



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R60:1985**

# **Distributionsnät från gruppcentral**

**Riktlinjer för dimensionering,  
funktion och drift**

**Tord Torisson mfl**

*R  
A/N*

INSTITUTET FÖR  
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

*su*

**Byggeforskningsrådet**

R60:1985

DISTRIBUTIONSNÄT FRÅN GRUPPCENTRAL

Riktlinjer för dimensionering,  
funktion och drift

Tord Torisson  
Claes-Göran Persson  
Jan Molin  
Håkan Carlsson  
Lennart Jönsson  
Ronny Nilsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
800382-3 från Statens råd för byggnadsforskning  
till VBB AB, Malmö.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R60:1985

ISBN 91-540-4394-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

## INNEHÅLL

FÖRORD.....	5
SAMMANFATTNING.....	7
Del I - Utredningsdel	
U1. OLIKA ACKUMULERINGSLÖSNINGAR OCH DESS INFLYTANDE PÅ SAMMANLAGRINGSFAKTORN..	11
U1.1 Sammanlagring.....	11
U1.2 Åtgärder för att påverka samman- lagringen.....	11
U1.3 Diskussion av resultat från mätningar	16
U1.4 Sammanställning.....	21
U2. LEDNINGSDRAGNING I MARK ELLER I BYGGNAD	23
U2.1 Inledning.....	23
U2.2 Kulvertdragning i mark.....	23
U2.3 Ledningsdragning i byggnad.....	24
U2.4 Lämpliga dragningsalternativ för olika bebyggelseförhållanden.....	27
U2.5 Praktikexempel.....	30
U3. DIREKTINKOPPLADE ABONNENTCENTRALER..	33
U3.1 Bakgrund.....	33
U3.2 Tekniska problem vid direktkoppling..	33
U3.3 Teknisk utformning.....	38
U3.4 Kostnader.....	40
U4. SYSTEMFLEXIBILITET.....	43
U4.1 Värdering av flexibiliteten vid dimensionering av ett lokalt fjärr- värmesystem.....	43
U4.2 Vad avses med flexibilitet och motiv för att bygga flexibelt.....	44
U4.3 Temperaturprogram och dimensionerande temperatur.....	44
U4.4 Vad kostar det att gardera sig för framtiden.....	46
U4.5 Vilka energikällor står idag till buds för givna framledningstemperaturer...	48
REFERENSER.....	55
Del II - Redovisning av utförda mätningar	
1. DET TEKNISKA SYSTEMET.....	59
1.1 Allmänt.....	59
1.2 Beskrivning av fjärrvärmenät.....	59
1.3 Beskrivning av fjärrvärmecentral.....	60
1.4 Registrering av mätdata.....	64
2. TRYCKTRANSIENTMÄTNINGAR.....	67
2.1 Bakgrund.....	67
2.2 Syfte och mätprogram.....	67
2.3 Mätresultat.....	68
2.4 Slutsatser.....	76

3.	SAMMANLAGRINGSFAKTOR.....	79
3.1	Bakgrund.....	79
3.2	Syfte och metodik.....	79
3.3	Mätresultat.....	81
3.4	Slutsatser.....	83
4.	VÄRMEFÖRLUSTER.....	85
4.1	Bakgrund.....	85
4.2	Syfte och metodik.....	85
4.3	Teori för beräkning av värmeförluster	85
4.4	Relativ distributionsförlust.....	87
4.5	Värmeförlustmätning på kulvertledning	91
4.6	Slutsatser.....	94
	REFERENSER.....	95

#### BILAGOR

- Bilaga 1 Figurer. Fig 8-73
- Bilaga 2 Mätutrustning i mätpunkter för energimätningar
- Bilaga 3 Beräkning av värmegenomgångstalet  $k_i$  för en kulvertdimension.
- Bilaga 4 Analys av parametervariation för relativa distributionsförlusten.

## FÖRORD

Lokala energikällor tilldrar sig ett allt större intresse. Som exempel härpå kan nämnas spillvärme från industrier, fasta bränslen såsom torv, flis och avfall, värmepumpar samt solvärme.

Utnyttjandet av dessa energikällor medför i många tillämpningar att värmen distribueras i lokala eller småskaliga fjärrvärmenät.

Vattenburna distributionssystem innebär betydande investeringar. I villa- och radhusområden uppgår kostnaden för yttre vattenburna distributionssystem vanligen till 15 000-20 000 kronor per hus. Hos abonnenten tillkommer därtill investeringar i abonnentcentral samt vattenburet uppvärmningssystem. En utveckling av tekniken och ett förbättrat kunnande kring hur dessa system bör utformas har således stor ekonomisk betydelse.

I Staffanstorps kommun finns sedan 1980 ett lokalt fjärrvärmenät. Spillvärme från Pharmacias industriprocess förser området, benämnt Kyrkbyn, med värme. Fjärrvärmeanläggningen omfattar ca 500 nyproducerade villor och radhus samt några allmänna anläggningar.

I det här redovisade projektet utgör denna fjärrvärmeanläggning referensanläggning för systemstudier och mätningar.

En närmare beskrivning av det aktuella systemet finns i del II - Redovisning av utförda mätningar.

Projektet har utförts av VBB i Malmö i samarbete med institutionen för Teknisk vattenresurslära vid LTH.





## SAMMANFATTNING

I projektet ingår dels en utredningsdel i syfte att belysa hur variationer av olika parametrar påverkar ekonomi, funktion och flexibiliteten i ett lokalt fjärrvärmenät, dels en experimentell del baserad på mätningar i fjärrvärmeanläggningen i Kyrkbyn i Stafanstorp.

Utredningsdelen börjar med en redovisning av hur olika typer av abonnentcentraler påverkar distributionssystemet samt hur ackumulering hos abonnenten, i nätet eller centralt, påverkar sammanlagringsfaktorerna.

Temperaturdifferens, flöde, sammanlagring samt kulvertdimensioner påverkas av om abonnentcentralen är av typ genomströmningsberedare eller ackumulerande beredare med varierande storlek. Därtill finns möjligheten med gemensam, centralt placerad ackumulator.

Akkumuleringsprincipens inverkan på sammanlagringsfaktorn diskuteras.

En inventering av tekniskt-ekonomiska för- och nackdelar med dragning av kulvert i mark alternativt i eller under byggnad redovisas i kap U2.

Erfarenheter från värmeverk, bostadsföretag etc har sammanställts. Alternativa förslag till lösningar för villa- och radhusbebyggelse redovisas.

Jämförelse av ett direktkopplat distributionssystem med ett system med enskild värmeväxling utföres i kap U3.

Ett direktkopplat system medför bl a en billigare abonnentcentral samt eliminerar temperatursänkningen som annars förekommer över en värmväxlare. Å andra sidan medför det direktkopplade systemet risker i form av att missgrepp från abonnenten kan påverka det större systemet eller att tryckstötter fortplantas till radiatorerna. Erfarenheter baserade på genomförda mätningar redovisas.

I kap U4 diskuteras värdet av flexibiliteten vid dimensionering av ett lokalt fjärrvärmesystem. Liksom kostnaden för att gardera sig för framtiden genom att utforma anläggningen för låga framledningstemperaturer.

Vilka energikällor som idag står till buds för givna framledningstemperaturer, samt framledningstemperaturens inflytande på olika energikällors investeringskostnader och effektivitet redovisas. Exemplifiering görs med utgångspunkt från referensanläggningen.

Mätningar som koncentrerats till nedanstående problemområden har utförts i det tidigare omnämnda bostadsområdet, Kyrkbyn i Staffanstorp, vars fjärrvärmenät kan betraktas som ett typiskt och representativt lokalt fjärrvärmenät. Mätningarna utfördes under perioden januari 1983 till februari 1984.

- Sammanlagringsfaktorer

Sammanlagring i ett fjärrvärmenät uppstår framförallt p g a att abonnenterna tappar varmvatten vid olika tidpunkter. Sammanlagringsfaktorer för icke ackumulerande system, d v s utan varmvattenberedare eller annan typ av ackumulator, beräknas idag enligt va-byggnorm. F n finns inget dokumenterat underlag för hur sammanlagringsfaktorerna i olika delar av ett nät ska beräknas för ackumulerande system, d v s med varmvattenberedare el dyl.

Genom att under en tidsperiod kontinuerligt mäta effektvariationerna hos fyra abonnenter med varmvattenberedare och samtidigt utföra motsvarande mätning ute på nätet och i värmecentralen, erhöles underlag för generella slutsatser om sammanlagringsfaktorers storlek med och utan förrådsberedare hos abonnenten.

- Tryckslag

Vid ett direktkopplat system fortplantas trycktransienter till bl a radiatorerna. Därmed föreligger också risk för läckage med åtföljande sekundärskador.

Effekterna av stängning av kulventiler och därpå följande spridning av trycktransienterna mättes med tryckgivare och oscilloskop. Dessa mätningar har ingått som en del i bedömningen av riskerna med ett direktkopplat system.

- Temperatur- och värmeförluster

Vid fältmätningen mättes avsvalningshastigheten för stillastående vatten i en av ledningarna i systemet sedan fjärrvärmenätet stängts av. Därefter kunde ett korresponderande värmegenomgångstal för kulverten bestämmas.

Denna metod har hittills varit oprövad vid mätningar på fjärrvärmeledningar i drift men utgör ett alternativ till de sedvanliga energi- och temperaturfallsmätningar som utförts med varierande resultat i andra sammanhang.

Del I - Utredningsdel



## U1. OLIKA ACKUMULERINGSLÖSNINGARS INFLYTANDE PÅ SAMMANLAGRINGSFAKTORN

### U1.1 Sammanlagring

Sammanlagring i ett fjärrvärmenät innebär att den resulterande belastningens maximala effekt är mindre än summan av abonnenternas individuella värmebehov.

Sammanlagringen är av avgörande betydelse vid dimensionering av produktionssystem och distributionsnät, och vid konstruktion av tariffer.

Sammanlagringsfaktorn  $S_n$  definieras som:

$$S_n = \frac{P_{\max}}{\sum_{i=1}^n P_{i,\max}} \quad (\text{U1.1})$$

där  $S_n$  = sammanlagringsfaktor för  $n$  abonnenter

$n$  = antal abonnenter

$P_{\max}$  = maximieffekt inmatad i nätet

$P_{i,\max}$  = högsta effekttopp för respektive abonnent.

Av uttrycket framgår att sammanlagringsfaktorn är liten då sammanlagringen i nätet är stor.

Det är känt att sammanlagringen i nätet ökar (sammanlagringsfaktorn minskar) då fler abonnenter ansluts. En god kännedom om sammanlagringens storlek innebär möjligheter till

- mindre dimensionerande effekt för värmekällan
- mindre ledningsdimensioner, vilket också medverkar till att minska transmissionsförlusterna vid distributionen.

### U1.2 Åtgärder för att påverka sammanlagringen

Ett sätt att på konstlad väg påverka sammanlagringen är införandet av någon form av lagring i nätet. Härigenom blir man mindre beroende av effekttoppar i förbrukningen och kan därmed minska investeringen på produktionssidan. I syfte att belysa dessa möjligheter kommer i den fortsatta framställningen att behandlas fyra fall som representerar olika möjligheter till ackumulering i nätet. Dessa fall kommer att behandlas från teknisk och ekonomisk utgångspunkt.

De fyra fall som behandlas är

- fjärrvärmenät utan ackumulering
- temperaturhöjning vid låglast i fjärrvärmenät
- fjärrvärmenät med stor ackumulatorvolym vid produktionskällan
- fjärrvärmenät med en mindre ackumulatorvolym i varje undercentral

Fjärrvärmenät utan någon form av ackumulering anses vara känd teknik och behandlas endast som referensfall i den fortsatta framställningen.

#### Temperaturhöjning vid låglast

En teknisk möjlighet att lagra värme i fjärrvärmenät är att då förbrukningen är låg behålla temperaturnivån på en högre nivå än vad som är nödvändigt för fjärrvärmenätets drift. Den entalpihöjning som detta resulterar i kan sedan användas under perioder med maximal värmelast.

En förhöjd framledningstemperatur i nätet leder i regel inte till högre returtemperatur. Endast då abonnentcentralerna är utrustade med förrådsberedare för varmvatten förekommer en höjning av returtemperaturen då framledningstemperaturen höjes vid låglast. (U1)

För att höja returtemperaturen är det därför nödvändigt att fjärrvärmevatten ledes direkt från framledningen till returledningen i nätet. Alltså måste en överströmning anordnas mellan fram- och returledning.

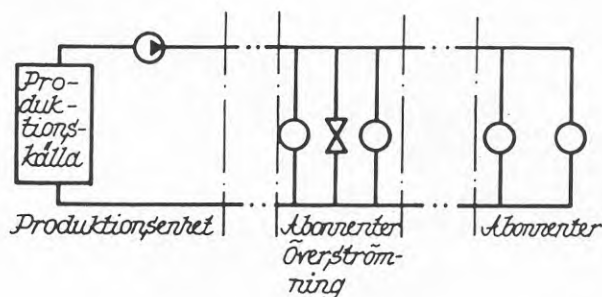
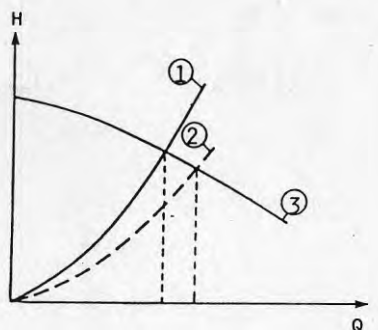


Fig. U1.1 Förenklat fjärrvärmenät med överströmning mellan fram- och returledning.

Försörjer distributionspumpen endast ett nät med överströmningsmöjlighet förändras nätets systemkurva enligt fig U1.2.



- ① SYSTEMKURVA VID STÄNGD ÖVERSTRÖMNING
- ② SYSTEMKURVA VID ÖPPEN ÖVERSTRÖMNING
- ③ PUMPKURVA

Fig. U1.2 Förändring av volymströmmen vid öppning av överströmningsledning.

Eftersom trycket i returledningen vanligen är lägre än framledningstemperaturens ångbildningstryck får inte den överströmmade vattenmängden höja temperaturen mer än till en viss tillåten temperatur för att undvika kavitation.

I referens (U1) och (U2) diskuteras mycket ingående metoder att optimera den värme som kan lagras i nätet under låglastperioder. De slutsatser författaren drar är att värmelagring på detta sätt är en fråga om ekonomiska överväganden. En lagring av värme i nätets framledning låter sig göras ganska enkelt medan en lagring även i returledningen innebär att överströmningsmöjligheter på strategiska positioner i nätet anordnas. För att beräkna den reduktion av maximieffekten för nätet som blir resultatet kan ganska enkla energibalanser användas. Med tillämplig forskning som grund kan maximibelastningen antagas minska med 5 till 12 % (U2).

En förutsättning för att lagring av värme i fjärrvärmenät skall kunna tillämpas är att nätet är relativt stort och att produktionskällorna består av pannor. Värmepumpar kan inte användas.

Samtidigt måste man vara medveten om att en förhöjd temperatur i värmeledningar alltid medför högre transmissionsförluster.

### Akkumulering av hetvatten

En möjlighet att öka sammanlagringen och minska produktionseffekten är att införa någon form av ackumulering av hetvatten i nätet. Då kan man antingen införa ackumulering i en stor enhet som vanligen placeras vid produktionskällan, eller i form av förrådsbedare för varmvatten vid abonnentcentralen.

En stor ackumulatorvolym inkopplas enligt fig U1.3.

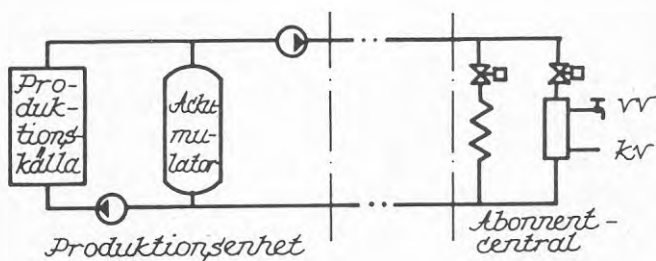


Fig. U1.3 Ackumulatorvolym i anslutning till produktionskällan.

Denna koppling ger möjlighet till lagring av värme under låglast, t ex under natten, och uttag vid höglast. Det ekonomiska utbytet ökar om någon elbaserad produktionskälla står till buds och möjlighet att utnyttja differentierade eltaxor finnes. Vid fastbränsleledning medger en ackumulator jämnare drift och därmed en högre medelverkningsgrad.

En ackumulator med placering enligt fig. U1.3 gör att produktionskällan blir mindre beroende av nätets momentana effektbehov

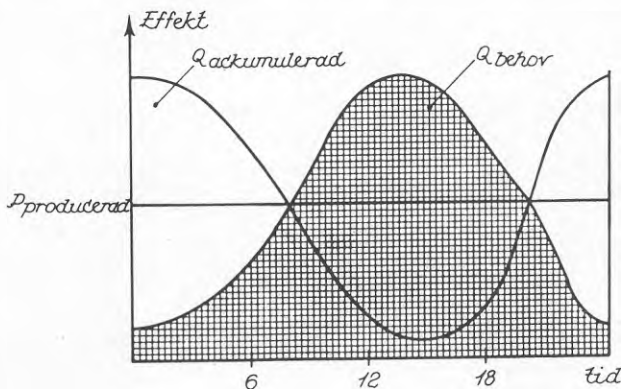


Fig U1.4 Effektutjämnning med ackumulator i anslutning till produktionskällan.



Den teknik som står till buds är vanligen ackumulering i isolerad och trycksatt ståltank. En längre ackumuleringsperiod (typ säsongackumulering) ställer sig då alltför kostsamt och kan innebära miljömässiga betänkligheter.

Alternativet till en stor tankvolym vid produktionskällan är mindre ackumulatorvolym i anslutning till abonnentcentralerna. Dessa utgöres vanligen av förrådsberedare för varmvatten, enligt fig U1.5.

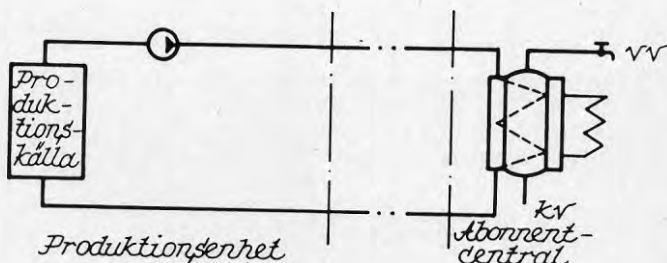


Fig U1.5. Ackumulering m h a förrådsberedare i undercentralerna.

Med denna koppling utjämnas varmvatteneffekttopparna som vanligen inträffar med kort varaktighet morgon och kväll i ett fjärrvärmenät med övervägande hushåll inkopplade. Denna variation är mera oförutsägbar, både till storlek och varaktighet, än variationen i värmeförbrukning som är avhängig av utetemperaturen.

Båda dessa alternativ syftar till att minska värmeproduktionskällans dimensionerande effekt. Generellt kan sägas att sammanlagringsfaktorn påverkas mindre av förrådsberedare för varmvatten än av en central ackumulering även om förrådsberedaren har lägre effekt än motsvarande genomströmningsberedare. Vid nyttjande av förrådsberedare i abonnentcentralerna förblir produktionskällans momentana effektbehov beroende av nätets momentana effektbehov, då abonnentcentralens reglerfunktioner hela tiden strävar efter att hålla hela beredarvolymen vid inställd temperatur. I en väl dimensionerad central ackumulatorvolym kan temperaturen tillåtas sjunka i en relativt stor del av volymen utan att fjärrvärmenätets framledningstemperatur påverkas.

En jämförelse avseende värmeförluster pekar på att ackumulering i undercentralerna ger en större transmissionsförlust än en centralt placerad ackumulering, då värmeackumulatorns sammanlagda yta blir avsevärt större då den är spridd på flera enheter.

Å andra sidan kan kulvertdimensionerna i nätet minskas om ackumuleringen sker vid abonnentcentralerna, vilket ger lägre transmissionsförluster i distributionsledningarna. En känslighetsanalys som visar värmeförlusten som funktion av vald kulvertdimension redovisas i denna rapportes mätedel (bilaga 4). Beräkningarna visar att valet av kulvertdimension har liten betydelse för den relativa förlusten.

Om man förutsätter att ackumulering sker innebär det en sänkning av driftskostnaderna och investeringskostnaden för fjärrvärmeleverantören, i och med att den dimensionerande effekten kan minskas.

Väljes en central ackumulering måste man investera i en ackumulatortank. Denna investering är dock totalt sett mindre än om varje abonnent hade måst installera förrådsberedare. Dessutom ställer det sig ibland svårt att installera förrådsberedare hos varje abonnent p g a t ex platsbrist. Den minskning av kulvertdimensionen som ackumulering hos abonnenten ger möjlighet till begränsas troligen till servicledningarna då man annars inskränker sina möjligheter att bygga ut nätet, d v s nätets flexibilitet minskar.

Förmodligen innebär en kombination av de båda alternativen den gynnsammaste lösningen för ett normalt stort fjärrvärmenät.

### U1.3 Diskussion av resultat från mätningar.

I syfte att ge underlag för bedömningar angående sammanlagringen i ett mindre fjärrvärmenät gjordes effekt- och energimätningar i Kyrkbyn i Staffanstorp.

Uttagen effekt uppmättes kontinuerligt i fjärrvärme-centralen, i en mätkammare samt i fyra utvalda abonnentcentraler. Mätpunkternas placering framgår av denna rapportes mätedel.

Mätningarna utfördes vid fem olika tillfällen varvid mätperioderna uppgick till ca en vecka.

Mätutrustningen utgjordes av sex stycken energimätare förbundna med registreringsutrustning via teleledningar. Energimätarna gav ifrån sig pulser när en viss energimängd passerat. Dessa pulser registrerades av en pulsräknare. Resultaten skrevs ut på skrivare och flexskiva.

Genom mätpunkternas placering kunde sammanlagringsfaktorn beräknas för 4, 117 och 362 abonnenter.

För fyra abonnenter erhöles sammanlagringen genom direkt superponering varefter  $S_4$  beräknades enligt ekv. U1.1.

Medelvärdet av de fyra abonnenternas maximieffektbehov antages vara representativt för området och utgör 94 % av medeleffektbehovet för hela Kyrkbyn.  $S_{117}$  och  $S_{362}$  kan härvid beräknas enligt

$$S_n = K_n \frac{P_{\text{uppmätt}} - P_{\text{förlust}}}{n \left( \frac{\sum_{i=1}^4 P_{i, \text{max}}}{4} \right)} \quad (\text{U1.2})$$

där  $\frac{\sum_{i=1}^4 P_{i, \text{max}}}{4}$  = medelvärdet av maxeffektbehovet för de fyra abonnenterna under mätperioden.

$K_{117}$  = 1.0 enligt ovan

$K_{362}$  = 0.94 enligt ovan.

$P_{\text{uppmätt}}$  = max. effekt enl. mätning.

$P_{\text{förlust}}$  = beräknad förlust enligt  $Q_f = kA \Delta t$

Vattenvolymen i nätet uppgår till ca 40 m<sup>3</sup> och har en viss utjämnande funktion på effektbehovet. Vattenvolymens utjämnande effekt har diskuterats tidigare i kapitel U1.2. Vid en ökad vattenvolym i nätet ökar sammanlagringseffekten. Övervägande delen av abonnentcentralerna är dessutom utrustade med förrådsberedare på ca 150 liter per hushåll.

Dygnstemperaturen under mätperioderna har varierat enligt tabell U1.1. Värdena gäller för Sturups Flygplats ca 1 mil från Staffanstorp.

Period	Temperatur (°C)		
	Medel	Min	Max
83-09-28--10-02	7.9	4.7	11.2
83-10-06--10-10	8.7	7.4	10.5
83-10-11--10-19	10.4	8.8	12.6
84-01-18--01-26	-2.0	-5.1	0.4
84-02-10--02-17	-2.2	-4.8	0.2

Tabell U1.1 Utetemperatur under mätperioderna.

Vid samtliga mättillfällen har temperaturen således varit högre än dimensionerande utetemperatur, -15°C.

Energimängden mättes under intervall av 12, 60, och 180 minuter. På basis av uppmätt energimängd beräknades medeleffekten under varje intervall.

Med ledning av uppmätta maximieffekter har sammanlagringsfaktorn beräknats enligt ekv. U1.1 och U1.2 för varje period.

Av fig. U1.6 nedan framgår att sammanlagringen är mindre vid låg utetemperatur. Orsaken är att sammanlagringen för uppvärmning är liten i förhållande till sammanlagringen för varmvattenberedning.

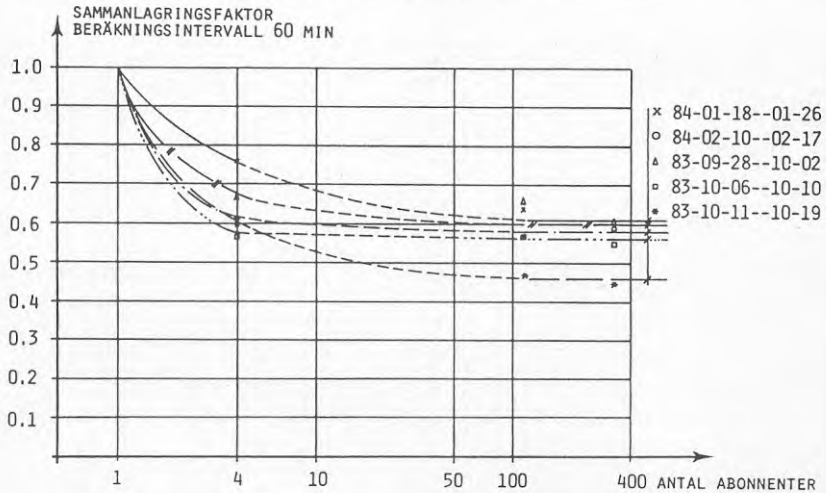


Fig U1.6 Sammanlagringsfaktor för fem mätperioder.

Av fig U1.7 framgår att sammanlagringen blir mindre då effekterna är beräknade på längre intervall.

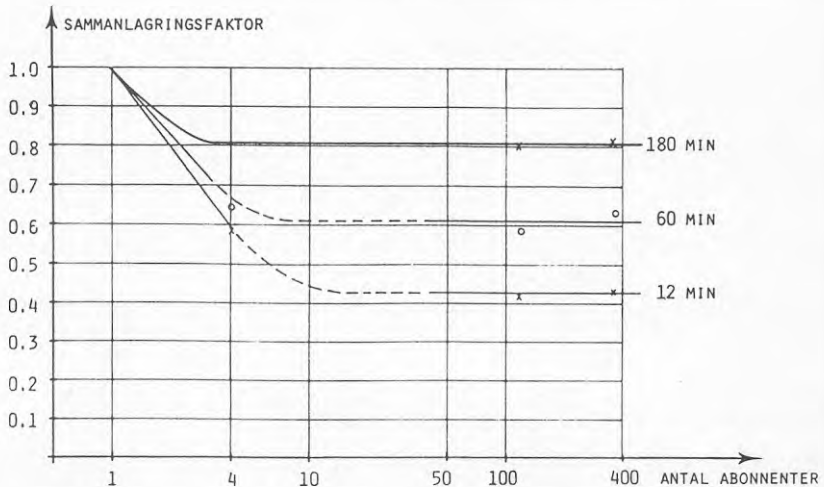


Fig. U1.7 Sammanlagringsfaktor vid olika beräkningsintervall.

En förlängning av beräkningsintervallet innebär att större ackumulatorvolym i abonnentcentralerna simuleras. Av mätningarna framgår att den individuella abonnentens maximieffektbehov är ca 30 % lägre vid 180 minuters beräkningsintervall än vid 60 minuter. Vid fjärrvärmecentralen är differensen ca 3 %.

På motsvarande sätt simulerar en förkortning av beräkningsintervallet en minskad ackumulatorvolym hos abonnenterna, d v s man närmar sig fallet med genomströmningsberedare.

Som vi ser av fig. U1.7 innebär en större volym koncentrerad till abonnentcentralen att sammanlagringsfaktorn ökar. Samma resultat har framkommit vid mätningar i andra småhusområden. Fig. U1.8 visar resultat från mätningar gjorda i Uppsala och Luleå. (U3)

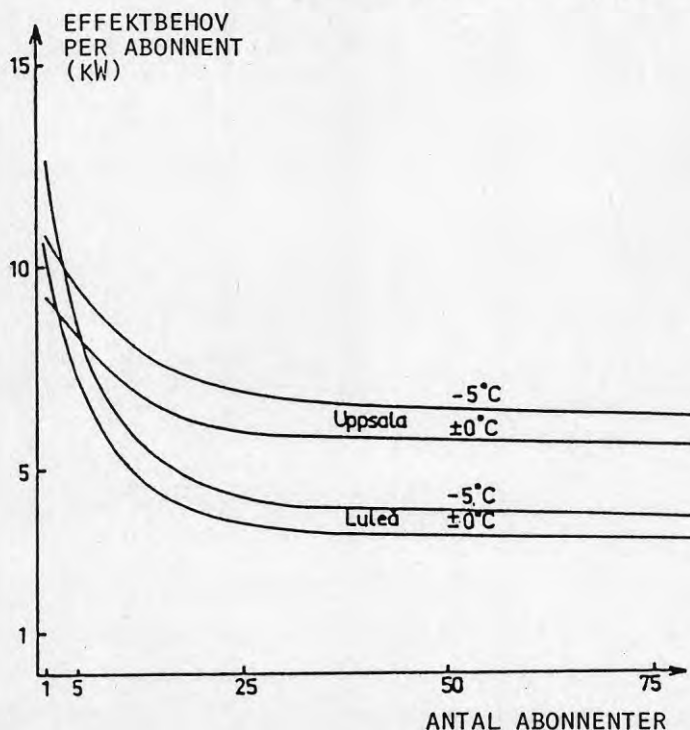


Fig U1.8 Jämförelse mellan sammanlagring i Uppsala och Luleå. I Uppsala är abonnentcentralerna utrustade med förrådsberedare, medan de i Luleå är utrustade med genomströmningsberedare. (U3)

Förhållandet att ett system med viss ackumulatorvolym hos abonnenterna visar en högre sammanlagringsfaktor än då genomströmningsberedare används innebär inte automatiskt att produktionsenhetens effekt måste ökas. Vid val av förrådsberedare i stället för genomströmningsberedare minskar nämligen den enskilde abonnentens effektbehov, enligt fig U1.9.

Detta framgår även av ovan redovisade kurvor från mätningarna i Uppsala och Luleå.

Förhållandet åskådliggörs genom att nämnaren i ekv. U1.1 minskar med ökad sammanlagringsfaktor som följd. Mätningarna i Kyrkbyn visar att detta inte innebär krav på ökad producerad effekt, utan denna är i stort sett oförändrad vid ett längre beräkningsintervall.

Vid nyttjande av förrådsberedare erhålles således en adderad sammanlagring i nät och beredare som är av samma storlek som sammanlagringen i nätet vid genomströmningsberedning.

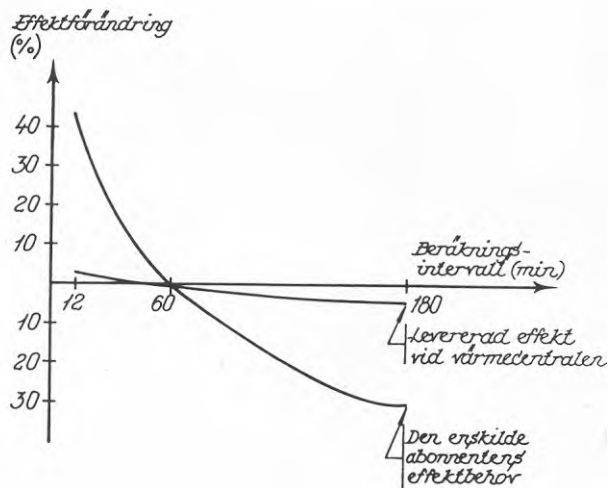


Fig. U1.9 Effektbehov som funktion av beräkningsintervall.

#### U1.4 Sammanställning

En sammanställning över olika ackumuleringsprincipers påverkan på fjärrvärmesystemet visas i tabell U1.2. Jämförelsen är gjord med ett fjärrvärmenät utan någon form av ackumulering som referens.

