DANSK KEDELFORENING
dkTEKNIK
ENERGI OG MILJØ

Enstrenget, pulserende fjernvarme

Energiministeriets forskningsudvalg
for produktion og fordeling
af el og varme

EM journal nr. 1323/90-0013
ISBN: 87-7782-037-1

MASTER

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED
FOREIGN SALES PROHIBITED RB

DK9301887
NEI-DK--1355

Energiministeriets
Forskningsudvalg for
produktion og fordeling
af el og varme

Enstrenget, pulserende fjernvarme

Nils Peter Astrupgaard
dk-TEKNIK
Maj 1993

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED
FOREIGN SALES PROHIBITED

1993 dk-TEKNIK
Dansk Kedelforening
ISBN 87-7782-037-1
Rapporten må kun gengives i uddrag efter skriftlig tilladelse fra dk-TEKNIK
og med kildeangivelse.

* RÅDGIVNING
* AUTORISERET PRØVNING
* UDVIKLING OG FORSØG
* DRIFTSKONSULTATION

dk-TEKNIK, Dansk Kedelforening, er en rådgivende virksomhed, selvejende institution og er godkendt som et teknologisk serviceinstitut af Industri- og Handelsstyrelsen. Hovedarbejdsområderne er energi- og miljøteknik.

dk-TEKNIK betjener især industri- og erhvervsvirksomheder, kraftværker, fjernvarmeværker og andre forsyningsselskaber, større boligselskaber og institutioner samt ministerier, styrelser og andre officielle instanser.

dk-TEKNIK . Gladsaxe Møllevej 15 . 2860 Søborg . Tlf. 39 69 65 11 . Telefax 39 69 60 02
dk-TEKNIK . Ølgodvej 7 . 9220 Aalborg Øst . Tlf. 98 15 88 11 . Telefax 98 15 15 16
dk-TEKNIK . Hindbær 8 . 5160 Odense S. . Tlf. 66 13 45 11 . Telefax 66 13 86 11
dk-TEKNIK . Vesterballevej 4-6 . 7000 Fredericia . Tlf. 75 94 48 11 . Telefax 75 94 48 12

Indholdsfortegnelse

Forord 4
Resume 5

1. INDLEDNING 6
1.1 Generelt 6
1.2 Ide- og funktionsbeskrivelse 6

2. DIMENSIONERING 9
2.1 Generelt 9
2.2 Forudsætninger 9

3. DISTRIBUTIONSSYSTEM 12
3.1 Fjernvarmerør 13
3.2 Fjernvarmenettyper 16
3.3 Nedlægningsprincipper 19
3.4 Brugertilslutning 21
3.5 Nedlægningsomkostninger 21

4. BRUGERINSTALLATION 23
4.1 Dimensionering 23
4.2 Tidligere undersøgelser af lagdeling 23
4.3 Valg af beholdertype 24
4.4 Omkostninger for fjernvarmeinstallation 26

5. SYSTEMETS DYNAMIK 27
5.1 Generelt 27
5.2 Beskrivelse af simulering 28
5.3 Resultater 28

6. KONKLUSION 37
6.1 Generelt 37
6.2 Økonomi 37
6.3 Anbefalinger/konklusion 38

REFERENCER 39

Forord

Etablering af fjernvarme i spredt bebyggelse med lille energitæthed kræver billige fjernvarmesystemer/-komponenter for at være rentabelt. Der har gennem de seneste år været fokuseret på at få anlægs- og driftsomkostningerne ned gennem bl.a. dette projekt og i et projekt fra Laboratoriet for varme- og klimateknik på DTH. De to systemer er begge enstrengede og begge kaldes for pulserende fjernvarme. Anlægsopbygningen er dog meget forskellig og de to systemer adskiller sig væsentligt fra hinanden.

DTH projektet (EFP-86 journal nr. 1413/86) blev igangsat først, hvorfor opmærksomheden har været samlet omkring det. Efter afslutningen af projektet, er der efterfølgende bevilget midler til at gennemføre nærværende forstudie. Firmaet Gränges har finansieret en del af forstudiet.

Flere værktøjer og resultater fra DTH projektet kunne anvendes i nærværende projekt, og laboratoriet ved Bjørn Kvisgaard har således medvirket ved tilblivelsen af denne rapport, idet varmepuls-analyserne er udført på det af laboratoriet udviklede EDB-program.

Forskellen på de to systemer er, at DTH projektet gennem en enkelt ledning sender det varme vand frem til nogle "fleksible" beholdere, der udvider sig efterhånden (trykekspansionsbeholdere), som de bliver fyldt med varmt vand. Når varmen er brugt trykkes vandet tilbage, og en ny portion varmt vand kan sendes frem. Systemet fungerer i princippet som menneskets åndedræt. I det i nærværende rapport omhandlede system sendes en varmepuls rundt i et enstrenget ringnet, og beholdere hos de enkelte fjernvarmeforbrugere fyldes op efter tur.

Resume

I nærværende rapport er det undersøgt hvorvidt det vil være muligt at reducere anlægsomkostningerne for nye fjernvarmenet - primært i mindre bysamfund i varmeforsyningens såkaldte område 4 - ved at udføre disse som enstrengede net med lange rør uden samlinger fra hus til hus, hvorved samlinger i jord undgås.

I de enkelte huse oplades efter tur en 300 liter bufferbeholder (akkumuleringstank) efterhånden som en varm puls breder sig rundt i nettet. Det kolde vand i rørene og fra den enkelte forbruger skubbes således hele tiden foran den varme puls.

Det er ved EDB simuleringer sandsynliggjort, at driftsformen kan praktiseres. Dette kræver en nøje veldefineret varmepuls, hvilket kan opnås, hvis der er under 600 meter til den første forbruger.

I rapporten gøres endvidere status over varmetab fra fleksible plastrør med fleksibel isolering i PU. Varmetabene fra disse må anses at være omkring 50% større end fabrikanterne angiver.

Ved enstrenget driftsform er det endvidere beregnet, at fjernvarmenettets nettab kan mere end halveres. Dette skyldes i princippet, at der altid køres "fuldlast" under puls. Efterfølgende cirkulerer vandet ikke i røret, hvorfor der ideelt set ikke er varmetab under stilstand.

Udfra økonomiske kalkulationer er det sandsynligt, at net incl. forbrugerinstallationer udført i twin rør gående fra hus til hus uden samlinger i jord - men drevet som traditionel fjernvarme - kan udføres op til 25% billigere end et tilsvarende stålnet. Nettabet vil med denne type rør kunne reduceres omkring 15% - primært fordi sådanne net vil indebære færrest mulige rørmetre.

Økonomiske kalkulationer viser, at det enstrengede net incl. forbrugerinstallationer vil kunne udføres lidt billigere end et tilsvarende stålnet - ca. 5%. Dette net vil dog kunne medføre mere end en halvering af nettabet - fra ca. 93 MWh/år til ca. 40 MWh/år i et net med 27 forbrugere.

Det anbefales derfor at arbejde videre med konceptet i fuldskala med et net udført i twinrør med mulighed for omkobling mellem traditionel og enstrenget drift - sidstnævnte driftsform ved at lade fjernvarmevandet løbe parallelt frem i de to rør.

1. INDLEDNING

1.1 Generelt

Der er idag et stort antal mindre bysamfund i Danmark, hvor opvarmning af husene baseres individuelt på centralvarme med oliefyring, ovne eller elvarme. Energiplan 2000 peger på, at det er samfundsmæssigt ønskeligt, hvis energiforsyningen kunne omlægges til fjernvarme baseret på lokale fornyelige og CO_2-neutrale energikilder som halm og træ.

Da afstanden mellem huse i mindre landsbyer med under 100 boliger ofte er stor, vil anlægsomkostningerne til traditionel fjernvarme normalt være for store set i relation til den mulige varmeafsætning. Det vil således ikke være muligt at udbygge med fjernvarme i de pågældende bysamfund uden betydelig økonomisk støtte.

På landsplan findes der jf. ref [6] ca. 2000 byer med mellem 20 og 75 boliger, svarende til ca 200.000 indbyggere eller ca. 4% af befolkningstallet.

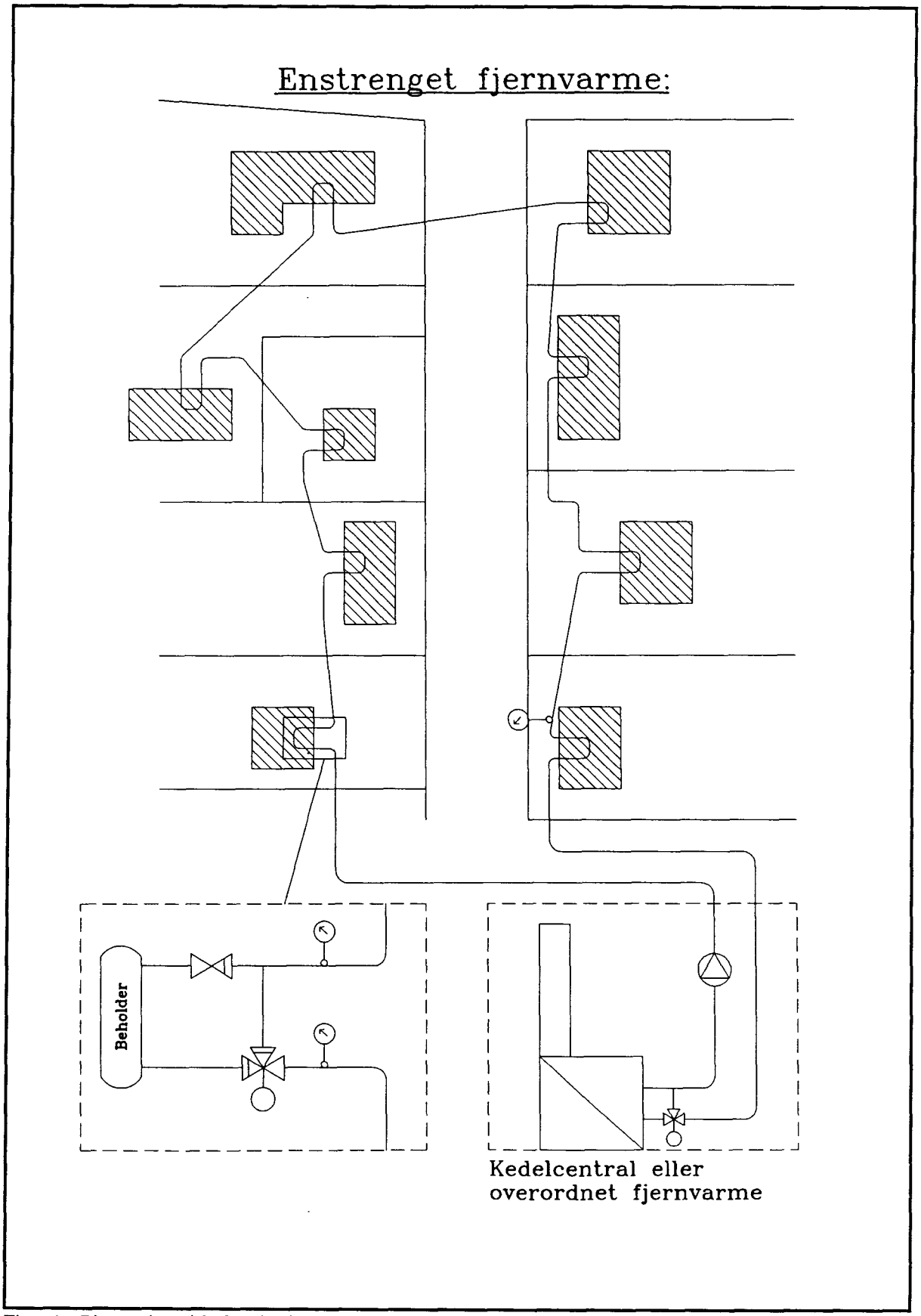
Det er derfor nødvendigt at finde nye veje for bl.a. at reducere anlægsomkostningerne, hvis disse byer skal forsynes med varme fra lokale brændsler. Dette kan eventuelt ske i forbindelse med nye anlægsprincipper, som det i denne rapport foreslåede enstrengede system.

1.2 Ide- og funktionsbeskrivelse

Dette projekt tager sigte på at gøre anlæg af nye fjernvarmenet i små landsbyer rentable. Den grundlæggende ide for projektet er at reducere etableringsomkostningerne ved at udføre nettet en-strenget, at anvende flex-rør af plast samt at reducere varmetabet fra ledningsnettet ved efter behov at pumpe varmt vand rundt (en varmepuls), og derved drive nettet on/off.

Dette opnås ved at bygge fjernvarmeforsyningen op over et antal enstrengede ringnet. Den enkelte ring forsyner op til 20 huse med fjernvarme fra fjernvarmeledninger, der når fra hus til hus, hvorved samlinger i jord undgås, jf. figur 1. Systemet adskiller sig fra et "traditionelt enstrenget system", ved at det afkølede vand fra de enkelte forbrugere ikke ledes ud i det varme fremløbsvand. Forbrugeren sidst på ringnettet får derfor ligeså varmt vand som den første på ringen.

Den enkelte forbruger i et sådant system forsynes med en fjernvarme-installation bestående af en bufferbeholder. Denne oplades hver gang der sendes en ny "varmepuls" ud fra kedel-



Figur 1 Ringnet i en del af en landsby

centralen. Idet der opretholdes en temperatur-lagdeling i beholderen, vil det være muligt at oplade denne, ved at tilføre det varme vand i toppen, mens det kolde vand skubbes ud i nettet foran den varme "puls".

Når den enkelte forbrugers beholder igen er "ladt op", hvilket simpelt ses ved, at indgangstemperaturen er lig udgangstemperaturen, sørger en trevejs-ventil for at by-pass'e beholderen. Varmepulsen udbreder sig herefter videre mod den næste forbruger på ringen, mens det kolde vand hele tiden skubbes foran. Når næste forbrugers temperaturføler mærker varmepuls åbnes for opladning af dennes beholder, og opladningsproceduren gentages. Sådan fortsættes hele vejen rundt i systemet.

Når varmepulsen har passeret en forbruger vil der være varme på fjernvarmeledningen mens de resterende forbrugere oplades. Når opladningen af den sidste forbruger er ved at være afsluttet sendes en "streng koldt vand" rundt. Dette kolde vand vil "reset'te" samtlige styringer, så de igen åbner når næste varmepuls kommer.

