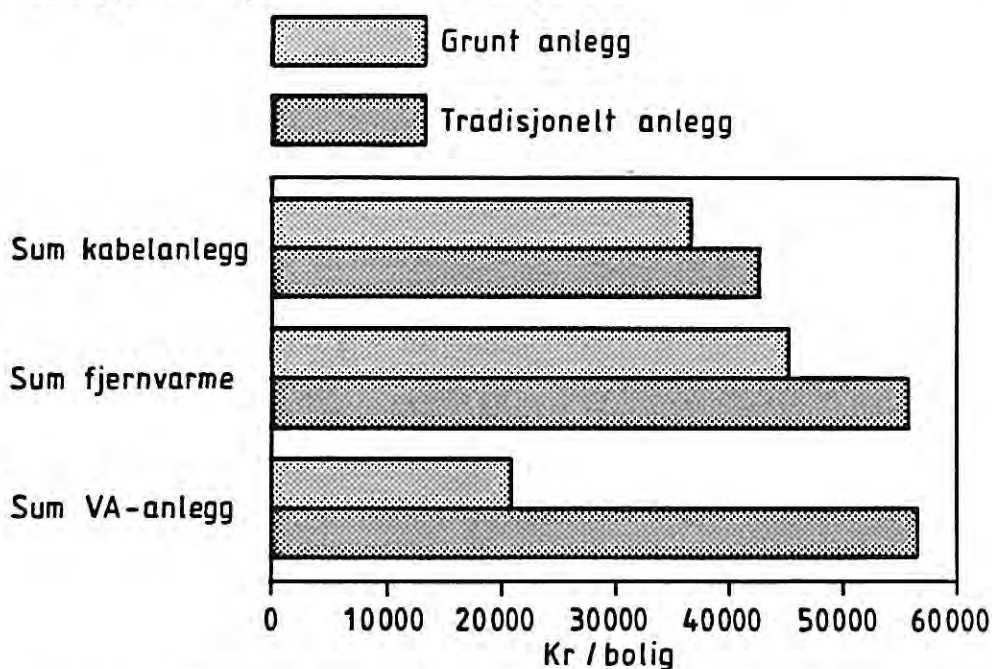


Fig. 72. Økonomisk resultat når det gjelder framføring av tekniske anlegg på Brenna. Den totale besparelsen ligger pr. bolig på ca. 50.000,- eller totalt 10 mill. kr.

En absolutt forutsetning for å nå ovennevnte sparepotensiale er at man er villig til å ta i bruk nye materialer og metoder, samtidig som det forutsettes en koordinert prosjektering og utbygging av områdene. Sett på denne bakgrunnen vil fjernvarme kunne være meget lønnsom også i områder med konsentrert småhusbebyggelse når forholdene ellers ligger til rette med en rimlig varmeproduksjon i rimlig nærhet av boligfeltet.

OPPSUMMERING

Rapporten er en dokumentasjon av delresultater fra et prosjekt med eksperimentbygging med 200 frittliggende eneboliger, der målsettingen var å ta i bruk såkalt "lett kommunalteknikk" i grunnopparbeidelsen for å redusere kostnader og terrenginngrep. I denne rapporten er hovedvekten lagt på framføring av de tekniske anleggene som omfatter vann, avløp, fjernvarme, el- og signalkabler. Hensikten var også å utvikle produkter og systemer som gjør det mulig å samordne de tekniske anleggene i fellesgrøfter og dermed redusere kostnadene. For å kunne oppnå dette er fjernvarmerørene lagt inne i en isolasjonskulvert. Denne utførelsen forsyner vann- og avløpsnettlet både med varme og isolasjon for frostsikring og har resultert i en reduksjon av grøftekostnadene for fellesgrøftene med fjernvarme i forhold til rene VA-grøfter på ca. 320.000,- kr eller 1.700,- kr/bolig. Dette er oppnådd ved at en kunne holde en begrenset grøftbredde og redusere nødvendig frostisolasjon for VA-ledningene. Utførelsen gir en tilfredsstillende frostsikring selv om fjernvarmenettet ikke er i drift. Bruk av en isolasjonskulvert med begrenset overdekning forenkler vedlikeholdet, og gjør det mulig å skifte ut fjernvarmerørene under boligene når det blir nødvendig.

Som isolasjonsmaterialer for fjernvarme og frostsikring er det benyttet ekstrudert polystyren, type Styrofoam HI. Denne isolasjonen har stor trykkstyrke, kan ligge i grunnen uten noen form for fuktbeskyttelse og tillater en høyeste driftstemperatur på fjernvarmenettet på 80 °C. Ved å benytte en isolasjonskulvert, står man fritt med hensyn til valg av rørmaterialer. Eksperimentbyggingen viser at det må velges rør og rørmaterialer som er rasjonelle å legge. Dette betyr i praksis at det må velges rør med mekaniske skjøteforbindelser. For fjernvarmerør i mindre rørdimensjoner vil dette være diffusjonstette plastrør, og for større rørdimensjoner (> 80 mm Ø) blir det duktile støpejernsrør, begge med gummipakninger.

Rapporten viser at ved å ta i bruk nye materialer og konstruksjoner på fjernvarmesiden ligger det et sparepotensiale på ca. 60%, ut fra dagens priser. Dette betyr at det er mulig å komme ned i totale kostnader for distribusjonsnettlet i nye felt med frittliggende eneboliger på 25 til 30.000,- kr/bolig og tilsvarende 15 til 20.000,- kr/bolig i rekkehusområder. Dette omfatter alle kostnadene både for primær- og sekundærnettlet, inkludert undersentral og den delen av villavarmeveksleren som er direkte fjernvarmerelatert. Selve røرنettet på sekundærsiden vil koste 400-500 kr/m. Med disse prisene og tilgjengelig varme fra søppelforbrenning e.l., vil lønnsomheten for fjernvarmeanlegg i småhusfelt være meget god med en tilbakebetalingstid på 5-6 år. Når kostnadene for distribusjonsnettlet kommer ned på et mer riktig nivå, vil de faste installasjonene i tilknytning til hver boligenhet slå noe sterkere ut. Dette vil medføre at lønnsomheten ved å installere fjernvarme blir noe større i områder med relativt store frittliggende eneboliger til tross for en større energi-

tetthet i et rekkehusområde.