	Temperatur- höjning vid låglast	Akkumulering av hetvatten vid produk- tionskällan	Akkumulering av varmvatten i abonnent- centralen
Produktionskällans dimensionerande effekt	minskar	minskar	oförändrad
Kulvertdimensioner	oförändrad	oförändrad	minskar
Transmissionsför- luster vid produk- tionskällan	oförändrad	ökar	oförändrad
Transmissionsför- luster i distribu- tionsnätet	ökar	oförändrad	minskar
Transmissionsför- luster i abonnent- centralen	oförändrad	oförändrad	ökar

Tabell U1.2. Ackumuleringsprincipens inverkan på ett fjärrvärmesystem.





## U2 LEDNINGSDRAGNING I MARK ELLER I BYGGNAD

### U2.1 Inledning

I detta avsnitt redovisas en inventering av tekniska/ekonomiska för- och nackdelar med olika sätt att lösa ledningsdragningen i ett lokalt fjärrvärmenät. De två principiellt olika möjligheter som står till buds är förläggning i mark eller ledningsdragning i eller under byggnad.

Avsnittet baseras främst på egna erfarenheter vid VBB i Malmö men också på erfarenheter från Malmö Energiverk och bostadsföretag med vilka diskussion förts under arbetets gång.

Vid projektering är normalt målet att inom givna tekniska kvalitetsramar åstadkomma billigaste lösning. För lokala fjärrvärmenät innebär detta ofta att med kortast möjliga kulvertsträcka sammanbinda de olika abonnenterna. Möjligheten att förlägga kulverten helt eller delvis i eller under byggnaden kan dock motivera längre kulvertsträckor eftersom anläggningskostnaden per meter i vissa lägen är lägre än för kulvert i mark. Värmeförlusten för den del av kulverten som förläggs i eller under en byggnad blir också lägre än i mark och läckvärmen kommer byggnaden till godo. Samtliga dessa aspekter bör beaktas vid val av ledningsdragning.

### U2.2 Kulvertdragning i mark

Vid ledningsdragning i mark förläggs fördelningsledningarna normalt i gatumark och därifrån dras servisledningar i mark in till varje fastighet. Vid stora avstånd mellan husraderna kan ibland dubbla fördelningsledningar lagda i tomtmark nära husen vara att föredra med hänsyn till att väsentligt kortare servislängder då erhålls.

Som ett alternativ kan vid det sistnämnda utförandet även tänkas en direkt indragning av fördelningsledningen av flexibel ledningstyp till varje hus. Då elimineras kostnaden för den förhållandevis dyra avgränsningen på fördelningsledningen.

Värmeförlusten från en fjärrvärmeledning beror främst på isoleringsstandarden men också på omgivande medium. I mark medverkar omgivande jord till en bättre isolering av ledningarna men likväl blir de relativa förlusterna stora i ett nät med små ledningsdimensioner och begränsat energiflöde. I tabell U2.1 redovisas således effektförlusterna för en dubbelledning med isolering serie II och med medeltemperaturen 65°C lagda i naturfuktig men dränerad sand. Om grundvattnenytan stiger upp till markytan ökar värmeförlusterna teoretiskt med ca 10 %. (U4)

Stålrör, dimension (mm)	Plaströrs- dimension serie II, Dy (mm)	Isolerings- tjocklek (mm)	Värmeeffektför- lust $\Delta t = 65^\circ\text{C}$ , dubbelledning (W/m)
DN 25 $D_y = 33.7$	110	35.2	14.5
DN 32 $D_y = 42.4$	125	38.2	27.5
DN 50 $D_y = 60.3$	140	36.4	27.5
DN 100 $D_y = 114.3$	225	51.0	33.9

Tabell U2.1 Effektförluster från fjärrvärmeledning (dubbelledning) med medeltemperatur  $65^\circ\text{C}$ . Isolering enligt serie II, (U4).

Bland fördelarna med ledningsdragning i mark kan nämnas

- + korta ledningslängder
- + fördelningsledningarna kan byggas utan att alla fastigheter ansluts.

De största nackdelarna med ledningsdragning i mark är

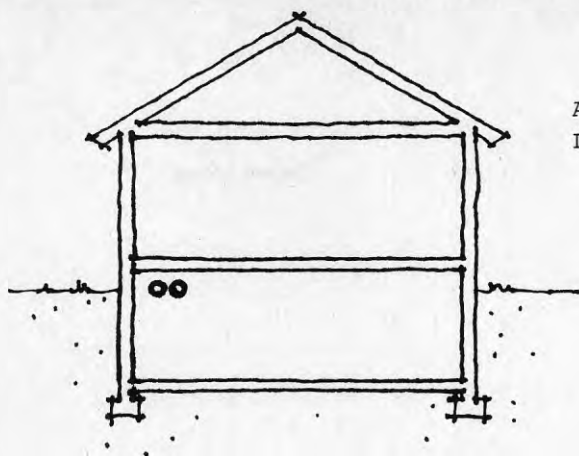
- hög skadefrekvens genom inträngning av grundvatten i fogar och brunnar,
- stora värmeförluster till marken som ej kan nyttiggöras.

### U2.3 Ledningsdragning i byggnad

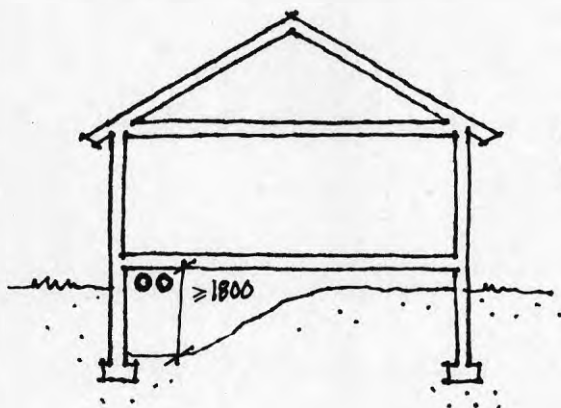
Vid ledningsdragning i byggnad kan flera olika utföranden komma i fråga, se fig. U2.1.

Enklast löses ledningsdragningen i byggnaden med källare där det ofta är ganska lätt att hitta lämpliga utrymmen att dra ledningarna i.

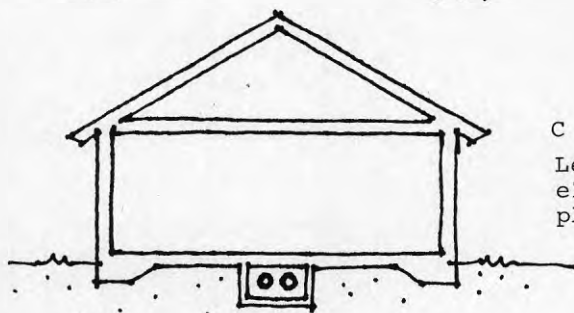
I s k torpargrund med kryputrymme önskas ur arbetarskyddssynpunkt att utrymmet längs ledningen har en fri höjd av minst 1.8 m. Vid förläggning i källare eller i torpargrund utförs ledningen vanligen med styva rör som kan hängas i pendlar eller läggas upp på konsoler.



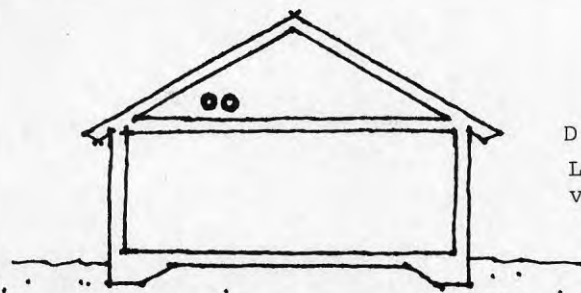
A  
Ledningsdragning i källare.



B  
Ledningsdragning i torpargrund.



C  
Ledningsdragning i kanal  
eller hålrör under  
platta på mark.



D  
Ledningsdragning i  
vindsutrymme.

Fig. U2.1 Olika ledningsdragningar i byggnad.

I torpargrund måste rören utföras med isolering och fuktskydd av samma typ som vid markförläggning eftersom en torr miljö inte kan garanteras. Servisventiler, som bör placeras omedelbart efter avgreningen, måste göras tillgängliga genom anordnande av en manlucka i grundmur eller bjälklag. Bäst ekonomi med detta system uppnås om värmeväxlaren kan placeras nära ledningarna så att servisledningen blir så kort som möjligt.

Vid platta på mark kan kulvertledningarna placeras i en prefabricerad eller platsgjuten betongkulvert eller i ett hålrör. Dessa lösningar har den nackdelen att hela ledningen under en byggnad måste bytas ut vid ett läckage. Långa gropar måste schaktas upp utanför byggnaden för att ge utrymme att dra ut och ersätta ledningarna i hålröret/betongkulverten. Manlucka och grop vid servisavgrening måste utföras med plats för montageskarvar och reparationer. Ledningsprofilerna blir besvärliga med dålig täckning av ledning mellan husen eller djupt förlagda hålrör och betongkulvertar med åtföljande djup grop vid servisavgreningen. Förläggning i hålrör eller betongkulvert under en byggnad är i allmänhet dyrare än normal markförläggning.

I vissa fall kan förläggning av fördelningsledningarna i vindsutrymmet vara ekonomiskt motiverat. Krav på arbetsutrymme och tillgänglighet gör dock att det endast kan tillämpas vid ett fåtal planlösningar. Reparation av en ev. skada med svetsning blir mycket riskabel på grund av det brännbara byggnadsmaterialet i vindsutrymmet.

Frys-skador kan inträffa på ledningar förlagda i vindsutrymmen om värmetillförseln upphör exempelvis på grund av haveri eller om en eller fler abonnenter i slutet av en fördelningsledning inte gör något uttag från systemet. Frysrisk vid haveri kan undvikas om systemet töms, men det torde vara svårt att få in en sådan rutin i underhållssystemen. Överkoppling i ändpunkten på en fördelningsledning förhindrar frysrisk om sista abonnenten har nollkonsumtion, men detta ger en icke önskvärd överföring av hetvatten till returledningen. Ett läckage från en vindsförlagd fördelningsledning kan få omfattande skadeverkningar, särskilt om den ingår i ett system med högt tryck. Vindsförläggning bör därför endast komma ifråga för ledningar med lågt tryck. Dessutom bör skärpta montagekrav ställas och åtgärder för att eliminera frysrisk vidtas.

Sammanfattningsvis kan följande fördelar med ledningsdragning i byggnad noteras:

- + lätt inspekterbara ledningar, avgreningar och ventiler vid förläggning i källare,
- + värmeavgivningen från ledningen kommer byggnaden till godo,
- + vid förläggning i källare och i vindsutrymme kan ett billigare ledningsutförande väljas än vid markförläggning.

Följande nackdelar må framhållas:

- i kryputrymme erfordras fri höjd av minst 1.8 m,
- för underhålls- och reparationsarbeten är ledningen tillgänglig endast genom fastighetsägaren,
- vid vindsförläggning måste åtgärder vidtas för att förhindra frysning vid haveri eller nolluttag,
- svåra konsekvenser av eventuell skada på ledning vid dragnig i vindsutrymme.

#### U2.4 Lämpliga dragningsalternativ för olika bebyggelseförhållanden

Val av dragningsalternativ är beroende av en mängd faktorer såsom,

- ny eller befintlig bebyggelse
- friliggande villor, parhus eller radhus
- exploateringsgrad

I befintlig bebyggelse är det ofta svårt att utnyttja inomhusförläggning på grund av byggnadernas planlösning etc. Ett inomhussystem i sådan bebyggelse kräver också 100 %-ig anslutning.

I nybyggnadsområden kan ganska stora inbesparingar göras om hänsyn tas till kulvertnätets utformning redan på planeringsstadiet.

För fjärrvärmeanslutning av friliggande villor är, ur både ekonomisk och teknisk synpunkt, serieproducerade villor med källare bäst. Fjärrvärmeledningarna placeras i lämpliga utrymmen i källaren och behöver endast markförläggas mellan husen. Den markförlagda kulvertlängden blir då så kort som möjligt. Den markförlagda kulverten utförs lämpligen med flexibla rör för enkel rörelseupptagning och anpassning till husplaceringen.

Som alternativ till inomhusförläggning kan fördelningsledningen för en husrad läggas på tomtmarken nära den sida där det är lämpligt att göra servisintag. I jämförelse med förläggning av fördelningsledning i gata kan besparingar göras om husen ligger tätt vid sidan av varandra men med stora avstånd mellan husraderna. Vid ledningsbrott behöver ej belagd gatuyta genombrytas men i gengäld kan man tvingas till ingrepp i uppvuxna trädgårdar. Kulvertsystemet behöver med denna dragnig inte byggas i samband med VA- och gatubyggandet utan kan utföras efter det att de tunga transporterarna i samband med gatu- och husbyggandet slutförts.

Kulvertar förlagda i gata och byggda i samband med VA-anläggningen utsätts ofta för skador från tunga anläggningsmaskiner under gatu- och husbyggnationen, då täckningshöjden är reducerad eftersom matjords-skiktet är borttaget. Nackdelen med detta dragningsalternativ är att fördelningsledningarna blir längre med ökad risk för skador och högre underhållskostnader.

Vid planering av område med parhus bör om möjligt planlösningen för husen utföras så att en gemensam servisledning kan betjäna båda fastigheterna i en byggnad.

För radhus med källare kan ett billigt och underhållsvänligt kulvertsystem byggas om källarutrymmena planeras så att fördelningsledningarna kan ges en enkel sträckning i närheten av servisuttagen.

I radhusbebyggelse med platta på mark och enskild värmväxling kan ledningsdragnings i vindsutrymmet vara ekonomiskt motiverat.

I tabell U2.2 har sammanställts de olika dragningsalternativen vid olika bebyggelsetyper. Någon generell rangordning av alternativen kan ej göras då den i hög grad beror på de lokala förhållandena.

	Fördelningsledning i gata, servis till varje hus	Fördelningsledning på tomt- mark nära husraden. Servis till varje hus	Fördelningsledning markför- lagd mellan husen, i övrigt förlagd i byggnad	I vindsutrymmen
Bef. friliggande småhus med källare	X	X	X	
Bef. friliggande småhus, källar- lösa	X	X		
Planerade friliggande småhus, enskild byggnation	X			
Planerade friliggande småhus, serieprod., platta på mark	X	X	X	
Planerade friliggande småhus, serieprod., torpargrund	X	X	X	
Planerade kedjehus	X	X	X	X
Parhus, platta på mark	X	X	X	
Parhus, torpargrund	X	X	X	
Radhus med källare	X	X	X	X
Radhus, platta på mark och torpargrund	X	X	X	X

Tabell U2.2 Sammanställning av möjliga alternativ till ledningsdragning för olika bebyggelse typer

## U2.5 Praktikexempel

Som illustration redovisas nedan ett praktikfall hämtat från verkligheten. Uppgiften är att förbinda 24 lägenheter i 12 parhus med torpargrund med en undercentral. En plan över området visas i fig U2.2. Gatorna mellan husen är endast 4 m breda och ej ämnade för regelbunden trafik eftersom garageplatser är anordnade i utkanten av området.

Förläggning av fördelningsledningen i gatumark enligt alt. 1 är uteslutet på grund av gatans ringa bredd. Hela gatubreddens utnyttjas för schakt för vatten och avlopp. Detta alternativ skulle givit ca 10 m kortare ledningslängd än det valda.

Tomtmarken mellan gata och byggnad är på vissa ställen endast 3 m bred och planerad för uppmurade blomsterlådor och buskage. Dessutom planeras en byggnad för uppsamling av sopor längs varje gata i detta stråk. I den norra gatan vid undercentralen finns en befintlig rikstelefonkabel vilket kraftigt begränsar utrymmet för en tvärgående fördelningsledning längs denna gata. Det är av dessa skäl olämpligt att förlägga fördelningsledningarna på tomtmark mellan gata och byggnad enligt alt. 2 på planen. Ledningslängden i detta fall kunde blivit 20 m mindre än det valda ledningsnätet.

Eftersom gatumarken och området mellan byggnad och gata är olämpliga att förlägga fördelningsledningen i blir nästa försök att flytta in ledningen i torpargrunden i den ena husraden längs gatan enligt alt. 3. Detta ledningsnät får samma totallängd som det valda ledningsnätet med samma reservation som tidigare för rikstelestråket. Den sträcka i torpargrunden som måste schaktas till 1.8 m ståhöjd blir dock ca 110 m istället för 70 m i det valda ledningsnätet. Att dra fördelningsledningen genom båda husraderna lönar sig inte eftersom avstånden mellan byggnaderna tvärs gatan är så litet.

Med de förutsättningar som gäller för den aktuella planen har som bästa alternativ valts alt. 4 med en stamledning rakt genom området med fördelningsledningar som passerar under en byggnad för att försörja den bakomliggande. Om husen hade varit grundlagda med platta på mark hade troligtvis samma ledningsdragning föreslagits.

Passagen under byggnaderna hade i det fallet fått ske i betongkulvert med flexibla rör eller i hålrör med fix i ena genomföringen och expansionsanordning i den andra. Om planlösningen givit plats till fördelningsledning i gata eller tomtmark mellan telekabel och byggnader hade alt. 1 och 2 varit fördelaktigare ur både teknisk och ekonomisk synpunkt.



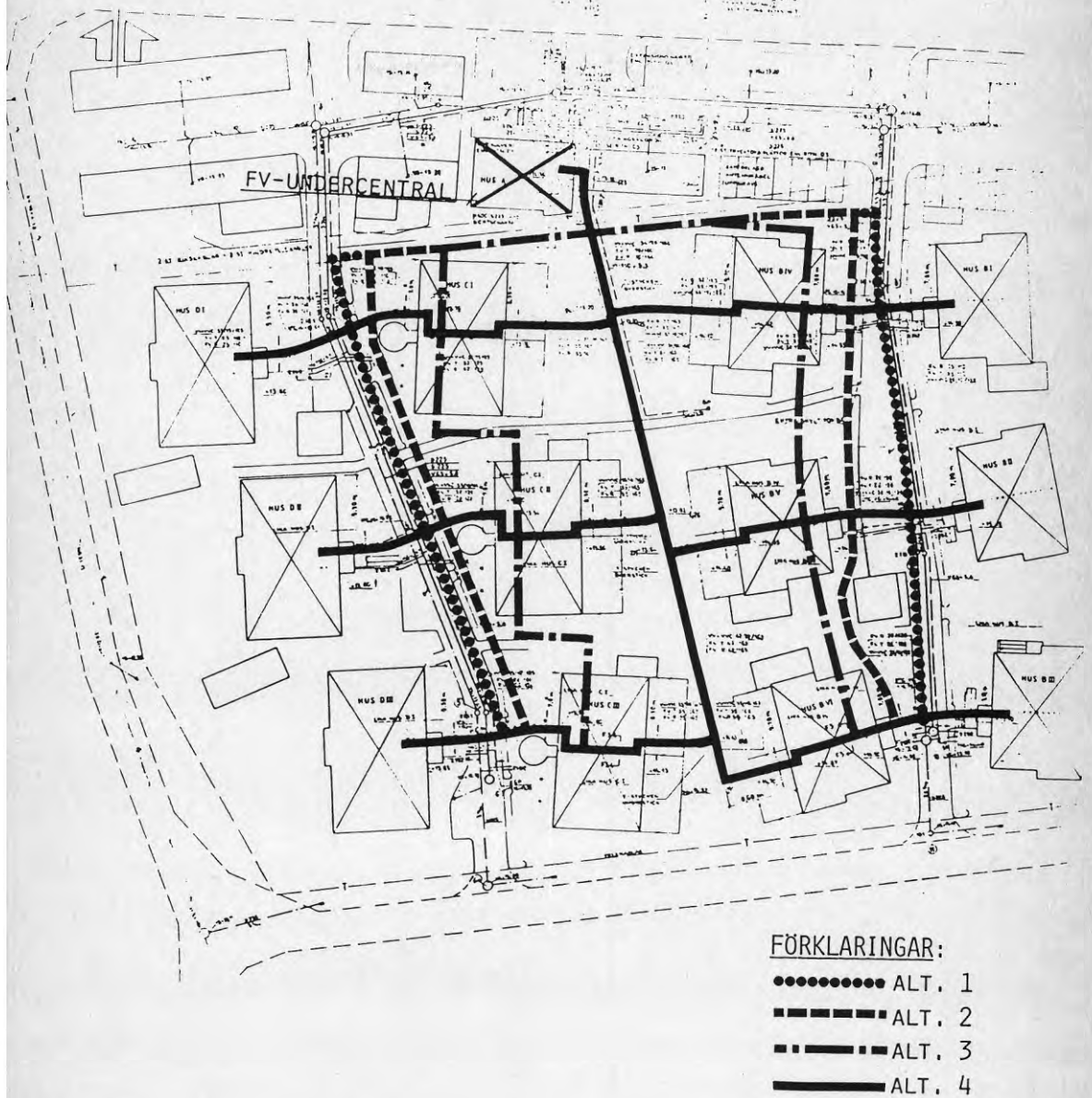


Fig U2.2 Olika alternativ för ledningsdraging i ett småhusområde.

Det redovisade exemplet visar att hänsyn till faktorer som ej kan påverkas av ledningsprojektören i hög grad måste tas och ofta är bestämmande för valet av ledningsdragning.

## U3 DIREKTINKOPPLADE ABONNENTCENTRALER

### U3.1 Bakgrund

Direktinkoppling av abonnentens värmesystem till fjärrvärmenätet medför att abonnentcentraler kan utföras till en lägre kostnad, samt att tempertursänkningen över värmeväxlaren elimineras.

Direktinkoppling förekom i Sverige i fjärrvärmeutbyggnadens inledningsskede under 1950-talet. Radiatorer anslöts direkt till fjärrvärmenätet, ofta via någon form av tryckreducering. Den teknik som tillämpades var inte tilfredsställande och efter hand började man istället använda indirekta system med värmeväxlare mellan fjärrvärmenätet och abonnentens fjärrvärmesystem. Denna teknik har sedan dess utvecklats här i landet, medan direktinkoppling fortfarande förekommer i ganska stor skala i Tyskland och Danmark. I många fall är större delen av abonnenterna i ett nät anslutna enligt den direkta principen medan särskilda abonnenter är indirekt anslutna (U5).

I Sverige har man under senare år åter börjat snegla åt möjligheten att göra direkta inkopplingar då man vill ansluta mindre abonnenter eller bebyggelse med centraliserade värmeanläggningar med lägre standard på sitt interna nät.

Direkt inkoppling är även intressant för inkoppling till värmeproduktionsenheter med värmepump som bas. Dessa enheter har ökat kraftigt till antalet under senare år och ökningen väntas fortsätta.

### U3.2 Tekniska problem vid direktinkoppling

Vid direkt anslutning av abonnent till ett fjärrvärmenät bör man vara medveten om ett antal tekniska problem:

- Tryckstötter orsakade av snabba flödesändringar i fjärrvärmenätet kan fortplanta sig in i abonnentens radiatorsystem med risk för skador på radiatorerna.
- Systemets vattenkvalitet kan vara svår att upprätthålla. Syre som läcker in i fjärrvärmesystemets vatten tränger in i radiatorerna och orsakar korrosion.
- Skadorna efter ett läckage i en fastighet kan bli avsevärt större vid ett direktinkopplat system, beroende på att vattenvolymen i systemet är större.

### Tryckstötar

Tryckstötar i fjärrvärmesystem förorsakas av snabba flödesändringar i systemet. Exempel på sådana förändringar är främst pumpstart/pumpstopp och ventilstängning/ventilöppning.

Åtgärder för att minska uppkomsten av tryckstötar syftar vanligen till att göra tryckförändringsförloppen långsammare. Exempel på detta är varvtalsreglering av större pumpar och nya ventilkonstruktioner (U6).

I syfte att mildra effekten av tryckstötar kan man införa förbigångsledningar vid direktkopplade abonnenter. En annan möjlighet är att fjärrvärmenätet förses med någon form av "tryckexpansionskärl" på strategiska punkter.

I Kyrkbyn i Staffanstorp gjordes mätningar för att studera trycktransienters utseende och fortplantning i fjärrvärmenätet till följd av flödesförändringar. Inga försök gjordes att dämpa transienternas utbredning.

Trycktransienter till följd av nedanstående orsaker mättes:

- Pumpstart/pumpstopp med varvtalsreglerad distributionspump, respektive distributionspump med konstant varvtal i fjärrvärmecentralen
- Momentan stängning/öppning av sektioneringsventil.

Mätningarna utfördes på ingående och utgående ledning i fjärrvärmecentralen, i mätkammare efter sektioneringsventilen samt i tre abonnentcentraler.

Mätningarna visar att det mest kritiska fallet är momentant stopp av distributionspumpen. Trolig orsak i detta fall är att värmeförseln från värmekällan inte stryps tillräckligt snabbt varvid fjärrvärmevattnet kommer i kokning. Då ångblåsorna kommer in i zon med högre tryck imploderar de med kraftiga tryckfluktuationer som följd.

Dessa fluktuationer fortplantas, under dämpning, till abonnenterna. Trycknivån vid mätpunkterna i nätet ligger betryggande under radiatorernas konstruktionstryck (7 bar abs). Vid direktkoppling till befintliga radiatorer bör man ha i åtanke att dessa, efter många års drift, kan vara känsliga för tryck som ligger lägre än konstruktionstrycket.

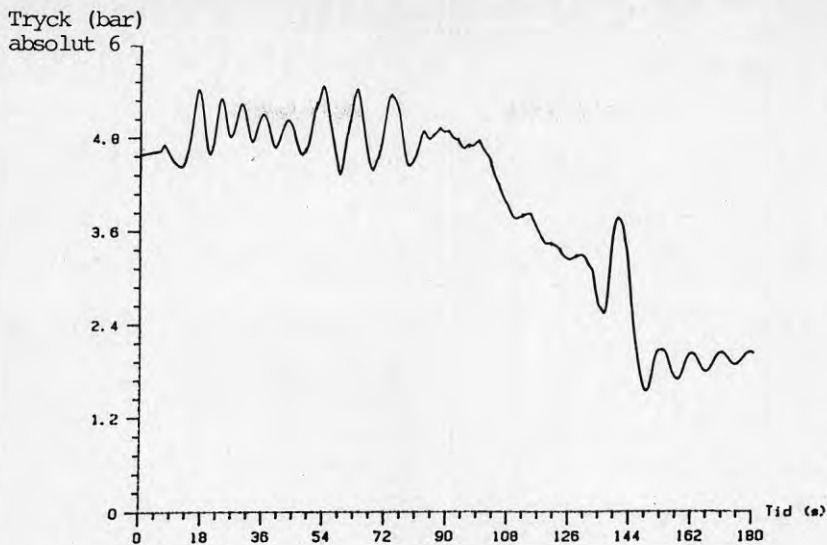


Fig U3.1 Momentant stopp av pump. Inkommande ledning till abonnent.

Vid pumpstart med konstant varvtal stiger trycket på utgående ledning från fjärrvärmecentralen först snabbt varefter det sjunker under drifttrycket för att sedan stiga mot drifttrycket. På pumpens sug sida sjunker trycket för att sedan stiga mot drifttrycket. Här föreligger uppenbar risk för kavitation. Hos abonnenten fås en behärskad tryckstegring varefter trycket sjunker för att därefter stiga mot drifttrycket.

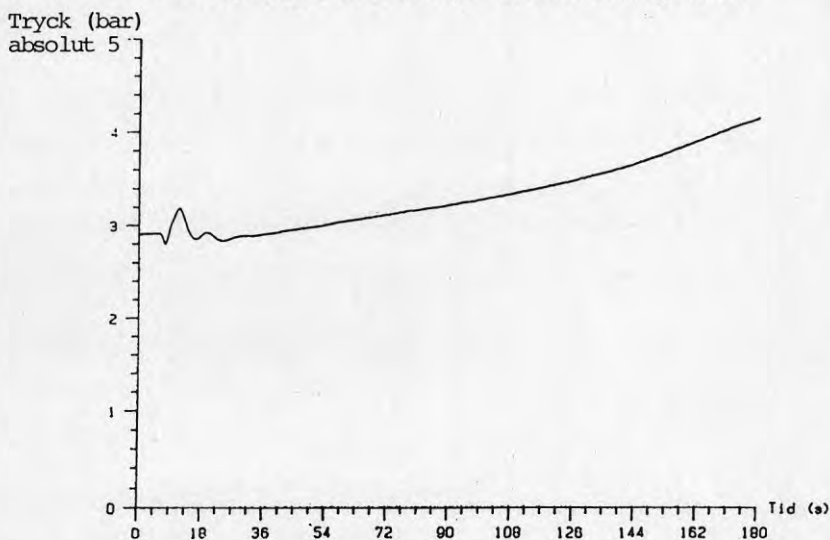


Fig U3.2 Momentan start av pump. Inkommande ledning till abonnent.

Vid pumpstart med varvtalsreglerad distributionspump sker tryckförändringar synnerligen mjukt och abonnentcentralerna påverkas knappast.

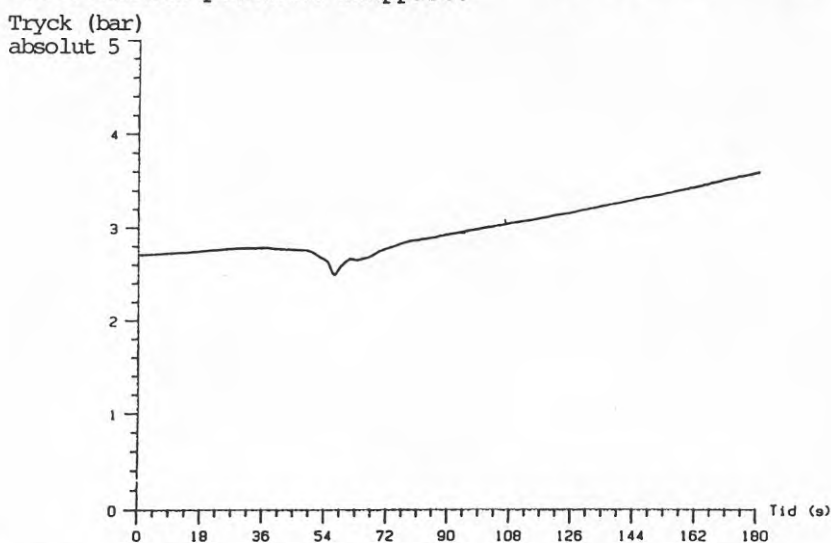


Fig U3.3 Start av varvtalsreglerad pump. Inkommande ledning till abonnent.

Vid ventilstängning i fjärrvärmenätet erhålles en kortvarig tryckökning varefter insvängning sker mot stationärt tryck.

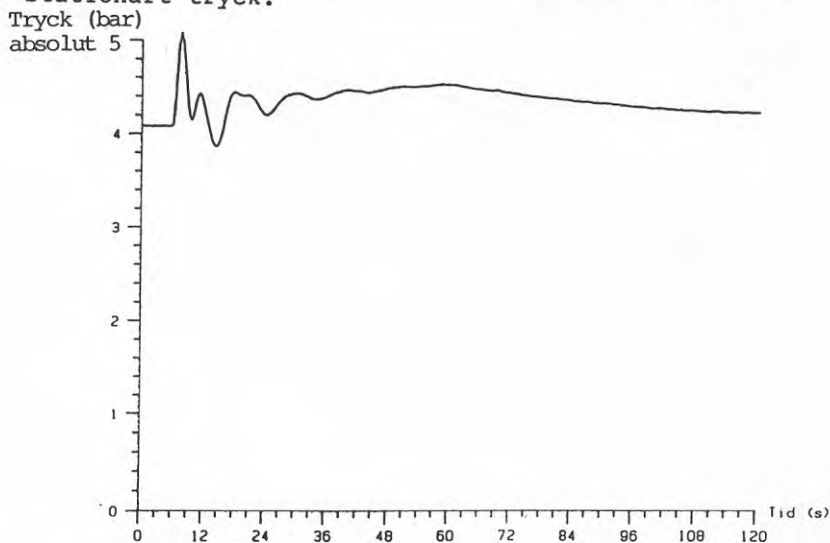


Fig U3.4 Ventilstängning. Inkommande ledning till abonnent.

Vid ventilöppning sker en smärre trycksänkning varefter stationärt drifttillstånd långsamt infinner sig.