2. DIMENSIONERING

2.1 Generelt

Mange fjernvarmenet med fremløbstemperaturer på 90°C kører kun med en gennemsnitsafkøling på 30°C over brugerinstallationen. Ved almindelig fjernvarmeforsyning er det normalt muligt at køre med en afkøling på op til 45°C ved denne fremløbstemperatur. For at reducere varmetabet har der i en årrække været fokuseret meget på lavtemperaturfjernvarme, hvor fremløbstemperaturerne i dimensioneringssituationerne når ned under 70°C, hvilket kan opnås med frem- og returløbstemperaturer på hhv. 70/40°C. Disse lavtemperatur-forudsætninger bliver brugt ved gennemregning af de enkelte fjernvarmenettyper.

Det bør dog fremhæves, at fjernvarmenet bygget som ringnet ifølge dette projekts idegrundlag, ikke får specielt lavere varmetab ved at anvende lavtemperaturdrift.Dette skyldes, at nettet drives ved at sende et antal "varmepulser" ud gennem nettet. Om sommeren forudses der kun at være brug for et par varmepulser pr. døgn. I den resterende tid vil nettet ligge koldt hen – og derved ikke have noget varmetab. I dimensioneringssituationen vil en varmepuls umiddelbart efterfølges af den næste.

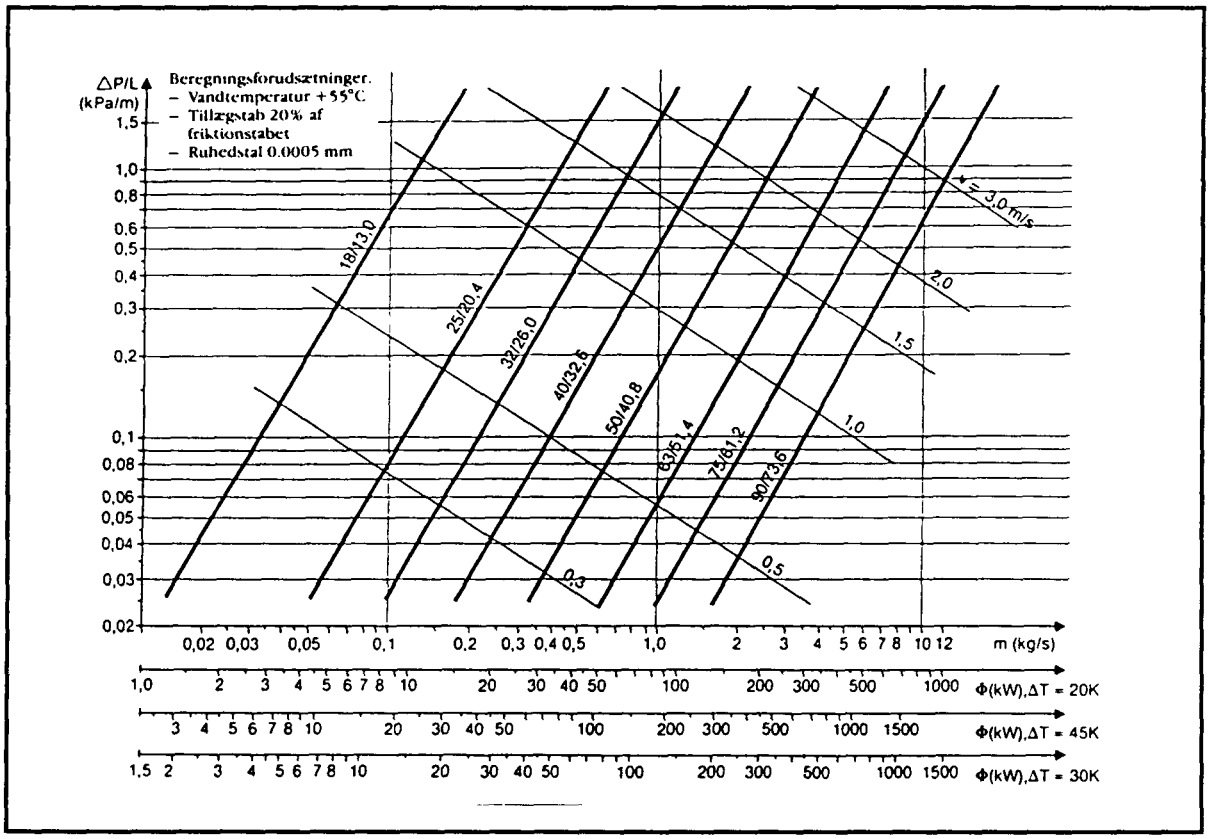
Årsagen til alligevel at anvende lavtemperaturforudsætninger er, at ringnet meget vel kan tænkes at ligge for enden af traditionelle fjernvarmenet, som af hensyn til minimering af varmetabet drives som lavtemperaturnet.

Det er dog primært i forbindelse med tilslutning til dampbaserede kraftvarmeanlæg, at lavtemperturdriften giver store energibesparelser, idet den lavere temperatur giver mulighed for en lavere kondensatortemperatur og deraf følgende større elproduktion. Den lavere temperatur er dog også betydningsfuld, hvor der anvendes kondenserende røggaskølere, hvilket længe har været tilfælde ved gasfyrede anlæg – men i den senere tid også er tilfældet ved flere flisfyrede anlæg.

2.2 Forudsætninger

Temperaturniveauet fastlægges som før nævnt til 70/40°C for hhv. frem- og returløbstemperaturerne.

Det dimensionerende tryktab vælges i første omgang til 100 Pa/m, hvilket som det ses af tryktabsnomogrammet figur 2.1 ikke medfører vandhastigheder på over 0,7 m/s i de valgte rørdimensioner.



Figur 2.1 Tryktabsnomogram

Disse forudsætninger betyder, at der vil være indbygget en vis reservekapacitet i nettet, idet fremløbstemperaturen kan sættes højere. Ekstra kapacitet kan også fås ved at sætte vandhastigheden op. Af tryktabsnomogrammet ses, at et trykfald på 200 Pa/m giver 40 % større ydelse. Vandhastigheden vil da stige til ca. 1 m/s.

I modelberegningerne i det følgende regnes med en landsbygade med 27 forbrugere. Hvert hus er på 130 m^2 isoleret op til BR77 standard. Tilslutningseffekten er ca. 8 kW fordelt på 6 kW til opvarmning og 2 kW til varmt brugsvand, hvilket repræsenterer gennemsnitseffekten over et døgn. Effekten svarer iøvrigt til den man får ved praktisk dimensionering når et hus med et nettovarmeforbrug på knap 60 GJ/år svarende til 16 MWh/år regnes at have et ækvivalent fuldlasttimetal på 2000 timer/år.

Ringkonceptet indebærer, at ledningsdimensionen overalt skal kunne overføre effekten (vandstrømmen ved forudsat afkøling), svarende til hele ringens leveringsområde. Med andre ord er det nødvendigt at anvende den dimension ledning som selve forsyningsledningen ind i et traditionelt fjernvarme-ledningsnet for området skulle have.

Samtidsfaktoren - SF - kommer til udtryk ved, at ikke alle bufferbeholdere skal fyldes helt

op ved hver puls p.gr.a. primært forskelligt varmtvandsforbrug. De enkelte varmepulser tager således kortere tid – til gengæld skal der være flere af dem, da den samlede energimængde trods alt skal leveres. Dette betyder også, at hele ringen lægges ud med den samme SF, modsat et normalt grennet, hvor SF stiger mod enden af nettet for at være SF=1 i selve stikledningen.

Resume af generelle forudsætninger:

- Tryktabsgradient 100 og 200 kPa/m
- Vandhastigheder < 0,7 m/s. Forceret drift < 1,0 m/s
- Lavtempereaturfjernvarme T_F/T_R = 70/40°C, hvilket giver:
- Afkøling på 30°C og middeltemperatur på 55°C
- Tilslutningseffekt pr. "standardhus": 8 kW

Dimensioneringstabel for PEX-rør: Trykgradient 100 Pa/m

Længde	Dim	$\dot{m}$	v	$\dot{Q}$	SF	Antal huse	Effektsum
m	mm	kg/s	m/s	kW		ca.	kW
250	Ø25	0,12	0,35	14	0,95	2	16
150	Ø32	0,21	0,40	27	0,90	4	32
100	Ø40	0,39	0,50	49	0,85	7	56
100	Ø50	0,72	0,60	91	0,80	14	112
100	Ø65	1,40	0,70	170	0,78	27	218
50	Ø75	2,20	0,80	270	0,77	44	352

Dimensioneringstabel for PEX-rør: Trykgradient 200 Pa/m

Længde	Dim	$\dot{m}$	v	$\dot{Q}$	SF	Antal huse	Effektsum
m	mm	kg/s	m/s	kW		ca.	kW
250	Ø25	0,17	0,55	22	0,95	3	23
150	Ø32	0,32	0,65	40	0,90	5	44
100	Ø40	0,59	0,80	74	0,85	11	87
100	Ø50	1,10	0,90	140	0,80	22	175
100	Ø65	2,10	1,00	265	0,78	42	340

Når pumpeeffekten skal gøres op skal der udover ovennævnte trykfald også tages hensyn til trykfald over komponenter. Disse komponenter vil i hver ring alle være placeret i forbindelse med den enkelte forbrugers fjernvarmeinstallation. Enkeltmodstandstallet kan bruges som udtryk for disse komponenttrykfald, og erfaringsværdier angives i ref. [2] til mellem 0 og 30% af friktionstabene.

Der vil ikke forekomme bøjninger i traditionel forstand, men der vil til en hvis grad skulle tages hensyn til bøjninger på selve fjernvarmeledningen specielt omkring indføringen gennem mur. Det vurderes imidlertid, at disse "bøjninger" ikke vil have nogen væsentlig indvirkning, da der er et meget stort forhold mellem bøjningsradius af røret og medierørets diameter. Enkelttabene vurderes derfor at ligge på max 10% i nærværende system, idet der hverken forekommer udvidelser, indsnævringer, bøjninger samt T-stykker. Kun selve husinstallationen vil medføre enkelttab af betydning.

Med udgangspunkt i de to tryktabstabeller ses, at en ring udlagt for 27 forbrugere med en standardafstand på 50 m, hvilket jf. afsnit 3.2 giver en længde på knap 1500 m, medfører et tryktab på 150 kPa ≈ 1,5 bar. Hvis en trykgradient på 200 Pa/m vælges ved at gå ned i ledningsdimension, bliver det totale trykfald over ringen på 300 kPa ≈ 3 bar. Til overvindelse af enkelttab, koteforskelle samt statisk tryk haves da 300 kPa til rådighed, hvis nettet lægges ud som til TN 6.

Standard afstandene jf. ref. [6] er normalt 20 m, hvilket jf. afsnit 3.2 giver en længde på 650 m. Det totale trykfald vil derfor blive 0,65 bar ved trykfald på 100 Pa/m. Hvis man i stedet benyttede muligheden for at forsyne 42 huse på en ring med den samme ledningsdimension og et trykfald på 200 Pa/m ville længden blive 1200 m. Det samlede trykfald vil derved blive på 240 kPa. Der vil altså være 360 kPa til rådighed til øvrige tab - eller til at medtage flere huse i landsbyens randområde, så varmemarkedet bliver størst muligt. Andre komponenter som eksempelvis en bufferbeholder i glasfiberarmeret plast har ved 70°C en trykbegrænsning på 600 kPa, hvorfor nettet lægges ud efter denne trykbegrænsning (TN 6).

3. DISTRIBUTIONSSYSTEM

3.1 Fjernvarmerør

Dette projekts idegrundlag bygger på anvendelsen af lange plastrør til varmefordelingen, da disse rør kan leveres, så de kan nå fra hus til hus uden samlinger i jord. Anvendelsen af plastrør gør det også muligt at undvære kompensatorer, idet spændingerne som opstår i rørerne ved opvarmning ikke er større end rørvæggen kan optage disse. Det anbefales normalt at lægge rørerne i svage buer (sinuskurver), hvilket giver dem en vis bevægelsesfrihed.

De fremherskende plastmaterialer til fjernvarmerør har igennem nogle år været PolyButylen (PB) og krydsbundet PolyEtylen (PEX).

PB–rørerne kunne svejses og der blev af flere rørfirmaer lanceret elektrosvejsemuffer til hurtig og nem samling af rørerne. Lægnings- og svejsetekniker blev i stort omfang overtaget fra naturgasområdet, men da PB plasten var dyr, kunne prisen ikke blive konkurrencedygtig.

PEX–rørerne har idag stort set overtaget markedet, fordi materialet er billigt, stærkt og giver mulighed for drift ved temperaturer op til 95°C. PEX rørerne er imidlertid ikke svejsbare, hvorfor man har været nødt til at benytte dyre kompressionsfittings ved samling. Idag har rørfabrikanterne udviklet nogle betydeligt enklere og billigere kompressionskoblinger, som også medfører kortere montagetid. Dette har bevirket, at der nu satses på PEX–rør.

Iltdiffusion gennem plastrør har været genstand for mange undersøgelser jf. ref [5], men man har ikke kunnet uddrage helt klare konklusioner i flere af disse undersøgelser. Forsynes fjernvarmerørerne imidlertid med en iltspærre mindskes iltdiffusionen flere hundrede gange, hvis spærren er udført af plast og for rør med barriere af aluminiumsfolie gælder, at disse er fuldstændigt tætte for ilt. Ved rørfabrikationen indlægges idag normalt en iltdiffusionssikker plastfolie i selve fremstillingsprocessen, hvorved PEX–rør med iltdiffusionsspærre kan tilbydes til konkurrencedygtige priser i.f.t. stålrør i de mindre dimensioner.