Rapporten viser videre at det er mulig å redusere framføringskostnadene for elforsyningen med ca. 35% som vil utgjøre ca. 11.000,- kr/bolig. Denne besparelsen kan primært oppnås ved å samordne og optimalisere systemene i fellesgrøfter. Dette omfatter en fornuftig bruk av trekkør, en plassering av fordelingsskap i tilknytning til grøftene, en rasjonell tilknytning til boligene osv.

Når det gjelder VA-nettet, har man oppnådd en gjennomsnittlig besparelse på ca. 60% i forhold til en mer tradisjonell utførelse. Det oppsiktsvekkende her er at en for hovednettet har oppnådd en reduksjon av framføringskostnadene på hele 80%. Dette har vært mulig ved å legge ledningene grunt, på samme horisontale plan i fellesgrøfter, ved bruk av prefabrikkerte spillvannskummer, nedgravde ventiler, forenklet overvannssystem m.m. På Brenna utgjør denne besparelsen på hovednettet ca. 2,0 mill. kr i forhold til en tradisjonell utførelse. I tillegg vil en få fritak for mva. for hele fellesgrøfta langs samleveien.

For sekundærnettet for vann og avløp på Brenna er det oppnådd en besparelse på ca. 4,6 mill. kr eller 56% i forhold til en tradisjonell utførelse. Denne besparelsen er igjen oppnådd ved å benytte grunne fellesgrøfter og et fornuftig trasévalg som gir et kortest mulig ledningsnett. Disse besparelsene på VA-nettet vil ligge i samme størrelsesorden, uavhengig av om området har fjernvarme eller ikke.

Totale besparelser ved framføring av de tekniske anleggene på Brenna ligger i størrelsesorden 10 mill. kr eller rundt 50.000,- kr/bolig. Samtidig er det angitt et samlet sparepotensiale av en tilsvarende størrelse på fjernvarme- og kabelsiden.

BILAG 1.

EKSPANSJONSOPPTAK

Generelt

Lengdeutvidelsen av et frittliggende rør er gitt av følgende:

$$dl = \alpha L dt$$

$$\alpha = \text{Temp.utv.koeff. for Cu } 16.8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ (Stål } 12.0 \cdot 10^{-6})$$

dt = Temperaturendring

Figur 73 viser lengdeutvidelsen av Cu-rør som funksjon av temperaturendring og rørlengde. Hvis det forutsettes en temperaturendring på 60 °C vil 100 m rør ekspandere ca. 100 mm. For hver 10 °C økning av temperaturen, vil tilsvarende ekspansjonen for et 100 m langt rør øke med ca. 17 mm.

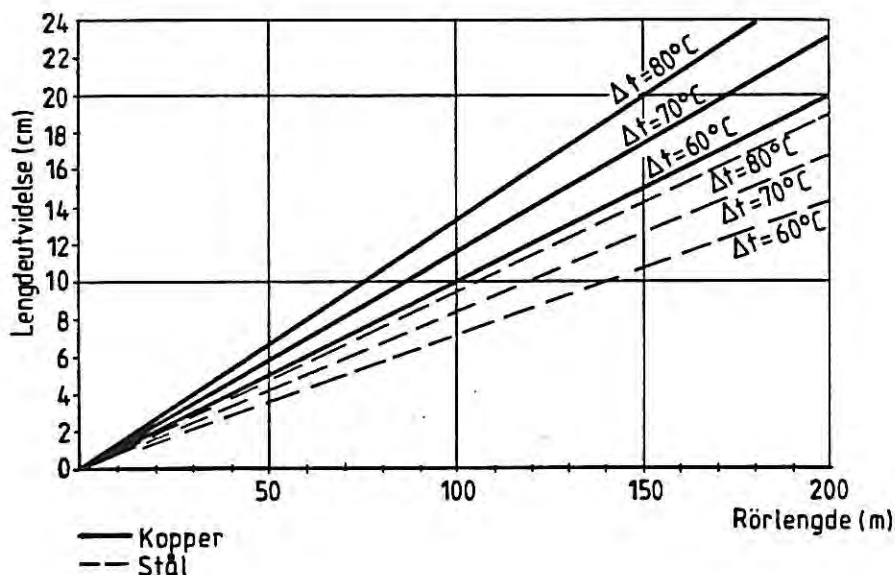


Fig. 73. Termisk lengdeutvidelse for stål og kopperrør.

Det er derfor viktig å ha kontroll med ekspansjonen for å forhindre oppbygning av uheldige spenninger i rørene. Dette vil kunne føre til uakseptable deformasjoner, eller over tid til spenningskorrosjon.

Leggeprinsipper

Aktuelle leggeprinsipper er følgende:

1. Fri ekspansjon
2. Friksjonshemmet
3. Engangs ekspansjonselementer
4. Fast innspendtd
5. Friksjonsfiksrt

Valg av leggeprinsipper er viktig for å kunne ivareta kravet om driftsikre løsninger og optimal økonomi. En samordning av alle tekniske anlegg i fellesgrøfter favoriserer leggemetoder som ikke krever at grøfta skal stå for lenge åpen, og som ikke er for arealkrevende. Dette eliminerer leggeprinsipper som krever oppvarming av rørene i anleggsfasen. Tilbake har man da de fire førstnevnte metodene som kan benyttes enkeltvis eller kombineres avhengig av av rørmaterialene.