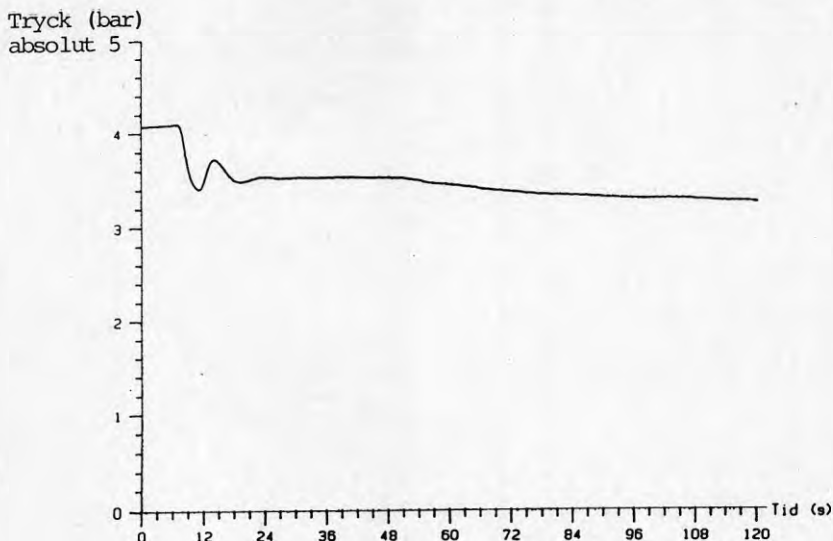


Fig U3.5 Ventilöppning. Inkommande ledning till abonnent.

Sammanfattningsvis kan sägas att riskerna med direktinkoppling i hög grad beror av utformningen av distributionssystemet, exempelvis varvtalsreglering, ventilval etc.

Det bör betonas att Kyrkbyn är ett nybyggt område. Vid direktinkoppling av fjärrvärme till ett befintligt radiatorsystem bör de befintliga radiatorerna besiktigas. Dessa kan vara känsliga, för övertryck även under konstruktionstrycket, efter många års drift.

Utförda mätningar av trycktransienter i Kyrkbyn redovisas i sin helhet i denna rapports mätbel.

#### Vattenkvalitet

Risken för att syre skall läcka in i ett fjärrvärmenät ökar med storleken på nätet. Syreläckage till värmevattnet sker vid ventiler, pumpar, expansionskärl etc.

Vid direkt anslutning av abonnenter ökar risken att radiatorerna korroderas p g a syre i vattnet.

I Kyrkbyn har inga bedömningar av risken för försämrad vattenkvalitet kunnat göras.

### Vattenläckage

Den mängd vatten som kan läcka ut och orsaka skador hos abonnenten ökar naturligt nog då värmesystemets storlek ökar. Vid direktanslutning kan i värsta fall ett läckage i en radiator hos en abonnent leda till att allt fjärrvärmevatten rinner ut hos abonnenten.

Detta pekar på att behovet av driftsövervakning ökar vid större direktanslutna system.

Inga läckage har rapporterats från Kyrkbyn.

### U3.3 Teknisk utformning

Inledningsvis nämndes att direktinkoppling är relativt vanligt i Tyskland och Danmark. Man har här en sinsemellan något olika utformning av abonnentcentralen.

I danska fjärrvärmenät har man ganska låga tryck och temperaturer (under 100°C vid alla värmelaster) vilket gör det möjligt att utforma en ganska enkel abonnentcentral enligt fig U3.6

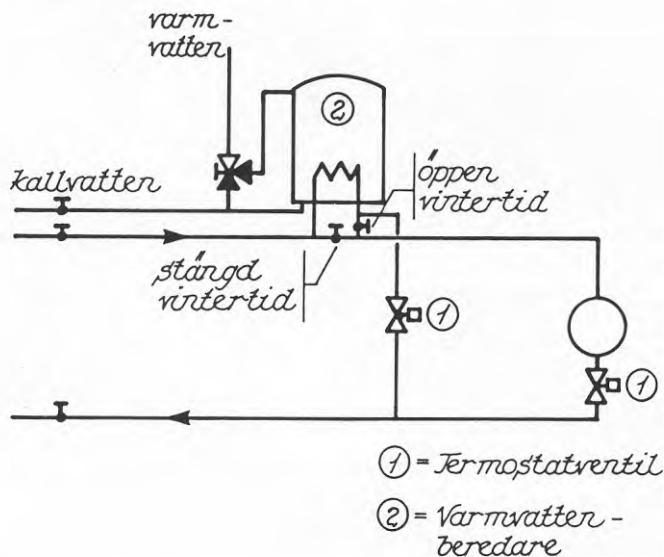


Fig U3.6 Direktinkopplad abonnentcentral för småhus enligt dansk modell. (U7)



I Tyskland drivs fjärrvärmenäten vanligen med högre tryck och temperaturer. Man har då någon form av temperatur och tryckreduktion i abonnentcentralen.

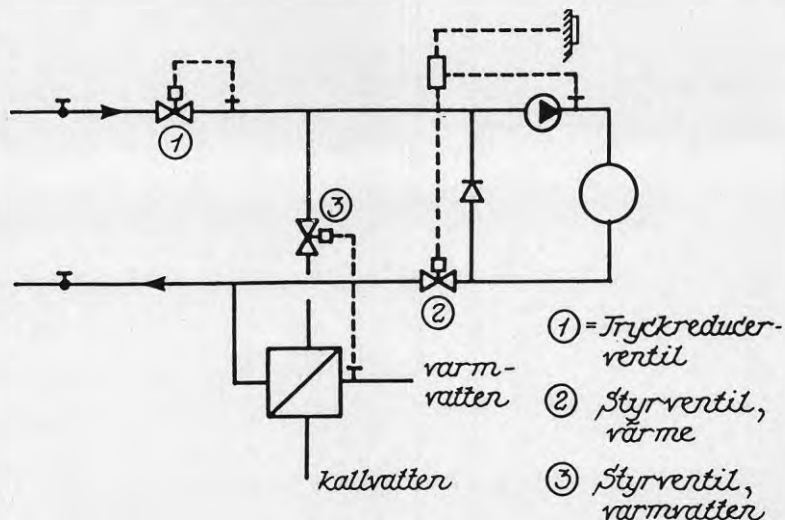


Fig U3.7 Direktinkopplad abonnentcentral enligt tysk modell (U8).

Det man kan anmärka mot denna koppling är att man löper en risk att hög ljudnivå uppstår i tryckreduceringsventilen.

Båda dessa utföranden, speciellt kopplingen enligt fig U3.6 ger en betydligt lägre investeringskostnad i abonnentcentralen än indirekt inkoppling.

Prefabricerade abonnentcentraler enligt dessa kopplingsprinciper finns för anslutningseffekter upp till ca 150 kW på den tyska marknaden (U9).

I Kyrkbyn installerades prefabricerade abonnentcentraler med intern koppling enligt fig U3.8.

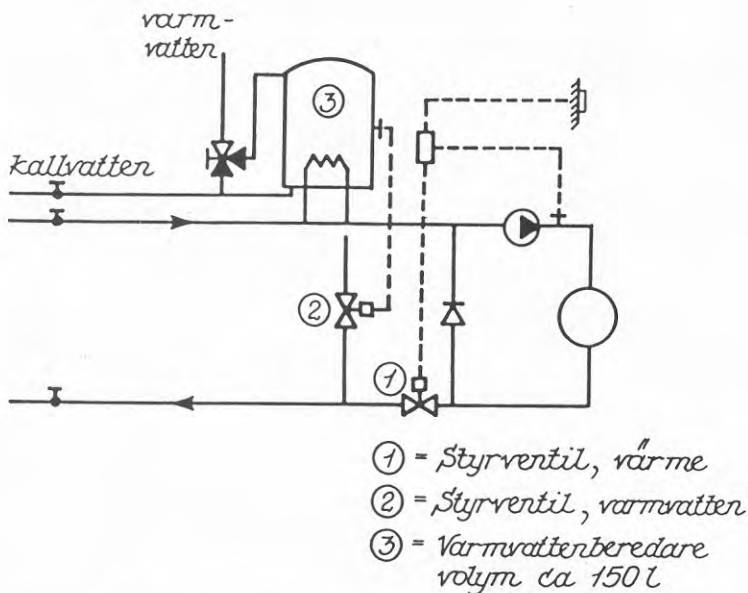


Fig U3.8 Direktinkopplad abonnentcentral för Kyrkbyn.

#### U3.4 Kostnader

Det motiv som alltid talat för direktanslutning, är den lägre investeringskostnaden i abonnentcentralen. Besparingen utgöres inte bara av att värmeväxlare för radiatorsystemet kan slopas utan även av att expansionskärlet kan utelämnas. Det ger en totalt sett lägre kostnad om all expansionsvolym koncentreras till ett ställe i nätet. Ett expansionssystem för enfamiljshus kostar ca 500 kr.

Som tidigare nämnts finns prefabricerade abonnentcentraler för direkt inkoppling upp till ca 150 kW på den tyska marknaden. Här i Sverige hittar man bara dessa enheter upp till ca 20 kW, ofta med ett varmvattenförråd på ca 150 l. Dessa enheter är speciellt avpassade för installation i enfamiljshus. För högre effektnivåer måste abonnentcentralen sättas samman för varje enskilt fall. Man kan då antingen välja att installera varje komponent för sig eller att sätta samman abonnentcentraler av värmeväxlare för tappvarmvatten (ev. med förråd) och en prefabricerad shuntenhet bestående av reglerenheter, cirkulationspump och erforderliga avstängningsventiler. Det senare alternativet torde ställa sig billigare än att köpa in och montera varje komponent för sig.

En ekonomisk jämförelse mellan indirekt och direkt inkoppling för svenska förhållanden redovisas i fig U3.9. Jämförelsen bygger på litteraturstudier och kontakter med tillverkare och VVS-entreprenörer. Svårigheter uppstår då man skall avgöra olika utrustningars prestanda, varför undersökningsmaterialet inte kan sägas vara helt homogent. Stora kostandsvariationer torde även orsakas av olikheter i konkurrenssituation, installationsutrymme etc.

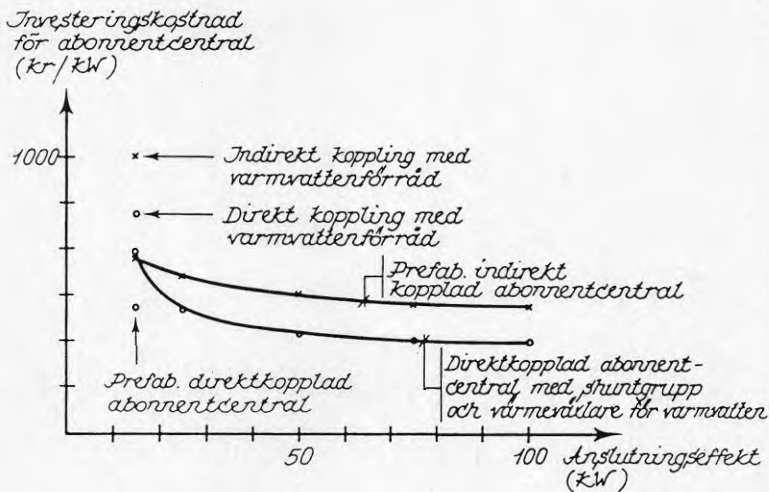


Fig U3.9 Investeringskostnad för abonnentcentral.  
(kostnadsnivå 1984)

Det föreligger ingen större skillnad mellan att installera abonnentcentralen i befintlig bebyggelse och i nybebyggelse. Den eventuella skillnaden ligger i kostnader för demontering av befintlig panna o dyl.



#### U4. SYSTEMFLEXIBILITET

##### U4.1 Värdering av flexibiliteten vid dimensionering av ett lokalt fjärrvärmesystem.

Lokala energikällor tilldrar sig ett allt större intresse. Som exempel härpå kan nämnas spillvärme från industrier, fasta bränslen såsom torv, skogsbränsle och avfall, värmepumpar samt solvärme.

Utnyttjandet av dessa energikällor i s k gruppcentraler medför i många tillämpningar att värmen distribueras i lokala eller småskaliga fjärrvärmenät.

Frågan om vilken temperaturnivå distributionsnätet skall dimensioneras för har varit föremål för diskussion alltsedan fjärrvärme introducerades i slutet av 1940-talet. För att följa optimal framledningstemperatur insåg man tidigt att hänsyn måste tagas till det sätt på vilket värmen producerades. Om värmen t ex producerades i ett kraftvärmeverk så innebär en lägre framledningstemperatur att mera elkraft kan produceras. Transmissionsförlusterna i kulvertar minskar samtidigt som pumparbetet ökar. En lägre framledningstemperatur innebär nämligen att för samma distribuerade värmeeffekt så erfordras en större vattenmängd. Detta beror på att returtemperaturen inte låter sig sänkas lägre än till ett visst värde som bestämmas av rådande rumstemperatur och aktuell varmvattenförbrukning.

Problemet med att välja optimal temperaturnivå i fjärrvärmenätet har på senare tid komplicerats ytterligare p g a att "nya" energikällor såsom värmepumpar, solfångare, spillvärme etc dels kanske har bestämda gränser vad det gäller tillåten temperaturnivå och dessutom uppvisar olika effektivitet tekniskt och/eller ekonomiskt beroende på vilken temperaturnivå fjärrvärmenätet har.

För att ytterligare beskriva hur komplicerad beslutsituationen är vad det gäller att välja temperaturnivå erinras om att näten har en livstid på ca 30 år. Under en så lång period kan grundläggande förutsättningar såsom pris på bränsle och tillgång på spillvärme etc förändras fatalt.

I en komplicerad planeringssituation som denna och osäkra förutsättningar ligger det nära till hands att undersöka möjligheten och kostnaderna för att köpa sig fri från låsningar. D v s att för en något större investering skaffa sig en flexibilitet som gör det möjligt att välja det värmeproduktionsalternativ som vid varje aktuell tidpunkt är billigast.

#### U4.2 Vad avses med flexibilitet och motiv för att bygga flexibelt

En investering innebär alltid någon form av låsning. Antalet alternativa lösningar till problemet minskar. Vid investering i ett fjärrvärmenät sker en låsning såväl vad det gäller geografisk sträckning, isolering som dimensionering. Dimensionering innebär att rörens diameter och godstjocklek är fastlagd med hjälp av uppgifter om temperaturer i fram- och returledning, värmebehov och tryckfall.

Genom att välja större diameter än vad som behövs för den dimensionerande effekten erhålles en flexibilitet vad gäller val av framledningstemperatur. Fjärrvärmesystemet kan således drivas vid en lägre temperaturnivå. Därvid har man undvikit låsningar till enbart vissa typer av värmeproduktionsalternativ. Det finns möjligheter att välja bland ett större register av produktionsanläggningar. Större diameter ger en dyrare kulvert. Detta är priset för ökad flexibilitet.

Med flexibilitet avses således här den frihet - avseende val av värmeproduktionskällor - som man kan köpa sig genom att dimensionera nätet för en lägre temperaturnivå än vad som är optimalt idag.

Teknisk flexibilitet hos konventionella fjärrvärmesystem har diskuterats i referens (U 10). Där har olika tekniska begränsningar identifierats och möjligheterna att flytta dessa har diskuterats. Här redogöres t ex för olika kulvertteknikers förmåga att klara andra temperaturnivåer än vad de är utlagda för.

I ovan nämnda rapport diskuteras också olika gränser för tryck i systemet med hänsyn till olika temperaturprogram, liksom möjligheter att bygga om befintliga indirekta abonnentcentraler till direktbyggda och därigenom sänka temperaturnivån i nätet.

Här är det däremot fråga om nybyggnad.

#### U4.3 Temperaturprogram och dimensionerande temperatur

Fram- och returtemperaturerna vid årets kallaste dag dimensionerar fjärrvärmenätet. När värmebehovet blir mindre finns det ingen anledning att ligga kvar på den höga temperaturnivån i framledningen. Den kan då styras ner i den takt som aktuellt värmebehov tillåter detta. Returtemperaturen sänks också då i en takt som bestämmas av undercentralernas tekniska utformning.

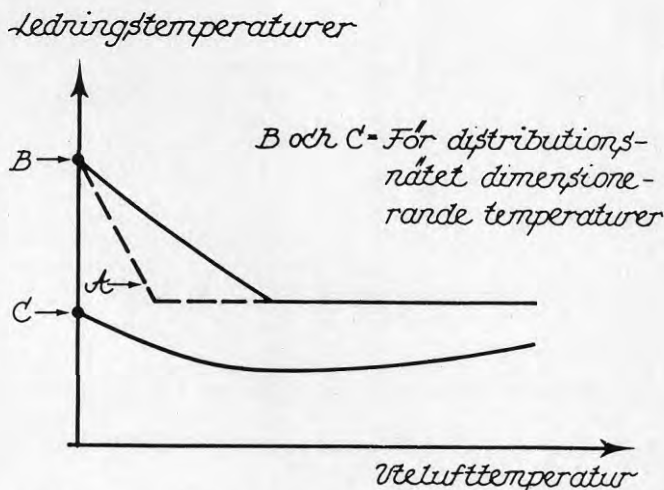


Fig U4.1 Temperaturprogram

Gräns för hur långt framledningstemperaturen kan sänkas på våren sätts av det temperaturkrav man har på tappvarmvattnet. På sommaren och hösten hålls framledningstemperaturen konstant och distribuerad värmeeffekt varierar med vattenflödet. Detta får anses vara ett typfall av ett s k temperaturprogram (se fig U4.1).

Det generella motivet för att sänka framledningstemperaturen på sommar och höst är att man därigenom reducerar kulvertarnas transmissionsförluster. Andra skäl kan vara att man genom att sänka framledningstemperaturen effektivare kan utnyttja värmepumpar eller spillvärmekällor.

Det vore önskvärt att under längre period kunna hålla framledningstemperaturen konstant och samtidigt behålla den höga framledningstemperaturen kallaste vinterdag. Ett sådant temperaturprogram (A fig U4.1) skulle ytterligare minska råenergibehovet samtidigt som ledningarnas diameter inte behöver ökas. Gränsen på hur långt in på hösten man kan köra med konstant framledningstemperatur bestäms av maximalt tillåtna vattenflödeshastigheter. För att hålla framledningstemperaturen konstant då utelufttemperaturen minskar måste ju vattenflödet ökas. Genom att undvika trånga sektioner och eftersträva samma hastighet överallt i nätet ökar möjligheten att flytta framledningstemperaturens brytpunkt till vänster i fig U4.1.

Som framgår av ovanstående måste hela temperaturprogrammet (fram- och returtemperaturer och dess variation över året) ligga till grund för en bedömning av olika lågtemperaturkällors möjlighet att bidra till värmeproduktionen. Man kan tala om ett effektvärde, som beskriver olika värmekällors möjlighet att bidra till erforderlig effekt, och man kan tala om energivärde, som beskriver olika värmekällors möjlighet att bidra till erforderlig energi.

#### U4.4 Vad kostar det att gardera sig för framtiden

I befintlig bebyggelse kan det bli nödvändigt med investeringsåtgärder i byggnadernas installationer för att möjliggöra drift med låg framledningstemperatur. Det gäller då förstoring av radiatorytor, komlettering med varmluftaggregat samt åtgärder i abonnentcentralen.

Vid nybyggnationer föreskriver den nya byggnormen att interna installationer skall utföras så att det maximalt krävs en temperatur på 55°C till radiatorerna.

Den beslutssituation som här är aktuell är att välja dimension på fjärrvärmenätet och utforma abonnentcentralerna. I denna situation finns två möjligheter att åstadkomma lägre framledningstemperatur. Den ena möjligheten har redan antytts, nämligen att öka ledningsdiametern och därigenom tillåta ett större flöde. En annan möjlighet är att utforma abonnentcentralerna så att såväl fram- som returledningstemperaturen kan sänkas.

Den ökade kulvertkostnaden för en lägre temperatur kan uppskattas på följande sätt:

- antag att maximalt tillåten hastighet är lika
- utgå från att samma värmeeffekt skall transporteras
- antag specifika värme- och täthet är lika i båda fallen

$$\frac{D}{D_{\text{ref}}} = \sqrt{\frac{T_{\text{ref}}}{T}} \quad (\text{U4.1})$$

där  $D$  = Ledningsdiameter vid framledningstemperatur  $T$

$D_{\text{ref}}$  = Ledningsdiameter vid framledningstemperatur  $T_{\text{ref}}$

Kostnader för kulvermaterial och markarbeten varierar beroende på konkurrenssituation, geografiskt läge m m. Dessutom är förhållandena olika i befintlig bebyggelse och ny bebyggelse. Den totala investeringskostnaden för värmekulvert i ny bebyggelse anges i fig U4.2 som funktion av rördimensionen.



i fig U4.2 är hämtade från referens (U7). I figuren finns också inlagda de verkliga kulvertkostnaderna från Kyrkbyn i Staffanstorp. Det framgår att dessa är något lägre än genomsnittet.

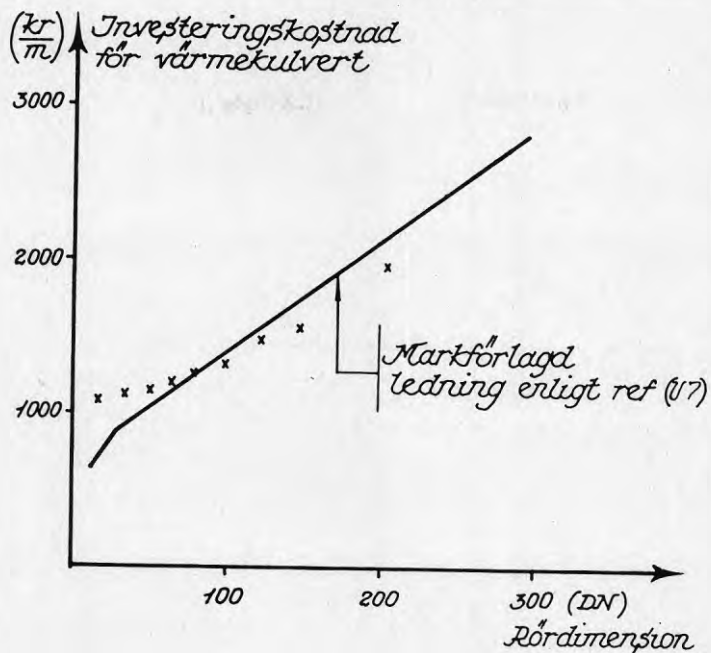


Fig U4.2 Investeringsskostnad för värmekulvert som funktion av rördimension i ny bebyggelse. Efterkalkyluppgifter från Kyrkbyn inlagda. (Kostnadsnivå 1984).

Med hjälp av formeln ovan och uppgifterna i fig U4.2 kan ett samband mellan investeringsskostnad och temperaturnivå beräknas (fig U4.3).

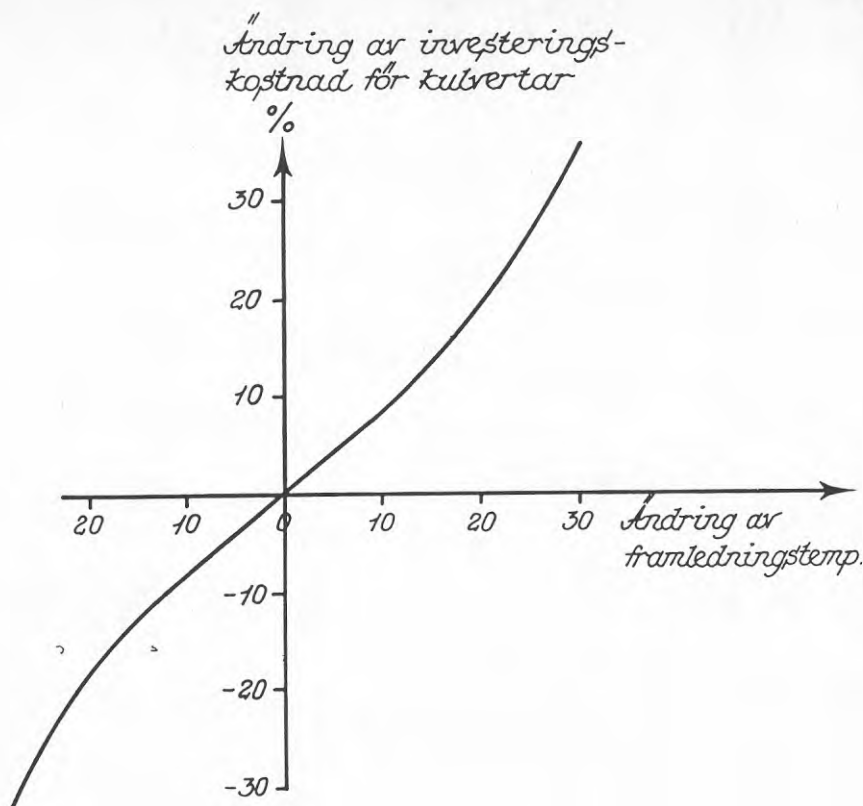


Fig U4.3 Ändring av kulvertkostnad som funktion av ändring av framledningstemperatur i nätet.

Det är naturligtvis möjligt att transformera uppgifterna om ändringar i investeringskostnad till vad det kostar abonnenten att få denna flexibilitet som det innebär att investera i ett lågtemperaturnät. Beroende på systemlösningar i övrigt, kostnader för bränsle etc kommer siffran att variera. Ett riktvärde torde vara att abonnenten får betala ca 0.5 öre/kWh för den merinvestering ett lågtemperaturnät med 20°C lägre framledningstemperatur innebär.

#### U4.4 Vilka energikällor står idag till buds för givna framledningstemperaturer

För vissa typer av värmeproduktionsanläggningar finns en övre temperaturgräns för avgiven värme, som av termodynamiska skäl ej låter sig överskridas. Det gäller t ex för värmepumpar, solfångare och spillvärme. Temperaturgränsen kan i vissa fall flyttas något uppåt genom att öka investeringarna.

Ett annat viktigt faktum är att värmeproduktionsanläggningarnas effektivitet kan höjas vid lägre temperaturnivå i distributionssystemet. Detta är särskilt påtagligt för värmepumpar, kraftvärmeverk och solfångare, men också förbränningscentraler kan göras effektivare när det därmed går att sänka rökgas-temperaturen ytterligare.

Som framgår av tidigare avsnitt är det lämpligt att skilja på om en viss typ av värmeproduktionsanläggning kan ges ett effektvärde eller om den endast bidrager till att täcka energibehovet. Införande av en värmeproduktionsanläggning utan effektvärde i en befintlig gruppcentral medger således inte att någon av de befintliga enheterna kan avställas.

I ett fjärrvärmenät med ett traditionellt temperaturprogram (fig U4.1) bestäms värmeproduktionsanläggningens effektvärde av temperaturdifferensen mellan tillgänglig temperatur från värmekällan och returtemperaturen, samt det tillgängliga flödet i returledningen. För värmeproduktionsanläggningar med en låg övre temperaturgräns innebär detta att effektvärdet blir noll eller marginellt eftersom returtemperaturens kallaste dag är i närheten av värmekällans övre temperaturgräns.

Konsekvensen av att anläggningen inte ger något effektvärde är att det måste investeras i en särskild effektenhet, medan kravet på låg rörlig kostnad inte är lika starkt, eftersom den inte behöver vara i drift mer än de kallaste dagarna.

För eldrivna värmepumpar gäller dessutom att elkraften är dyrare under samma tid, d v s när det är som kallast ute. Av denna anledning föreligger ofta dubbla skäl för att inte ge värmepumpar något effektvärde i fjärrvärmesystem med hög framledningstemperatur.

Effektvärdet av en anläggning stiger således om den från anläggningen tillgängliga temperaturen är högre. Även energivärdet av en anläggning stiger i allmänhet.

För att bedöma hur mycket energi som maximalt kan tagas emot av ett fjärrvärmesystem från en anläggning med högsta tillgänglig temperatur, fordras att hela temperaturprogrammet är känt. Med utgångspunkt från traditionella temperaturprogram är det i allmänhet inte lönt att pressa temperaturen högre än vad som är nödvändigt för att klara den konstanta framledningstemperatur som krävs under sommar-halvåret. Förutsatt att hela flödet kan gå genom värmekällan ger en ytterligare höjning av värmekällans temperatur endast ett litet tillskott av energitäckningsgraden. Detta resonemang gäller framför allt värmepumpar och solfångare.

### Spillvärme

Det är givetvis omöjligt att säga något generellt om temperaturnivåer på spillvärme. Det kan emellertid konstateras att om temperaturen är tillräckligt hög för uppvärmning, så återanvänder i allmänhet den aktuella industrin själv denna så mycket som möjligt. Det överskott som uppstår kan vara intressant för ett fjärrvärmenät om det föreligger vid tidpunkter då avsättning finns.

I många sammanhang "uppstår" spillvärmerna i samband med att någon kondensator skall kylas. Temperaturen på spillvärme bestäms då av vilket medium som skall kondenseras och rådande tryck.

Kondensatorer från kylanläggningar arbetar i allmänhet vid för låg temperatur (20-30°C) för att den bortförda värmen direkt skall kunna utnyttjas i ett fjärrvärmesystem. Det är i dessa fall nödvändigt att höja temperaturnivån, vilket kan ske på två sätt, antingen med en konventionell värmepump eller också med en ångkompressor som höjer trycket så att ångan kondenserar vid en högre temperatur.

I den spillvärmecentral som levererar värme till Kyrkbyn produceras spillvärmerna i och med att ethanolångor kondenseras. Denna spritkondensator har tidigare kylts med uteluft. Den aktuella processindustrin har själv installerat en ångkompressor som höjer kondensatortrycket och därmed temperaturen. Maximal temperatur ut från spillvärmecentralen för Kyrkbyn är 65°C.

Allmänt kan sägas att det får anses som speciella förhållanden om spillvärme med temperaturer över 100°C kan erhållas. Orsaken till detta är troligen följande: Tillgång på spillvärme vid temperatur över 100°C förutsätter att industrin ifråga använder ånga. För att producera ånga utnyttjas en ångpanna. Har man en ångpanna finns också behov att värma matarvatten och spädvatten. Tillgång och behov förekommer därmed samtidigt och inget överskott uppstår.

Spillvärmtemperaturer på 60-70°C kan förekomma och är då användbara direkt (utan temperaturhöjning) i fjärrvärmesystem.

Spillvärme med temperaturer under 45°C kan i allmänhet ej nyttjas i fjärrvärmesystem, om inte temperaturnivån höjes med värmepump eller ångkompressor.

Spillvärme i små nät kan mycket sällan ges ett effektivvärde. Ytterligare ett skäl emot är den osäkerhet man som planerare alltid känner över den aktuella spillvärmens tillgänglighet på längre sikt.

### Solfångare

Teknik finns för att bygga solfångare som ger betydligt högre temperatur än vad som behövs i fjärrvärmesystem. Problemet är att bygga effektiva solfångare vid relativt höga temperaturer 70-90°C till låg kostnad.

Hur mycket värme som kan produceras per solfångareyta och år är i hög grad beroende på rådande drifttemperatur (fig U4.4).

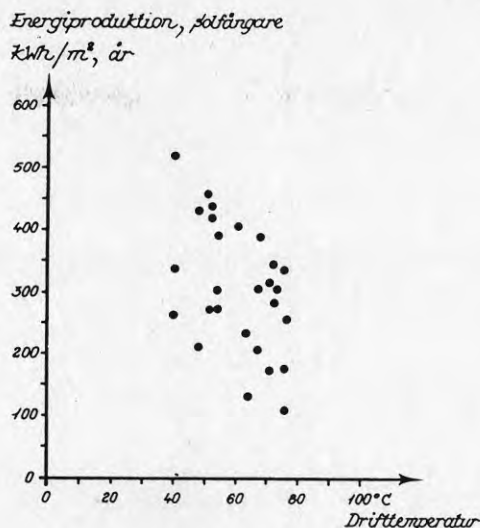


Fig U4.4 Energiproduktion från solfångare som funktion av drifttemperaturen.

Solfångarsystem med långtidslager kan naturligtvis ges ett visst effektvärde om solfångarens drifttemperatur är högre än den aktuella returtemperaturen under kallaste dag.

Utgående från aktuella förhållanden i Kyrkbyn, där framledningstemperaturen är 80°C och returtemperaturen 50°C kallaste vinterdag bör det med dagens teknik vara möjligt att konstruera ett solfångarsystem som ger ett effektvärde på ca 1 MW kallaste dag. Energitäckningen med en sådan anläggning skulle bli ca 65 %, och det skulle krävas ca 10 000 m<sup>2</sup> solfångaryta. Investeringskostnaden för enbart solfångarfältet skulle bli ca 15 Mkr, därtill kommer kostnad för långtidslager (U 12).