Fordele ved PEX–fjernvarmerør:

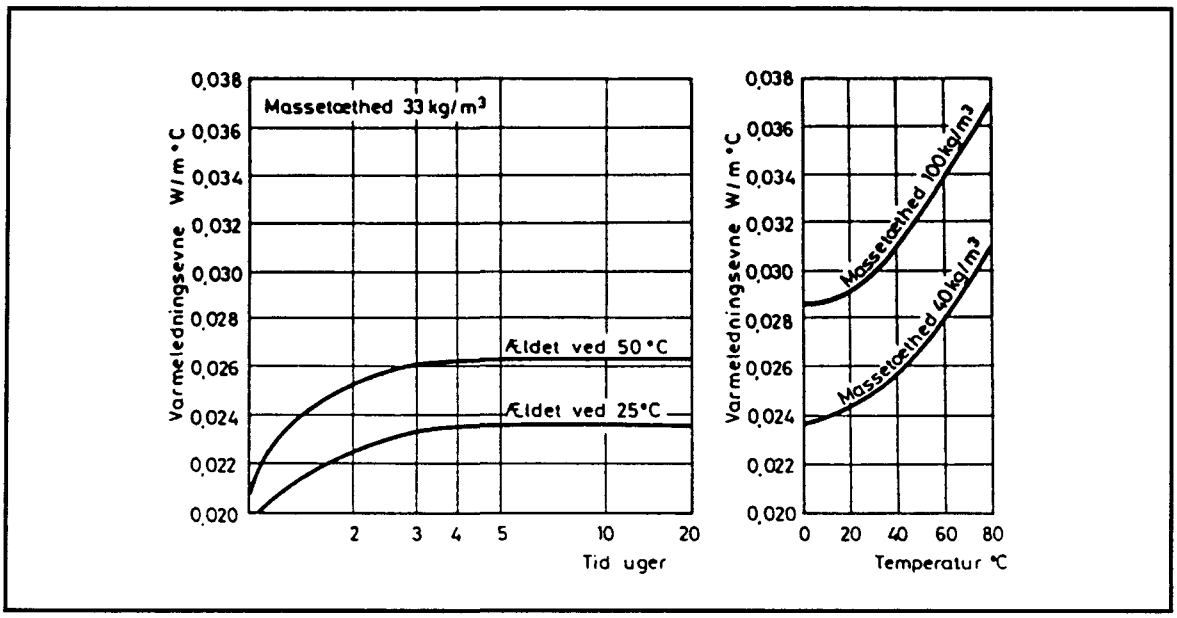
- Rørerne er korrosionsfaste
- De er forsynet med iltspærre
- Temperaturområdet strækker sig op til 95°C ved 600 kPa driftstryk.
- Levetiden er større end 30 år, hvilket dog endnu kun er dokumenteret ved accellerende forsøg.
- Rørene er fleksible, hvilket nedsætter håndteringsomkostninger samt kravene til rørgraven.
- Færre samlinger i jord p.gr.a. længere rør.
- Rørerne kan nedlægges i en smal grav gravet med en kædegraver, hvilket også reducerer udskiftning af fyld.
- Mulighed for hurtig nedlægning af rør.

Samlet giver ovennævnte punkter muligheder for betydelige besparelser ved anlæg af mindre ledninger, og plastrør er derfor idag den mest anvendte rørtype i forbindelse med stikledninger.

I større dimensioner fra ca. Ø 65 er der erfaringsmæssigt næppe store fordele ved at anvende plastrør. Blandt andet har mulighederne for at "bue" stålrørene i marken ved specielt grej, samt introduktionen af rør med indbyggede kompensatorer reduceret anlægsomkostningerne for fjernvarmenet baseret på stålrør.

Sammenligning mellem PEX-skum og PUR-skum isolering

Polyurethanskum (PUR) er idag det mest benyttede isoleringsmateriale til isolering af fjernvarmerør af stål. PUR-isoleringen skal opfylde flere krav vedrørende bl.a. massefylde på minimum 80 kg/m^3 (DS 2180) inden for snævre grænser og uden hulrum og revnedannelser, samt en varmeledningsevne på maksimalt 0,027 W/m/°C ved en middeltemperatur på 50°C.



Figur 3.1 PUR-skum's ledningsevne ved forskellige temperaturer og massefylder.

Da der imidlertid sker en afdampning (ældning) af den freon som endnu anvendes til opskumning, vil cellerne i skummet langsomt fyldes med luft. Endvidere vil massefylder på bare lidt over 80 kg/m^3 samt fremløbsrørets højere middeltemperatur betyde, at den praktiske isoleringsevne bør sættes højere, jf figur 3.1.

I fleksible plastledninger anvendes en knap så stiv PU-isolering med en højere varmeledningsevne, hvorved det praktiske varmeledningstab er endnu større. De fleste rørfabrikanter opgiver en varmeledningsevne på 0,027 W/m°C, uanset at det jf. ref. [10] er angivet, at varmeledningsevnen for semifleksibelt PU-skum ligger på 0,04 W/m°C. Betydningen heraf er et omkring 50 % større varmetab, jf. afsnittet "varmetab i praksis".

Hertil skal analogt med førnævnte betragtninger vedrørende indregnes ældningen. Ældningen af flexibel PU må antages at være mindre end ved PUR, da der er mindre opskumningsgas i den fleksible PU. Det har dog ikke i dette projekt været muligt at få data på ældning af fleksibelt PU-skum.

På visse typer fjernvarmerør er isoleringen bygget op ved at rulle en PEX-skummåtte rundt om medierøret. En fabrikant af denne type rør angiver isoleringens varmeledningstal til 0,040 W/m°C. Dette må anses for rimeligt, idet undersøgelser jf. ref. [9] viste, at varmeledningstallet kun var 0,036 W/m°C. Det er af rørfabrikanten oplyst, at PEX-skummet ikke er fremstillet v.hj.a. freon opskumning. Istedet bruges "AZODI", som er et carboamid samt et fornetnings-middel (dizomyl peroxid).

	Levetid (langtids)		Fleksi-bilitet	Mekanisk styrke	Isolerings-evne λ (w/m°C)	Pris (råvarepris) kr./kg.
	Fugt	Temp.				
PUR (stift)	Nedbrydes ekstremt opt. vand	$t_{max} \approx 130^{\circ}$ C	Ringe	God	>0,022	12 - 15
PUR (semiflex)	Nedbrydes opt. vand	$t_{max} \approx 130^{\circ}$ C	God	God	∿0,040	12 - 15
PE	opt. vand	≈60° C (krymper)	God	God	∿0,040	8 - 9
PEX	opt. vand	≈90° C (krymper)	God	God	∿0,040	8 - 9
EPS	stabil	≈60-70° C	Rimelig	Rimelig	∿0,032	10 - 11
PIR	Nedbrydes opt. vand	≈150° C	Ekstrem dårlig	Meget ringe	∿0,023	15 - 17
PHI	opt. vand	≈150° C	Dårlig	God	∿0,032	Meget
Mine-raluld	Stabil og delvis vand afvis.	≈250° C	God	Rimelig	∿0,036-0,045	-
Melamin-skum	Nogenlunde stabil opt. vand	≈150° C	God	Ringe	∿0,040	-

Figur 3.2 Tabel fra ref. [10] vedrørende data for isoleringsskum

Da der, bl.a. jf. ref. [10], hvor ovenstående tabel i figur 3.2 er hentet fra, er rejst stor tvivl vedrørende PU flex-skumisoleringens varmeledningsevne, og da alle fabrikanter, som arbejder med PU flex-skumisolering angiver, at deres varmetabsberegninger på fjernvarmerør er udført med et varmeledningstal på 0,027 W/m°C som basis, er der på foranledning af "Fernwärme Verbund Saar GmbH" i Tyskland sat fuldskala forsøg igang med hele rørsystemer fra forskel-lige rørfabrikker - heriblandt en dansk fabrik. Det må anbefales at følge disse undersøgelser.

Fra nye fjernvarmesystemer som f.eks. DIFKO værkerne på Lolland-Falster rapporteres også om problemer med større nettab end forventet. I disse net indgår i udstrakt grad PU flex skumisolering, hvorfor der er grund til at være meget opmærksom - specielt i forbindelse med de såkaldte "barmarksprojekter", hvor helt nye fjernvarmenet anlægges i mindre byer med deraf følgende mulighed for anvendelse af plastrør.

Varmetab i praksis

Da PEX-skum har en meget højere varmeledningsevne λ = 0,04 W/m°C fremfor stift PUR-skum's på λ = 0,027 W/m°C, er det nødvendigt at arbejde med en større isoleringstykkelse ved samme varmetab, hvis PEX-skum benyttes. For samme medierør (Ø 40,PEX) er kapperørsdiameteren for et PEX-skumisoleret rør valgt til 160 mm, mens diameteren for et PUR-isoleret rør holdes på 90 mm.

Ved en fremløbstemperatur på 70 °C fås de praktiske varmetab pr. meter enkeltrør til hhv. ca. 11,6 W/m for et PEX-skumisoleret og ca. 12,3 W/m for et PUR-isoleret rør, hvis varmeledningstallet ligger på 0,027 W/m°C, jf. tabel 3.1. Hvis varmeledningsevnen imidlertid er 0,04 W/m°C for et PUR-isoleret rør bliver varmetabet 17,7 W/m, hvilket er knap 50 procent højere end forventet i.fh.t fabrikanternes opgivelser.

Tabel 3.1	Nom. Ø	λ	Kappe Ø	Varmetab	Dybde
	mm	W/m°C	mm	kW	mm
Enkeltrør	40	0,04	160	11,6	600
Enkeltrør	40	0,027	160	7,9	600
Enkeltrør	40	0,04	90	17,7	600
Enkeltrør	40	0,027	90	12.3	600
Enkeltrør	65	0,04	160	17,4	600
Dobbeltrør (Stål)	40	0,027	125	14,1	600
Dobbeltrør(TWIN)	50	0,04	200	14*	500

* Aflæst i nomogram.

Formler for varmetab jf. ref. [12]

For at overføre effekten i et stålrørssystem behøves en nominel Ø 40 mm ledning, i et TWIN-system behøves en nominel Ø 50 plastledning og i et enstrenget system en Ø 65 mm ledning. Nominelle stål- og plastrørsdimensioner kan ikke sammenlignes direkte. Dette er forklaringen på forskellige stål- og plastrørsdimensioner.

Da fjernvarmenettet vil have forskellig udstrækning – alt efter nettypen, jf. figur 3.2 gøres der i det følgende rede for det forventede varmetab samt virkningsgraderne for nettene som årsmiddel.

For et traditionelt præ–isoleret stålrørs fordelingsnet fås, at for 27 forbrugere med en maksimallevering på 218 kW skal man regne med et varmetab på hhv. 750 m * 14,1 W/m = 10,6 kW ved PUR–isolering. Netvirkningsgraden ved fuldlast bliver da 95,4 %.

For et net opbygget i TWIN–rør med PEX–isolering fås tilsvarende et varmetab på 14 W/m, hvilket giver et samlet varmetab på 620m * 14 W/m = 8,7 kW. Netvirkningsgraden bliver da 96,2%.

Ved enstrengsanlægget ligger der kun et enkelt rør. Dette rør er til gengæld af samme dimension (Ø 63) hele vejen rundt i ringen. Varmetabet for dette enkeltrør er som før nævnt 17,4 W/m ved 70 °C fremløbstemperatur. Ved en netlængde på 650 m fås et varmetab på 11,3 kW. Den direkte udregnede netvirkningsgrad bliver da 95,1 %.

De ovenfor nævnte betragtninger gør sig kun gældende ved vinterdrift i dimensionerings–situationen. I sommerdrift bliver virkningsgraden lavere, fordi varmeleveringen er meget mindre i forhold til ledningernes varmetab, som stort set er konstante over året. For rørnet i små dimensioner vil en årsmiddelvirkningsgrad derfor ligge mellem 80 og 85%.

For enstrengsnettet gælder, at ledningerne bliver kolde mellem hver puls. Da enstrengsnettet kun er "opvarmet" når der køres puls, bliver værste tilfælde, at det primært er energimængden i det varme vand i ledningerne efter puls som spildes. Oplagring i rørvæg og isolering vil være forsvindende p.gr.a. lav varmekapacitet samt kort driftstid. Årsmiddelvirkningsgraden vil derfor ligge tæt på "fuldlastvirkningsgraden" – mere præcist – mellem 90 og 95 %, jf. tabel 3.2.

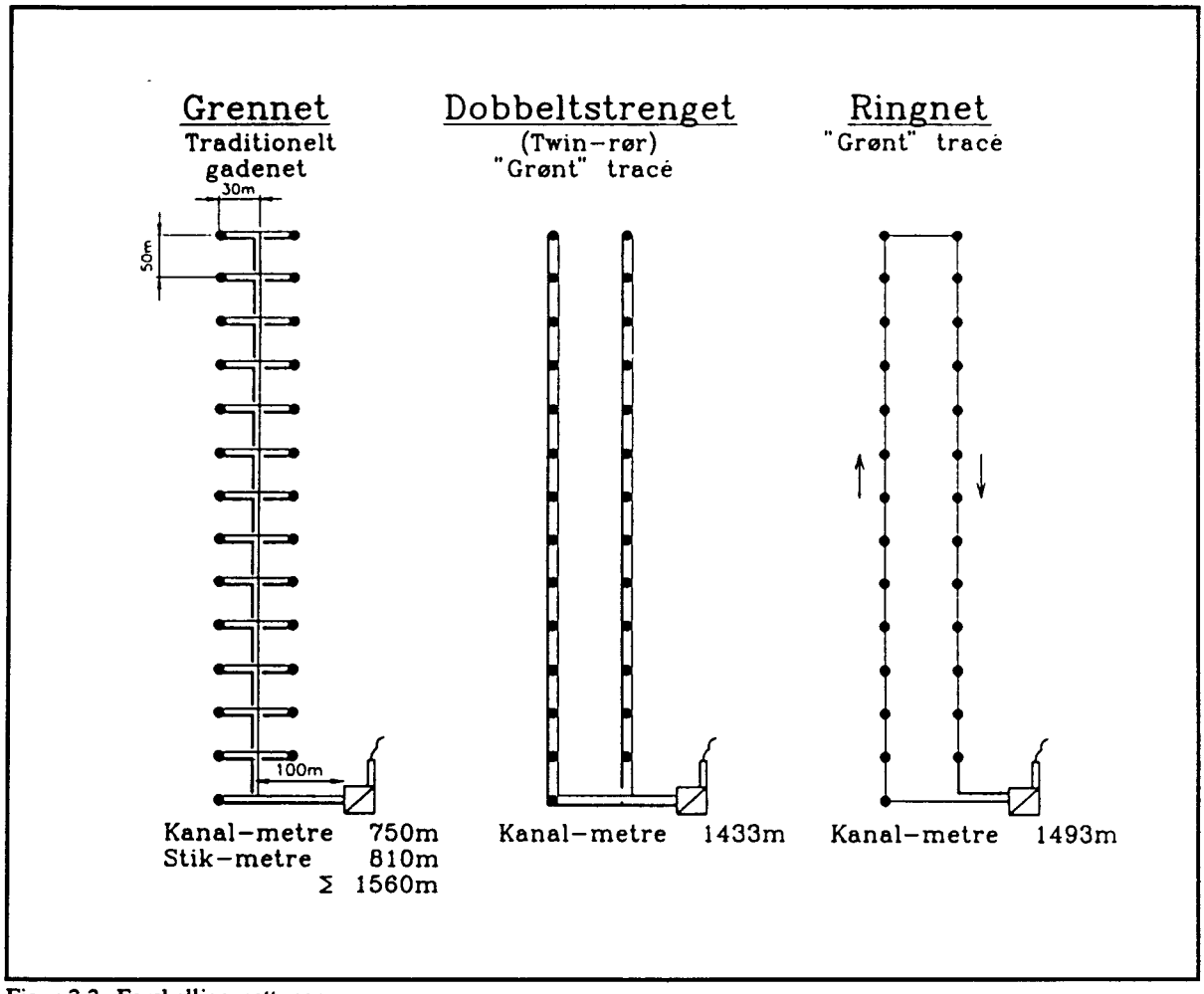
Med tilslutningseffekten 8 kW og med et ækvivalent fuldlasttimetal på 2000 timer for et hus fås en årlig energilevering til 27 huse til 432 MWh/år. På baggrund heraf kan fjern–varmenettets middel virkningsgrad over året udregnes, jf. tabel 3.2.