Styrofoam kulvertsystemet

En ideell metode er å ha et system der rørene fritt kan ekspandere uten hindringer. Med Styrofoam-kulvert-systemet forutsettes denne metoden brukt når ledningsstrekkele ikke er for lange. På Brenna der terrenget er relativt kupert og vekslende, vil naturlig lengre rettstrekk brytes opp med retningsforandringer både i horisontal- og vertikalplanet. Disse retningsendringene vil tjene som naturlige ekspansjonselementer. Dette kan være L-bøyer, U-bøyer (lyrer) eller Z-bøyer. Bruk av U-bøyer er uheldig da de fører til en betydelig økning av rørlengden og dermed av trykktapet, er arealkrevende og krever mange rørskjøter.

Ekspansjonskapasiteten for rørrnett kan økes ved at enkelte mindre retningsavvik erstattes med ett eller to 90° bend fig. 74.

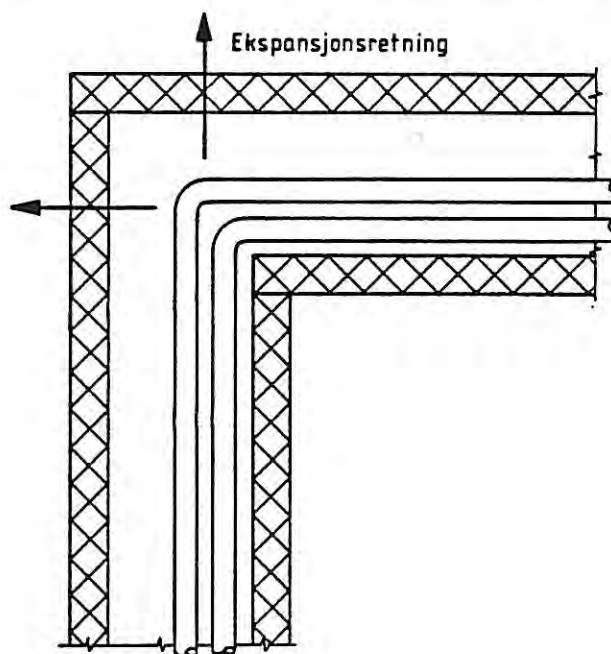


Fig. 74. L-bøyer (90° bend) har muligheter for å kunne oppta ekspansjon i begge retninger.

For eksempel vil et 90°-bend kunne tillate 42% større ekspansjon enn et 60°-bend før røret treffer veggen i isolasjonskulverten. Ved å utnytte disse mulighetene, vil en kunne eliminere bruken av U-bøyer som både er kostbare og arealkrevende.

Utforming av isolasjonskulverten ved 90°-bend

For å sikre tilstrekkelig plass til ekspansjon, er midtveggen i isolasjonskulverten fjernet ved alle 90°-bend. Dette har ingen innflytelse for varmetapet fra kulverten og er helt marginalt når det gjelder avkjøling av turledningen. Temperaturdifferansen mellom tur- og returledningen vil maksimalt være 20 °C. Samtidig er kulverten konstruert slik at sideveggene er mer fleksible for deformasjon sideveis enn ovenfra. Dette kan oppnås da Styrofoamplater har betydelig større styrke på tvers av ekstruderingsretningen enn langs denne. Da det er benyttet 80 mm tykk isolasjon, vil en mindre deformasjon (20-30 mm) av isolasjonsveggen ikke bety noe for varmetapet fra fjernvarmerørene. Isolasjonskulverten er utformet slik at sideveggene er innspent i lokket og limt fast i bunnen samtidig som omfyllingsmaterialene rundt kulverten er finpukk som nærmest er selvkomprimerende. Dette vil sikre at sideveggene i isolasjonskulverten blir holdt på plass selv om de skulle bli påvirket av betydelige krefter.

Friksjonselementer

For å sikre en viss styring av ekspansjonen, er det lagt inn friksjonselementer. Dette er utført ved at det over en strekning er fylt finpukk rundt rørene inne i isolasjonskulverten. Friksjonselementet vil ikke tjene som absolutt fastpunkter, men vil kunne tillate noe bevegelse under første gangs oppvarming av ledningsnett. Ved å fylle finpukk rundt rørene inne i kulverten over visse strekninger, vil også eventuell konveksjon på langs i kulverten reduseres.

Laboratoriemålinger viser at et 90 mm Ø rør har en maksimal friksjon pr. meter på ca. 240 kg, fig. 75.

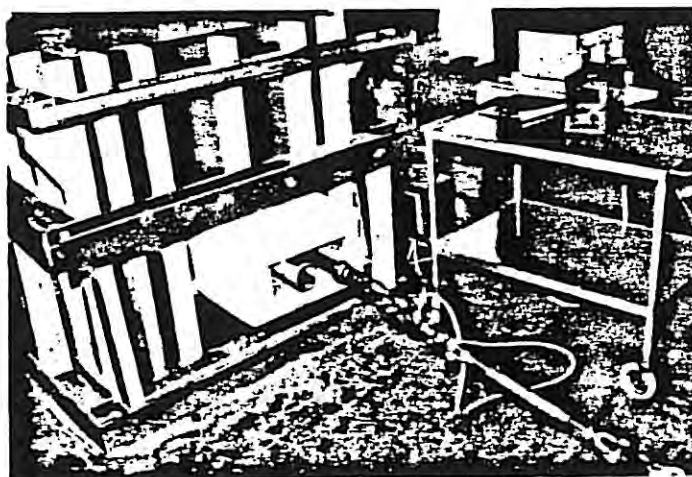


Fig. 75. Friksjonsmålinger i laboratoriet for å bestemme friksjonslengder

Denne friksjonen er oppnådd etter at grøfta er utsatt for anleggstrafikk. Overdekningen på isolasjonskulverten er 0,5 m. Uten anleggstrafikk over grøfta er friksjonskraften bare 140 kg pr. meter. Tilsvarende for et 50 mm \emptyset rør er 55 og 42 kg pr. meter. Dette viser at friksjonskoeffisienten øker betydelig med rørdiameteren. Det skyldes bruk av ensgradert (8-12 mm) finpukk som omfyllingsmasser rundt røret. Ovennevnte krefter er små i forhold til ekspansjonskreftene, og hemmer bare i meget liten grad den frie ekspansjonen av rørene.