Det har på senare år skett en utveckling av tekniken beträffande plana solfångare så att dessa idag ger drifttemperaturer som tillåter inkoppling på de flesta typer av fjärrvärmesystem. Någon övre temperaturgräns av praktisk teknisk betydelse finns ej. Det är mera fråga om att på ett optimalt sätt välja temperaturnivå så att ekonomin blir tillfredsställande.

#### Värmepumpar

Maximal temperatur ut från en värmepump bestäms i hög grad av värmepumpens arbetsmedium (köldmedium).

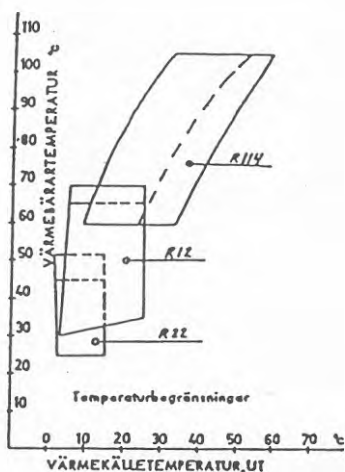


Fig U4.5 Olika köldmediers arbetsområde.

Det må påpekas att det ständigt pågår ett utvecklingsarbete i den meningen att utvidga arbetsfälten för olika köldmedier. Nya köldmedier eller blandningar av sådana är också föremål för tester. Sedan ovanstående referens (fig U4.5) publicerades har t ex gränsen för R12 flyttats uppåt några grader.

Som synes gäller vissa maximala och minimala temperaturer för såväl värmekälla som värmesänka inom vart och ett av områdena. Temperaturnivåer och därmed köldmedietyper har stor betydelse för den specifika värmepumpkostnaden, kr/kW avgiven värmeeffekt. Inom ett givet köldmedieområde påverkas däremot den specifika anläggningskostnaden endast måttligt av framledningstemperaturen. Värmefaktorn kan däremot variera kraftigt inom ett och samma område.

Som exempel kan nämnas att för ett specifikt värmepumpaggregat, vilket arbetar med köldmediet R114, kan endast uttas 40-45 % av den värmeeffekt som skulle kunna erhållas med samma aggregat om det arbetat med R12 vid för övrigt lika förutsättningar. D v s vid lika utgående värmekäll- och värmebärartemperatur. I figuren ovan utgör detta temperaturområde skärningsytan mellan området för köldmedierna R12 och R114. Observera också att vid användning av köldmediet R114 krävs en värmekälltemperatur på minst ca 10°C. Värmefaktorn förändras däremot endast med några procent vid byte av köldmedium.

Konsekvensen härav blir att den specifika anläggningskostnaden (kr/kW) för ett värmepumpaggregat, som arbetar med R114, är en faktor 2.2-2.5 högre än för ett aggregat, som arbetar med R12.

Skillnaderna är nästan lika stora om man jämför arbetsmedierna R12 och R22. För samma effekt är kostnaden för en värmepump som arbetar med R12 en faktor 1.5-1.8 högre än för ett aggregat som arbetar med R22.

Det bör emellertid påpekas att själva värmepumpsaggregatet normalt endast utgör 25-35 % av den totala investeringen i en värmepumpscentral.

### Kraftvärmeverk

Den typ av kraftvärmeverk som kan komma ifråga för mindre lokala fjärrvärmenät torde basera sig på någon typ av förbränningsmotor eller möjligen gasturbin. Ångturbinbaserade kraftvärmeverk medger i allmänhet större bränsleflexibilitet än de ovan nämnda. Å andra sidan tycks den specifika investeringskostnaden stiga kraftigt vid mindre effekter - under 10 MW<sub>e</sub>.

Generellt gäller att lägre framledningstemperatur ökar effektiviteten i kraftvärmeverk. Dock är känsligheten störst hos kraftvärmeverk av mottryckstyp.

I förbränningsmotorer och gasturbiner kan överskottsvärmen tagas till vara och matas in i ett fjärrvärmenät. Ju lägre temperaturnivå i fjärrvärmenätet desto lägre kan utgående avgasförlust hållas. I synnerhet öppnar sig här en möjlighet när icke svavelhaltiga bränslen användes t ex naturgas (U 14, U 15).

Liksom för solfångare och värmepumpar föreligger inga tekniska begränsningar vad det gäller maximal temperatur, däremot så är valet av framledningstemperatur i hög grad en optimeringsfråga, som har behandlats av olika författare (U 16, U 17).

### Pannor

För pannor gäller helt generellt att en lägre temperaturnivå i fjärrvärmenätet medger lägre driftryck i pannan. Detta gäller oavsett om en värmväxlare skiljer fjärrvärmenätet från pannkretsen eller ej.

Vattenrörspannor som normalt användes i fjärrvärmecentraler blir relativt kostsamma vid värmeeffekter under 10 MW. Å andra sidan anses dessa ha en längre livslängd än rökrörspannor, varför kostnaden per producerad kWh ej skiljer nämnvärt.

Vid värmelaster på enstaka MW och med en låg temperaturnivå i nätet kan man överväga pannor med lägre tryckklass. Dessa kan vara väsentligt billigare än vattenrörspannor med normal fjärrvärmestandard.



## REFERENSER

- (U1) Glück, Bernd  
Wärmespeicherung in Fernwärme- Heisswassernetzen  
Fernwärme international, 12(1983):2 p. 64-76.
- (U2) Glück, Bernd  
Vereinfachtes Modell zur Untersuchung der  
bei Netzspeicherbetrieb auftretenden dynami-  
schen Vorgänge  
Fernwärme international, 12(1983):3 p. 139-151.
- (U3) Isaksson, Tord. Nordström, Hans m fl.  
Fjärrvärme i småhusområden.  
Mätning av värmeförluster, bestämning av  
mätfel samt undersökning av sammanlagring.  
Byggeforskningsrådet rapport R47:1984.
- (U4) Andersson, Sture. m fl.  
Ekonomisk isoleringstjocklek för direktskummade  
fjärrvärmeledningar.  
BFR projektnr 830206-1, 1983.
- (U5) Frederiksen, Svend  
Taxor, abonnentcentralteknik och körstrategier  
för fjärrvärmesystem.  
Nordiska Ministerrådet, 1983.
- (U6) Gustafsson, Bror-Arne  
PR/G-ventilen - En ny sektioneringsventil.  
Chalmers Tekniska Högskola, 1983.
- (U7) Larsson, Kjell m fl  
Gruppcentraler - nuläge och utvecklingsmöjlig-  
heter.  
Byggeforskningsrådet rapport R149:1984.
- (U8) Schmidt, Paul  
Bau und Betrieb von Fernwärmeverteilungssystemen.  
Fernwärme international, 13 (1984):2 p. 61-65.
- (U9) Paulmann, Rolf-Dieter  
Fernwärme - Kompaktstationen -  
Stand der Entwicklung und Marktübersicht.  
Fernwärme international, 13 (1984):2 p. 53-61.
- (U10) Frederiksen, Svend  
Teknisk flexibilitet hos konventionella fjärr-  
värmesystem.  
Byggeforskningsrådet.
- (U11) Byggeforskningsrådet.  
Energianvändning i bebyggelse.  
Byggeforskningsrådet, rapport G26:1984.
- (U12) Wahlman, Kjell m fl.  
Sol till fjärrvärme och gruppcentraler.  
Byggeforskningsrådet, rapport R147:1984.

- (U13) Jacobsson, Chris  
Så kan man beräkna värmepumpens lönsamhet.  
Energimagasinet, (1980):6 p. 28-30
- (U14) Torisson, Tord m fl.  
Naturgasbaserade kraftvärmeverk för fjärrvärme-  
produktion - tekniska och ekonomiska aspekter.  
Värmeforsk 1984.
- (U15) Ransmark, Sven-Erik  
Kondenserande värmepanna - tekniska och eko-  
nomiska aspekter på ett effektivt utnyttjande  
av naturgas.  
Värmeforsk 1984.
- (U16) Torisson, Tord  
Omgivningstemperaturens betydelse för systemet  
kraftvärmeverk - byggnad.  
Institutionen för Värme- och kraftteknik,  
LTH 1973.
- (U17) Roslund, S  
Lågtemperturprogram för nya fjärrvärmesystem.  
VVS & Energi, (1982):9 p. 77-81, 89.

Del II - Redovisning av utförda mätningar



## 1. DET TEKNISKA SYSTEMET

### 1.1 Allmänt

Mätningar har genomförts kring tre olika problemområden

- trycktransienter
- sammanlagringsfaktor
- värmeförluster

Resultatet från mätningarna har legat till grund för de slutsatser och generaliseringar som görs i utredningsdelen.

Mätningarna utfördes under perioden januari 1983 till februari 1984 i bostadsområdet Kyrkbyn i Staffanstorps kommun, som värmeförsörjs via ett lokalt fjärrvärmenät.

### 1.2 Beskrivning av fjärrvärmenätet

Fjärrvärmenätet är av typen direktinkopplat system vilket innebär att en varmvattenberedare för tappvatten typ förrådsberedare finns hos varje abonnent medan radiatorkretsen är direktansluten till distributionsnätet. Fig. 1 visar den principiella kopplingen hos abonnenterna. Tappvarmvatten produceras således genom värmeväxling mot fjärrvärmevattnet medan fjärrvärmevattnet leds direkt in i radiatorkretsen.

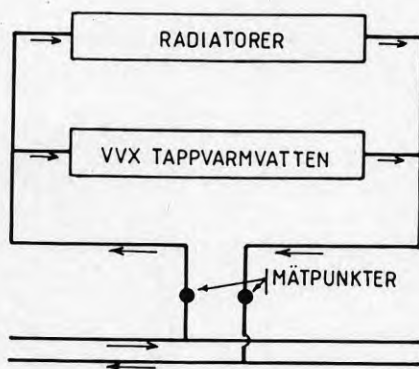


Fig 1. Principiell koppling

Nätets utformning framgår av Fig 2. Huvudledningar och större delen av fördelningsledningarna utgörs av fjärrvärmekulvertar med direktapplicerad polyuretanskumisolerung (PUR-kulvert DN 32-DN 200) med isoleringsstandard serie I. Serviserna är generellt av typ Aquawarm-kulvert (22-42 mm) med standardisolering.

Kyrkbyn har successivt byggts ut sedan byggstarten 1980. Antalet abonnenter uppgick under 1:a kvartalet 1983 till 343 st, till största delen småhus, för att under slutet av mätperioden ha ökat till 362 st.

Dimensionerade effektbehov är 4 MW vid produktionsanläggningen inklusive planerad fortsatt utbyggnad. Normalt är framledningstemperaturen ca 65°C. Vid omhustemperatur under -6°C sker successiv uppreglering till maximalt 80°C. Temperaturnivån i nätet hålls således relativt konstant under året med ca 65°C i framledningen och ca 45°C i returledningen.

Abbonenterna är grupperade i tre områden varav de två första, område 1 och 2 är anslutna via vardera en DN 100 ledning medan ledningen till område 3 successivt grenar upp sig. Utbyggnad av systemet kommer att ske norrut med anslutning till område 3.

Strax nedströms förgreningen för område 2 finns möjlighet till överkoppling via en 80-mm:s ledning mellan fram och återgående huvudledning.

### 1.3 Beskrivning av fjärrvärmecentral

Fjärrvärmecentralen är belägen inom Pharmacias industriområde. Uppvärmning av fjärrvärmevattnet sker i första hand genom att spillvärme från Pharmacias industriprocess utnyttjas. I andra hand sker värmning genom växling mot ånga, som produceras i Pharmacias ångcentral.

I Fig 3 visas ett principschema för fjärrvärmecentralen. Uppvärmning av fjärrvärmevattnet sker som nämnts på två sätt, dels genom värmväxling mot spillvärme, värmväxlare VVX-FS (plattvärmväxlare), dels genom växling mot ånga, VVX-FÅ (tubvärmväxlare). En by-pass ledning finns mellan pumparnas sug och trycksida. Ventilen i ledningen öppnar då trycket på pumparnas trycksida överstiger visst inställt värde. Under mätningarna uppgick detta tryck till ca 4.5 bar absolut.

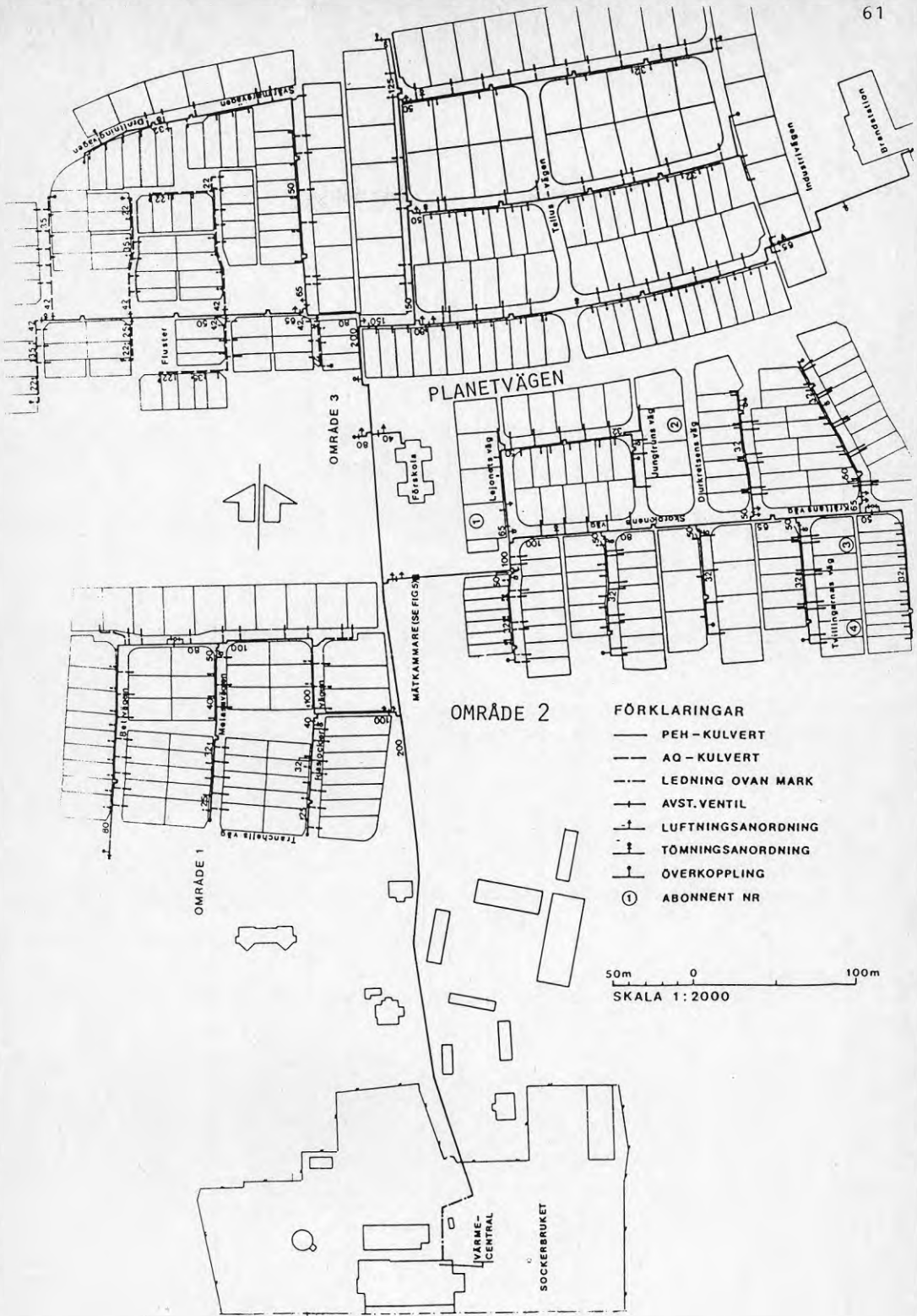
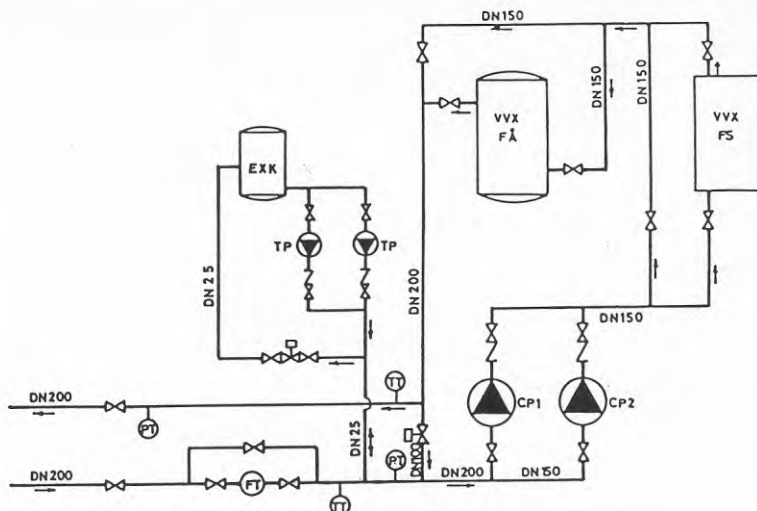


Fig 2. Kyrkbyn. Fjärrvärmensätets utbredning



EXK	EXPANSIONSKÄRL
V VX-FÅ	VÄRMEVÄXLARE FJÄRRVÄRME/ÅNGA
V VX-FS	VÄRMEVÄXLARE FJÄRRVÄRME/SPILLVÄRME
CP1, 2	CIRKULATIONSPUMP (VARVTALSREGL.)
TP	TRYCKSTEGRINGSPUMP
PT	TRYCKGIVARE
TT	TEMPERATURGIVARE
FT	FLÖDESMÄTARE
	AUTOMATISK AVSTÄNGNINGSVENTIL
	HANDMANÖVRERAD AVSTÄNGNINGSVENTIL
	BACKVENTIL

Fig 3. Principiell koppling i fjärrvärmecentral

Pumpning sker med 2 parallellkopplade centrifugalpumpar (endast en i drift åt gången).

Pumpdata:

Typ:	SIHI-Halberg centrifugalpump NOWA 8020
Hjuldiameter	206 mm
Flöde:	180 m <sup>3</sup> /tim
Uppfordringshöjd:	50 mvp
Varvtal:	2 900 r/min
Effektbehov vid dim.kap	30 kW
Verkningsgrad vid dim.kap	80 %



Pumpkurvan framgår av Fig 4.

$n = 2900$  1/min

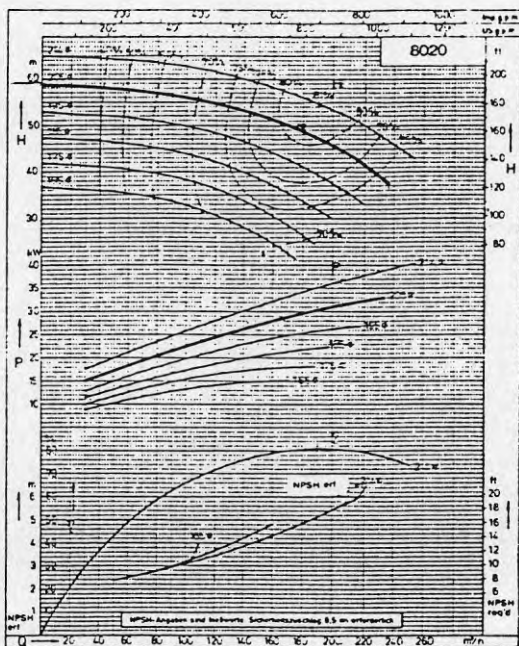


Fig 4. Pumpkurvor för cirkulationspumpar

Pumparna kan drivas på två sätt:

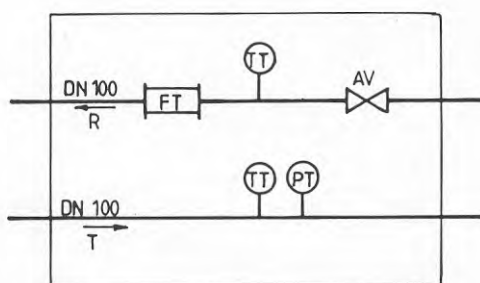
- S k SAMI-drift, vilken innebär att ordinarie pump varvtalsregleras, så att ett förutbestämt tryck alltid erhålls i en viss punkt på nätet. Pumpstart sker med inställbar uppvarvningstid 4-300 s. Pumpstopp sker momentant.
- S k nätdrift, vilken innebär att ordinarie pump alltid går med konstant varvtal (2 900 r/min). Pumpstart- och stopp sker momentant.

Normalt utnyttjas SAMI-drift.

#### 1.4 Registrering av mätdata

För mätningarna har en provisorisk mätkammare installerats vid anslutningen av område 2 till huvudledningen, se Fig 2. I Fig. 5 visas en principskiss av kammaren. I denna kan tryck-, temperatur- och flödesmätningar ske samt ventilstängning med kulventil göras.

Registrering av mätdata har dessutom skett i fyra abonnentcentraler och i värmecentralen.



- FT FLÖDESMÄTARE  
 TT TEMPERATURGIVARE  
 PT TRYCKGIVARE  
 AV AVSTÄNGNINGSVENTIL

Fig 5. Mätkammare

Abbonenterna, som är markerade nr 1 till 4 i Fig 2, valdes ut som representativa för området med avseende på hustyp, familjestorlek, åldersfördelning samt arbetstider. Följande antal boende finns i respektive hus:

	Antal pers.	Antal vuxna	Antal barn i åldern	
			0 - 6	7 - 16
Abbonent 1	4	2	1	1
2	4	2	1	1
3	4	2	1	1
4	4	2	2	-
Hela området	3.1	2.0	0.5	0.6

Hos abonnent 1 och 2 vistades normalt ingen person hemma under dagtid medan tre personer var hemma hos abonnent 3 och 4.

Ingående mätutrustning i de olika mätpunkterna redovisas i samband med beskrivning av respektive mätning.



## 2. TRYCKTRANSIENTMÄTNINGAR

### 2.1 Bakgrund

Genom att använda ett direktinkopplat system på radiatorkretsen vinnes att abonnentcentralen blir billigare och temperatursänkning över värmeväxlare för radiatorkretsen undviks.

Å andra sidan finns risk att trycktransienter till följd av flödesförändringar i huvudnätet fortplantas in till abonnenterna med risk för skador på interna ledningsnätet och radiatorerna med läckage som följd.

### 2.2 Syfte och mätprogram

Syftet med mätningarna är att studera trycktransienters utseende och fortplantning i fjärrvärmenätet till följd av flödesförändringar av olika orsaker och att värdera trycktransienternas inverkan på fjärrvärmesystemet, speciellt installationerna hos abonnenterna.

Trycktransienter till följd av följande orsaker mätes:

- pumpstopp vid nät drift resp SAMI-drift
- pumpstart vid nät drift resp SAMI-drift
- momentan stängning av ventil på utgående ledning från område 2
- öppning av samma ventil

För varje typ av flödesförändring gjordes trycktransientmätningar:

- i fjärrvärmecentral på ingående resp utgående ledning
- i provisorisk mätkammare på ingående ledning
- på ingående ledning hos två abonnenter; abonnent nr 2 och abonnent nr 4
- på utgående ledning hos en abonnent; abonnent nr 3

Det ska observeras att inga samtidiga trycktransientmätningar kunde utföras i olika punkter i fjärrvärmenätet. Detta innebär att trycknivåer och tryckförlopp inte är helt konsistenta från mätpunkt till mätpunkt för viss orsak till flödesförändring (gäller speciellt SAMI-drift).

Inverkan på värderingen av trycktransienternas effekt på distributionsnätet härav bedöms emellertid som försumbar.

Aktuellt fjärrvärmeflöde avlästes dels på inkommande ledning till fjärrvärmecentralen dels på utgående ledning från område 2 .

Som nämnts i kap 1.2 ovan är fjärrvärmenätet inte fullt utbyggt. Förutom mätningar i nätet vid "normal drift" simulerades en större anslutning till nätet genom att överkopplingsventilen DN 80 mellan fram- och återledning öppnades. Genom att öppna ventilen ökades utpumpad vattenmängd från fjärrvärmecentralen från 55 - 70 m<sup>3</sup>/h till 155 - 167 m<sup>3</sup>/h. Vid temperaturdifferensen 20°C motsvarar flödena 70 m<sup>3</sup>/h och 167 m<sup>3</sup>/h en avgiven effekt från värmecentralen av 1.6 MW respektive 3.9 MW, d v s ca 40 % resp ca 100 % av dimensionerande effekt för centralen.

Trycktransientmätningarna utfördes med snabb tryckgivare - område 0-10 bar absolut - av märket Bell & Howell. Denna baseras på trådtöjningsprincipen och kan återge förlopp upp till 25 kHz.

Tryckgivaren anslöts till förstärkare med bandbredd 10 kHz. Mätsignalerna A/D-omvandlades, samlades med ABC-80 minidatorutrustning och lagrades på flex-skiva. Samlingsfrekvensen var maximerad till 600 Hz.

Tryckgivaren kalibrerades mot ett antal kända tryck erhållna med trycklufttub.

### 2.3 Mätresultat

Resultaten från mätningarna finns samlade i Bilaga 1 och är grupperade efter trycktransientförlopp i olika mätpunkter för varje orsak till flödesförändring. Mätresultat t o m fig 44 gäller fallet utan överkoppling mellan fram- och återgående huvudledning.

#### Stationär drift

Vid stationär drift (SAMI-drift) observerades vid några tillfällen tryck- och flödessvängningar i mät-punkt på ingående ledning till fjärrvärmecentralen. Ingen svängning observerades på utgående ledning.

Fig 8 visar trycksvängningen med en periodtid av ca 70 s och en tryckvariation på ca 1 bar från min till max.

Fig 9 visar flödesvariationer - samma periodtid och en total flödesvariation på ca 18 m<sup>3</sup>/h kring ett medelvärde på 63 m<sup>3</sup>/h. Svängningen tycktes inte dämpas (under en timmes mätning). Orsaken är ej klarlagd. Det är tänkbart att en masssvängning kan finnas mellan ingående ledning och tryckhållningskärl. Ingående ledning och tryckhållningskärl står i förbindelse via en 5 m lång ledning DN 25. En annan orsak kan vara att regleringskretsen för SAMI-drift råkar i oscillation.

Instationär drift 50-70 m<sup>3</sup>/hPumpstopp nät drift:

Fig 10 - utgående ledning från fjärrvärmecentral.  
Stationärt flöde,  $Q = 63 \text{ m}^3/\text{h}$

Fig 11 - början av förloppet i fig 10.

Initiellt sjunker trycket p g a pumpstoppet. Efter 50-60 sek uppkommer långsamt föränderlig tryckhöjning på vilken är överlagrade oregelbundna tryckfluktuationer som pågår i ca 60 sek. Fluktuationerna är åtföljda av buller och rörvibrationer. Ursprunget lokaliserades till värmväxlare VVX-FÅ och förklaringen är att ångtillförseln till värmväxlaren inte stryps tillräckligt snabbt vid pumpstopp varvid fjärrvärmevattnet kommer i kokning i värmväxlaren. Då ångblåsorna kommer in i zon med högre tryck impoderar de med tryckfluktuationer som följd.

Fig 12 - ingående ledning till fjärrvärmecentralen,  
 $Q = 63 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Trycket stiger ca 2.2 bar p g a vattnets inbromsning. Efter ca 60 sek uppträder tryckhöjning och oregelbundna tryckfluktuationer som ovan.

Fig 13 - ingående ledning till område 2.  
Flöde till område 2,  $Q = 24 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Trycksänkningen från pumpen har fortplantats till mätkammaren under viss dämpning, liksom de oregelbundna tryckfluktuationerna och tryckhöjningarna.

Fig 14 - inkommande ledning, abonnent nr 2.

Trycket sjunker inledningsvis någorlunda enligt tryckförloppet vid utgående ledning från fjärrvärmecentral. Efter ca 45 sek uppträder tidigare nämnd tryckhöjning och tryckfluktuationer.

Fig 15 - inkommande ledning, abonnent nr 4.

Vid detta enda mättillfälle uppstod mycket kraftiga smällar i rören i fjärrvärmecentralen. Ursprunget gick ej att lokalisera. Pumpstart fick göras för att få slut på smällarna.

Fig 16 - utgående ledning, abonnent nr 3.

Trycket stiger inledningsvis kraftigt, ca 1.8 bar, vilket pekar på att tryckhöjningen vid inkommande ledning till centralen har fortplantats bakåt i denna ledning till abonnenten. Både fig 15 och 16 uppvisar trycksvängningar med periodtider i intervallet 6-8 sek. Orsaken är okänd.

Pumpstart\_nät drift

Fig 17 - utgående ledning från fjärrvärmecentral  
 $Q = 63 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Fig 18 - inledningsförlopp i fig 17

Trycket stiger snabbt 4.2 bar till 7.2 absolut, sjunker därefter under driftrycket och stiger sedan långsamt mot driftrycket. Det observerades att vid varje pumpstart öppnades en säkerhetsventil på systemets trycksida och avbördade någon liter vatten.

Fig 19 - inkommande ledning till fjärrvärmecentral,  
 $Q = 55 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Fig 20 - inledningsförlopp i fig 19.

Trycket sjunker initiiellt nästan till vakuum (0.05 bar abs) för att sedan långsamt stiga mot driftrycket. Risk för kavitation (ångtrycket för vatten vid 40°C är ca 0.075 bar).

Fig 21 - inkommande ledning område 2. Flöde till område 2,  $Q = 24 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Tryckpulsen genererad vid utgående ledning från fjärrvärmecentralen har fortplantats under dämpning till mätkammaren.

Fig 22 - inkommande ledning, abonnent nr 2.

Fig 23 - inkommande ledning, abonnent nr 4.

Fig 24 - utgående ledning, abonnent nr 3.

Hos alla tre abonnenterna fås initiiellt en kortvarig (7-9 sek) tryckstegring ej överstigande 0.6 bar varefter en långsam ökning mot driftrycket inställer sig.

Pumpstopp\_SAMI-drift

Fig 25 - utgående ledning från fjärrvärmecentral,  
 $Q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Fig 26 - inkommande ledning till fjärrvärmecentral,  
 $Q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Fig 27 - inkommande ledning till område 2,  
 $Q = 24 \text{ m}^3/\text{h}$  in till område 2.

Fig 28 - inkommande ledning, abonnent nr 2.

Fig 29 - inkommande ledning, abonnent nr 4.

Fig 30 - utgående ledning, abonnent nr 3.



Tryckbilderna har samma kvalitativa utseende som för fallet med pumpstopp vid nät drift. Tryckförändringarna är dock mindre eftersom pumpstopp sker från lägre driftvarvtal.

Det kan noteras att för abonnent nr 3, utgående ledning erhålles samma oscillerande trycksvängning som vid nät driftfallet och att i något fall, fig 27, oregelbundna fluktuationer erhålles p g a den förmodade kokningen i värmeväxlaren.

#### Pumpstart - SAMI-drift

Fig 31 - inkommande ledning till fjärrvärmecentral,  
Q = 70 m<sup>3</sup>/h.

Fig 32 - inkommande ledning till fjärrvärmecentral,  
Q = 70 m<sup>3</sup>/h.

Fig 33 - inkommande ledning till område 2,  
Q = 24 m<sup>3</sup>/h in till område 2.

Fig 34 - inkommande, ledning abonnent nr 2.

Fig 35 - inkommande ledning, abonnent nr 4.

Fig 36 - utgående ledning, abonnent nr 3.

Tryckförändringarna sker synnerligen mjukt i samtliga fall p g a det mjuka startförloppet.

#### Ventilstängning

Fig 37 - inkommande ledning, område 2,  
Q = 24 m<sup>3</sup>/h in till område 2.

Fig 38 - inkommande ledning, abonnent nr 2.

Fig 39 - utgående ledning, abonnent nr 4.

Fig 40 - utgående ledning, abonnent nr 3.

En kortvarig tryckhöjning erhålles. Momentant höjs trycket som mest 1.8 bar, varefter insvängning av trycket sker mot stationärt tryck - storleksordningen 4.0-4.2 bar absolut.

#### Ventilöppning

Fig 41 - inkommande ledning till område 2.

Fig 42 - inkommande ledning, abonnent nr 2.