Nettype	Timer	Effekttab fra net kW	Årligt nettab MWh	Middelvirk–ningsgrad
Traditionel	8760	10,6	92,9	82,3
Twin	8760	8,7	76,2	85,0
Enstreng	4000	11,3	45,2	90,5
Enstreng	3000	11,3	33,9	92,7

Tabel 3.2 Årsmiddelvirkningsgrader

Af tabellen ses, at der er god grund til at regne med, at nettabet kan halveres, hvis konceptet vedrørende enstrenget fjernvarme skulle finde anvendelse. Årsagen til at nettabet for enstrenget fjernvarme er udregnet med hhv. 3 og 4000 timer er, at det på nuværende tidspunkt er svært at beregne, hvorledes forbrugerne i en given landsby opfører sig med hensyn til tappemønsteret. De brugte timetal er de bedste skøn for realistiske brugstider for fjernvarmenettet.

3.2 Fjernvarmenettyper



Figur 3.3 Forskellige nettyper

I figur 3.3 er vist de tre nettyper med hver 27 forbrugere i en modelby: Traditionelt tostrenget grennet udført i præ-isolerede stålrør, TWIN-rørnet samt enstrenget net. Hvis en meget spredt landsby, jf. ref. [6], bruges som model, bliver standardafstandene 50 m mellem husene og sandsynligvis 30 m stik. Det traditionelle grennet vil da blive 1560 m, TWIN-nettet 1433 m og ringnettet 1493 m.

Med en standardafstand i små landsbyer jf. ref [6] på 20 m mellem husene og 15 meter stik fra vejmidten fås, at grennettets totale længde bliver på 750 meter. Tilsvarende fås for TWIN-

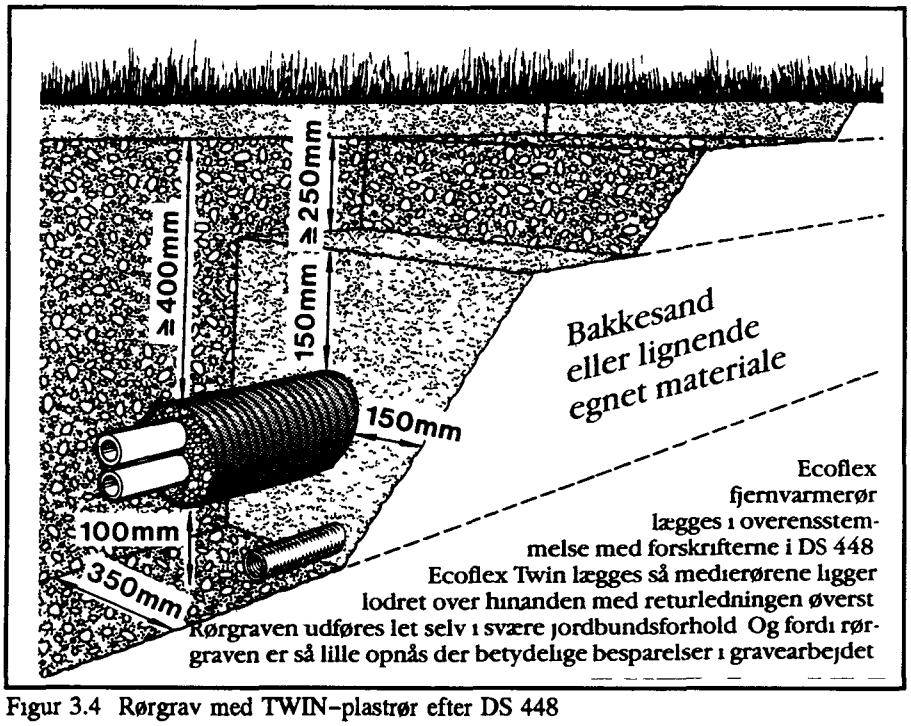
rørnettet en længde på 620 meter og i enstrengsnettet en længde på 650 meter. Disse længder svarer til de i afsnit 3.1 anvendte.

Er stikledningslængden fra vejmidten imidlertid kun 10 meter, falder totallængden for et traditionelt fjernvarmesystem til 615 meter, mens længderne for hhv. twin- og enstrensnettene kun falder til 610 og 630 meter. Heraf ses, at totallængderne er ret følsomme overfor stikledningslængden.

Udover de ovennævnte nettyper findes også den af laboratoriet for varme- og klimateknik på DTH foreslåede løsning, jf. forordet til denne rapport. Et ledningsnet af den type vil have samme udstrækning som det traditionelle grennet. Varmetabsmæssigt vil det dog være bedre, da vandet pumpes ud og trykkes tilbage gennem den samme ledning. Denne ledning er dog nødt til at være i en større dimension end det enkelte fjernvarmerør i et traditionelt system. Det skyldes, at volumenkapaciteten skal være dobbelt så stor for at få den samme vandmængde frem og tilbage i ét rør indenfor det samme tidsrum med den samme afkøling.

3.3 Nedlægningsprincipper

Traditionelle stålrør lægges altid i en grav jf. DS 448. Det er nødvendigt at lægge rørerne efter denne standard, idet de f.eks. ikke tåler sætninger, der vil kunne ødelægge kapperøret og samlinger med vandindtrængning og efterfølgende korrosion til følge.



Figur 3.4 Rørgrav med TWIN-plastrør efter DS 448

Plastrør foreskrives normalt også lagt efter DS 448, jf. figur 3.4. Det er dog ved at være almindelig praksis, at stikledninger idag lægges i en smallere grav, som den f.eks. en lille kædegraver laver. Andre lægningsmetoder anvendes også, men i praksis er det kun den åbne grav, som gør det muligt at overholde DS 448.

Følgende metoder kan bruges til lægning af mindre fleksible fjernvarmeledninger:

- Kædegravning
- Nedpløjning
- Underboring
- Jordfortrængning
- Åben grav

Små kædegravere anvendes ofte til lægning af stikledninger, og egner sig godt til formålet, idet de ikke optager meget arbejdsareal og derved nemt kan komme til.

Nedpløjning arbejdes der meget med i el- og gasforsyningsregi. Denne metode kan eventuelt blive attraktiv i forbindelse med lidt større flexible rør, hvis man tænker sig at binde to nærtliggende små landsbyer sammen. Til nærværende projekt vil metoden dog ikke kunne bruges, idet kabelploven er en stor entrepenørmaskine.

Underboring med flow-mole hvor vand trykkes ud gennem borehovedet og derved skyller jorden bagud eller v.hj.a. jordfortrængning hvor et trykluftsborehoved bankes gennem jorden, benyttes idag til lægning af stikledninger. Ved passage af veje eller tæt ved større træer er disse lægningsteknikker gode, men normalt dyrere end kædegraveren.

Endelig er der den traditionelle åbne grav, som normalt laves med en rendegraver.

Af de ovenfor nævnte metoder er det mest sandsynligt, at kædegraveren vil blive foretrukket, da den giver den mest økonomiske nedlægning i det overvejende grønne tracée i en landsby eller i et villakvarter. Erfaringer fra entrepenører taler dog også meget til gunst for mini-rendegravere, da man alligevel ofte får brug for en sådan til at assistere kædegraveren.

Fjernvarmerør lægges normalt altid med sand rundt om røret, for at give det et stabilt leje samt beskytte mod skarpe sten. Da røret er fleksibelt opstår der ikke sætningsskader og da medierøret ligger inde bagved isoleringen vil ingen skarpe sten kunne beskadige dette. Derfor vil kapperøret principielt kunne lægges direkte i jorden med tilfyld i form af den opgravede jord, specielt hvis trafiklast kan undgås og eventuelle sten fjernes tæt rundt om røret, jf. ref [9]. Det vil dog være anbefalelsesværdigt at lægge rørene i en mindre mængde sand svarende til 50 - 75 mm rundt om dem. I ref. [9] anbefales 75 mm sand hhv. over og under røret som "standard". Da der ikke er samlinger i jord, vil det ikke være nødvendigt at dræne rundt om ledningen.

3.4 Brugertilslutning

Det er mest hensigtsmæssigt at tilkoble brugerens centralvarmeinstallation direkte til fjernvarmenettet, hvorved størst mulig afkøling opnås, hvilket bl.a. opnås i nærværende projekt. Direkte tilslutning er normalt også det billigeste .

Mindre landsbyvarmenet som drives ved 3 bar anlægstryk vil næppe give problemer i forbindelse med fjernvarmekundernes installationer, men for lidt større net eller ved store koteforskelle, hvor det vil være nødvendigt at anvende et net udlagt for TN 6, kan der blive problemer med radiatorer, som ikke er dimensioneret til anlægstrykket.

Generelt vil brugertilslutningen blive udført så centralvarmeinstallationen er frakoblet fjernvarmesystemet under opladning. Fjernvarmenettets tryk vil således ikke forplante sig ind i brugerens installation. På sekundærsiden anbringes sikkerhedsventiler med et indstillingstryk efter den enkelte installations trykbegrænsninger.

I figur 4.2 er tilslutningsarrangementet vist. Der gives en udførlig beskrivelse af virkemåden i kapitel 4.

Da varmtvandsbeholderen er på ca. 60 liter, er der tilstrækkelig stødpude i denne til at klare en manglende vandgennemstrømning i de maksimalt ca. tre minutter det tager at genoplade beholderen. Komfort og overholdelse af "standardtappemønsteret" er således sikret, ligesom det ikke har nogen betydning for opvarmningen af beboelsen, at centralvarmen vil være afbrudt.

Et helt andet system kunne laves efter det i ref. [9] foreslåede system, hvor varmt brugsvand cirkuleres som energibærer i fjernvarmesystemet. Herved opnås, at opvarmning af det kolde vand kan ske ved kedelcentralen/kraftvarmeværket med den fordel, enten at kondensatortemperaturen kan holdes lavere, eller at røggaskondensering lettere kan lade sig gøre.

Når der ses bort fra denne mulighed i denne rapport skyldes det primært to forhold. For det første fokuseres der idag meget på bakterievækst i varmtvandssystemer og et helt fjernvarmesystem baseret på cirkulering af mere eller mindre varmt brugsvand vil give ideelle betingelser herfor. For det andet vil en brugsvandsopbygning gøre det svært eller umuligt at bruge den enkelte bufferbeholder som solvarmelager i forbindelse med individuelle solfangere. Med den her foreslåede opbygning vil anlægget uden store ekstrainvesteringer kunne udbygges til solvarme, idet solvarmelageret samt styringen haves. Marginelt set mangler bare en cirkulationspumpe samt solfangerne.

3.5 Nedlægningsomkostninger

Med basis tilbud og katalogpriser samt en nordjysk entrepenørs velvillige bistand er i tabel

3.3 opstillet enhedspriser for hhv. et standard fjernvarmenet i stål, et Twin rørsnet i PEX og et enstrenget net i PEX. Priserne er overslagspriser og i forbindelse med et aktuelt projekt bør man sørge for at indhente konkrete tilbud.

Endvidere arbejdes der for stålsystemet med hovedledning i gennemsnitlig dimension Ø 40 og stikledninger i 25, mens der for Twin nettet er er opstillet to alternativer dækkende et net med en gennemsnitlig rørdimension på Ø40 og et net med Ø 50 hele vejen igennem. Dette er gjort fordi der er et meget stort prisspring mellem de to dimensioner og fordi det med et Ø50 net vil være muligt at dække alle 27 forbrugere både i en enstrenget og i en tostrenget driftssituation. Endelig er der en pris for et enstrenget Ø 63 net.

Rørtype	Stål Ø 40	Stål Ø 20	TWIN Ø 50	TWIN Ø 40	En-streng Ø 63
Rørarbejder	69	55	80	70	40
Materialer	260	200	425	241	252
Jordarbejde	403	200	150	120	120
sum	732	455	655	431	412
proj. tilsyn 15%	110	68	98	65	62
I alt	842	523			
gennemsnits-pris/m	734		753	495	474

Tabel 3.3 Alle priser i kr/m

Af tabel 3.3 ses, at der er op til 35 % mulig prisreduktion ved at tracere i grønne områder enten som enstrenget udførelse eller med twin-rør og konventionel fjernvarme (bortset fra at twinrørene også løber fra hus til hus uden samlinger i jord.)

De virkeligt store gevinster der opnås på jordarbejderne skyldes, at rørgraven er smallere både for twin og enstrenget udførelse, at der skal bortkøres/ifyldes mindre materiale samt ved at graven bliver tildækket med det samme på linie med gas- og vandledninger. Endelig skal der ikke tages hensyn til huller for svejsere og ventilbrønde etc.

For den enstrengede udførelse kommer imidlertid en ekstra post ind under tilslutning af forbrugerne, idet det udover hovedhanerne er nødvendigt med en 2" magnetventil for fjernvarmeanlæggets drift. Denne ventil koster ca. 2500 pr. installation. Hvis denne pris tillæges for 27 forbrugere bliver den korrigerede meter pris 140 kr/m højere - Dvs. 614 kr. Herved sænkes besparelsespotentialet til godt 16 %.