Et 90 mm \emptyset Cu-rør vil kunne tåle friksjonskrefter på ca. 5000 kg før tillatte rørspenninger er overskredet. Dette betyr i praksis at isolasjonskulverten vil kunne fylles med finpukk over lengre rettstrekk uten at dette fører til for høye rørspenninger. Derimot vil friksjonselementet ved en lengere pukkomfylling mer få karakter av et tradisjonelt fastpunkt. Der dette ikke spesielt er beskrevet, bør pukkfyllingen i kassen ligge mellom 5-10 meter over et rettstrekk.

Ved veipasseringer med tyngere trafikk, er det på de fleste stedene med min. overdekning (0,5 m) fylt pukk inne i kulverten. Hvis dette ikke primært i tillegg skal tjene som et friksjonselement, bør den lengden som rørene fylles med finpukk, være kortere ved veipasseringer enn de nærmest beliggende friksjonselementene hvis det ikke fins annen mulighet for ekspansjon mellom friksjonselementene. Dette er nødvendig for å sikre en kontrollert ekspansjon. Ledningsnettet er imidlertid utformet slik at det ved nesten alle veipasseringer er naturlig med et friksjonselement. Pukkfylling inne i kulverten gjør denne i stand til å tåle all anleggs- trafikk med en minste overdekning på 0,5 m.

Rørplassering i kulverten

Det er viktig å kjenne ekspansjonsretningen ved retningsforandringer for å kunne plassere rørene riktig i isolasjonskulverten. L-bøyer (90° bend) har mulighet til å oppta ekspansjon i begge retninger, se fig. 76.



Fig. 76. Det legges inn 90° retningsavvik for å kunne oppta en større rørekspsjon

Ved enkelte avgreninger der rør tilknyttes fra flere sider, er det benyttet en ekspansjonssløyfe, såkalt Z-ekspansjon. Her vil ofte ekspansjonen være mer sammensatt. Det er derfor viktig at man her har muligheten for å kunne oppta ekspansjoner i flere retninger fig. 54 og 77. For å begrense rørlengdene ved Z-ekspansjonene, er røret glødet som vist på Figur 77.

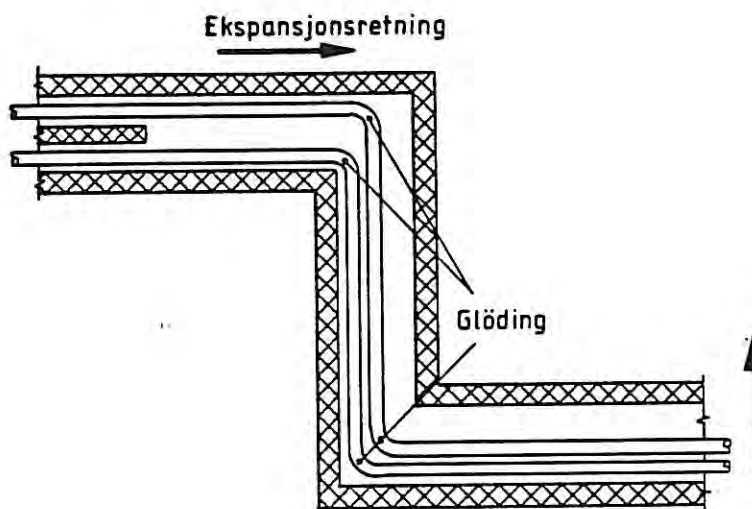


Fig. 77. Z-ekspansjonselement ved avgreninger. Rørplassering i forhold til ekspansjonsretningen.

For å sikre at all deformasjon ikke kommer på et enkelt sted er rørene glødet over en strekning pr. Z-element på ca. 1,0 m. Dette medfører at Z-ekspansjonene også vil kunne virke som et engangsekspansjonselement. Når rørene ekspanderer første gang vil de kunne deformeres på disse stedene. Dette kan skje hvis rørplasseringen i kulverten eller utførelsen er uheldig, slik at deformasjonen på et enkelt sted kan bli større enn forutsatt. Ved etterfølgende avkjøling eller oppvarming vil det ikke oppstå noen deformasjon da det på forhånd er sørget for tilstrekkelig plass til ekspansjon i kulverten. Også i denne forbindelse er det viktig med friksjonselementer som fikserer røret i riktig posisjon i kulverten etter oppvarming.

Maksimalt tillatt ekspansjon i 90° bend

Hvor stor ekspansjon som kan tillates i hvert bend eller ekspansjonselement, vil direkte være avhengig av rørdimensjonen og rørets plassering i kulverten. Av praktiske grunner benyttes det en type standard kulverter for hele sekundærnettene bortsett fra for de største rørdimensjonene. Den innvendige åpningen i kulverten er 300 mm. Det er derfor viktig spesielt for større rørdimensjoner at disse legges nær den vegg

der ekspansjonen kommer fra fig. 78. For at det ikke skal kunne oppstå noen misforståelser om rørplasseringen, er det på tegningene angitt ekspansjonsretning ved alle bend.