Fig 43 - utgående ledning, abonnent nr 4.

Fig 44 - utgående ledning, abonnent nr 3.

Initiellt erhålles trycksänkning hos abonnenterna om högst 0.6 bar varefter stationära drifttillståndet närmas långsamt.

Sammanfattning av uppmätta tryck för mätningarna enligt fig. 8-44

Stationära tryck i bar (absoluttryck)

Drift- tillst.	FV-central		Inkom. Omr.2	Abonment		
	ink.	utg.		nr 2, ink	nr 4, ink.	nr 3, utg.
SAMI	2.4	4.8 <sup>1)</sup>	4.5	3.8	4.1	3.5
NÄT	1.9	5.2	4.9	4.6	4.6	3.3

1) Ej uppmätt. Bedömt värde.

Då nätet är i vila (inget flöde) ligger trycket på ca 2.6-2.9 bar abs. Detta tillstånd benämnes still i tabellen nedan. Tryck vid stationärt tillstånd enligt ovan benämns stat.

Instationära tryck i bar (absoluttryck)

Flödes- förändr.		FV-central		Inkom. Omr.2	Abonment		
		ink.	utg.		nr 2, ink	nr 4, ink.	nr 3, utg.
Nätdr.	Max	4.2	stat	stat	stat	5.5	5.1
Stopp	Min	stat	2.3	still	still	1.5	still
Nätdr.	Max	Still	7.2	stat	stat	stat	stat
Start	Min	0.05	still	still	still	still	still
SAMI	Max	3.2	start	stat	stat	stat	4.5
stopp	Min	2.3	still	still	2.5	still	2.2
SAMI	Max	stat	stat	stat	stat	stat	stat
start	Min	1.8	still	still	2.5	2.5	2.5
Ventil	Max			4.5	5.1	4.6	5.2
Stäng	Min			4.5	3.8	stat	stat
Ventil	Max			4.8	4.2	stat	stat
Öppn.	Min			4.3	3.5	3.2	3.4

Mätningarna visar att maximala trycken hos abonnenterna överstiger drifttrycket i två fall-stopp av pump vid nät-drift samt momentan stängning av ventil för område 2. Det högsta uppmätta trycket var 5.5 bar abs (abonment nr 4) och uppträdde vid det enstaka tillfälle då skakningar och ljud förekom i fjärrvärmecentralen vid pumpstopp vid nät-drift.

Pumpstart nätdrift gav största tryck (7.2 bar abs) vid utgående ledning från fjärrvärmecentral resp lägsta tryck (0.05 bar abs) vid inkommande ledning till fjärrvärmecentral.

SAMI-drift gav inga anmärkningsvärda tryck hos abonnenterna.

#### Stationär drift, 155-170 m<sup>3</sup>/h

Ett antal mätningar gjordes också för fallet med överledningen mellan fram- och återgående huvudledning strax nedströms förgreningen till område 2.

#### Pumpstopp - nätdrift

Fig 45 - utgående ledning fjärrvärmecentral,  
Q = 167 m<sup>3</sup>/h.

Fig 46 - inledningsförlopp i fig 45.

Trycken ligger inom intervallet stillastående - stationärt

Fig 47 - inkommande ledning fjärrvärmecentral,  
Q = 167 m<sup>3</sup>/h.

Fig 48 - inledningsförlopp i fig 47.

Trycket ökar med 2.1 bar till 4.5 bar abs, d v s ungefär till drifttrycket på utgående ledning. Efter ca 1.5 min har trycket sjunkit till stilleståndstrycket.

Fig 49 - inkommande ledning, abonnent nr 2.

#### Pumpstart - nätdrift

Fig 50 - utgående ledning fjärrvärmecentral,  
Q = 167 m<sup>3</sup>/h.

Fig 51 - inledningsförlopp i fig 50.

Vid starten stiger trycket kortvarigt - någon sek till 7.5 bar abs.

Fig 52 - inkommande ledning fjärrvärmecentral,  
Q = 167 m<sup>3</sup>/h.

Fig 53 - inledningsförlopp i fig 52.

Trycket sjunker under ca 6 sek till 0.6 bar abs.

Fig 54 - inkommande ledning, abonnent nr 2.

Pumpstopp - SAMI

Fig 55 - utgående ledning fjärrvärmecentral,  
 $Q = 155 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Fig 56 - inledningsförlopp i fig 55.

Fig 57 - inkommande ledning fjärrvärmecentral,  
 $Q = 155 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Fig 58 - inledningsförlopp i fig 57.

Trycket stiger kortvarigt till 4.3 bar abs d v s ungefär till drifttrycket på utgående ledning. Efter ca 1.5 minut har trycket sjunkit till stilleståndstrycket.

Fig 59 - inkommande ledning, abonnent nr 2.

Vid utpumpning av  $155 \text{ m}^3/\text{h}$  är pumpens varvtal 80-90 % av fullvarvet, d v s förhållandet är mycket likt s k nät drift med fullvarv. Tryckbilden är också nästan identisk med den vid pumpstopp vid nät drift.

Pumpstart - SAMI

Fig 60 - utgående ledning, fjärrvärmecentral,  
 $Q = 155 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Fig 61 - inkommande ledning, fjärrvärmecentral.

Fig 62 - inkommande ledning, abonnent nr 2.

Tryckförändringarna sker synnerligen mjukt i samtliga fall genom det mjuka startförloppet.

Ventilstängning - mätkammaren

Fig 63 - inkommande ledning.

Trycket stiger kortvarigt från 4.2 till 4.5 bar abs.

Ventilöppning - mätkammaren

Fig 64 - inkommande ledning, abonnent nr 2

Trycket sjunker kortvarigt från 4.2 till 3.7 bar abs.

Sammanfattning av uppmätta tryck för redovisade mätningar enligt fig. 45-64.-----

Stationärt tryck i bar (absoluttryck).

Drift- tillst.	FV-centr. ink	FV-centr. utg.	Abonment nr 2 ink
SAMI	2.2	4.6	4.2
NÄT	2.2	4.7	4.3

Stilleståndstrycket var 2.5-2.7 bar abs.

Instationära tryck i bar (absoluttryck)

Flödes-FV-central förändring		Abonment nr 2 ink		
Nätdr. Max	4.5	stat	stat	stat
Stopp Min	stat	still	still	still
Nätdr. Max	still 7.5	stat	stat	stat
Stat Min	0.6	still	still	still
SAMI Max	4.3	stat	stat	stat
Stopp Min	stat	still	still	still
SAMI Max	stat	stat	stat	stat
Start Min	1.7	still	still	still
Ventil Max				4.5
Stäng Min				4.0
Ventil Max			stat	
Öppn. Min			3.8	

Mätningarna vid överledning av vatten, d v s med stort flöde i nätet, visar tryck som ligger inom eller mycket nära de värden, som uppmättes utan överledning, fig 8-44.

Pumpstart nät drift gav största tryck (7.5 bar abs) vid utgående ledning från fjärrvärmecentral resp lägsta tryck (0.6 bar abs) vid inkommande ledning till fjärrvärmecentral.

## 2.4 Slutsatser

Tryck- och flödesmätningar visade

- vid stationär SAMI-drift kan långperiodiga icke-dämpade svängningar i tryck och flöde förekomma på ingående ledning till fjärrvärmecentral
- vid instationär drift kan vid pumpstopp vid både nät- och SAMI-drift uppkomma buller och rörvibrationer i fjärrvärmecentralen, vilka i samtliga fall utom ett hade sitt ursprung i tubvärmväxlaren. Fenomenet åtföljdes av tryckfluktuationer som fortplantades genom fjärrvärmenätet. Dock noterades inget buller hos abonnenterna. Orsaken till skakningarna är ej fastställd men en teori är att värmeförseln till värmväxlaren inte stryps tillräckligt snabbt vid pumpstopp.
- inga trycktransienter som översteg maximalt drifttryck uppmättes hos abonnenterna vid SAMI-drift
- vid några driftfall erhöles kortvariga trycktransienter som antingen översteg drifttrycket eller som låg när vakuum:
  - a) pumpstart vid nät drift gav största tryck som över huvud taget uppmättes, 7.2 resp 7.5 bar abs i utgående ledning från fjärrvärmecentral
  - b) momentan stängning av ventil från område 2 gav höga tryck hos abonnenterna, 5.2 bar abs.
  - c) pumpstart nät drift gav så gott som vakuum (0.05 bar abs) i inkommande ledning till fjärrvärmecentral vid det lägre flödet i nätet. Vid det högre flödet var trycket 0.6 bar abs.

Dessa olägenheter kan övervinnas genom utnyttjandet av SAMI-drift resp långsam ventilstängning

- maximala tryck hos abonnenterna översteg i två fall drifttryck vid nät drift - pumpstopp vid nät drift resp momentan ventilstängning av ventil från område 2. Högsta uppmätta tryck hos abonnent uppgick till 5.5 bar abs vid pumpstopp.
- maximal momentan tryckhöjning hos abonnent uppgick till knappt 2 bar och inträdde vid pumpstopp nät drift (i utgående ledning hos abonnent) resp momentan ventilstängning till område 2 (utgående ledning hos abonnent). Detta innebär att kortvariga tryckpulser på ca 6.5 bar abs teoretiskt kan erhållas hos abonnenterna (sugsidans abs-tryck + halva tryckhöjningen över pump + tryckförändring =  $2 + 5/2 + 2 = 6.5$  bar) om tryckfallet över värmecentralen antas = 0. Vid tryckfall över centralen blir tryckpulsen lägre.

Olägenheten vid ventilstängning kan övervinnas genom att stängningen sker långsamt. Verkningarna av ett oavsiktligt pumpstopp erhålls såväl vid nät- som SAMI-drift och blir lika stora vid bägge driftsätten vid fullbelastad anläggning. Vid dellast blir förhållandena vid SAMI-drift däremot gynnsammare, eftersom stopp sker från ett lägre varvtal på pumpen.

Tillåtet tryck i abonnenternas installationer, 7 bar abs uppnåddes inte vid försöken och bör ej kunna uppnås med nuvarande cirkulationspumpar och tryckförhållanden i nätet.





### 3. SAMMANLAGRINGSFAKTOR

#### 3.1 Bakgrund

Sammanlagring i ett fjärrvärmenät innebär att den resulterande belastningens maximieffekt är mindre än summan av delbelastningarnas maximieffekter (abonnenternas individuella värmebehov).

Sammanlagringsfaktorn  $S_n$  definieras som

$$S_n = \frac{P_{\max}}{n \sum_{i=1} P_{i,\max}} \quad (3.1)$$

där

- $S_n$  = sammanlagringsfaktor för  $n$  abonnenter
- $n$  = antalet abonnenter
- $P_{\max}$  = maximal effekt exkl nätförluster inmatad i området under mätperioden (sammanlagrad effekt)
- $P_{i,\max}$  = högsta effekttopp för respektive abonnent under mätperioden.

Av uttrycket framgår att  $S_n$  är liten när sammanlagringen är stor.

Effekt beskriver energiförbrukningen uppmätt under en viss tidsperiod. Effektbehovet för den enskilde fjärrvärmeabbonnten varierar starkt med avseende på tiden.

Mätning över korta tidsintervall ger högre uppmätta maxeffekter än mätning över längre intervall.

Vid dimensionering av ett fjärrvärmesystem är det nödvändigt med kunskaper om effektbehov och sammanlagring för att rätt produktionskapacitet och ledningsdimensioner skall kunna väljas. En stor sammanlagring innebär mindre produktionskapacitet och ledningsdimensioner.

#### 3.2 Syfte och metodik

I syfte att ge underlag för bedömningar angående sammanlagringsfaktorer i ett mindre lokalt fjärrvärmenät gjordes effekt och energimätningar i Kyrkbyn.

Betydelsen av vald beräkningstid för effekten åskådliggörs i ett exempel. Variationen i maxeffekt härav belyses liksom förändring i sammanlagringsfaktor.

Effektförbrukningen uppmättes kontinuerligt i värme-centralen och i mätkammaren, samt i de fyra utvalda abonnentcentralerna.

Mätningarna utfördes vid sex olika tillfällen varvid mätperioderna uppgick till ca en veckas längd. Vid fem tillfällen erhöles fullgoda mätvärden under hela perioden. Vid ett av dessa fungerade dock inte mätutrustningen i mätkammaren.

Mätutrustning utgjordes av 6 st energimätare förbundna med registreringsutrustning via teleledningar.

Energimätarna gav ifrån sig pulser när en viss energimängd hade passerat. Dessa pulser registrerades av en pulsräknare. En mätdator avläste pulsräknarna med tidsintervallet 2 min och skrev ut resultatet på skrivare och flexskiva.

Förteckning över ingående mätutrustning i de olika mätpunkterna finns i Bilaga 2.

Genom mätpunkternas placering kunde sammanlagringsfaktorn beräknas för 4, 117 och 362 abonnenter.

För fyra abonnenter erhöles sammanlagringen genom direkt superponering av de enskilda effektbehoven varefter  $S_4$  kunde beräknas enligt ekv 3.1.

Medelvärdet av de fyra abonnenternas maxeffektbehov är representativa för område 2 och utgör 94 % av medeleffektbehovet för hela Kyrkbyn  $S_{117}$  och  $S_{362}$  kan härvid beräknas enligt

$$S_n = K_n \cdot \frac{P_{\text{uppmätt}} - P_{\text{förlust}}}{n \left( \sum_{i=1}^4 P_{i,\text{max}}/4 \right)} \quad (3.2)$$

där  $\sum_{i=1}^4 P_{i,\text{max}}/4$  = medelvärdet av maxeffektbehovet för de fyra abonnenterna under mätperioden

$K_{117}$  = 1.0 enligt ovan

$K_{362}$  = 0.94 enligt ovan

$P_{\text{uppmätt}}$  = erhålles som maxvärden ur figur 65-74 i bilaga 1.

$P_{\text{förlust}}$  = teoretiskt beräknad förlust enligt ekv 4.1.

Vattenvolymin i nätet uppgår till ca 40 m<sup>3</sup> och har en viss utjämnande funktion på effektbehovet. Detta innebär att den egentliga sammanlagringen för abonnenterna är något mindre än vad som framgår av mätresultatet. Inverkan av denna effekt beaktas dock ej här utan klargöres närmare i utredningsdelen i projektet.

### 3.3 Mätresultat

Energimängderna har uppmätts under tidsintervall av 12 respektive 60 min. På basis av uppmätt energimängd har medeleffekten under varje intervall beräknats<sup>1)</sup>.

I Bilaga 1 redovisas resultaten i diagramform.

I Fig 65-69 redovisas resultatet av 12 min mätningarna för fyra olika mätperioder. Med tidsintervallet 60 min erhöles effektkurvor enligt Fig 70-74.

Dygnstemperaturen under de olika mätperioderna har varit enligt följande tabell. Värden gäller för Sturup.

	<u>Dygnstemperatur, °C</u>		
	Medel	Min	Max
1983-09-28--10-02	7.9	4.7	11.2
1983-10-06--10-10	8.7	7.4	10.5
1983-11-11--10-19	10.4	8.8	12.6
1984-01-18--01-26	-2.0	-5.1	0.4
1984-02-10--02-17	-2.2	-4.8	0.2

Vid samtliga mättillfällen har temperaturen således varit högre än dimensionerande utetemperatur, -15°C.

- 1) Effekten  $P_t$  vid beräkningsintervallet  $t$  minuter är definierad som

$$P_t = \frac{E_t \cdot 60}{t}$$

där  $E_t$  = förbrukad energimängd under  $t$  minuter

I Tabell 3.1 ges maxeffekterna från mätningarna under februariperioden. Av tabellen framgår att den individuella abonnentens maxeffekt behov är ca 44 % lägre vid 60 min intervall än vid 12 min. För mätkammaren och värmecentralen är differensen mindre än 5 %. För denna mätperiod anges även värden vid 180 min beräkningsintervall. Dessa effektdiagram återfinns i Fig 75.

Tabell 3.1 Maxeffekter under mätperioden  
1984-02-10--02-17

Tidsintervall	12 min	60 min	180 min
Värmecentral <sup>1)</sup>	1520 kW	1470 kW	1410 kW
Mätkammare <sup>1)</sup>	450 kW	430 kW	420 kW
Sammantagen effekt, hus 1-4	21 kW	17 kW	14 kW
Hus 1	6 kW	4.9 kW	3.9 kW
Hus 2	9.5 kW	6.3 kW	5.0 kW
Hus 3	9 kW	6.5 kW	4.1 kW
Hus 4	12 kW	7.6 kW	5.1 kW
Medelvärde Hus 1-4	9.1 kW	6.3 kW	4.5 kW

$$1) P_{\max} = P_{\text{uppmätt}} - P_{\text{förlust}}$$

$P_{\text{förlust}}$  är beräknad till 180 kW och 50 kW för respektive mätpunkt.

Med ledning av uppmätta maxeffekter har sammanlagringsfaktorn beräknats enligt ekv 3.1 och ekv 3.2 för varje mätperiod.

I Fig 76 ges resultatet med effekten beräknad över 60 min intervall. Av figuren framgår att sammanlagringen är stor redan efter fyra abonnenter med sammanlagringsfaktor mindre än 0.8. Vid 100 abonnenter eller fler än sammanlagringsfaktorn ca 0.6.

Sammanlagringen är mindre vid låg utetemperatur. Orsaken härtill är att förbrukad energi för uppvärmning är relativt stor under en sådan period jämfört med energiförbrukningen för beredning av tappvarmvatten och att sammanlagringen för uppvärmning är liten i förhållande till sammanlagringen för varmvattenberedning. Under perioder med hög utetemperatur dominerar varmvattenberedningen med högre sammanlagring som följd.

Av Tabell 3.1 framgår att sammanlagringen blir mindre om samma beräkningar utförs med effekter beräknade på längre tidsintervaller. Jämförelse mellan erhållna sammanlagringsfaktorer vid 12, 60 och 180 min tidsintervall för perioden 84-02-10--02-17 görs i Fig 77.

### 3.4 Slutsatser

Av genomförda mätningar kan följande slutsatser dras

- Sammanlagringens storlek är beroende av energiförbrukningen i nätet (utetemperaturen) och är lägre vid stor förbrukning.
- God sammanlagring erhöles redan vid fyra anslutna abonnenter.
- Sammanlagringen beror i hög grad av vilket tidsintervall den förbrukade effekten beräknas över. Vid en jämförelse mellan 12 min och 60 min beräkningsintervall är sammanlagringsfaktorn ca 0.4 respektive 0.6. Mängden levererad effekt från värmecentralen är emellertid endast ca 5 % högre vid tidsintervallet 12 min. Skillnaden i sammanlagring orsakas av att effektbehovet hos abonnenterna är ca 44 % högre vid 12 min beräkningstid än vid 60 minuter.



## 4. VÄRMEOFÖRLUSTER

### 4.1 Bakgrund

Mätningar av värmeförluster i fjärrvärmeanslutna småhusområden har under 1978-82 utförts av Vattenfall och Svenska Värmeverksföreningen och redovisas i referens (1).

Distributionsförluster har uppmätts till mellan 6 och 31 % av den inmatade energimängden. Man har härvid gjort korrigeringar med hänsyn till mätfel och av abonnenterna tillgodogjord, men ej uppmätt energi.

Inom samma område kunde vissa differenser mellan olika mätperioder (år) konstateras. Avvikelsen har för ett av områdena varit 10 %-enheter mellan största och minsta värde medan maximala avvikelsen för övriga områden var ca 3 %-enheter.

De uppmätta distributionsförlusterna visar således en stor spridning mellan olika fjärrvärmenät.

### 4.2 Metod för mätning av värmeförluster

Genom att närmare studera de faktorer som bestämmer den relativa distributionsförlustens storlek kan en förklaring ges till erhållna differenser mellan olika områden. Fjärrvärmenätet i Kyrkbyn jämförs med nät redovisade i referens (1).

För att verifiera den teoretiskt beräknade värmeförlusten kontrollerades denna genom fältmätning på ledning mellan värmecentralen och mätkammaren.

Vid fältmätningen mättes avsvalningshastigheten för det stillastående vattnet i en av ledningarna i systemet sedan cirkulationspumpen i FV-nätet stängts av. Därefter kunde ett korresponderande värmegenomgångstal till det uppmätta avsvalningsförloppet bestämmas för den undersökta kulverten.

Denna metod har hittills varit oprövad vid mätningar på fjärrvärmeledningar i drift men utgör ett alternativ till de sedvanliga energi- och temperaturfallsmätningar som utförts med varierande resultat i andra sammanhang (1).

### 4.3 Teori för beräkning av värmeförlusten

Värmeeffektörlusten för en markförlagd fjärrvärmeledning är proportionell mot temperaturdifferens mellan fjärrvärmevattnet och omgivande mark.

Den momentana distributionsförlusten  $Q_f$  ges av

$$Q_f = k \cdot A \cdot \theta \quad (W) \quad (4.1)$$

där  $Q_f$  = momentan distributionsförlust, W

$k$  = värmeomgångstal, relaterat till mantelytan  $A$ ,  $W/m^2K$

$A$  = medierörens mantelyta,  $2\pi Ld$  för ett rörpar med rördiamtern  $d$  och längden  $L$ ,  $m^2$ .

$\theta$  = temperaturdifferens mellan fjärrvärmevatten och omgivning  $^{\circ}C$ , d v s temperaturdifferensen mellan medelvärdet av ledningarnas temperatur och temperaturen  $i$ , ur temperatursynpunkt, ostörd mark på rörens nivå. För årsberäkningar sättes omgivningens temperatur till utomhustemperaturens årsmedelvärde.

Den årliga distributionsförlusten  $Q_f$  erhålles genom att integrera ekv. (4.1) över året.

$$Q_f = k \cdot A \int \theta d\tau \quad (Wh) \quad (4.2)$$

Integralen  $d$  benämns "gradtidtalet för fjärrvärmedistribution" och är ett mått på temperaturnivån i fjärrvärmenätet (2).

Värmeomgångstalet  $k$  för ett helt fjärrvärmenät beräknas som ett vägt årligt medelvärde enligt:

$$k = \frac{\sum k_i \cdot A_i}{\sum A_i} \quad (W/m^2K) \quad (4.3)$$

där  $k_i$  och  $A_i$  beräknas för varje kulvertdimension. Formeluttryck för beräkning av värmeomgångstalet  $k_i$  ges i Bilaga 3.

Då den årliga inmatade energimängden i ett fjärrvärmeområde är känd kan den relativa distributionsförlusten beräknas som

$$q_f = \frac{Q_f}{Q_{in}} = \frac{k A \int \theta d\tau}{Q_{in}} \quad (4.4)$$

Genom att införa fjärrvärmenätets totala kulvertlängd  $L$ , så erhålles uttrycket

$$q_f = \frac{k \frac{A}{L} \int \theta d\tau}{\frac{Q_{in}}{L}} \quad (4.5)$$



Således bestäms den relativa distributionsförlusten av följande fyra karakteristiska tal

- $k$  = totala värmegenomgångstalet (mått på isoleringsgraden),  $W/m^2k$
- $A/L$  = specifika mantelytan (mått på fjärrvärmeledningarnas grovlek, ty  $A/L = 2\pi d_m$  där  $d_m$  = effektiva medeldiametern),  $m^2/m$ .
- $f_{0dr}$  = gradtidtalet (mått på temperaturnivån i nätet),  $^{\circ}Ch$ .
- $Q_{in}/L$  = linjetätheten (mått på värmebehovets geografiska koncentration, jämförbart med effekttäthet ( $MW/km^2$ ) och värmätäthet ( $GWh/hm^2$ ),  $MWh/m$ ).

Störst osäkerhet ligger i att bestämma värmegenomgångstalet medan de övriga parametrarna bestäms av kulvertnätets geometriska utformning och av aktuell värmeproduktion.

#### 4.4 Relativ distributionsförlust

Den inmatade energimängden i fjärrvärmenätet från värmecentralen uppgick under 1983 till 6 325 MWh. Den uppmätta energiförbrukningen i abonnentcentralerna uppgick till 4 924 MWh varvid den totala förlusten var 1 401 MWh eller 22.1 % av den inmatade energimängden. Efter normalårskorrigerering blir relativa förlusten 21.3 %.

Den totala förlusten i fjärrvärmesystemet utgöres av

- distributionsförluster i ledningsnätet
- hos abonnenterna tillgodogjord men ej uppmätt energi
- mätfel i inmatningspunkten och i abonnentcentralerna.

Höga relativa distributionsförluster tillskrivs i regel s k undermätning i abonnentcentralerna. Vid låga värmebehov har energimätare en tendens att ge för låga värden speciellt vid låga vattenflöden.

I övrigt får den energimängd som kommer abonnenterna tillgodo genom förluster från ledningar i husen före mätaren anses försumbar då dessa ledningar är korta.

Genom att studera de fyra karakteristiska talen enligt avsnitt 4.3 fås en uppfattning om vad som orsakar en hög relativ distributionsförlust.

I Tabell 4.1 ges exempel på karakteristiska tal för ett antal småhusområden. I tabellen ges även motsvarande storheter för det studerade nätet i Kyrkbyn.

Värmeomgångstalen har härvid beräknats enligt

$$k = q_f \frac{1}{\frac{\left(\frac{\Delta}{L}\right) \cdot \int \theta d\tau}{\left(\frac{Q_{in}}{L}\right)}} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (4.6)$$

vilket direkt följer av ekv. 4.5.

Det angivna k-värdet för Staffanstorp i tabell 4.1 baseras på den uppmätta relativa förlusten i nätet utan korrigering för eventuella mätfel i abonnentcentralerna.

Tabell 4.1 Exempel på karakteristiska tal för ett antal småhusområden. (1)

Ort, område, fjärrvärmeanslutning, kulverttyp och dimension	Relativ distr.-förlust	Totalt värmegenomgångstal	Specifik mantelyta	Gradtid-tal	Linjetäthet
	$q_f$ (%)	$k$ (W/m <sup>2</sup> K)	A/L (m <sup>2</sup> /m)	$d$ (°Ch 10 <sup>5</sup> )	$Q_{in}/L$ (MWh/m)
Luleå, Ham-maren Sekundär -80 PUR 25-125 mm	26.4	1.14	0.312	7.10	0.954
Uppsala, Slädvägen Primär -69 ACE 25-65 mm	23.1	5.98	0.272	6.08	4.281
Uppsala, Kv Timjanen Primär -72 ACE 20-40 mm	16.0	4.12	0.180	5.38	2.493
Uppsala, Clementinen Sekundär -79 AQ 18-42 mm	7.3	1.76	0.391	3.57	3.372
Västerås, Kronhjortg. Primär -79 AQ 18-70 mm	19.1	1.70	0.218	5.28	1.027
Västerås, Mårdvägen Primär -79 AQ 18-70 mm	19.4	1.80	0.254	5.20	1.227
Linköping, Ektunavägen Primär -72 Stålrör 20-40 mm	9.6	2.67	0.197	5.45	2.988
Linköping, Långgatan Primär -74 AQ 15-22 mm	8.4	1.61	0.127	4.67	1.138

Ort, område, fjärrvärme- anslutning, kulverttyp och dimen- sion	Relativ distr.- förlust	Totalt värme- genom- gångs- tal	Specifik mantelyta	Gradtid- tal	Linje- täthet
	$q_f$ (%)	$k$ (W/m <sup>2</sup> K)	A/L (m <sup>2</sup> /m)	$d$ (°Ch 10 <sup>5</sup> )	$Q_{in}/L$ (MWh/m)
Växjö, Sjö- torpet Sekundär -76 Virso-Pex 28-90 mm	20.1	1.23	0.333	5.70	1.155
Staffans- torp, Kyrk- byn Primär -81 AQ+PUR 22-200 mm	21.3	1.10	0.369	4.32	0.826
Malmö, Ma- rieholm Primär -78 AQ 18-70 mm	19.7	2.09	0.207	5.68	1.247
Malmö, Kris- tineberg Sekundär -77 PUR 15-65 mm	31.3	1.63	0.225	5.09	0.597

Av Tabell 4.1 framgår betydelsen av FV-nätets geometriska utformning. Trots att nätet i Staffanstorp har lågt värmegenomgångstal och lågt gradtidtal erhålles en hög relativ distributionsförlust p g a den mycket låga linjetätheten.

På motsvarande sätt kompenseras de höga värmegenomgångstalen (äldre asbestcementkulvertar) i Kv Timjanen och Slädvägen av den höga linjetätheten i dessa områden.

Områdena Clementinen (Uppsala) och Långgatan (Linköping) är exempel på att låga relativa distributionsförluster (7-8 %) kan erhållas även i småhusområden genom lågtemperatursystem i kombination med hög linjetäthet, eller liten specifik mantelyta.

I syfte att visa hur en variation av ingående parametrar påverkar den relativa distributionsförlusten har en känslighetsanalys utförts med utgångspunkt från FV-nätet i Kyrkbyn och redovisas i Bilaga 4. Följande parametrar har varierats:

	<u>Bedömt värde</u>	<u>Ändrat till</u>
Värmeledningstal, W/mk		
PUR-kulvert	0.027	0.024
Aquawarmkulvert	0.035	0.032
Mark	1.5	1.0
Systemtemperatur, °C	57	52

Inverkan av förändring av enskild parameter och av samtliga parametrar har beräknats.

Vidare har en beräkning gjorts av vilken inverkan val av högre isoleringsstandard respektive val av mindre dimensioner i befintligt nät skulle ha fått.

Om dessa parametrar väljs till bedömda nedre gränsvärden blir största möjliga mätfel i abonnentcentralerna ca 6 % på årsbasis.

Om högre isoleringsstandard hade valts, visar beräkningen att relativa förlusten skulle minska från ca 22 % till ca 16 %.

Valet av kulvertdimension har liten betydelse för den relativa förlusten.

I ett befintligt fjärrvärmenät med en given temperaturnivå bestäms den relativa förlusten av den inmatade energimängden. Den uppmätta energiförbrukningen i abonnentcentralerna i Kyrkbyn uppgick under 1983 endast till ca 65 % av ansluten dimensionerande förbrukning. Under ett år med dimensionerande förbrukning blir relativa förlusten således endast ca 65 % av nu framräknad förlust, d v s  $65 \% \times 22 \% = \text{ca } 15 \%$ .

Av analysen framgår att mätfelet i abonnentcentralerna beräkningsmässigt ökar med ur värmeförlustsynpunkt gynnsamma förändringar avseende värmeledningstal och temperaturnivå i nätet.

#### 4.5 Värmeförlustmätning på kulvertledning

##### Syfte

Med ledning av uppgifter om producerad och såld energimängd under 1983 för Kyrkbyns fjärrvärmesystem kunde det totala värmegenomgångstalet för fjärrvärmenätet beräknas till  $k = 1.10 \text{ W/m}^2\text{K}$  enligt ekv. 4.6, se Tabell 4.1.

En teoretisk beräkning av värmegenomgångstalet enligt ekv. 4.3 ger  $k = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$  med insättning av följande genomsnittliga värmeledningstal:

- PUR-kulvert,  $\lambda_i = 0.027 \text{ W/mK}$
- Aquawarm-kulvert,  $\lambda_i = 0.035 \text{ W/mK}$
- Mark,  $\lambda_m = 1.5 \text{ W/mK}$

Överensstämmelse fås således mellan den uppmätta värmeförlusten och den här teoretiskt beräknade med ovan angivna värden på värmeledningsförmågan i isolering och mark.

I syfte att få en indikation på om dessa värden överensstämmer med verkligheten utfördes en fältmätning av värmeförlusten från en utvald ledningssträcka i systemet.

I det fall undermätning i abonnentcentralerna föreligger skall fältmätningen resultera i lägre värmeledningstal än de ovan angivna, under förutsättning att den utvalda sträckan är representativ för hela ledningsnätet.

#### Metodik och resultat

Avsvalningsförloppet för en kropp med högre temperatur än omgivningen kan beräknas om temperaturdifferensen vid förloppets början, avsvalnande volym och värmegenomgångstal är känt. Genom att jämföra den teoretiskt beräknade avsvalningshastigheten med den i fält uppmätta kan värmegenomgångstalet för den undersökta kulverten bestämmas.

Genom att stänga av värmertilförseln till nätet och stanna cirkulationspumpen kunde avsvalningshastigheten för det stillastående vattnet i framledningen mellan värmecentral och mätkammare mätas. Ledningssträckan utgörs av 440 m DN 200 och 20 m DN 100 PUR-kulvertar.