4. BRUGERINSTALLATIGN

4.1 Dimensionering

Brugerinstallationen bør ikke overskride normale mål for varmt vandsbeholdere væsentligt, og det vælges derfor at arbejde med de samme maksimumdimensioner som brugeruniten i ref. [7]. Disse er 70 * 70 * 220 cm.

I ref. [7] er standardtappemønsteret simuleret på EDB, og efterfølgende afprøvet på en fuldskala-unit. Resultaterne viser, at beholderstørrelsen bør have et effektivt volmen på ca. 200 l, vel at mærke hvis dimensionerende effektbehov blev sat til 14,6 kW - eller væsentligt over dimensioneringsforudsætningerne i nærværende projekt.

Det maksimale beholdervolumen i ovennævnte projekt er 360 liter fordelt på et minimum volumen ("skadeligt rum") på 100 liter når beholderen er helt "tømt" for vand og et dødvolumen (skillelag mellem koldt og varmt vand) på 78 liter, hvorved det effektive volumen bliver på 182 liter. Beholdervoluminet på 360 liter kræver en depotbeholder med en ydre diameter på 65 cm, højden 165 cm og et rumindhold på 500 liter. Forskellen på 140 liter opfyldes af gummisækken samt den komprimerede luft som efterfølgende trykker vandet ud af beholderen, når ny puls går igang.

Til nærværende projekt regnes med et volumen på ca. 300 liter, hvilket sikrer maksimalt to pulser pr. døgn om sommeren. Med denne størrelse vil det indenfor de ovenfor anførte ydre mål være muligt at integrere varmtvandsbeholderen i toppen af bufferbeholderen, hvorved det samlede varmetab kan minimeres. I figur 4.2 afsnit 4.3 er beholderudformningen illustreret.

4.2 Tidligere undersøgelser af lagdeling

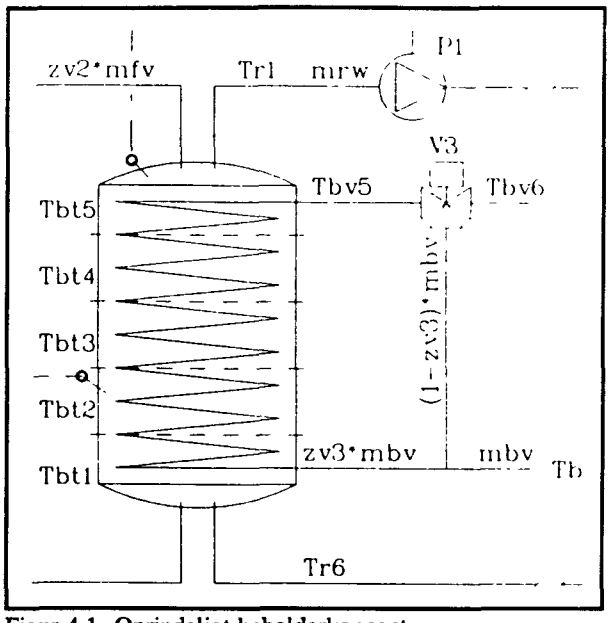
Det oprindelige beholderkoncept var tænkt som en stålbeholder med en indlagt varmespiral til opvarmning af varmt brugsvand i "modstrøm" med det lagdelte vand i bufferbeholderen, jf figur 4.1. Imidlertid viste undersøgelser jf. ref. [8], at det var vanskeligt at sikre en ordentlig lagdeling p.gr.a. beholdersidens samt varmespiralens varmeledning.

For at nedsætte beholdervæggens varmeledning blev det ved forespørgsel til fabrikanter undersøgt om det var muligt at coat'e beholderens indvendige sider med gummibelægning. Dette blev dog forkastet, idet det var for bekosteligt at sikre en 100% tildækning, hvorved risikoen for korrosion blev vurderet at være for stor.

Efterfølgende blev det undersøgt, hvorvidt beholderen kunne udføres i glasfiber med en separat varmtvandsbeholder. Glasfiberbeholdere kunne uden problem udføres for TN 6 og 70°C. Tilbage stod så problemerne med iltdiffusion samt prisen. Da løsningen viste sig meget dyr - omkring 10.000 kr alene for beholderen - blev den opgivet.

4.3 Valg af beholdertype

Endelig opstod ideen om at bygge beholderen på basis af ekspansionsbeholderen, som bruges i DTH projektet, jf. ref. [7]. På DTH var der ikke registreret problemer med lagdeling, bl.a. fordi PB-sækken isolerede mod beholdersiderne, samt at rør med varmt "pulsvand" var blevet isoleret efter det havde vist sig, at de i uisoleret tilstand medførte en ødelæggelse af lagdelingen.



Figur 4.1 Oprindeligt beholderkoncept

I nærværende projekt er det dog ikke meningen, at beholderen skal fungere som ekspansionsbeholder, idet PB-sækken blot trykkes ud mod stålbeholderens sider, hvor den efterfølgende vil blive, da beholderne altid vil være fyldt op.

Det færdige beholderkoncept kunne se ud som illustreret i figur 4.2, men med en varmtvandsvarmeveksler til opvarmning af varmt vand. Denne løsning ville medføre størst mulig afkøling, samt optage mindst mulig plads. Den vil dog kræve en ekstra pumpe til cirkulation af vandet gennem gennemstrømningsvandvarmeren under opladning af beholderen, da veksleren skal ligge på "tryksiden" af installationen, hvis der også skal kunne leveres varmt vand i under opladning. Kun hvis husinstallationerne kan tåle det fulde fjernvarmetryk, kunne man nøjes med en cirkulationspumpe. Dette vil dog sjældent forekomme i landsbyer med ældre huse.

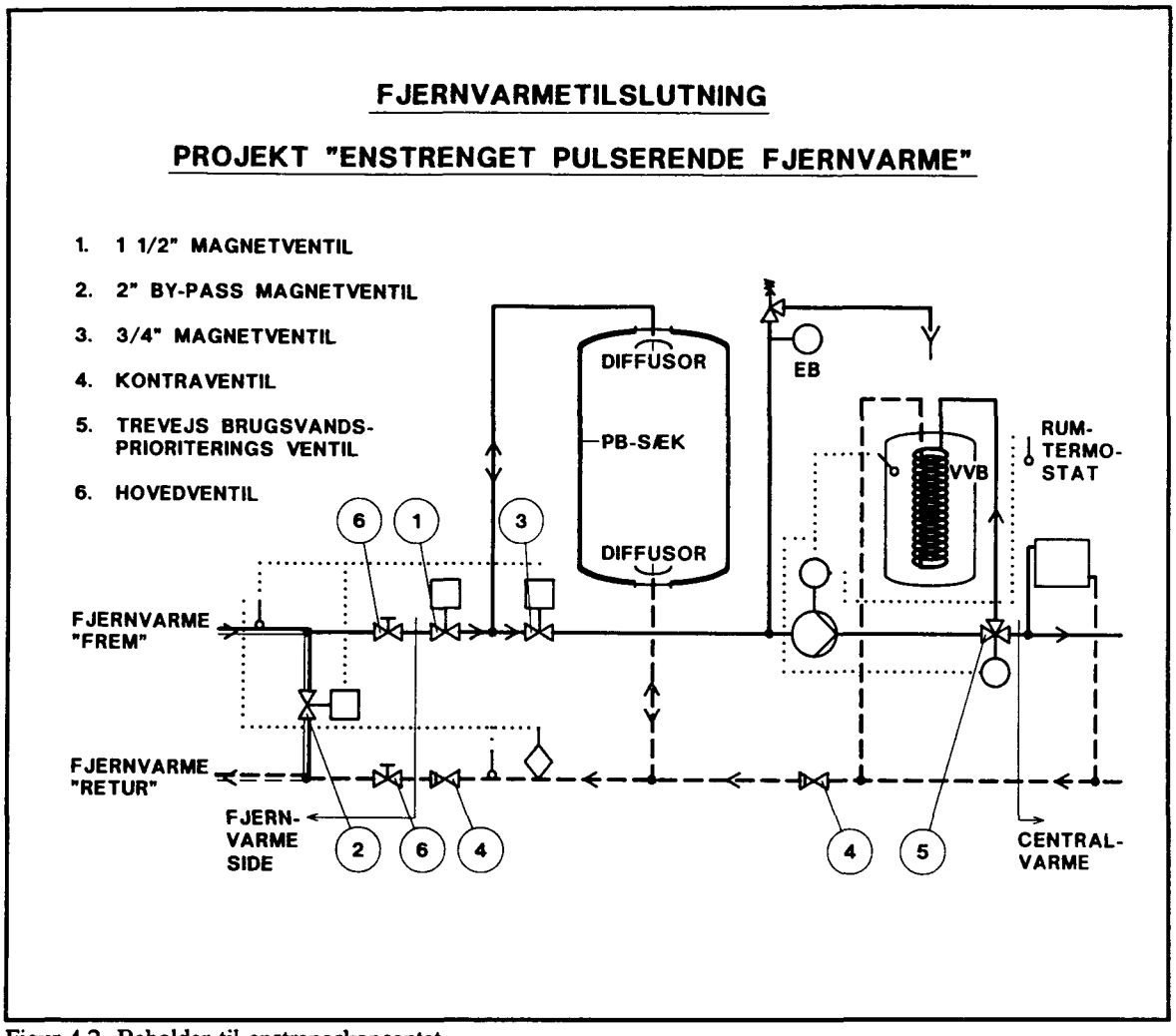
Alternativt kan brugsvandet jf. figur 4.2 opvarmes v.hj.a. en indbygget varmespiral i en separat varmtvandsbeholder. Denne kan eventuelt indbygges over bufferbeholderen, så man opnår kun at have en unit stående.

Fjernvarmeinstallationens funktion er som følger:

- Når temperaturen på "fremløbsledningen" når op over et nærmere angivet setpunkt - normalt mellem 60 og 65 °C - gives signal til de to magnetventiler 1 og 2 om hhv. at åbne og lukke, hvorefter opladning af beholderen starter. Samtidig lukker ventil nr. 3 ind mod centralvarmeanlægget

- temperaturføleren i fremløbet er også koblet sammen med vandmåler og temperaturføleren i udløbet og indgår således i energiafregningen af fjernvarmekunden.

- Beholderen fyldes nu med varmt vand fra oven samtidig med, at det afkølede



Figur 4.2 Beholder til enstrengskonceptet

vand nederst i beholderen løber ud i "returledningen". En kontraventil hindrer, at dette vand trænger ind i centralvarmeinstallationen. Det er a.h.t. lagdelingen nødvendigt, at tilgangsledningen øverst i beholderen ligger indenfor beholderisoleringen. Gør den ikke det, vil det varmetab der opstår ved varmetransmissionen, hvor røret gennemskærer isoleringen i beholderens top, forårsage ødelæggelse af beholderlagdelingen.

- Når temperaturføleren i udløbet registrerer en temperatur over normalt 60 °C, gives atter signal til de to magnetventiler 1 og 2, om at skifte tilbage, hvorefter fjernvarmeforbrugeren atter by-pass'es.

- Når komfortanlægget kalder på varme fra eksempelvis rumtermostaten, starter cirkulationspumpen og transporterer en puls varmt vand ud i radiatorerne. Kalder termoføleren i varmtvandsbeholderen på opvarmning, prioriteres denne af trevejsventilen. Den beskrevne driftsform er 100 % identisk med forfatterens naturgasanlæg.

4.4 Omkostninger for fjernvarmeinstallation

Prisen for den beskrevne forbrugertilslutning adskiller sig udover selve bufferbeholderen ikke væsentligt fra en tilsvarende installation med indirekte tilslutning (veksler) og komfortanlæg.

Fønix stålindustri på Fyn har set på beholder konceptet og anslår, at det kan fremstilles til ca. 15.000 kr i nettopriser. Dette gælder dog kun, såfremt anlægstypen skulle slå igennem og blive fremstillet serieproduktion. Til sammenligning hermed leveres deres tilsvarende normale fjernvarmeinstallation med veksler til priser mellem 12 og 14.000 kr alt efter de enkelte fjernvarmeselskabers ønsker til udrustning. Efter avancer er lagt på må det påregnes at forskellen på 1000 til 3000 kr er øget til 1400 til 4200 kr (excl. moms).

I priskalkulationen indgår ikke hovedventiler samt 2" by-pass ventil, idet disse ventiler hører med til fjernvarmeanlægget.

5. SYSTEMETS DYNAMIK

5.1 Generelt

De to væsentligeste problemer for at få systemet til at fungere er:

- I hvor høj grad vil den varme puls være klart defineret?
- Kan en kold puls bruges som signalgiver før ny puls?

Det må forventes, at den varme puls udbreder sig mindre klart defineret, idet fronten af den vil blandes med det kolde vand som skubbes foran. Det vil derfor være af væsentlig betydning at få fronten simuleret så temperaturprofilen af den kan bestemmes og den bedst mulige styringsstrategi fastlægges.

Det kan på forhånd forudses, at en streng varmt vand vil "slippe" forbi den første installation inden motorventilen har lukket helt for "omløbet", så vandet kun løber gennem bufferbeholderen. Denne "falske" puls på op til ca. 10 meters længde (ved godt 10 sekunders ventilvandring) vil alt efter temperaturprofilen bestemt gennem simuleringen få den efterfølgende beholder til at åbne op. Inden dette sker vil en del af den falske puls have passeret den næste beholder under samtidig opblanding af den delstrøm afkølet vand som når at løbe ud fra denne, idet den kortvarigt vil åbne og atter lukke når "fremløbsvandet" bliver koldt.

Det kan derfor fastslås, at disse falske pulser vil klinge ud. Hvis den rette åbningstemperatur for fyldning af bufferbeholderen kan bestemmes ved simulering af temperaturfronten, vil det sandsynligvis være muligt at eliminere den falske puls's signal ved den efterstillede bufferbeholder. Eksempelvis kan der være stor forskel på temperaturgradienten i den falske puls i.fh.t. den rigtige puls.

Når beholderne hele vejen rundt i ringen er er fyldt op, sendes en kold puls ud i ledningsnettet for at "reset'te" beholderstyringerne. Hvis dette ikke sker, vil styringen ikke vide hvornår næste puls er startet. Udover at virke som signalgiver vil den kolde "signal"-puls erstatte det varme vand i ledningerne og derved nedsætte varmetabet udenfor spidslastperioderne.