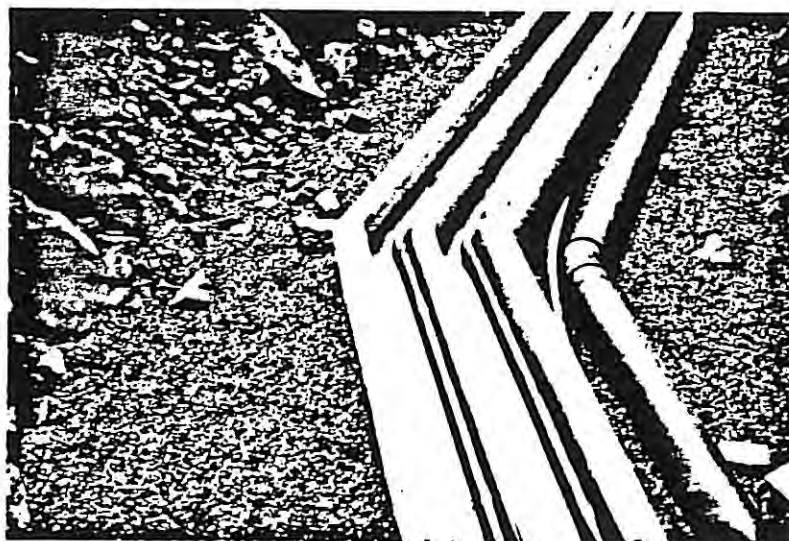


Fig. 78. Rørplassering i isolasjonskulverten.

Teoretisk vil det ved 90° bend, for rør med 88,9 mm \emptyset , være 122 mm tilgjengelig plass for ekspansjon i begge retninger. Det forutsettes da at tur/returledningen legges sammen og plasseres helt inntil isolasjonsveggen. For disse rørene er lengste strekk mellom to ekspansjonselementer ca. 120 m. Dette gir en samlet ekspansjon på 160 mm. Temperaturendringen er da 80°C . Denne ekspansjonen fordeles over to ekspansjonselementer hver med 80 mm. Dette betyr at det teoretisk er 42 mm gjenværende plass i kulverten ved hvert ekspansjonselement. Da tur- og returtemperaturen maksimalt har en differanse på 20°C bør avstanden mellom disse rørene være 25 mm. Dette vil sikre at rørene ikke berører hverandre, uavhengig av av innebyrdes plassering i kulverten. Tilgjengelig plass i kulverten vil da være 17 mm. For øvrig vil tyngden av rørdimensjonene ligge mellom 40-50 mm \emptyset . For disse dimensjonene er det derfor vesentlig mer plass tilgjengelig for ekspansjon. Maksimal rørlengde mellom ekspansjonselementene er allikevel også for disse rørdimensjonene begrenset til 120 m. For å lette monteringsarbeidene for de største rørene er det blitt levert en noe større isolasjonskasse med en utvendig bredde på 600 mm. Innvendig lysåpning i horisontal retning er på 180 mm, fig. 10.

For å sikre at ekspansjonen fordeles over begge bend er det viktig at det er etablert friksjonselementer. Disse skal ikke virke som absolutte fastpunkter, men sikre at ekspansjonen ved senere oppvarming fordeles ut fra dette elementet. Det er viktig for å forhindre utmattingsbrudd som ellers kan oppstå over tid ved større temperaturendringer.

Da rørene normalt ikke ligger i rettstrekk mellom ekspansjonselementene, vil det også over disse strekningene være mulighet for noe opptak av ekspansjon, fig. 53. Denne ekspansjonen kan utnyttes aktivt når rørene av en eller annen grunn treffer isolasjonsveggen. Ved fastleggelsen av nødvendig antall ekspansjonselementer, er det ikke tatt hensyn til den ekspansjonen som kan finne sted ved mindre retningsendringer. Det er heller ikke regnet med at rørnettets kan tåle en betydelig hemning av ekspansjonen (ca. 30-50%) uten at rørspenningene blir for høye. Dette kan gi en betydelig sikkerhet mot skader selv ved en feilmontering av rørene i kulverten.

Spesielt blødt kopper vil også over tid bli utsatt for kryp. Størrelsen og hastigheten på kryptet vil være avhengig av spennings- og temperaturnivået. Dette betyr at man vil få en spenningsrelaksasjon som over tid vil redusere spenningene.

Avgreninger

Alle avgreninger er utført slik at disse er elastiske og tåler de bevegelsene som kan opptre pga. den termiske ekspansjonen. Dette gjelder også alle stikkledningsavgreningene inntil enkelthus, fig. 36. Avgreningene er utført slik at isolasjonskassen for avgreningen er lagt over isolasjonskassen for hovedgrenen. Dette sikrer at ingen avgreninger er ført direkte inn på hovedgrenen, samtidig som avgreningen ikke kommer i veien for vann- og spillvannsledningen.

BILAG 2.

FUKTOPPTAK I ISOLASJONEN, LABORATORIEFORSØK

Forsøksoppstillingen er vist på fig. 79. En 50 mm Ø vannfylt kopperledning er lagt inne i fire isolasjonskasser. Materialet i kassene er ekstrudert polystyren (Styrofoam). To av kassene er kledt innvendig med en diffusjonstett plastkledd aluminiumsfolie, og to er fylt med finpukk, type 8-12 mm, en med folie og en uten.