Värmeövergångstalet mellan mediet och stålröret är starkt beroende av strömningshastigheten. Detta värmeövergångsmotstånd är dock så litet i relation till det totala värmemotståndet för kulverten att denna inverkan kan försummas.

För att stationära förhållanden skulle råda under mätningen och isoleringens och markens värmekapacitet därmed kunna försummas skedde värmeproduktionen med ånga under två dygn före försöket varvid framledningstemperaturen hölls konstant vid  $65^\circ\text{C}$ .

Temperaturförloppet mättes i mätkammaren med dels kontaktgivare fäst vid medieröret dels med insticks-givare.

För att kunna mäta avsvältningshastigheten i vattnet i ledningen i marken framför mätbrunnen flyttades vattenmassan framåt genom att cirkulationspumpen kördes igång under ca 30 sek med ca 30 min intervall, se Fig. 73 i bilaga 1. Därigenom undveks också skiktning av det stillastående vattnet.

Röret saknar isolering i mätkammaren varför temperaturen föll snabbare i mätpunkten än i ledningen i marken utanför. Någon större temperaturhöjning erhöles emellertid ej efter de fem första igångsättningarna av pumpen. Därför kördes denna under en något längre tid (ca 2 min), 3.5 tim efter försökets början. Därvid kunde den första temperaturhöjningen konstateras i mätkammaren.

Efter ca 4.25 tim sattes nätet åter i normal drift och cirkulationspumpen kördes kontinuerligt varvid de högsta temperaturerna uppmättes i temperaturgivarna. Efter ca 6 min kontinuerlig drift nådde vatten från returledningen fram till mätkammaren och temperaturen sjönk snabbt.

I figur 78 i Bilaga 1 har det beräknade avsvältningsförloppet ritats in för DN 200 och DN 100-ledningen med värmeledningstal för isolering och mark enligt ovan.

Kortare cykler i utomhustemperatur än en vecka påverkar ej marktemperaturen på rörens nivå varför denna approximativt kan sättas till medelvärdet av markens temperatur enligt SMHI's statistik för oktober månad. På rörens nivå, 1 m under markytan, innebär detta + 11.4°C.

Mätbrunnens placering innebär att någon exakt beräkning av värmegenomgångstalet ej låter sig göras då vattnet svalnar i två ledningar av olika dimension.

Den uppmätta temperaturen bör dock ligga mellan de två uppritade förloppen vilket också är fallet.

Det vattenpaket som gav den andra temperaturhöjning bör ligga närmare den teoretiskt beräknade temperaturen för DN 200 ledningen vid denna tidpunkt då detta vatten svalnat större delen av tiden i denna ledning (före avgreningspunkten).

Med de ovan framräknade genomsnittliga värmeledningstalen erhålls för DN 200  $k = 0.54 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Avsvältningsförloppet för DN 200 ledningen ger ett  $k$ -värde kring  $0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$  (vilket motsvarar  $\lambda_1 = 0.030 \text{ W/mK}$  och  $\lambda_2 = 2.0 \text{ W/mK}$ ). För den undersökta kulverten erhålls således ett 10-15 % högre värmegenomgångstal vid fältmätningen än vad som teoretiskt kan beräknas med användandet av ovan framräknade värmledningstal för hela systemet (ekv. 4.3 för  $k = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

Insättning av beräknade värmeledningstal genom fältmätning ( $\lambda_i = 0.030 \text{ W/mK}$  och  $\lambda_e = 2.0 \text{ W/mK}$ ) ger  $k = 1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$  för hela FV-nätet<sup>m</sup> med bibehållet värmeledningstal för Aquawarm-kulvert ( $\lambda_i = 0.035 \text{ W/mK}$ ). Om den undersökta ledningssträckan antas representativ för det totala ledningssystemet ger således fältmätningen en större värmeförlust och därmed ej någon indikation på att undermätningen sker i abonnentcentralerna.

Avslutningsvis skall konstateras att den gjorda mätningen är av stickprovskaraktär. Vidare har ingen mätning gjorts på Aquawarmkulvert varför den verkliga värmeisoleringsförmågan i denna ej kunnat bedömas.

#### 4.6 Slutsater

Följande slutsatser kan dras angående värmeförlusterna

- den låga linjetätheten i fjärrvärmenätet i Kyrkbyn medför att undre värdet på den relativa distributionsförlusten räknat på årsbasis blir ca 17 % med nuvarande värmeproduktion och temperaturnivå i nätet.
- låga relativa distributionsförluster (6-7 %) har uppmätts i andra undersökningar i små lokala fjärrvärmenät vilket främst beror på hög linjetäthet och låga temperaturnivåer.
- det har ej kunnat påvisas att mätfel i energimätningen i abonnentcentralen utgör någon väsentlig del av differensen mellan inmatad i nätet och hos abonnenten förbrukad energimängd.



## REFERENSER

- (1) Isaksson, Tord. Nordström, Hans m fl.  
Fjärrvärme i småhusområden. Mätning av värmeförluster, bestämning av mätfel samt undersökning av sammanlagring. Byggforskningsrådet Rapport R47:1984.
- (2) WERNER 1982 (1), Graddtidtal för fjärrvärmedistribution VVS 53 (1982):2, s 63-64.
- (3) WERNER 1982 (2), värmeförluster vid fjärrvärmedistribution, Rapport A82-109, Inst. för Energiteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.



Bilaga 1 Figurer

Fig 8-78

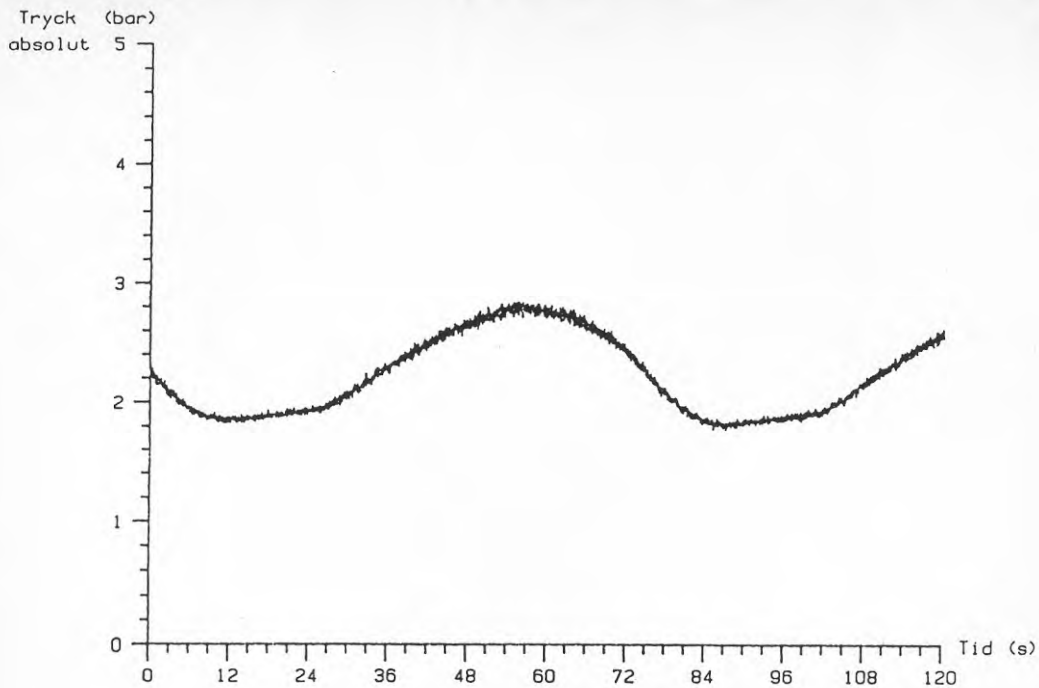


Fig. 8 Inkommande ledning - FV-central. Ingen åtgärd för flödesförändring.

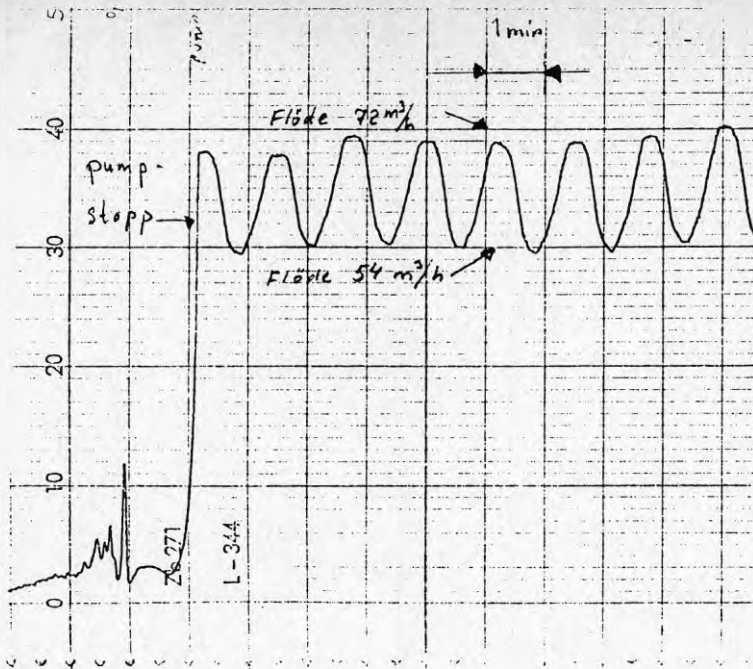


Fig. 9 Flödesvariation på ingående ledning till fjärrvärmecentral vid stationär drift.

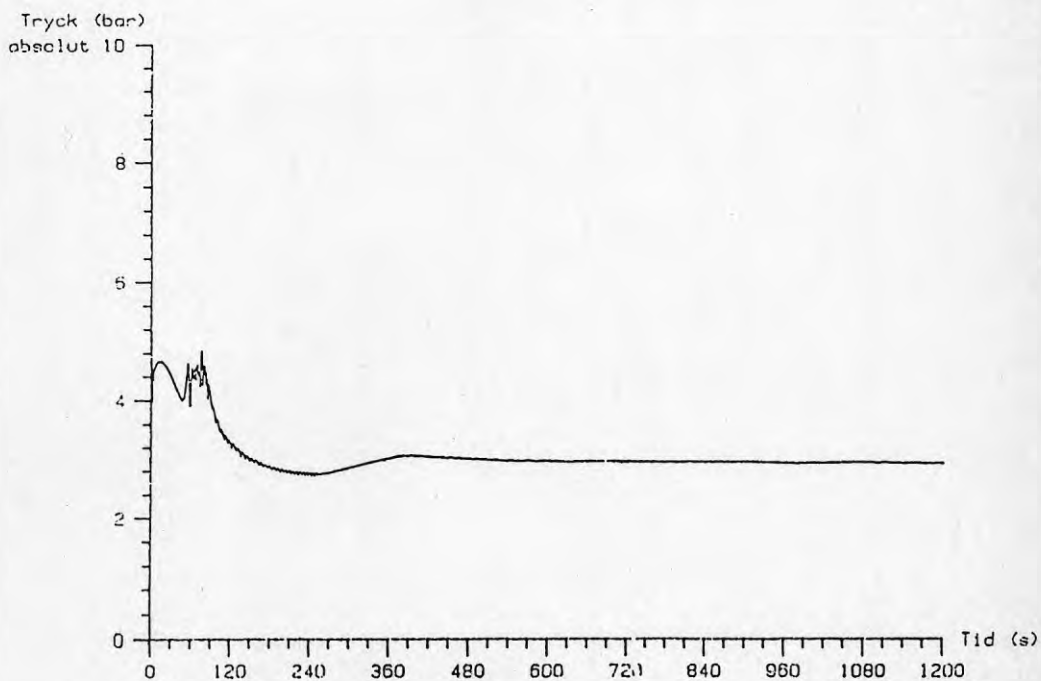


Fig. 10 Stopp av pump. Utgående ledning från FV-central. Nät-drift. Buller och skakningar på utgående ledning.

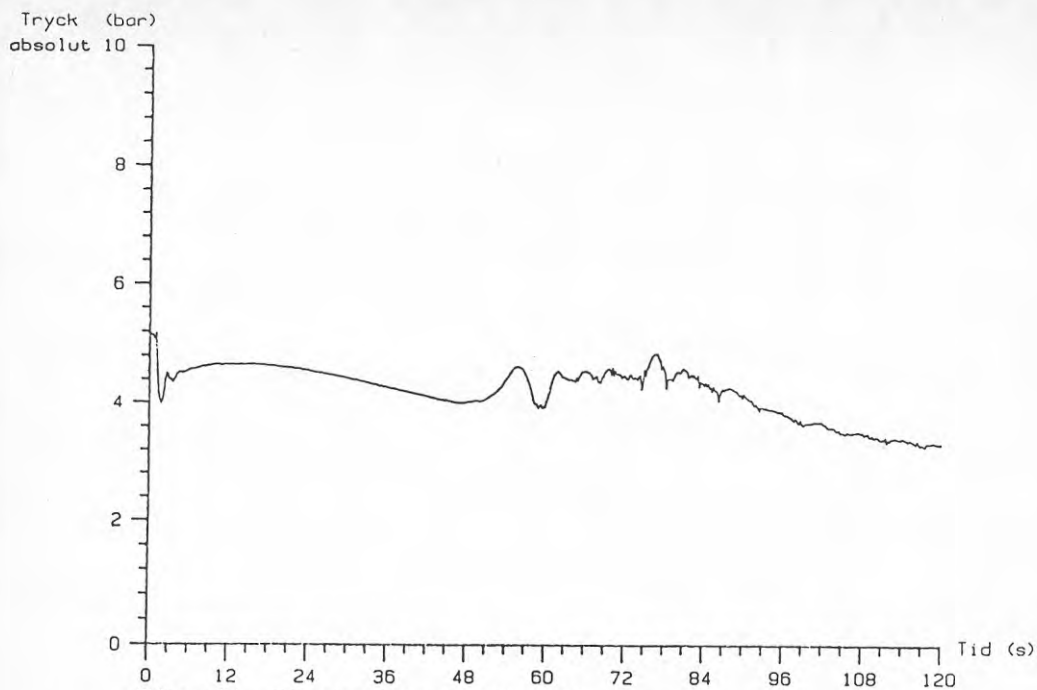


Fig. 11 Förstoring av fig. 10.

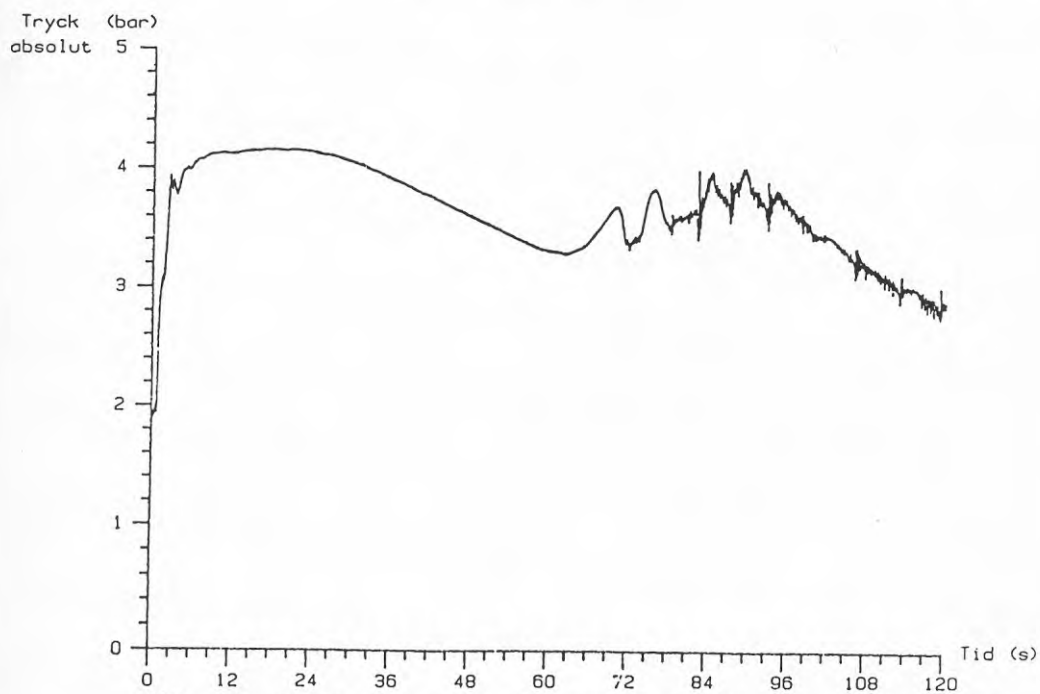


Fig. 12 Stopp av pump. Inkommande ledning till FV-central.  
Nät drift.

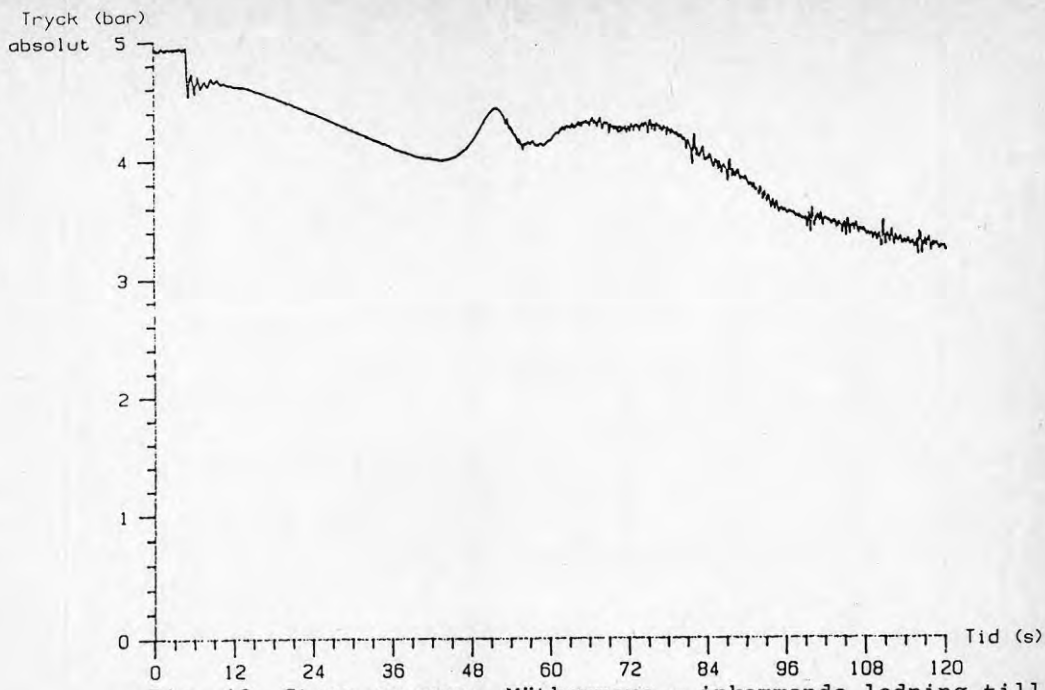


Fig. 13 Stopp av pump. Mätkammare - inkommande ledning till område 2. Nät drift.

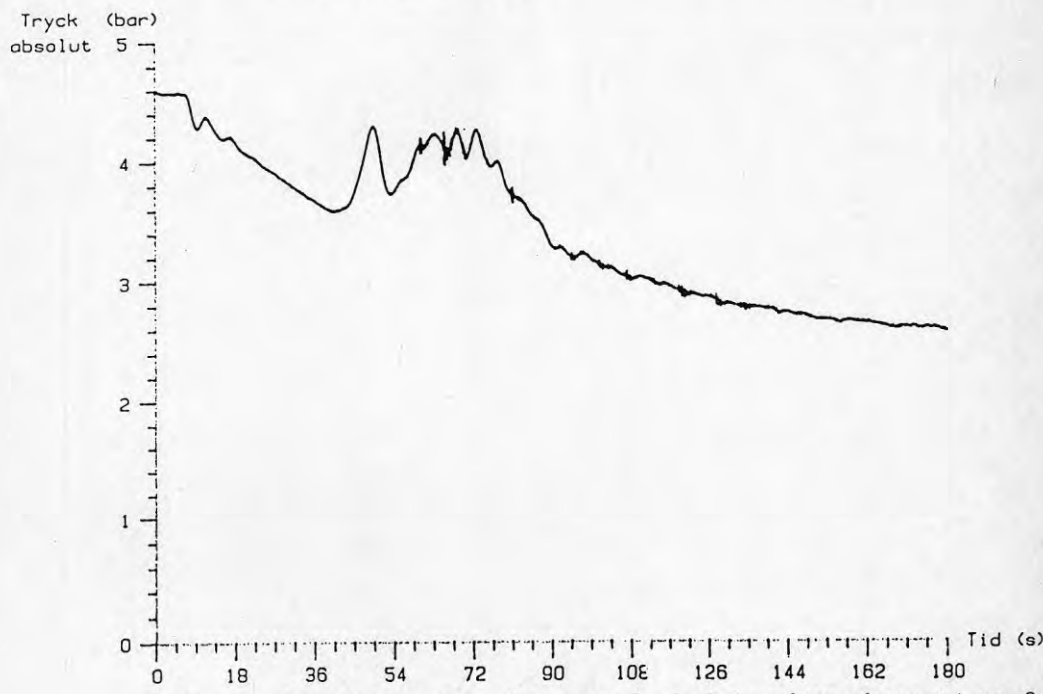


Fig. 14 Stopp av pump. Inkommande ledning hos abonnent nr 2. Nät drift.

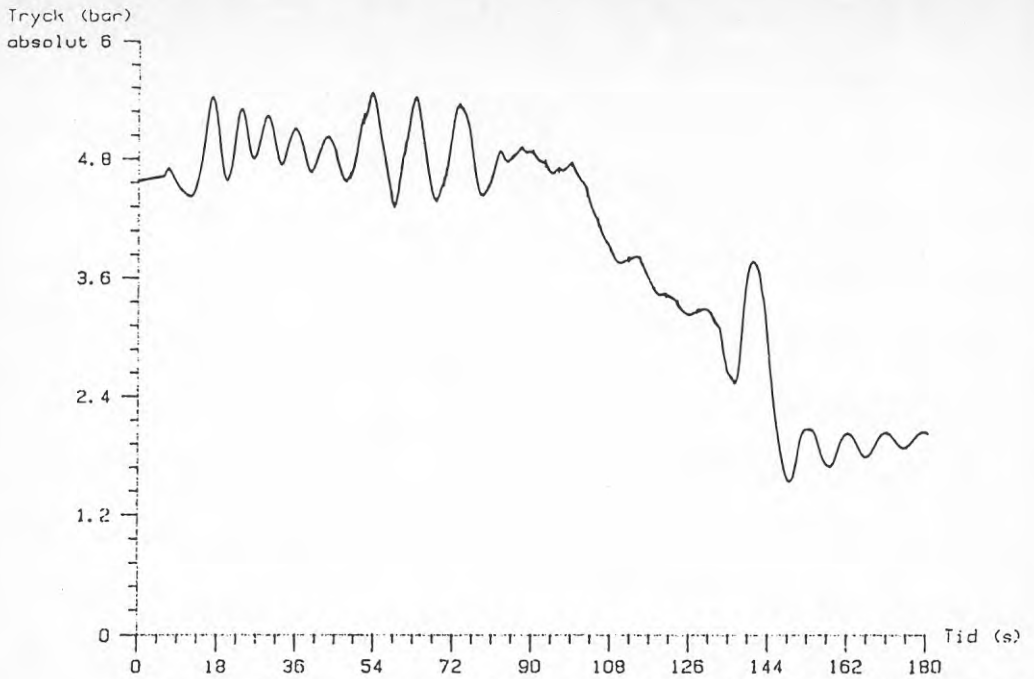


Fig. 15 Stopp av pump. Inkommande ledning till abonnent nr 4.  
Nät drift. Mycket kraftiga smällar i rör i FV-central.

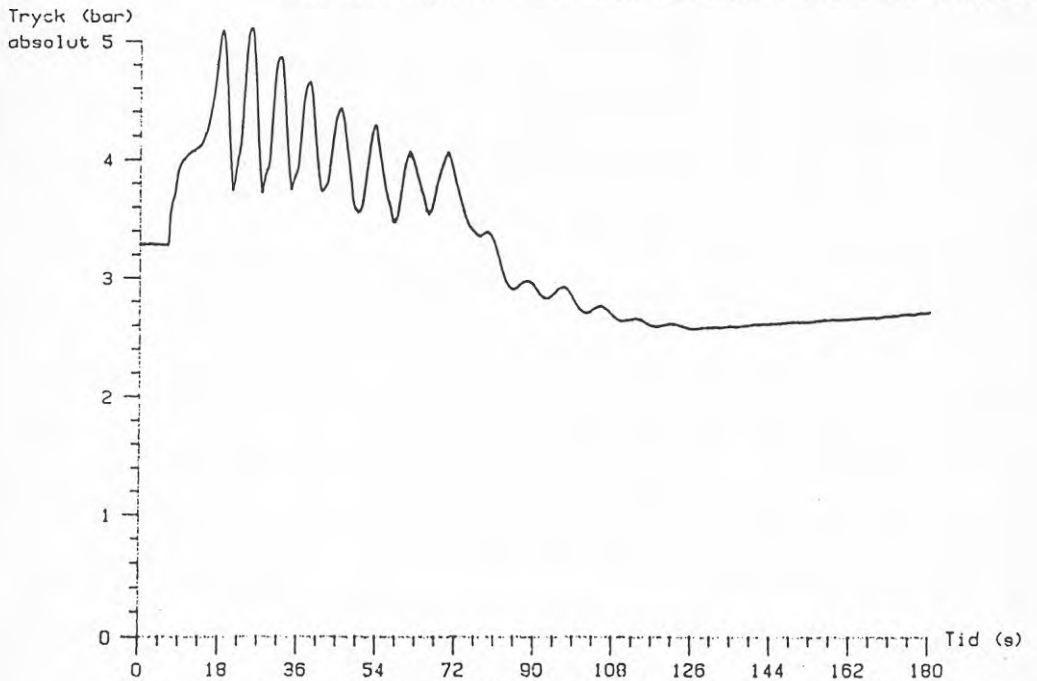


Fig. 16 Stopp av pump. Utgående ledning från abonnent nr 3.  
Nät drift.



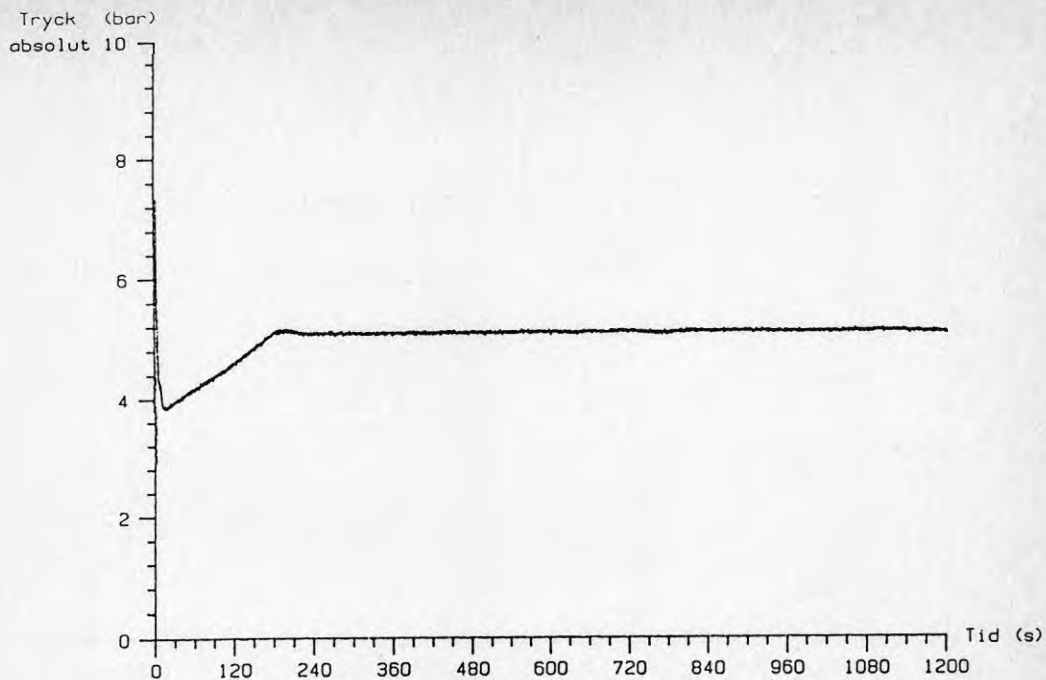


Fig. 17 Start av pump. Utgående ledning från FV-central.  
Nät drift.

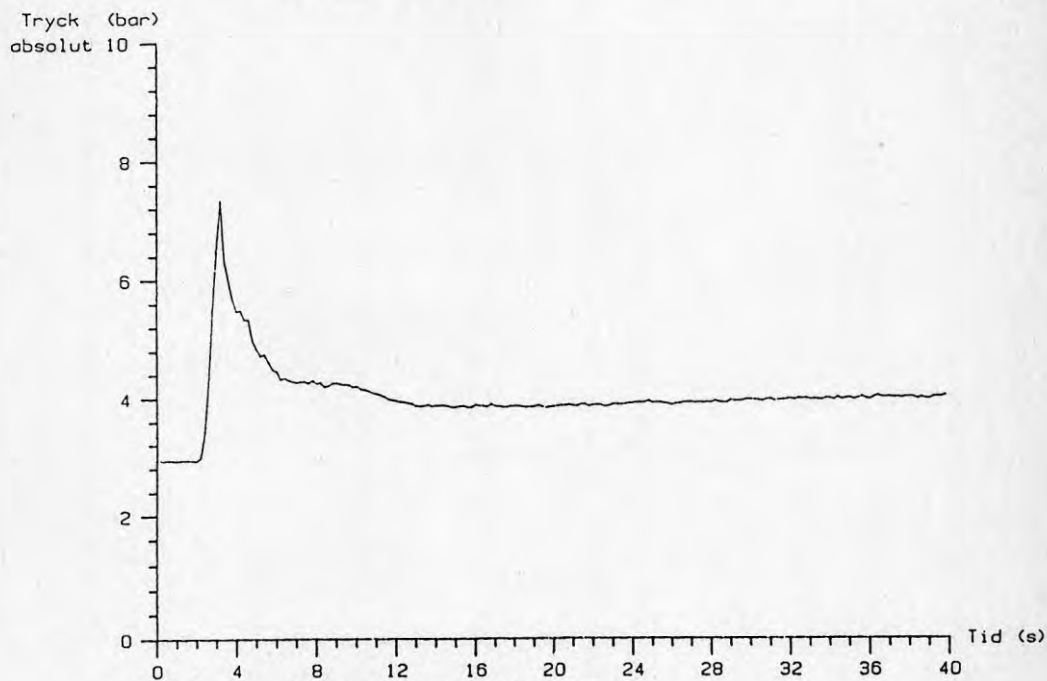


Fig. 18 Förstoring av fig. 17.

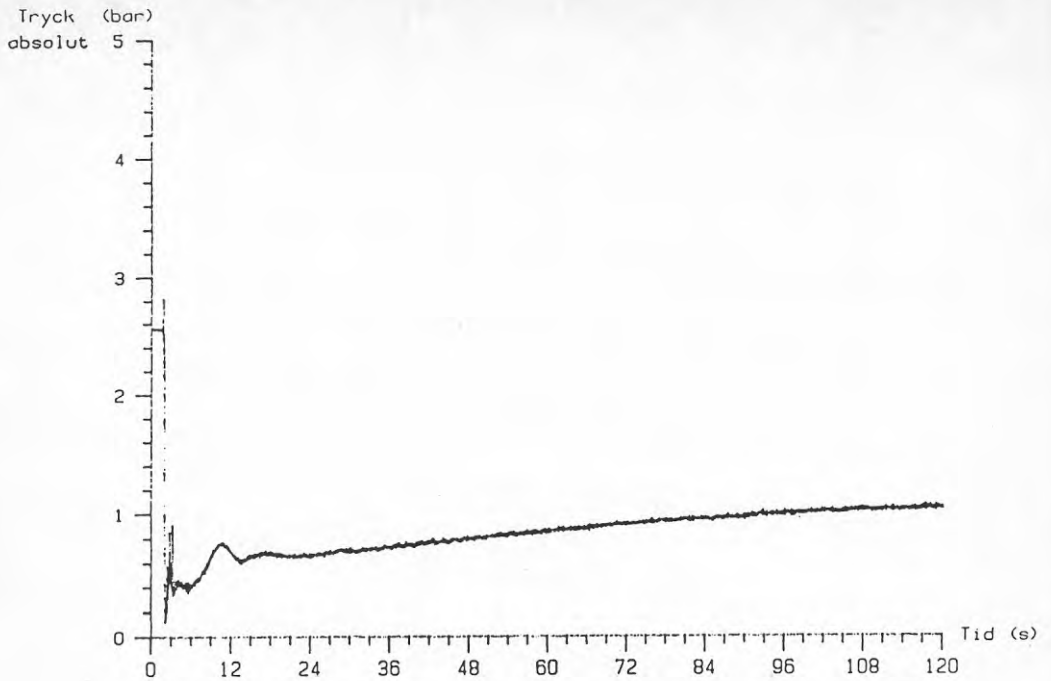


Fig. 19 Start av pump. Inkommande ledning till FV-central.  
Nät drift.