Værste tilfælde for kold puls opstår under dimensioneringssituationen. Den "kolde" "signal"-puls vil her svare til det nyligt returnerede fjernvarmevands temperatur på ca. 40°C med et tillæg for den opvarmning som plastrørenes varmekapacitet i "fremløbsledningen" giver. Det burde dog ikke være et problem. Hvis det bare sikres, at de første 5 - 10 installationer bliver nulstillet, vil det være muligt at nulstille de efterfølgende beholdere v.hj.a. det afkølede vand fra de første beholdere når den nye puls påbegyndes.

Ovennævnte forhold antyder, at beholderstyringen skal aktiveres når temperaturen når over ca. 65°C og reset'es når temperaturen når under 45°C.

5.2 Beskrivelse af simulering

På Laboratoriet for varme og klimateknik blev der i alt udført 3 simuleringer med henblik på at bestemme "varmfrontens" udbredelse. Disse var:

A PEX rør. Dimension Ø 63/51. Simuleringen udført med elementlængden 12 meter.

B PEX rør. Dimension Ø 63/51. Simuleringen udført med elementlængden 6 meter, da denne længde gav mere nøjagtig beregning, men til gengæld også tog anseeligt længere tid at gennemføre.

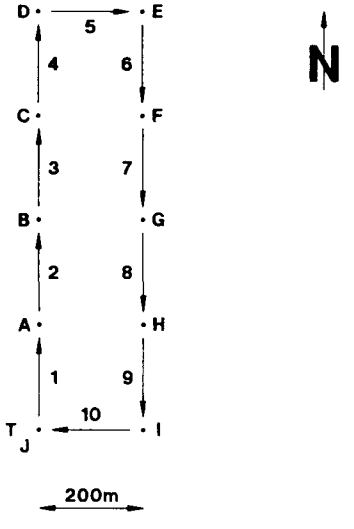
C Kobberrør. Dimension Ø 54/51. Simuleringen udført med elementlængden 12 meter.

Alle beregninger blev gennemført med $\lambda_{isolering}$ = 0,04 W/m°C, og simuleringen startede først efter en indsvingningstid på 160 minutter. Udgangspunktet for simuleringen var T_F/T_R = 70/40 °C

Det simulerede net bestod af 10 delstrækninger hver på 200 m:

- Strækning 1 - 4 gik mod "nord"
- Strækning 5 gik mod "øst"
- Strækning 6 - 9 gik mod "syd", og
- Strækning 10 gik mod "vest" - tilbage til udgangspunktet.

I figur 5.1 er modelnettet vist.



Figur 5.1 Modelnet

5.3 Resultater

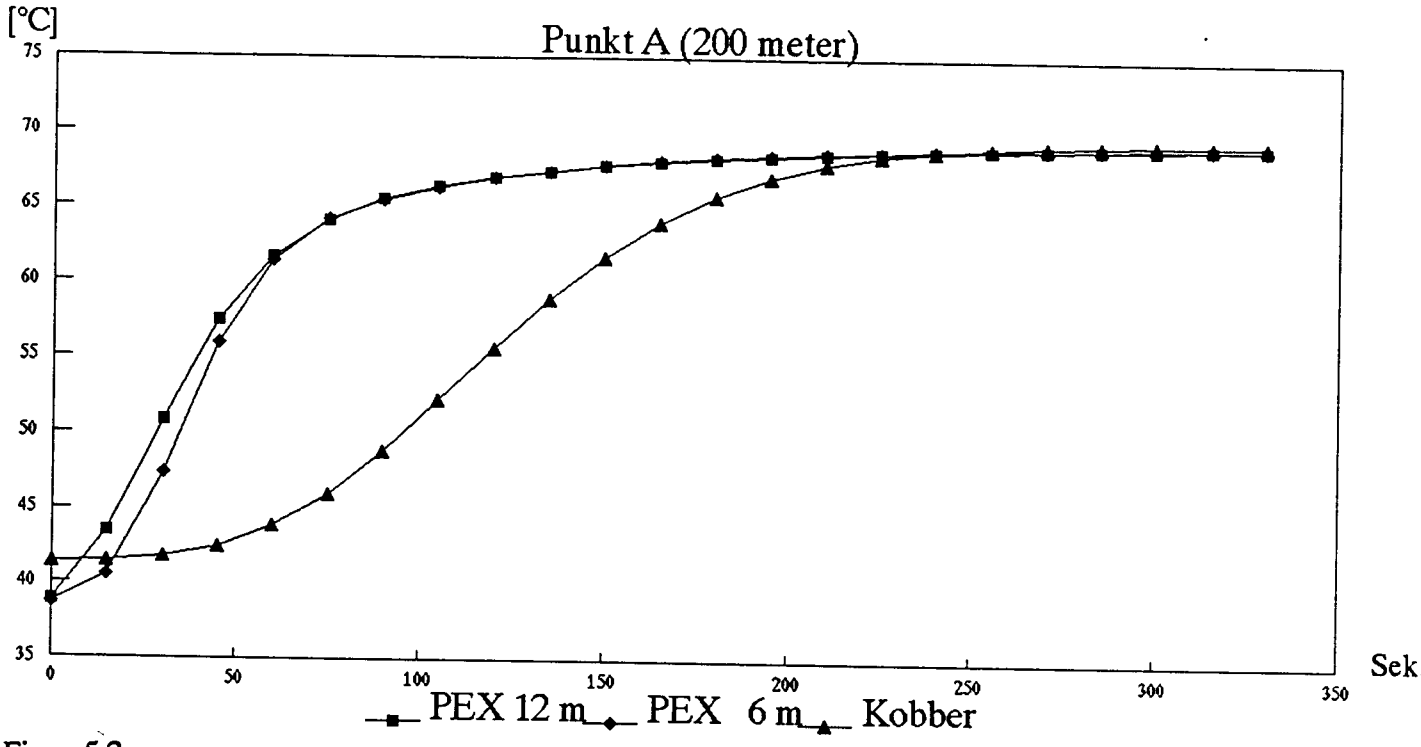
Af beregningsresultaterne ses, at temperaturstigninger i de enkelte knuder (A, B. C, ... osv.) indtræffer som forventet med den aktuelle vandhastighed, som er 0,75 m/s.

På de følgende sider er "varmefrontens" profil plottet i figurerne 5.2 - 5.5. Generelt kan siges, at beregninger for PEX rør med 6 m elementlængde viser en anelse stejlere temperaturgradient end den mere unøjagtige 12 m beregning, men der er ingen forskel af betydning.

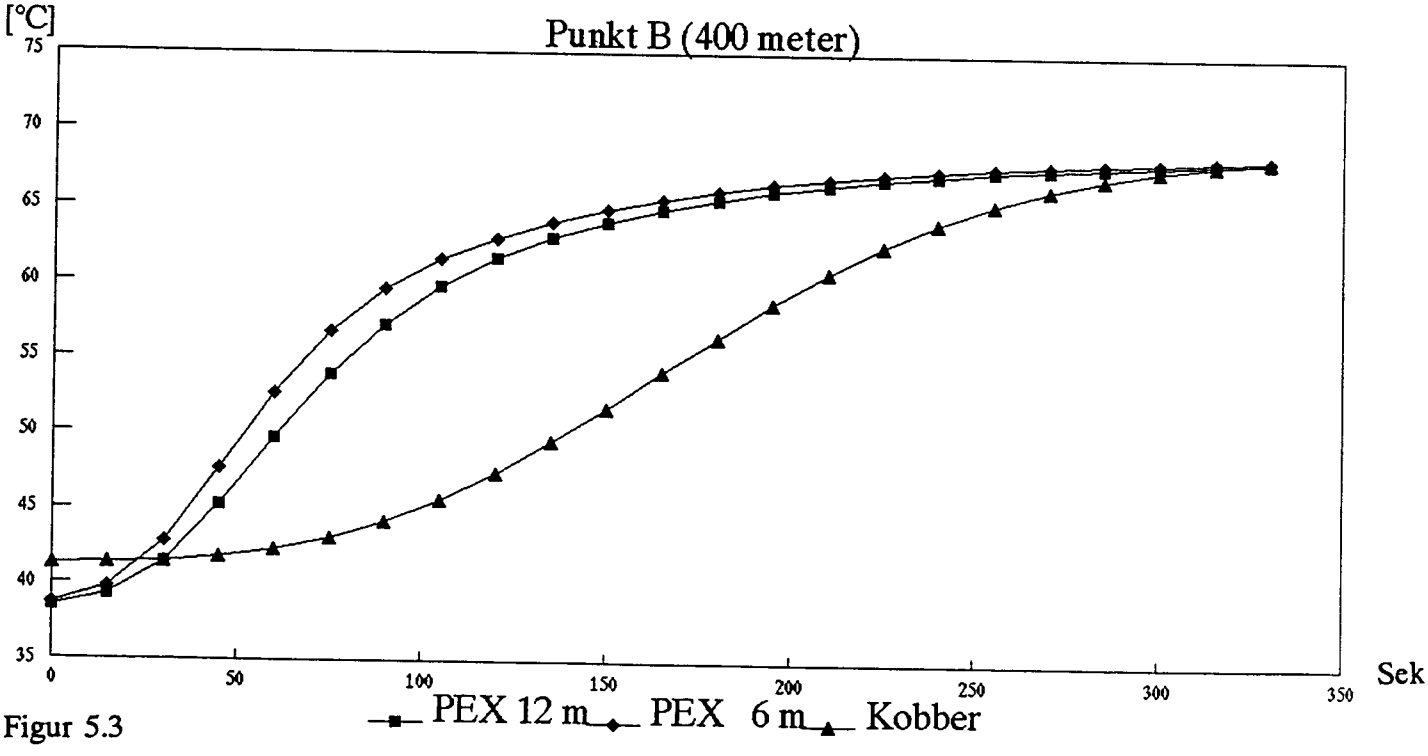
Beregningen for kobber (12 m elementer) anses derfor også for fuldt tilstrækkelig, og det ses klart, at kobberrør, som forventet, ikke egner sig til denne driftsform, idet kobberets store varmekapacitet medfører en kraftig køling af frontens spids og efterfølgende en betydelig mindre temperaturgradient.

På fig. 5.6 er "varmfrontens" udvikling plottet h.h.v. i 200, 400, 600 og 800 meters afstand fra udgangspunktet. Alle kurverne viser, at der er en opblandingsfront, mellem det varme vand i "pulsen" og det foranliggende kolde vand kendetegnet ved en meget svagt stigende temperatur. Efterfølgende kommer en mere markant temperaturstigning, hvor røret langsomt varmes op under samtidig afkøling af det i fronten værende varme vand. Temperaturgradienten flader i konsekvens heraf ud, jo længere væk fra udgangspunktet man kommer og det kan være tvivlsomt om den er stejl nok til at blive brugt som styresignal for fyldning af beholdere, hvis disse ligger længere væk end 600 meter.

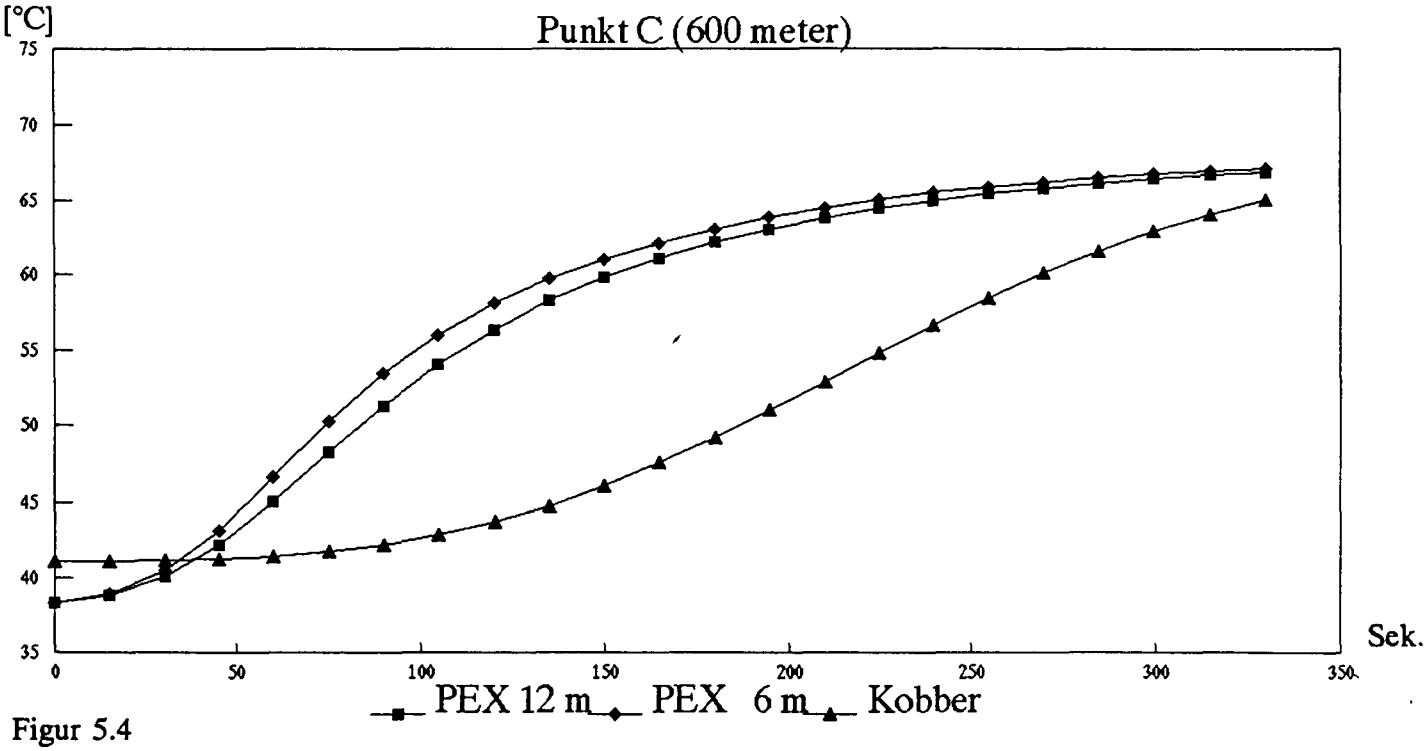
Med de foreslåede temperaturer (70/40°C) lader det i øvrigt til, at man skal ned på ca 60°C som kriterie for åbning af bufferbeholder. Hvis dette bliver for lav en temperatur for den enkelte bolig, må man hæve fremløbstemperaturen fra værket med 5 til 10°C - op til 80 °C.