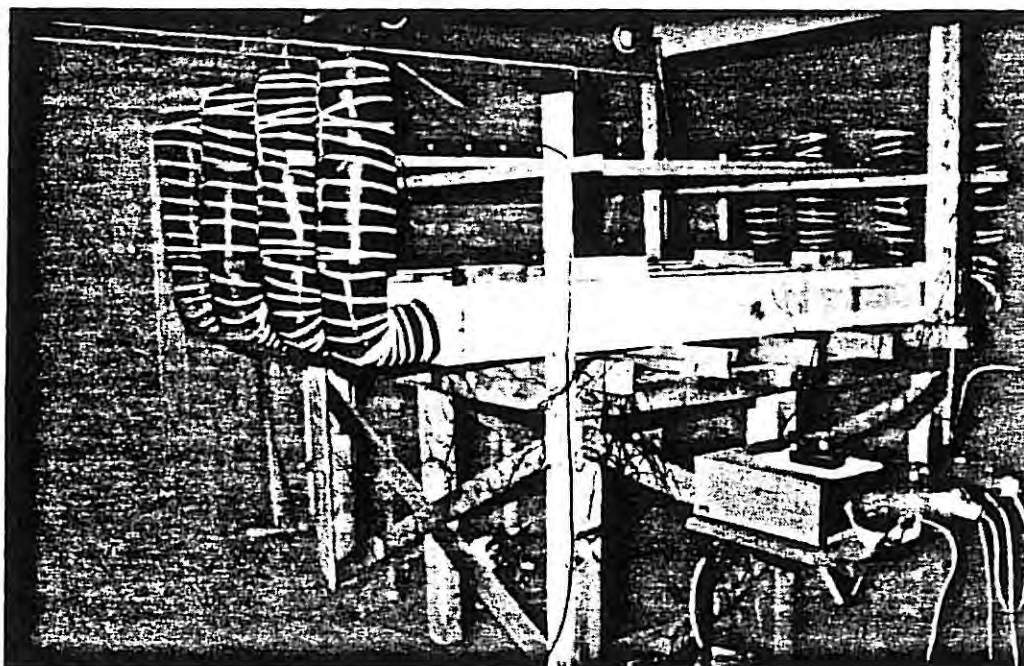


Fig. 79. Måleoppstilling for fukt og utøringsforsøk.

Det er viktig å undersøke forholdene når det er fylt finpukk inne i kassen. Dette vil være tilfellet ved veipasseringer eller hvis det er ønske om å etablere fastpunkter. Alle kassene er tilført samme effekt pr. løpemeter, og de vertikale stammene på rørene er isolert slik at disse har overtemperaturer i forhold til rørtemperaturen inne i isolasjonskassen. Dette forhindrer konveksjon inne i røret.

De pukkfylte kassene mettes med vann, og alt fritt vann dreneres ut. Uttøringsforløpet kan direkte registreres ved å registrere rørtemperaturen. Figur 80 viser et uttøringsforløp der stasjonære forhold inntreffer i begge kassene etter ca. 8-10 døgn. Stabiliseringen går noe hurtigere i kassen uten folie, og temperaturen når hurtig opp til nivået for tørt materiale. Dette betyr at pukk materialet tørker ut meget hurtig. I kassen med folie inntreffer også meget hurtig en partiell uttørking av materialet i kassen, men det tar noe lengere tid før all fuktighet er drevet ut av kassen. Uttøringsforløpet viser at en vesentlig del av fuktigheten drives ut i spalten mellom kassen og lokket. Da kasseelementene i praksis legges

etter hverandre i grøfta uten noe tetting, vil fritt vann som trenger inn i kassen renne ut i bunnen. Kassene legges i fellesgrøft med VA-ledningene som legges med fall. Alle lavpunkter i nettet vil derfor være drenert med avskjærende grøfter.