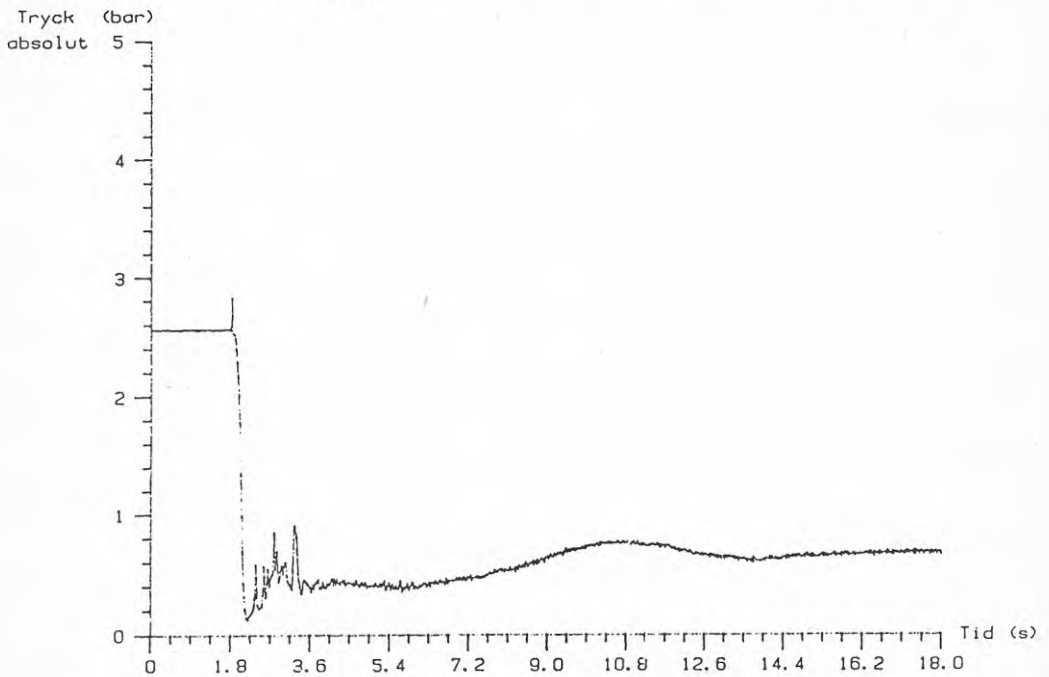


Fig. 20 Förstoring av fig. 19.

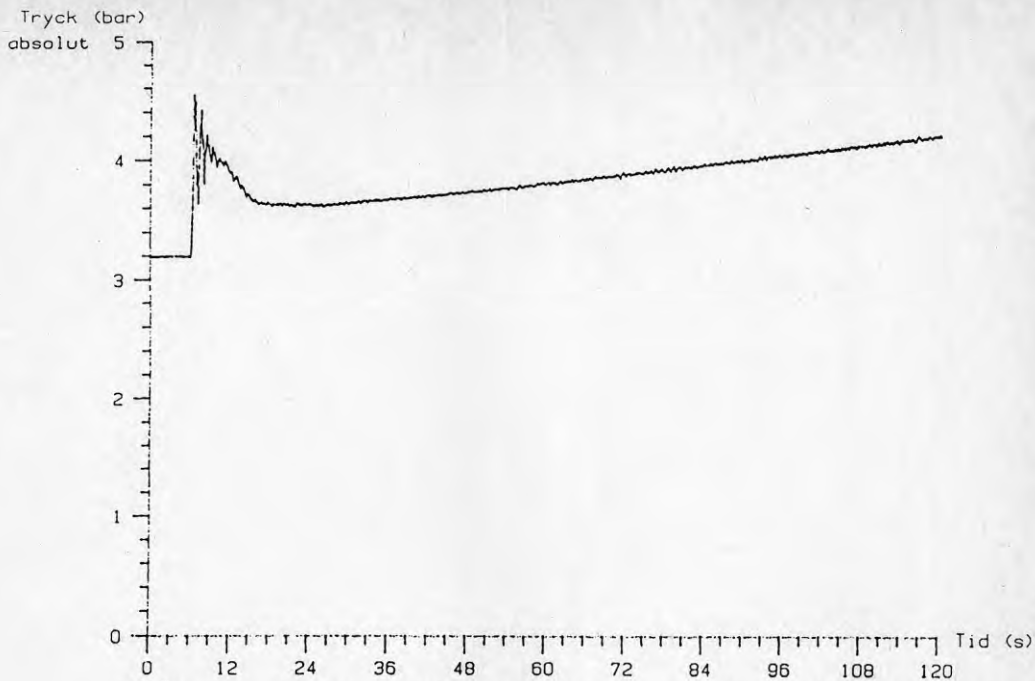


Fig. 21 Start av pump. Mätkammare - inkommande ledning till område 2. Nätdrift.

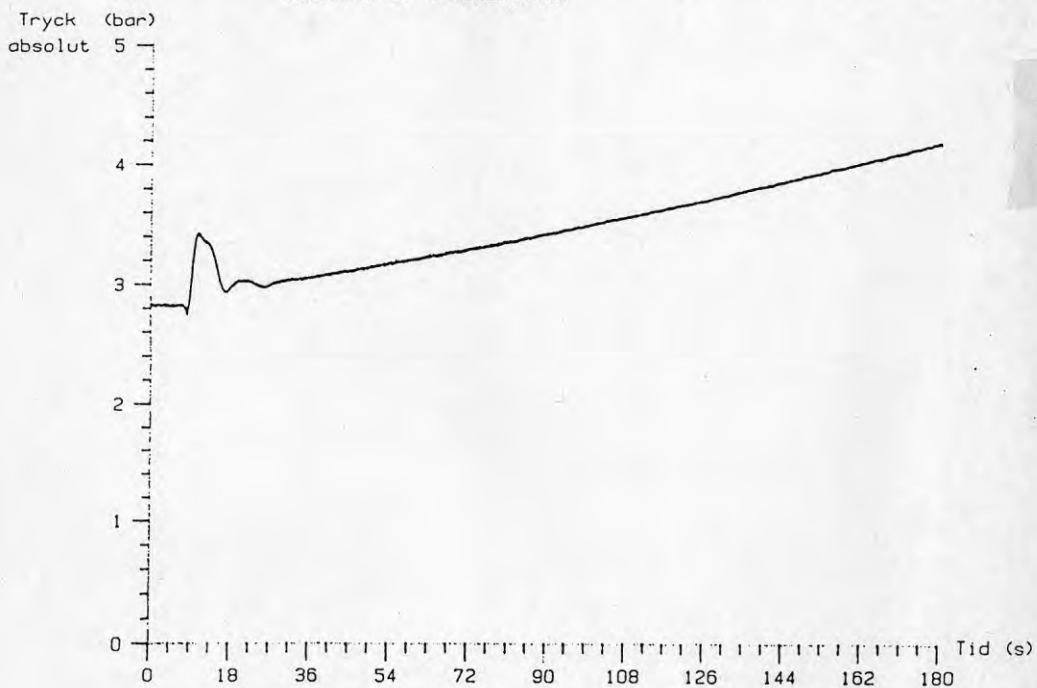


Fig. 22 Start av pump. Inkommande ledning till abonnent nr 2. Nätdrift.

Tryck (bar)  
absolut 5

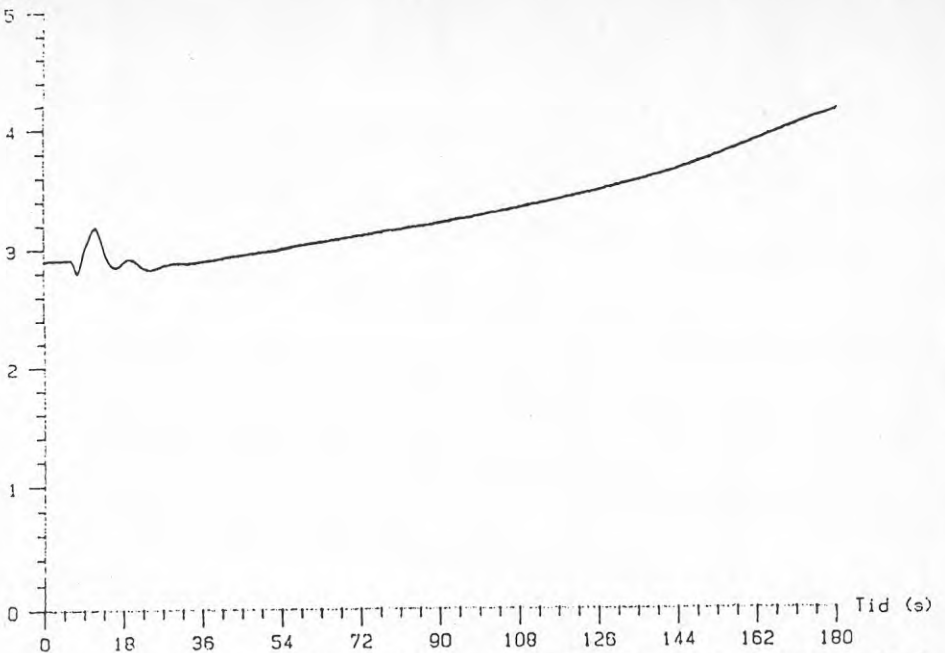


Fig. 23 Start av pump. Inkommande ledning hos abonnent nr 4.  
Nät drift.

Tryck (bar)  
absolut 5

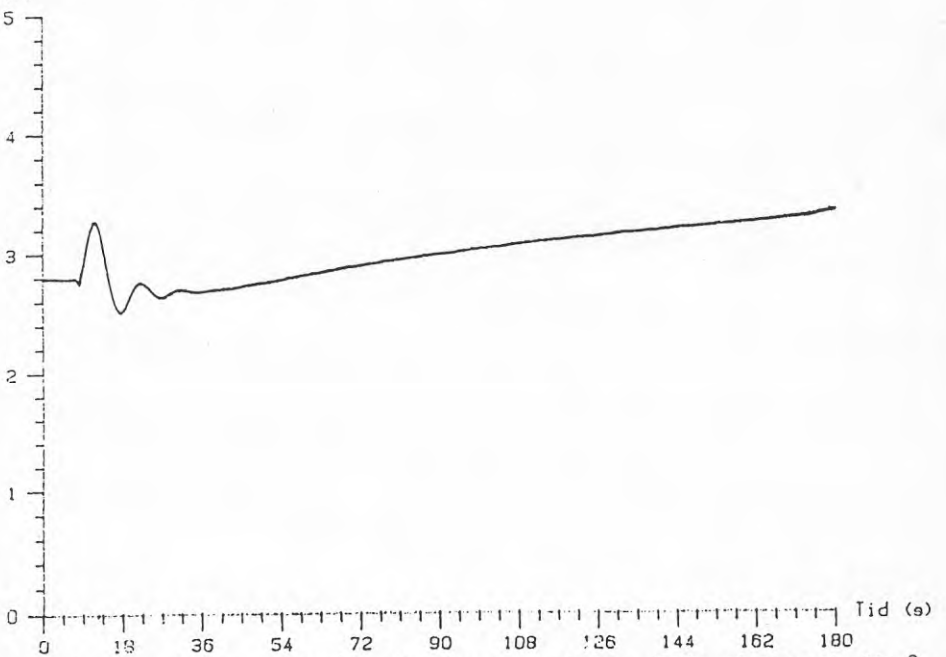


Fig. 24 Start av pump. Utgående ledning från abonnent nr 3.  
Nät drift.

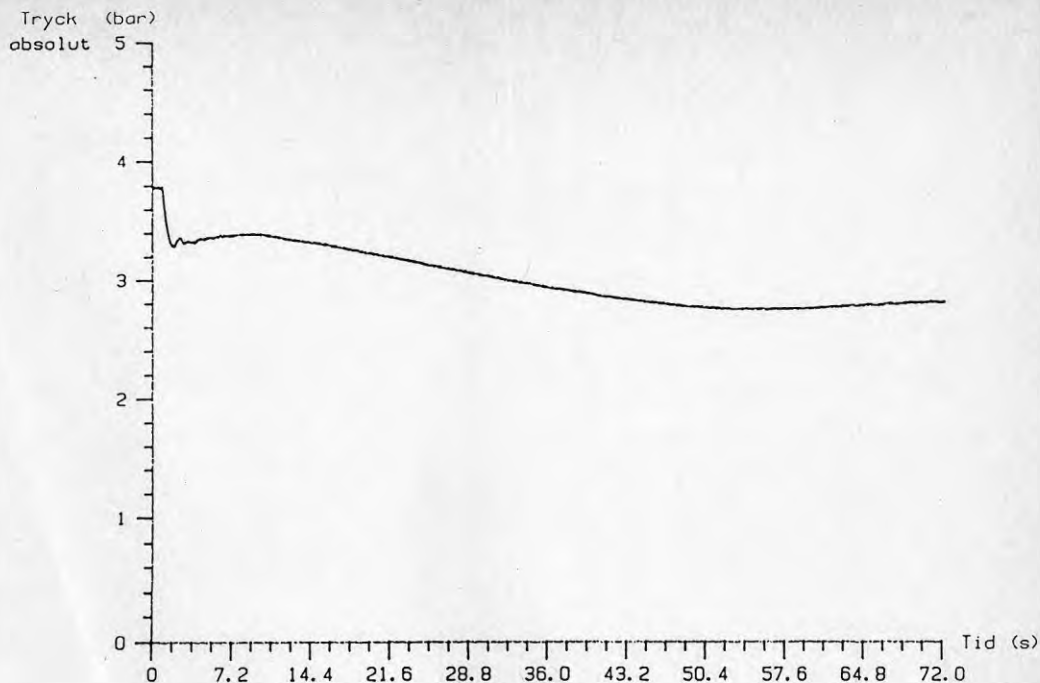


Fig. 25 Stopp av pump. Utgående ledning från FV-central. SAMI-drift.

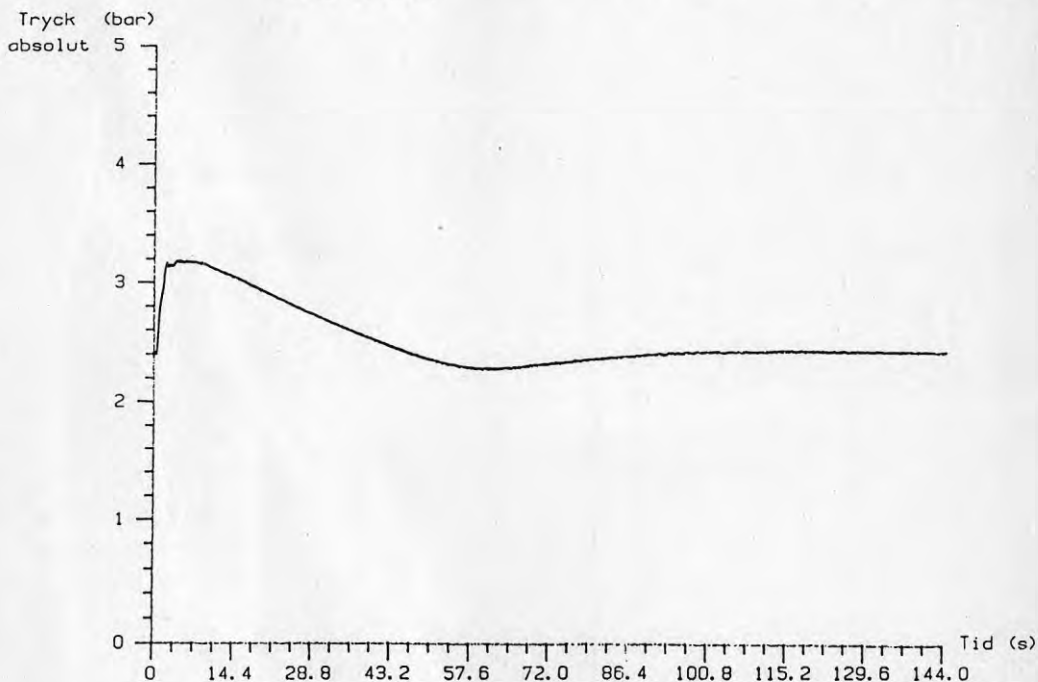


Fig. 26 Stopp av pump. Inkommande ledning till FV-central. SAMI-drift.

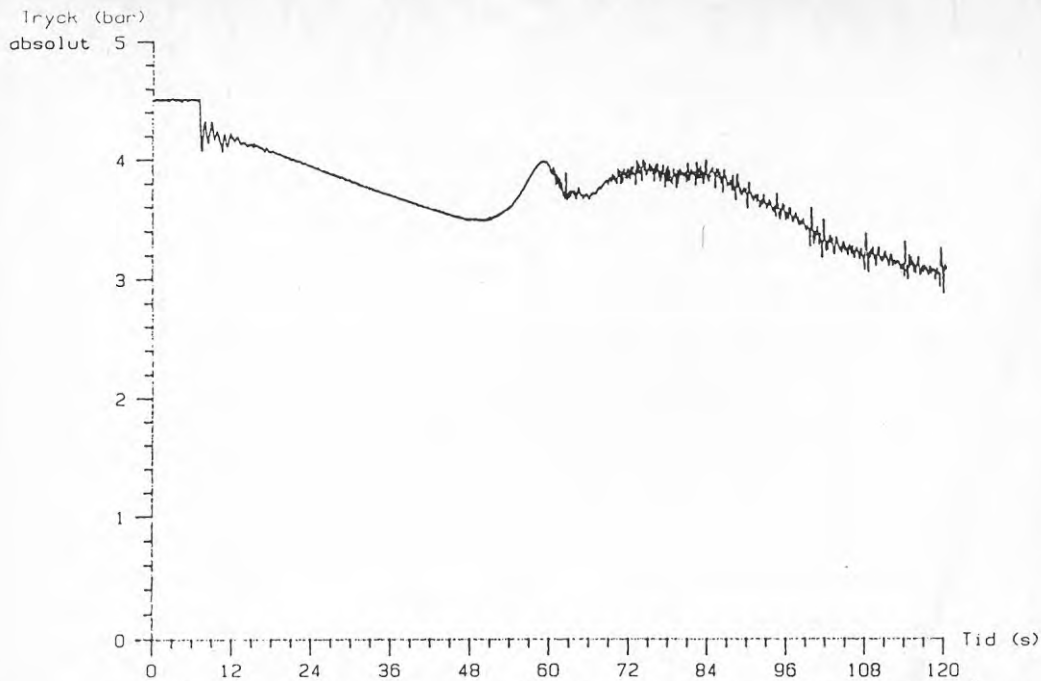


Fig. 27 Stopp av pump. Mätkammare - inkommande ledning till område 2. SAMI-drift.

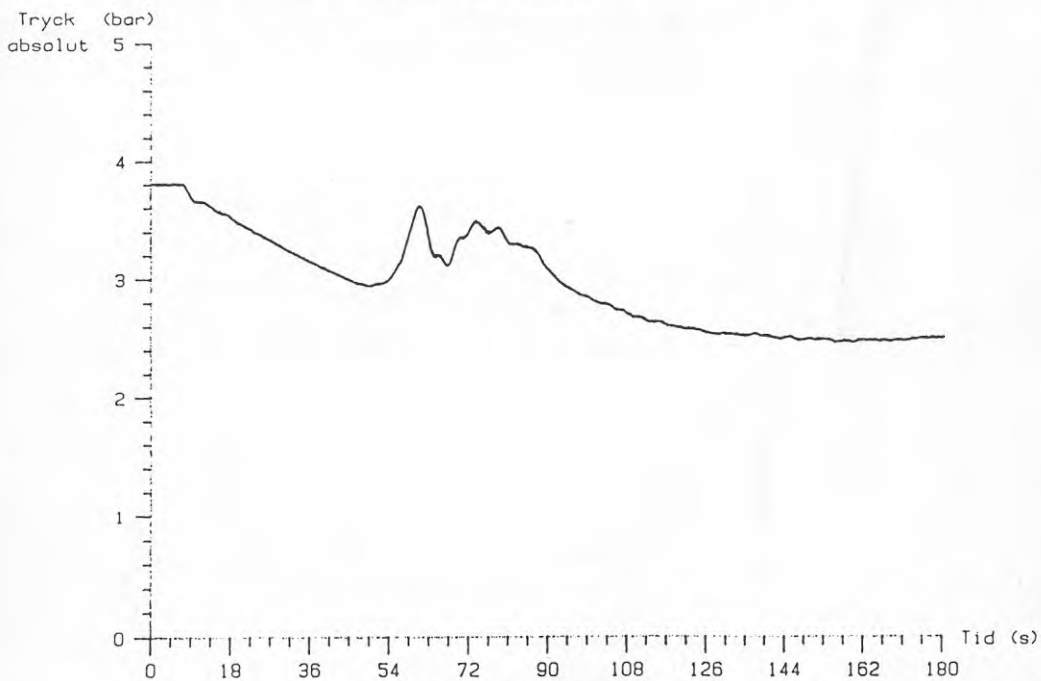


Fig. 28 Stopp av pump. Inkommande ledning till abonnent nr 2. SAMI-drift.

Tryck (bar)

absolut 5

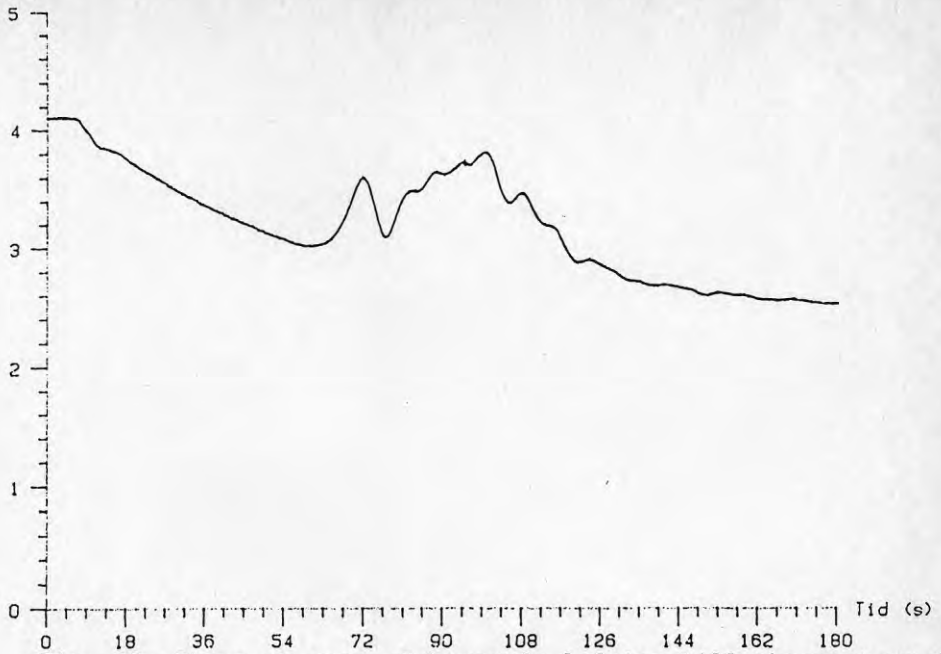


Fig. 29 Stopp av pump. Inkommande ledning till abonnent nr 4. SAMI-drift.

Tryck (bar)

absolut 5

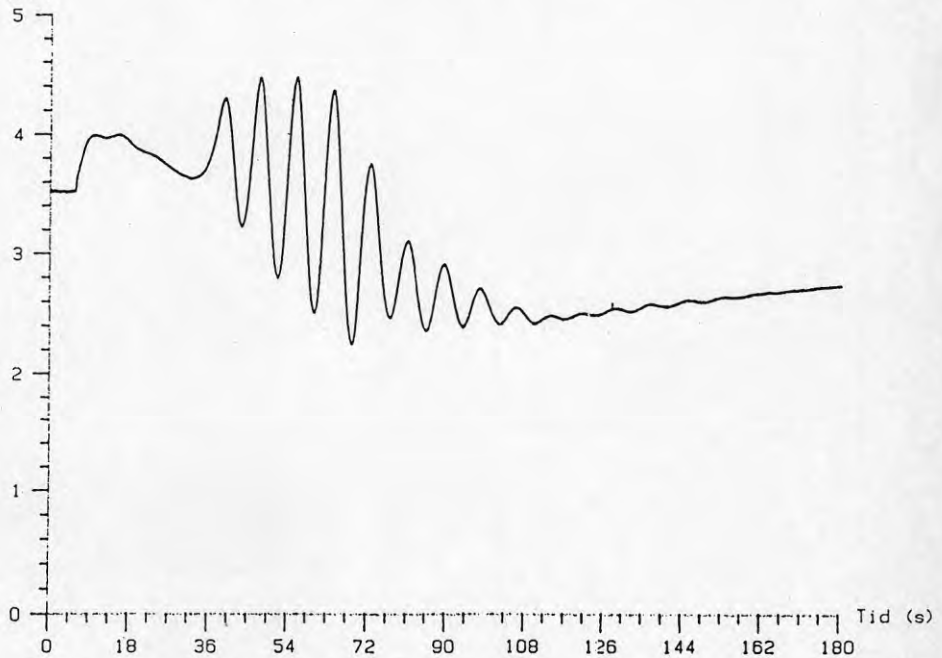


Fig. 30 Stopp av pump. Utgående ledning från abonnent nr 3. SAMI-drift.

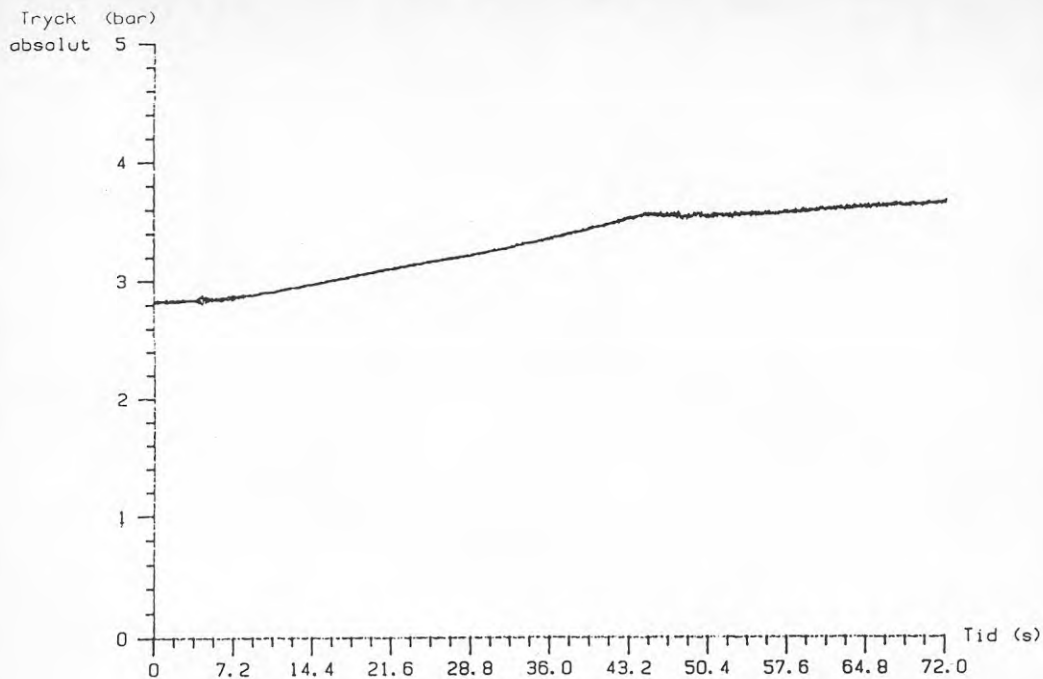


Fig. 31 Start av pump. Utgående ledning från FV-central. SAMI-drift.

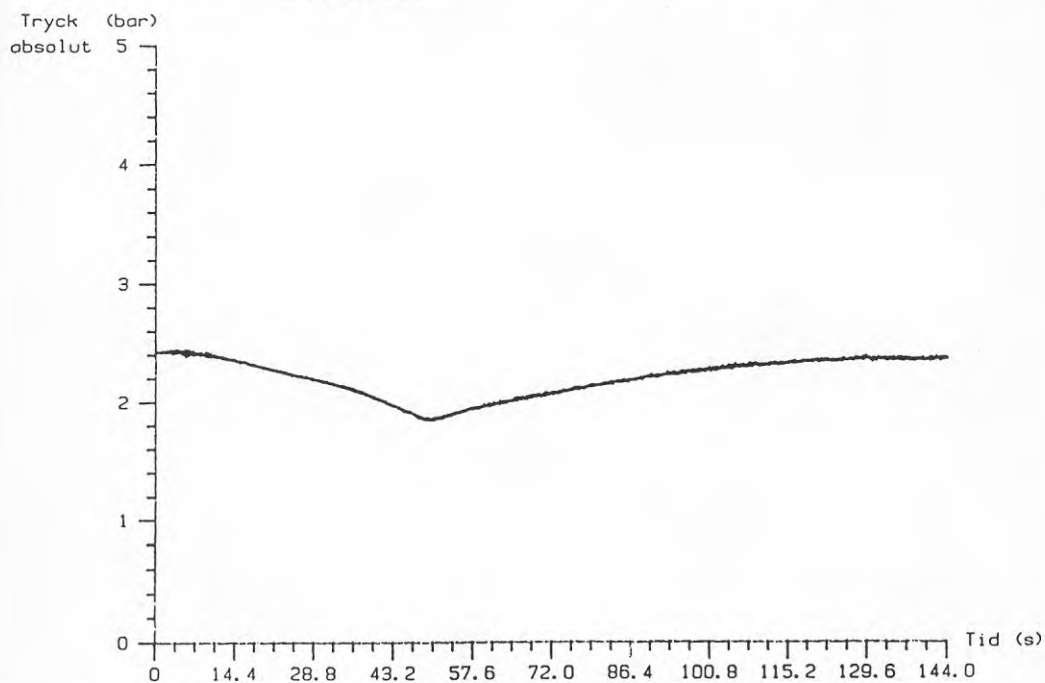


Fig. 32 Start av pump. Inkommande ledning till FV-central. SAMI-drift.



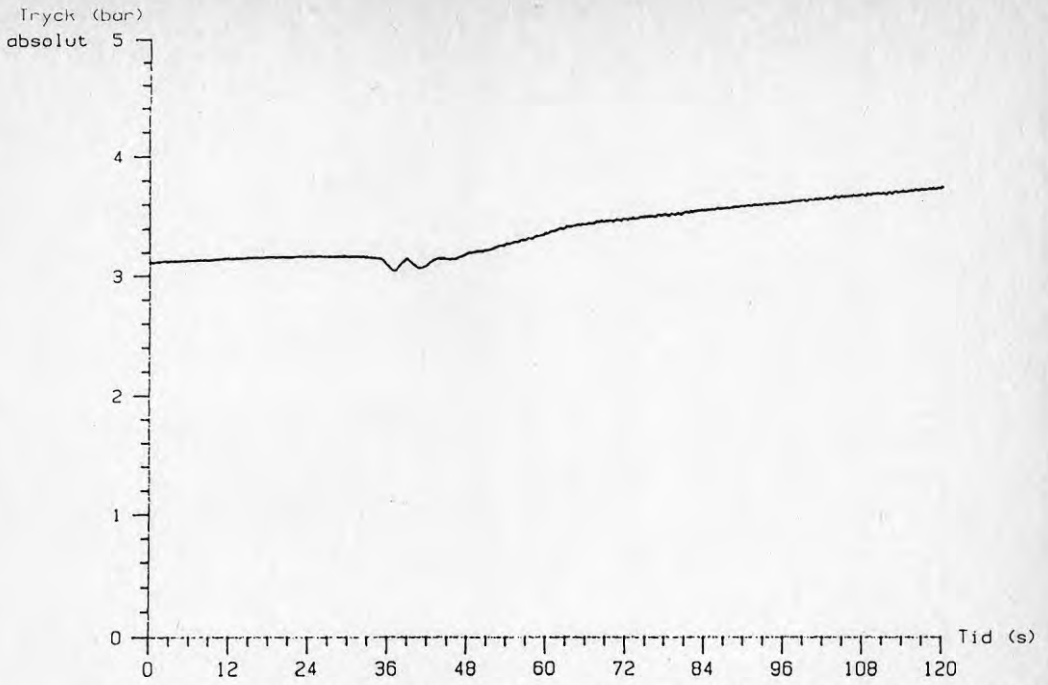


Fig. 33 Start av pump. Mätkammare - inkommande ledning till område 2. SAMI-drift.