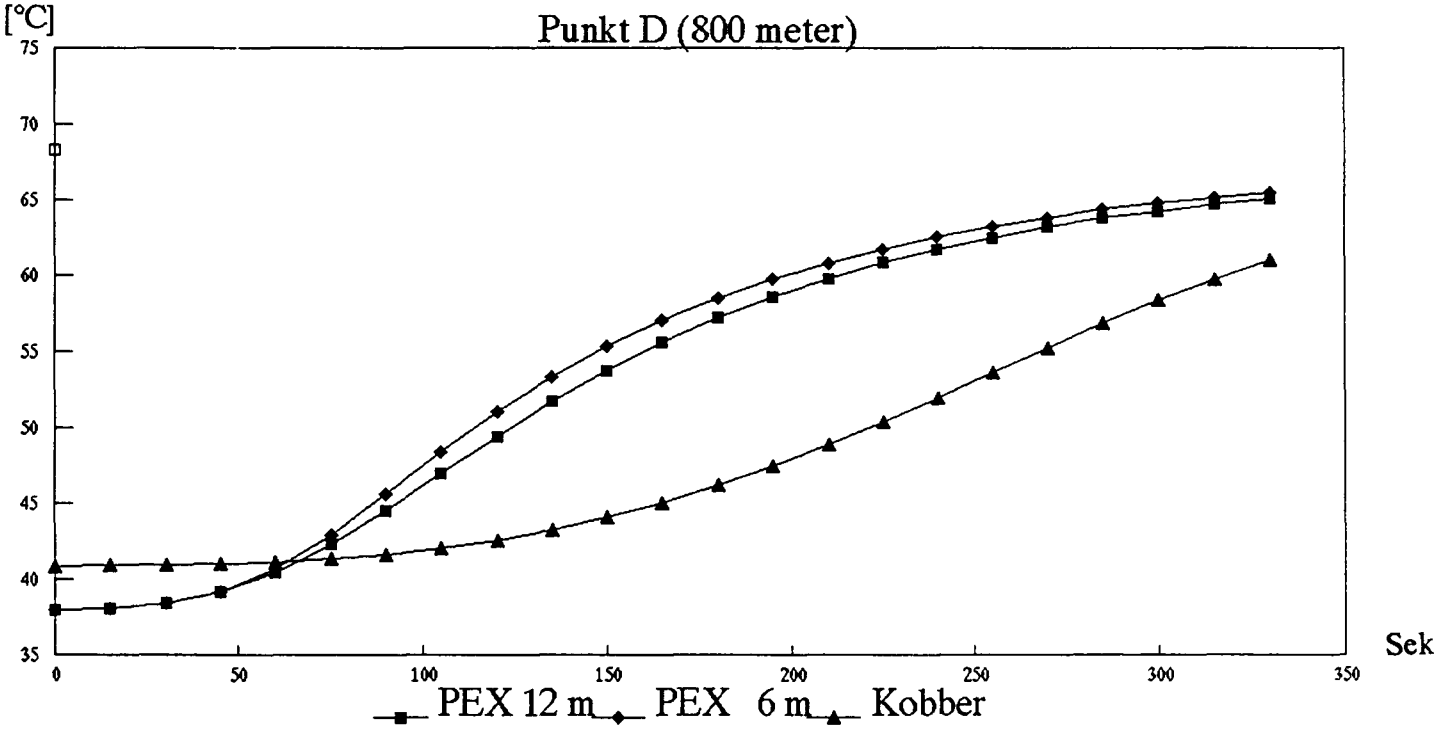
Figur 5.2



Figur 5.3



Figur 5.4



Figur 5.5

5.4 Styringsstrategi

I forrige afsnit blev det diskuteret, om det kunne lade sig gøre at forsyne en forbruger, hvis han ligger mere end 600 meter væk fra varmekilden. I praksis vil den første forbruger sjældent ligge længere væk end op til 200 meter.

På figur 5.7 er indtegnet den varme puls's udstrækning set i relation til opladningen af de enkelte forbrugeres bufferbeholdere. Første forbruger ligger 200 meter ude, og efterfølgende forbrugere ligger med en "standardafstand" på ca. 20 meter, jf. ref [6].

Af figur 5.6 ses, at fra temperaturstigningen starter til temperaturen når over 60 °C går der knap et minut. Da opblandingsområdet mellem koldt og varmt vand strækker sig over ca. 15 sekunder, er den effektive tid for temperaturstigningen ca. 45 sekunder.

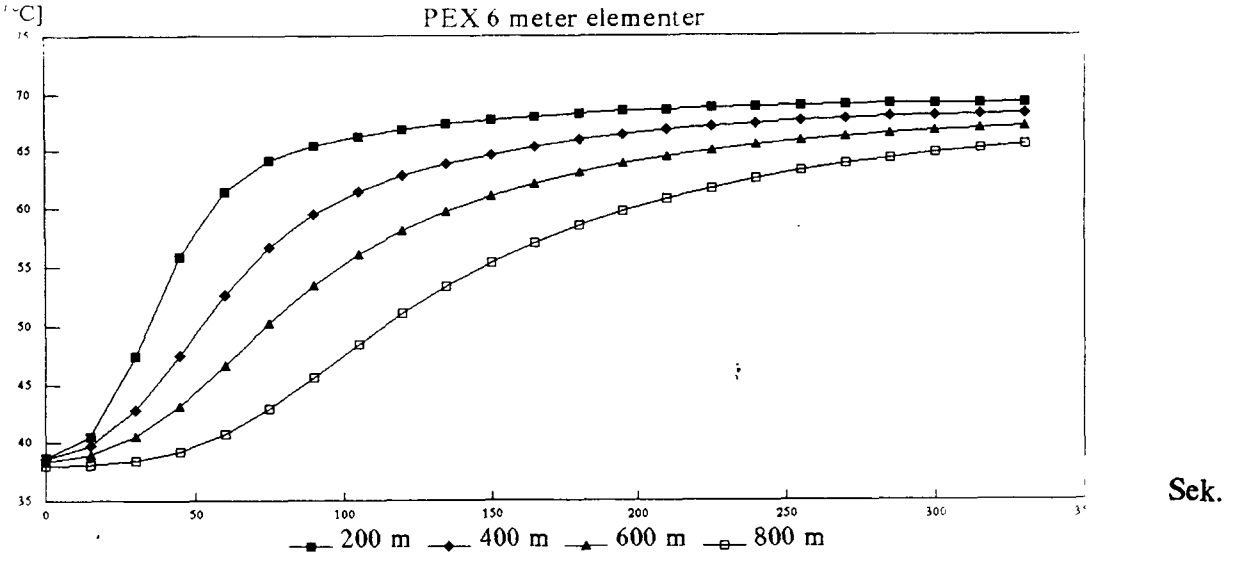
Jf. figur 5.7 vil spidsen af den varme puls i disse 45 sekunder have passeret den næste forbruger og være nået halvvejs til forbruger nummer tre. Vandhastigheden er ca. 0,75 m/s. På dette tidspunkt skal opladningen af beholder 1 starte, og koldt vand fra denne flyder ud og op mod forbruger 2. Dette kolde vand vil skubbe spidsen af den oprindelige varmfront foran sig og vil efter 30 sekunder nå frem til forbruger nummer 2.

Ved at interpolere mellem kurverne for 200 meter og 400 meter i figur 5.6 ses, at temperaturen i bagkanten af det stykke front som slap forbi beholder 1 er faldet ca. en grad – fra 60 °C til 59 °C p.gr.a. opvarmning af den mellemliggende rørstrækning. Hertil kommer så, at bagkanten af dette frontstykke blandes op med det udstrømmende kolde vand fra beholder 1, hvorfor temperaturen kun er ca. 58 °C.

Det er vigtigt, at temperaturen ikke når op over 60 °C ved forbruger 2, idet dette ville betyde at der kunne nå at blive åbnet for opladning, hvorefter det efterfølgende kolde vand fra forbruger 1 ville strømme ind og ødelægge temperaturlagdelingen.

For at opblanding af frontstykkets bagkant kan lade sig gøre, samt for at undgå bypass af alt for store mængder varmt vand, skal åbning for påfyldning ved de enkelte beholdere ske hurtigt – dvs med magnetventiler. Det skønnes ikke, at der herved vil blive fare for trykstød, idet de to ventiler i (eller en trevejsventil, hvis den kan skaffes til rimelige penge) åbner hhv. lukker samtidigt. Hertil kommer så plastmedierørets dæmpende virkning.

Opladning af den enkelte beholder vil tage op til 3 minutter og 30 sekunder, hvis denne er helt tom, idet vandet strømmer ind med ca. 1,45 l/s i en 300 liter beholder. I de fleste tilfælde må det dog forventes at opladningen vil foregå hurtigere, fordi disse forbrugere ikke har trukket meget varme ud af deres beholdere. Forudsætningen for dette er naturligvis, at der vedligeholdes en markant lagdeling i beholderen, hvilket diffusorne ved til– og afgangsrørerne skal sikre.