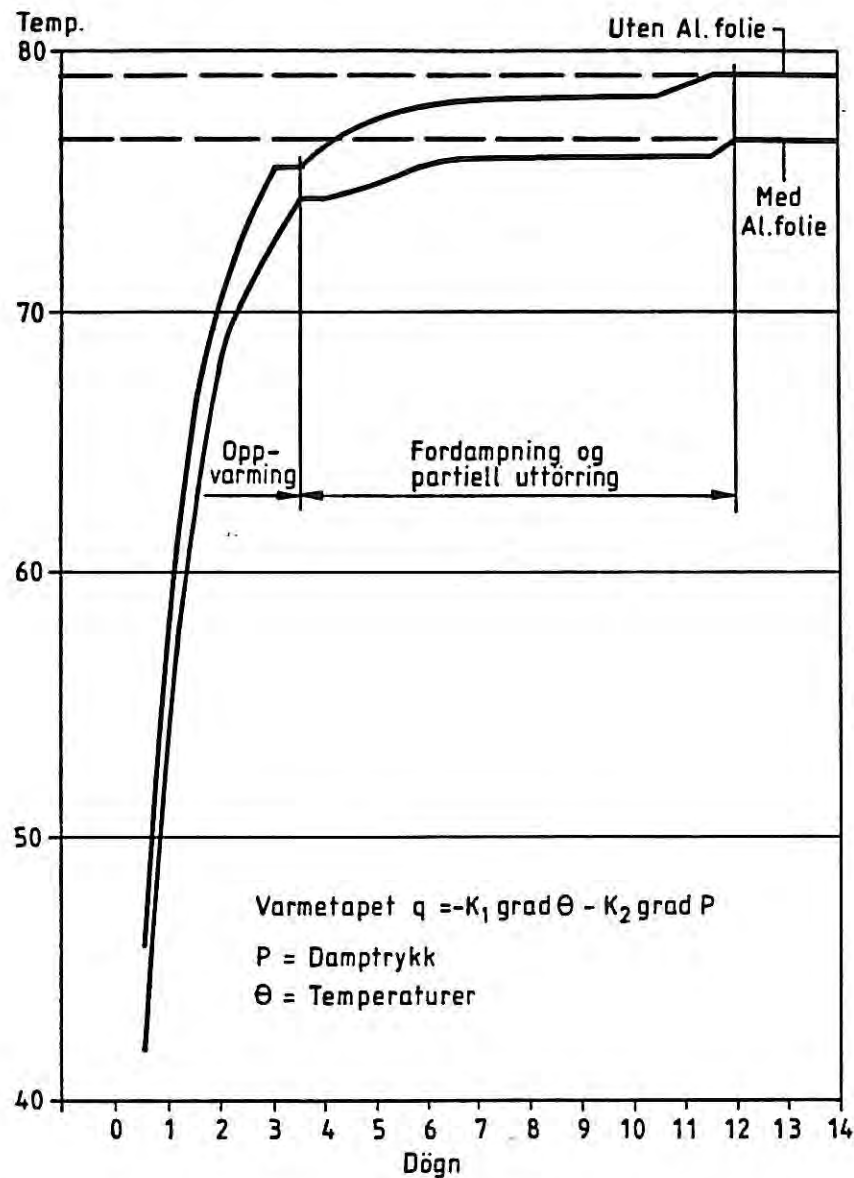


Fig. 80. Uttørkingsforløpet i pukkfylte isolasjonskasser med og uten al-folie. Varmetilførselen er lik og konstant (12 W/m) i begge kassene. Målingene viser at en vesentlig del av fukten blir drevet ut i spalten mellom kassen og lokket. Varmetapet er noe større i kassen med al-folie.

På grunn av det høye damptrykket inne i kassen hvis det er fuktighet til stede, vil fukten også kunne diffundere gjennom isolasjonen når det ikke er benyttet folie. Da isolasjonsmaterialet er relativt tett, vil dette bare være beskjedne mengder. Dette er selvfølgelig også avhengig av tilgangen på fuktighet. Målinger viser at en vesentlig del av denne fuktigheten ikke forblir i isolasjonsmaterialet. Det er særlig i sommerhalvåret kassen kan bli utsatt for fuktighet på grunn av nedbør. På Brenna er anlegget i drift også i sommerhalvåret pga. forsyningen av varmt forbruksvann.

Pukkmaterialene i omfyllingen har en relativt lav varmeledningsevne (0,5-0,6 W/mK) samtidig som materialene ikke kan holde på fuktighet av noen betydning. Pukkmaterialene i umiddelbar nærhet av kassen vil derfor på grunn av varmetapet ha høyere temperatur enn omgivelsestemperaturen på samme nivå i grunnen. Dette vil under sommerforhold med lite nedbør og høye temperaturer kunne føre til en partiell uttørking av pukkmaterialene rundt kassen. Dette gjør at ev. kondensert vann i isolasjonsmaterialet vil kunne trenge ut. De første kassene som ble levert til feltet, var utstyrt med en plastbelagt aluminiumsfolie under lokket. Ved en samlet vurdering av ovennevnte data, ble det besluttet å levere kasser uten denne folien. Dette vil også forenkle framstillingsprosessen av kassen og kunne føre til lavere priser.

BILAG 3.

TRYKKSTYRKE AV ISOLASJONSKULVERTEN I GRUNNEN

Figur 81 viser måloppstillingen der deformasjonen av isolasjonskulverten er målt. Lastflaten er 0,3 m², og overdekningen er 450 mm.

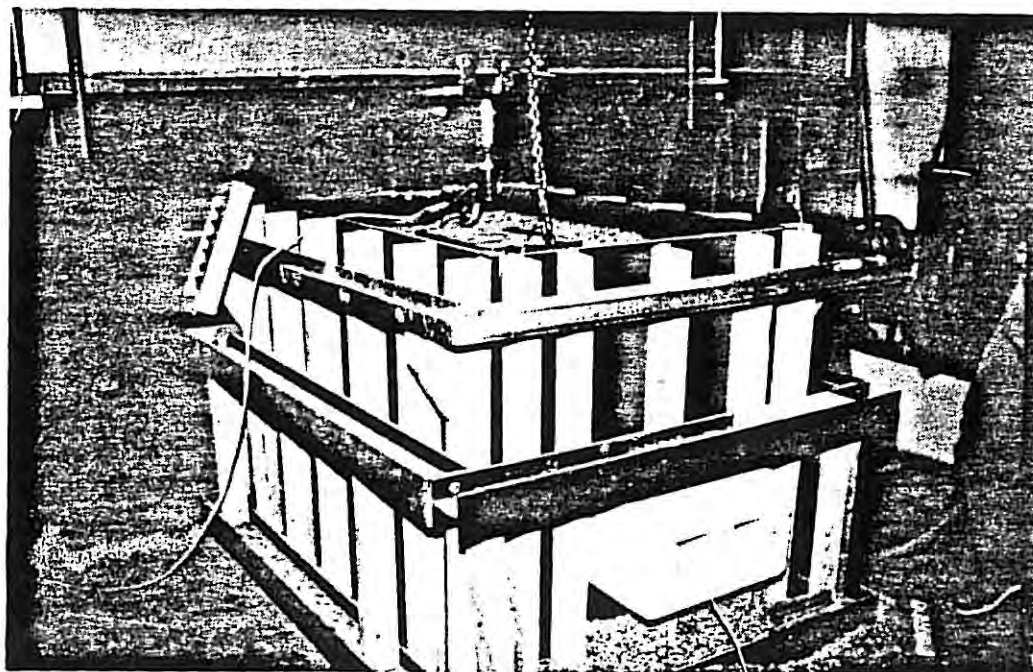


Fig. 81. Deformasjonsmålinger av isolasjonskulverten.

Omfillingssmaterialene er finpukk 8-12 mm, og det er ikke fylt masse i kassen. Figur 82 viser deformasjonen av en isolasjonskulvert med to kamre.