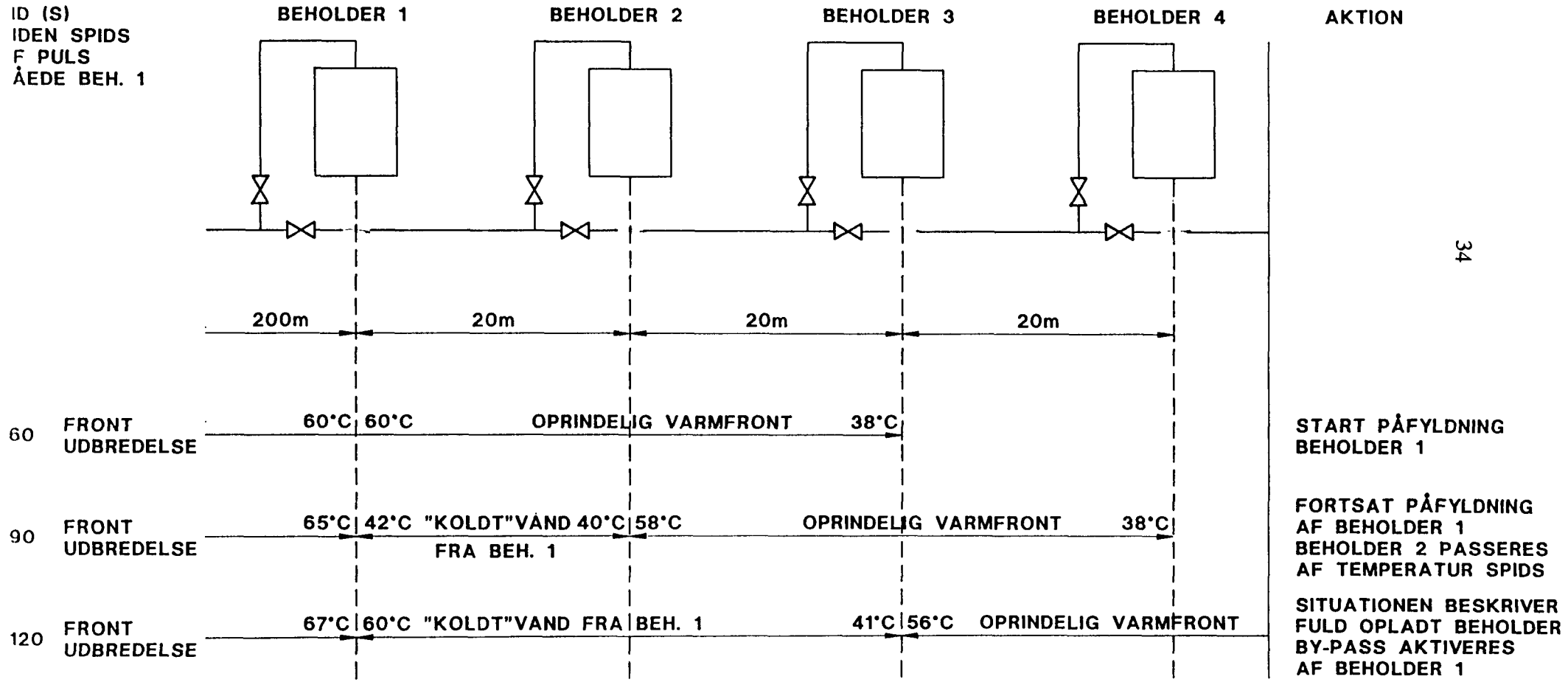


Figur 5.6

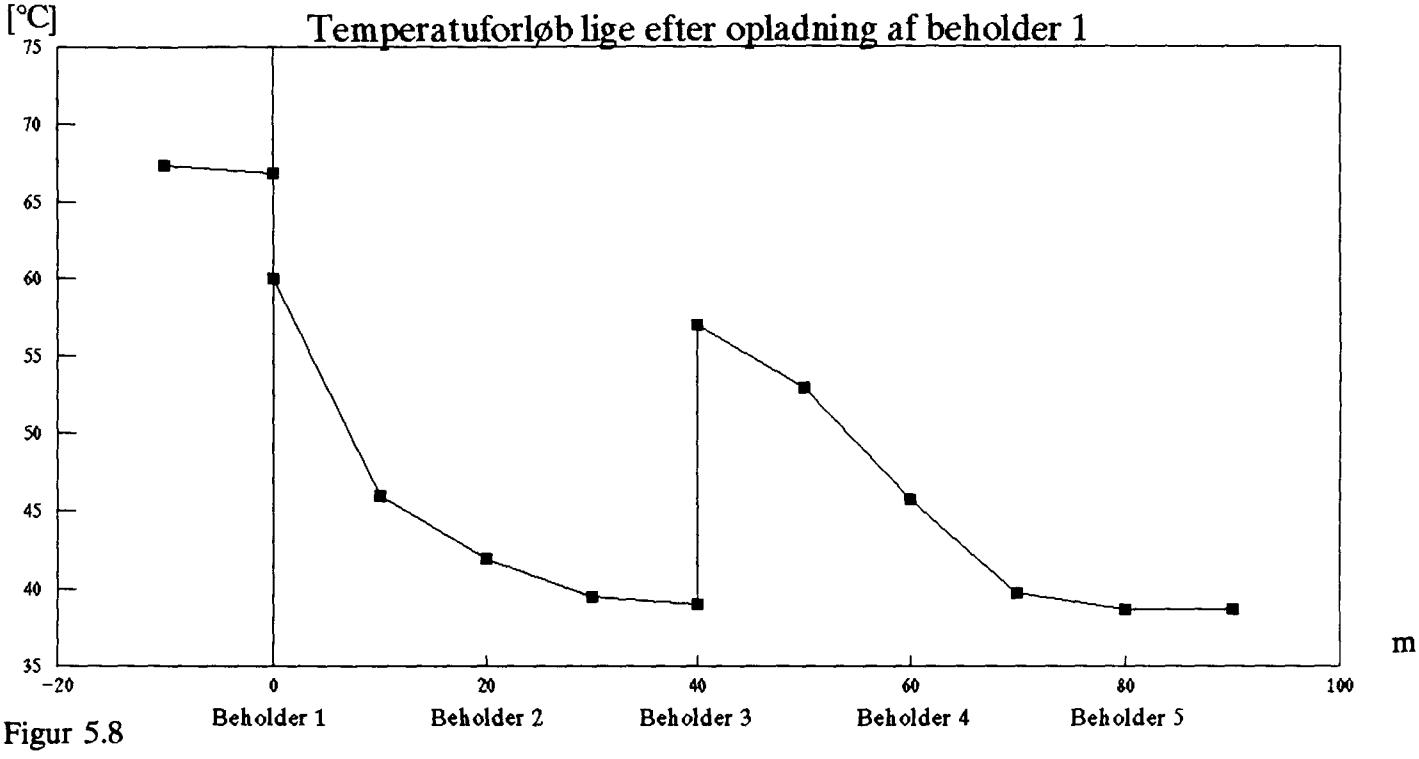
Udgangssituationen efter endt påfyldning af beholder 1 vil være, at den oprindelige varmepuls's frontstykke vil ligge længere fremme i nettet - alt efter hvor lang tid det tog at genoplade beholder 1. I dette eksempel er det antaget, at beholder 1 er opladt efter 60 sekunder. Af eksempel 3 i figur 5.7 ses, at bagkanten efter et minut vil være ud for beholder 3. Temperaturforløbet i frontstykket ses af figur 5.8.

I fjernvarmeledningen mellem beholder 1 og beholder 3 ligger det vand, der blev skubbet ud af beholder 1, da denne blev ladet op med nyt varmt vand. Hvis kriteriet for afsluttet opladning er, at temperaturen ud af beholder 1 er over 60 °C vil temperaturen i ovennævnte ledningsstrækning ligge fra knap 40 °C ved beholder 3 til 60 °C ved beholder 1. Dette temperaturprofil er vist i figur 5.8. Da der ikke er foretaget simulering af lagdelingen i beholderen er temperaturprofilen mellem beholder 1 og 3 et skønnet forløb. De eneste kendte størrelser er temperaturerne ved beholder 1 og 3.

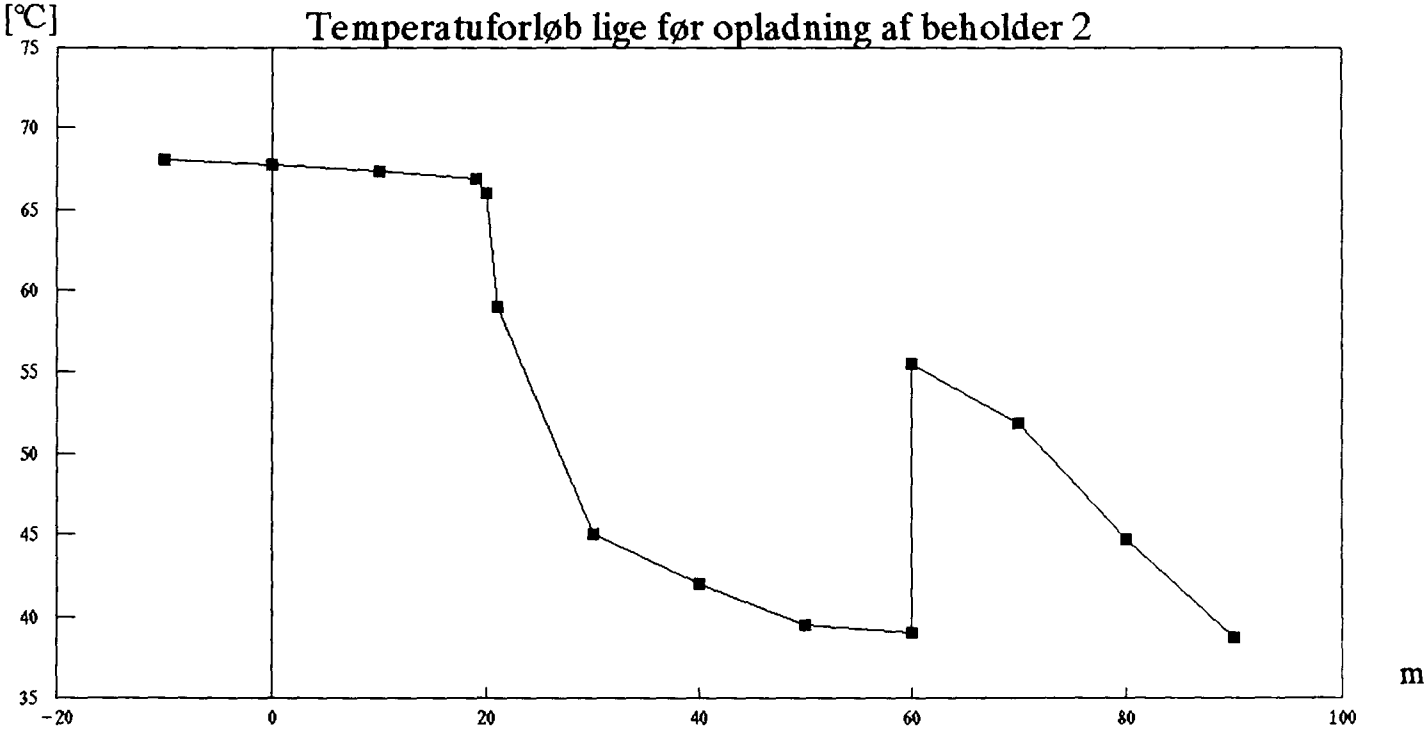
I figur 5.9 er temperaturprofilet vist efter yderligere 30 sekunder efter beholder 1 er blevet by-pass'et og lige før opladningen af beholder 2 starter. Alt efter lagdelingens afgrænsning, der som før nævnt ikke er simuleret i nærværende projekt, vil den nye pulsfront have en mere markeret temperaturgradient. Dette skyldes primært, at fjernvarmevandet under påfyldning af beholder 1, efterhånden er nået op på samme temperatur som ab værk temperaturen. Idet beholder 1 by-pass'es kommer dette varme vand til at ligge helt fremme i fronten - pånær det varme lagdelingsvand, som slap ud af beholder 1.


ID (S)
IDEN SPIDS
F PULS
ÅEDE BEH. 1
BEHOLDER 1
BEHOLDER 2
BEHOLDER 3
BEHOLDER 4
AKTION
200m
20m
20m
20m
60
FRONT
UDBREDELSE
60°C
60°C
OPRINDELIG VARMFRONT
38°C
START PÅFYLDNING
BEHOLDER 1
90
FRONT
UDBREDELSE
65°C
42°C "KOLDT"VAND
40°C
58°C
OPRINDELIG VARMFRONT
38°C
FRA BEH. 1
FORTSAT PÅFYLDNING
AF BEHOLDER 1
BEHOLDER 2 PASSERES
AF TEMPERATUR SPIDS
120
FRONT
UDBREDELSE
67°C
60°C "KOLDT"VAND FRA
BEH. 1
41°C
56°C
OPRINDELIG VARMFRONT
SITUATIONEN BESKRIVER
FULD OPLADT BEHOLDER
BY-PASS AKTIVERES
AF BEHOLDER 1

Figur 5.7



Figur 5.8



Figur 5.9

Lagdelingen fyldte i ref. [7] 78 liter ud af effektive 360 liter. Det må forventes, at lagdelingen i nærværende projekt vil rumme ca. 60 liter, idet udgangspunktet er en 300 liters beholder. Lagdelingen bliver heller ikke forstyret af en dårlig adskillelse mellem delvist afkølet beholdervand og varmt fremløbsvand, som det er tilfældet i det ovenfor anførte projekt, jf. endvidere afsnit 4.1.

5.5 Diskussion

V.hj.a. simuleringer af "varmfrontens" temperaturprofil samt ved gennemgang af styrings-strategien, er det sandsynliggjort, at det vil være muligt, at drive et fjernvarmenet efter dette princip.

For at kunne klare ekstreme situationer med stort varmeforbrug hos enkelte forbrugere, kunne det overvejes at lade automatikken "alarmere" varmecentralens automationsanlæg over tele-fonnettet, så en ny puls startes. Dette kunne være en valgfri mulighed, som den enkelte bruger efter eget ønske kunne tilkoble sig mod betaling. Manuelt opkald fra en trykknaptelefon til automationsanlægget kunne være en "gratis" mulighed for en brugerbestemt ny puls. Konse-kvensen af en sådan ny puls ville kun være et beskedent ekstra varmetab fra fjernvarmeled-ningerne, idet de fleste forbrugere hurtigt vil være opladte, da de næppe ville have brugt større mængder af det i bufferbeholderen værende varme vand.

6. KONKLUSION

6.1 Generelt

Udfra arbejdet i nærværende projekt anses det sandsynliggjort, at der kan bygges og drives fjernvarmesystemer baseret på enstrenget drift, hvor beholdere efter tur bliver "opladt" med varmt vand, når den varme puls når frem til de enkelte beholdere.

Endvidere er det ved eksempel undersøgt hvorvidt mange af de fordele som kunne forventes ved enstrenget udførelse, kan opnås ved en udførelse med lægning af såkaldte twin-rør fra hus til hus uden samlinger i jord.

Endelig er der fundet oplysninger om, at varmetab fra flexible plastrør med semiflexibel PU isolering er ca. 50 % højere end de værdier man opnår ved at anvende fabrikanternes opgivelser. Et fuldskala forsøg som er under opstart i Tyskland vil indenfor de næste år give mere entydige svar og det må anbefales at følge disse forsøg.

6.2 Økonomi

Udfra de i afsnit 3.2 fundne rørlængder i en standardlandsby er i tabel 6.1 udregnet det samlede investeringsoverslag pr. system.

Nettype	Trad. stålrør (750 meter)	Twin Ø 50 (620 meter)	Twin Ø 40 (620 meter)	Enstrenget net (650 meter)
Fjernvarmerør	550.000	467.000	307.000	308.000
Uforuds.(15%)	83.000	70.000	46.000	46.000
2" ventiler				91.000
Tilslutning. 2000 kr/hus	54.000	54.000	54.000	54.000
Fjernvarme installation	454.000	454.000	454.000	567.000
System i alt	1.141.000	1.045.000	861.000	1.066.000
System pr.for-bruger 27 stk.	42.300	38.700	31.900	39.500

Tabel 6.1

6.3 Anbefalinger/konklusion

Af tabel 6.1 ses, at de samlede besparelser pr. bruger kan nå op omkring 25 % ved at udføre nettet i twin-rør, men drevet som traditionel fjernvarme. Besparelserne ved at udføre nettet enstrenget ser i første omgang kun ud til at være knap 7 %. Til gengæld medfører denne driftsform et mere end halveret nettab jf. afsnit 3.1 - fra ca. 93 MWh/år til ca. 40 MWh/år i et net med 27 forbrugere..

På den baggrund må det anbefales at arbejde videre med undersøgelser af både Twin net-udførelse samt enstrenget net.

Det vil næppe være formålstjenligt at bygge en skalamodel af et enstrenget net for yderligere studier. Det vil derimod være af stor værdi at opføre et mindre "ringnet" eventuelt for enden af et eksisterende fjernvarmenet og her afprøve i fuld skala. Dette kunne gøres uden risiko for forbrugerne, hvis nettet blev bygget dobbeltstrenget i Twin-rør og driftsformen blev afprøvet ved enkle ventilomkoblinger. Det vil dog være en god ide at bygge en prototype forbrugerunit og afprøve denne, før et fuldskalademonstrationsanlæg gennemføres.

Den foreslåede forbruger unit kunne også finde anvendelse i.f.m. konventionelle fjern-varmeanlæg, hvor det også må påregnes, tabet fra fjernvarmeledningerne kan reduceres væsentligt, såfremt stikledningerne kun bruges kortvarigt under opladning. Konceptet vil også give mulighed for belastningsudjævning, idet brugere med denne type installation kan tilfredsstilles før egentlig spidsbelastning starter.

REFERENCER

[1] Fjernvarme 27, EFP-rapport, Optimal størrelse af fordelingsnet til fjernvarme. August 1985

[2] Fjernvarme, Kaj Christensen og B. Howald Petersen, Polyteknisk forlag, !987.

[3] N. Rosbach, Termodynamisk opvarmning. Fjernvarme - Elværk, Fjernvarme - Varmepumpe, Danmarks Ingeniør Akademi, DIA-M 537, 1985.

[4] Økonomisk dimensionering af fjernvarmeledninger. Jørn Johansen, Sven Hadvig, Polyteknisk Forlag, 1975.

[5] Fjernvarme 55, Medierør i plast, Plastconsult, 1987.

[6] Byundersøgelse, Den regionale arbejdsgruppe for varmeplanlægning, Storstrøms Amtskommune, Juni 1983.

[7] Pulserende Fjernvarme. 2 fase forbrugerunit'en. Bjørn Kvisgaard og Harald Andersson. Laboratoriet for varme- og klimateknink, DTH. August 1990.

[8] Videreudvikling af buffertank, Preben Munter, Teknologisk Institut, Varme- og Installationsteknik, Oktober 1989.

[9] GRUDIS, Gruppcentraldistribution, Handbok för system- och komponentutformning, Byggforskningsrådet, Stockholm, 1987

[10] Udvikling af distributionssystem til fjernvarme v/ 55 - 70°C, Plastconsult,Jysk Teknologisk, Løgstør Rørindustri A/S, Landsbyenergi A/S. Oktober 1986.

[11] Forsyningskataloget 1988. Energistyrelsen

[12] VarmeStåbi. Teknisk Forlag.