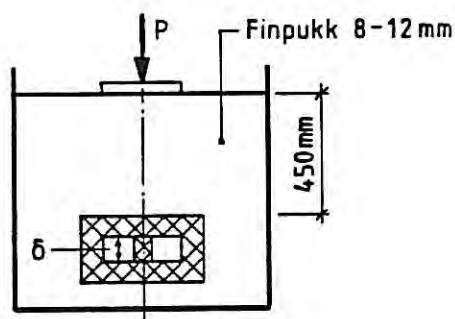
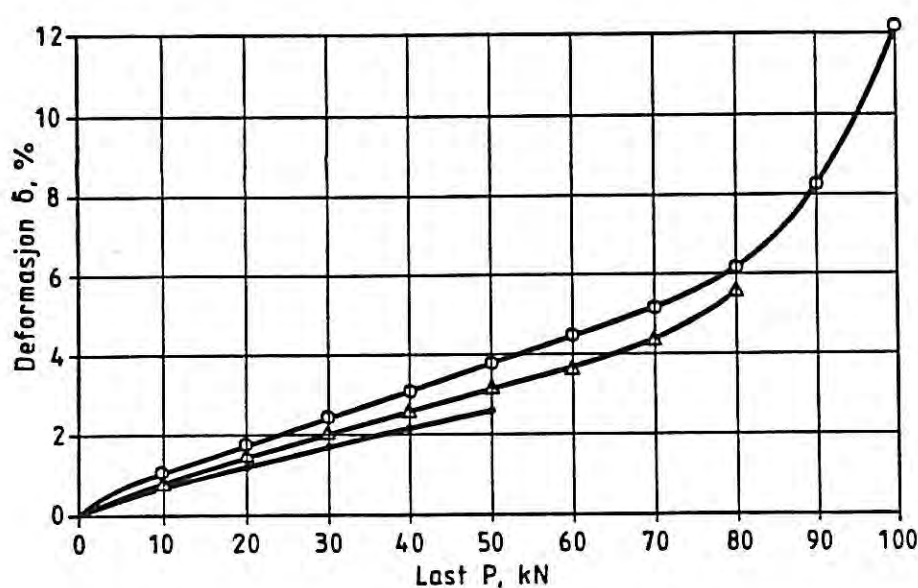


Fig. 82. Deformasjonsmålinger av isolasjonskulverten. Dimensjonerende hjultrykk er 50 kN. Ved veipasseringer er kassen fylt med finpukk.

Isolasjonstykkelsen er 80 mm, og det er benyttet ekstrudert polystyren type Styrofoam HI. Bredde og høyde på kassen er 460 mm henholdsvis 260 mm. Midtplaten har en tykkelse på 40 mm. Denne har en kortidstrykkstyrke på 400 kN/m². Lokket er innvendig belagt med en al-folie. Som dimensjonerende hjultrykk kan en regne 50 kN.

Det er foretatt en rekke laster og avlastninger opp til 50 kN. Dette har resultert i en deformasjon på ca. 2,5% og en varig deformasjon på ca. 0,5%. Deretter er lasten økt til 80 kN. Dette har ført til en total deformasjon på 5,5%. Ved et hjultrykk på 100 kN er deformasjonen 12%, og kassen er utsatt for et permanent krep, se fig. 82.

Det framgår her at kulverten med en overdekning på 450 mm vil kunne tåle sporadiske overkjøringer av anleggstrafikk. Derimot bør det fylles masse i form av finpukk inne i kassen ved veipasseringer. Det er utført ytterligere deformasjonsforsøk med en 100 mm Ø plastavløpsledning lagt inne i kulver-

ten, fig. 55. Når det er finpukk rundt røret, viser målinger helt ubetydelige deformasjoner av røret selv med hjultrykk på 100 kN. I dette tilfellet er det styrken av isolasjonsmaterialet som er avgjørende.

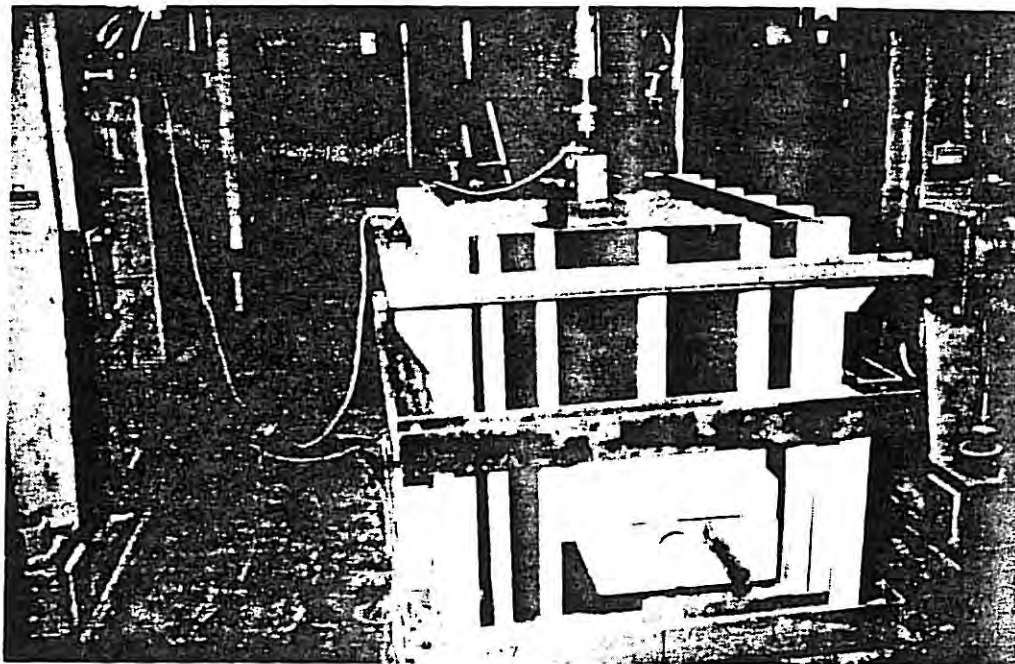


Fig. 83. Deformasjonsmålinger med finpukk inne i isolasjonskulverten.