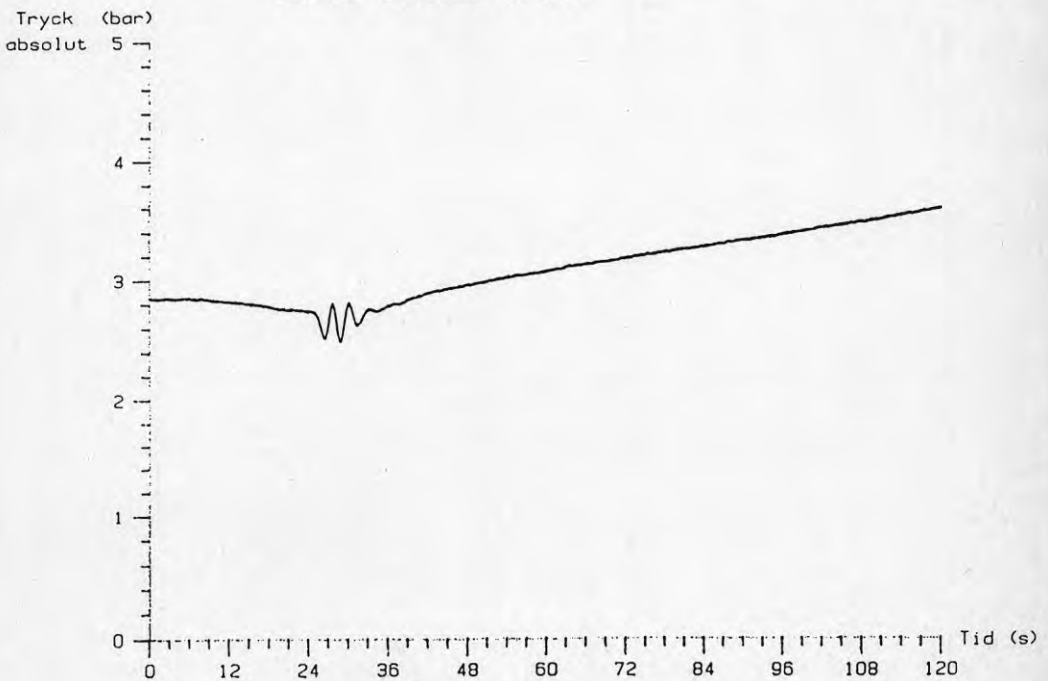


Fig. 34 Start av pump. Inkommande ledning till abonnent nr 2. SAMI-drift.

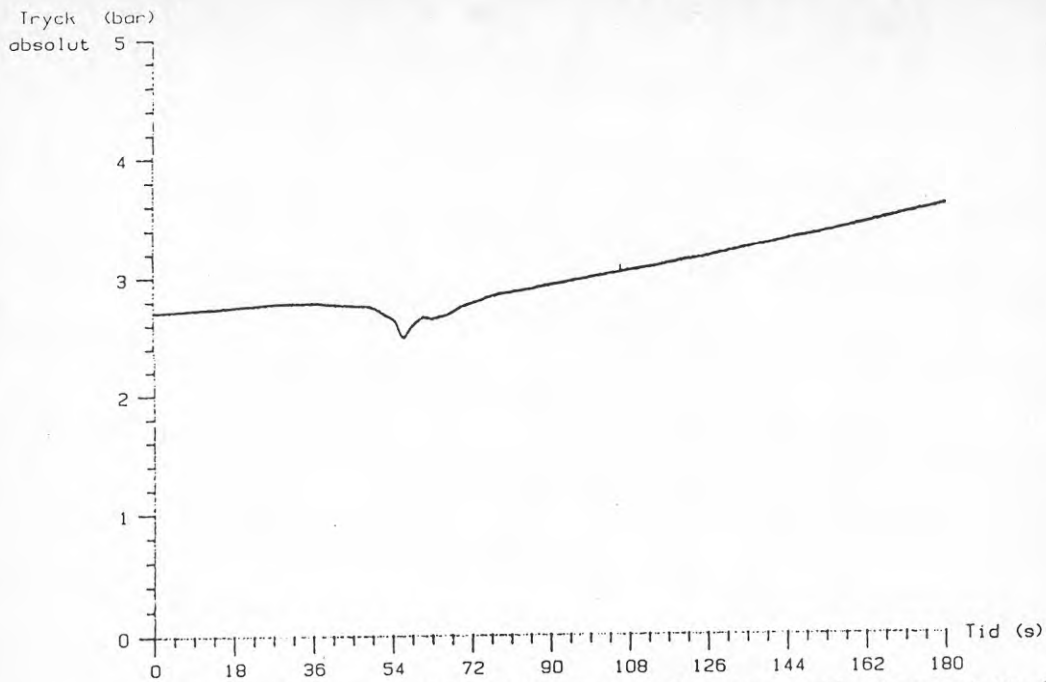


Fig. 35 Start av pump. Inkommande ledning till abonnent nr 4. SAMI-drift.

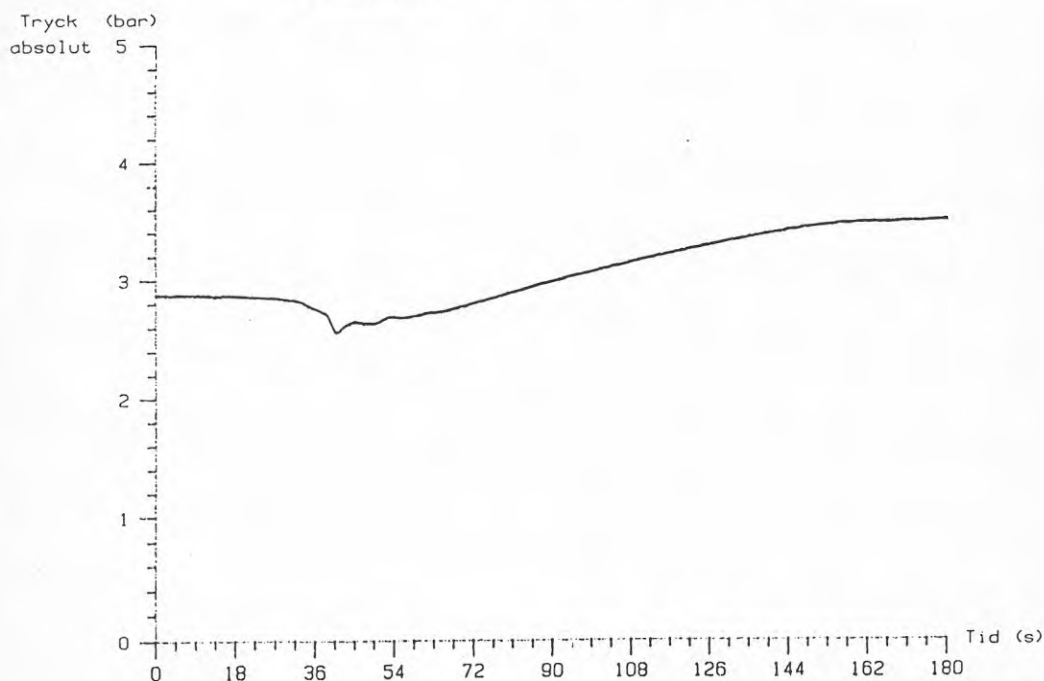


Fig. 36 Start av pump. Utgående ledning från abonnent nr 3. SAMI-drift.

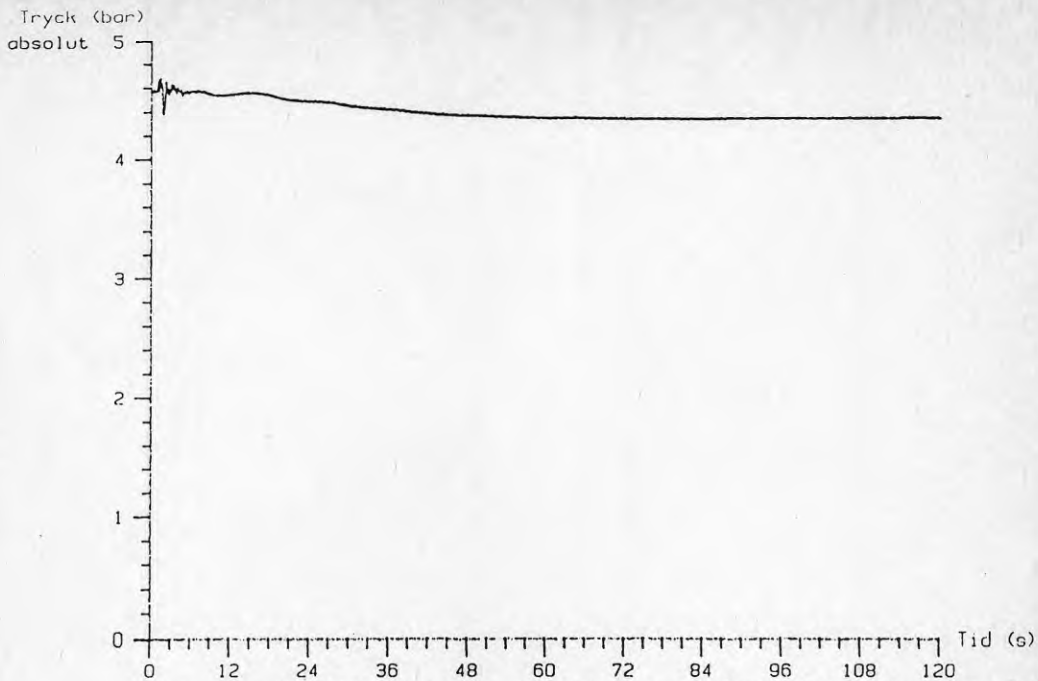


Fig. 37 Ventilstängning i mätkammare på utgående ledning från område 2. Mätning på inkommande ledning till område 2.

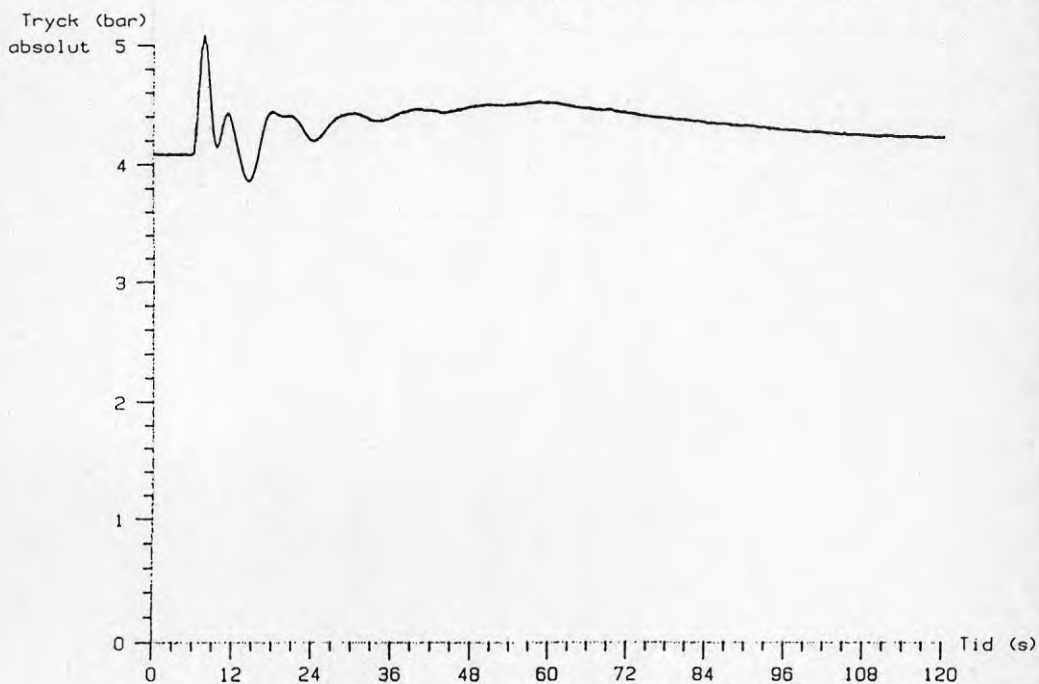


Fig. 38 Ventilstängning i mätkammare på utgående ledning från område 2. Mätning på inkommande ledning till abonnent nr 2.

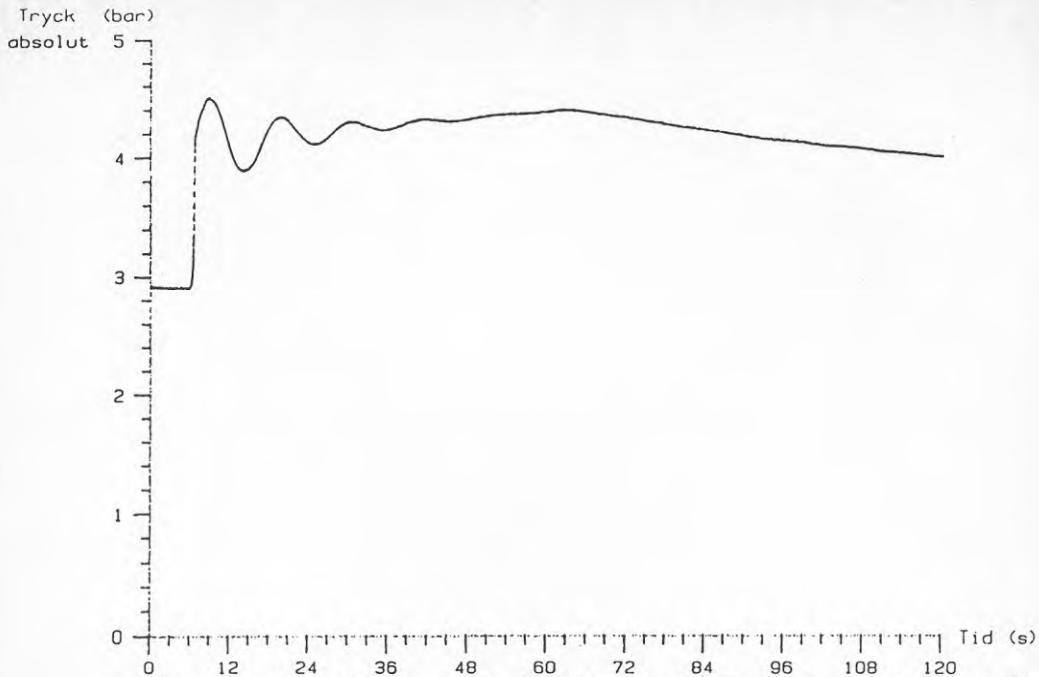


Fig. 39 Ventilstängning i mätkammare på utgående ledning från område 2. Mätning på utgående ledning från abonnent nr 4.

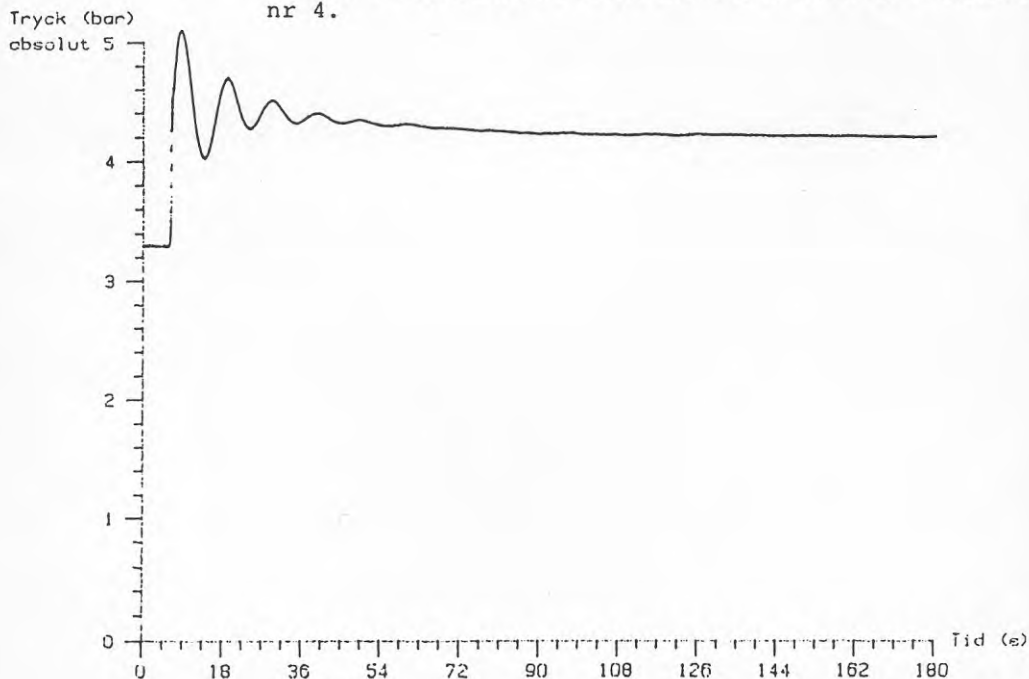


Fig. 40 Ventilstängning i mätkammare på utgående ledning från område 2. Mätning på utgående ledning från abonnent nr 3.

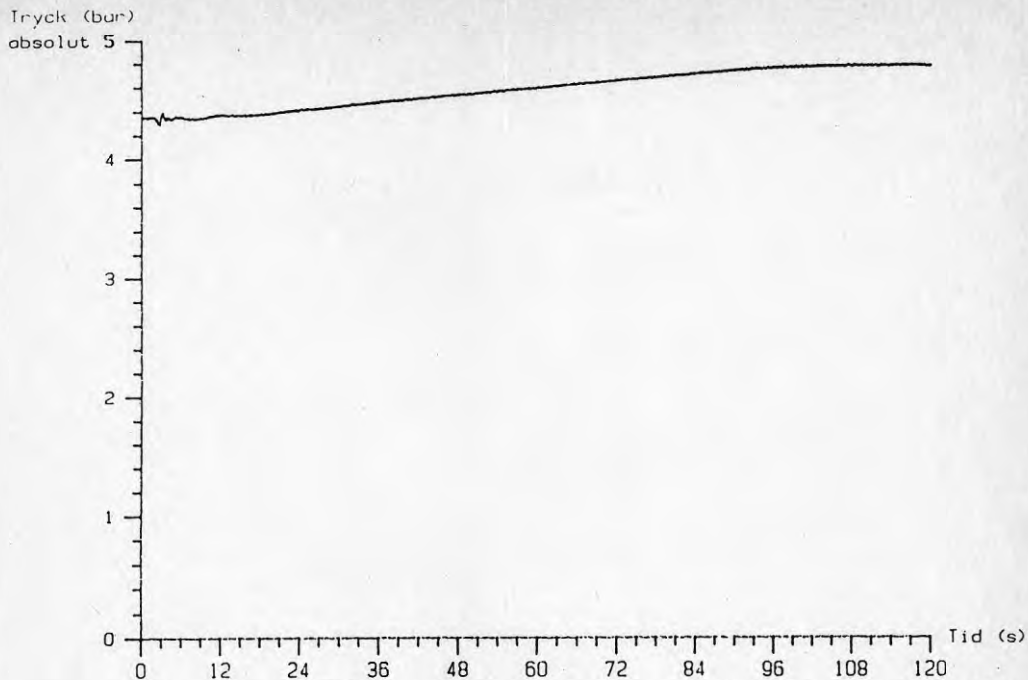


Fig. 41 Ventilöppning i mätkammare på utgående ledning från område 2. Mätning på inkommande ledning till område 2.

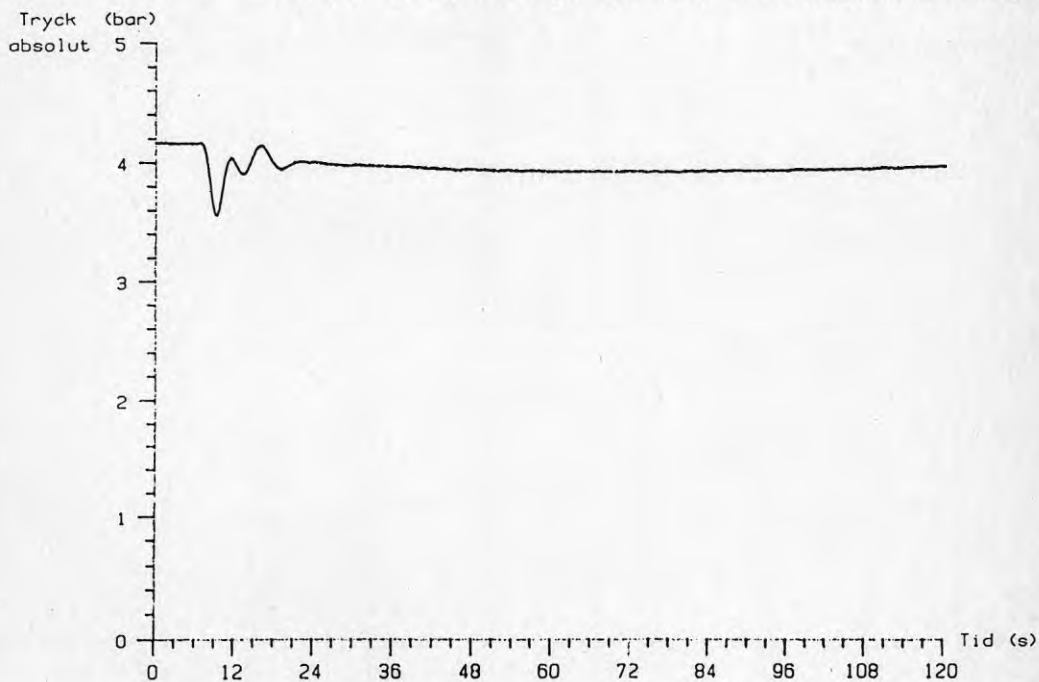


Fig. 42 Ventilöppning i mätkammare på utgående ledning från område 2. Mätning på inkommande ledning till abonnent nr 2.

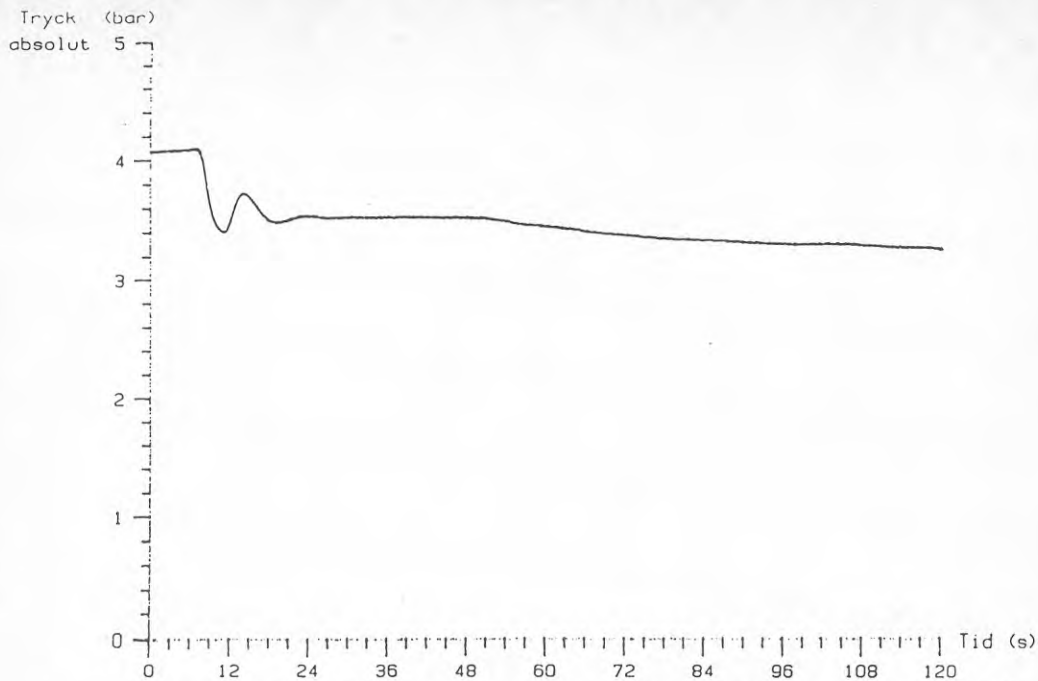


Fig. 43 Ventilöppning i mätkammare på utgående ledning från område 2. Mätning på utgående ledning abonnent nr 4.

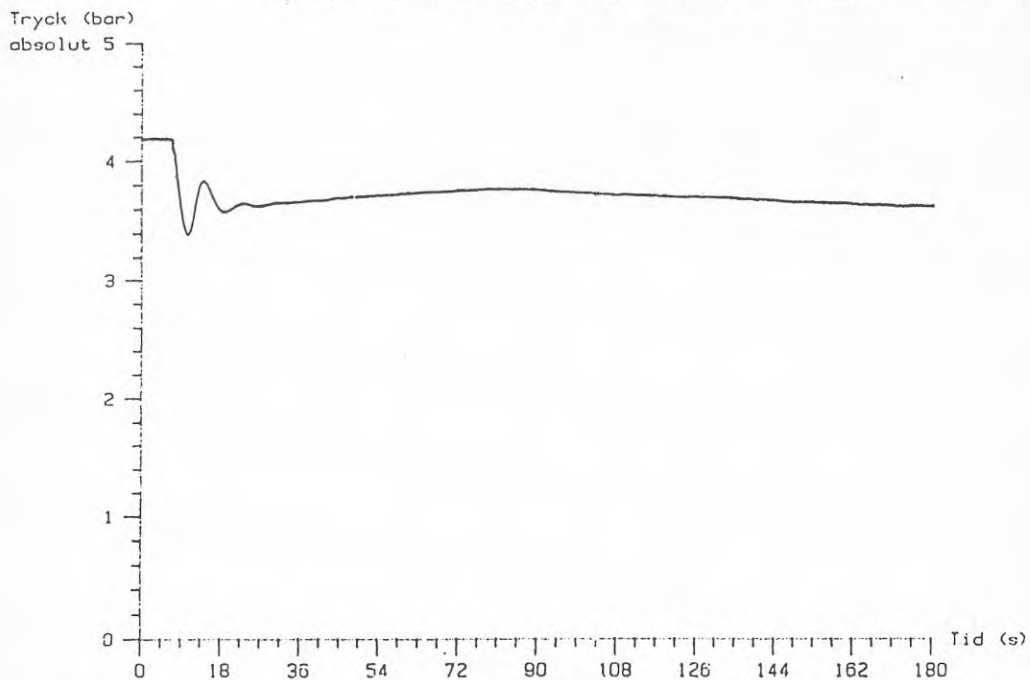


Fig. 44 Ventilöppning i mätkammare på utgående ledning från område 2. Mätning på utgående ledning från abonnent nr 3.

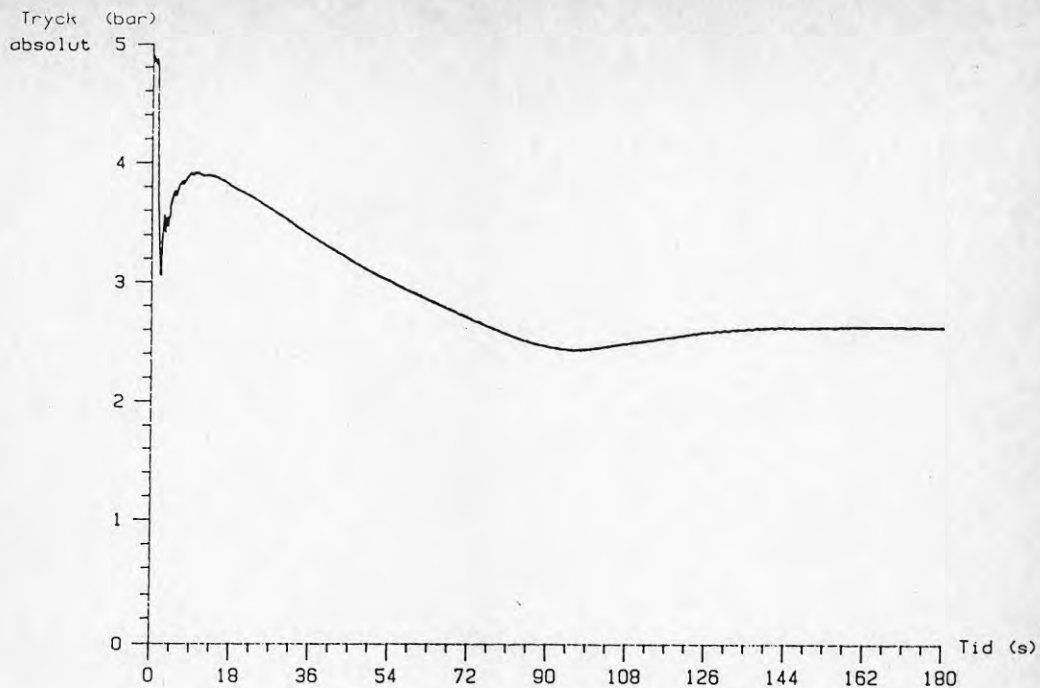


Fig. 45 Stopp av pump. Utgående ledning från FV-central. Nät-drift.

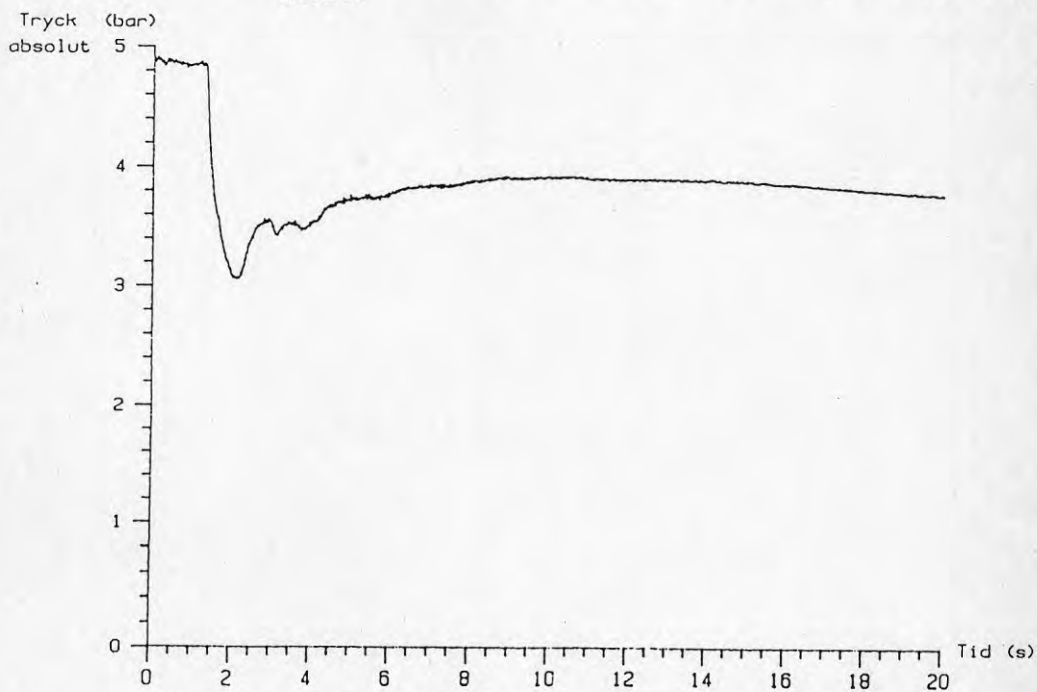


Fig. 46 Förstorad bild av fig. 45.

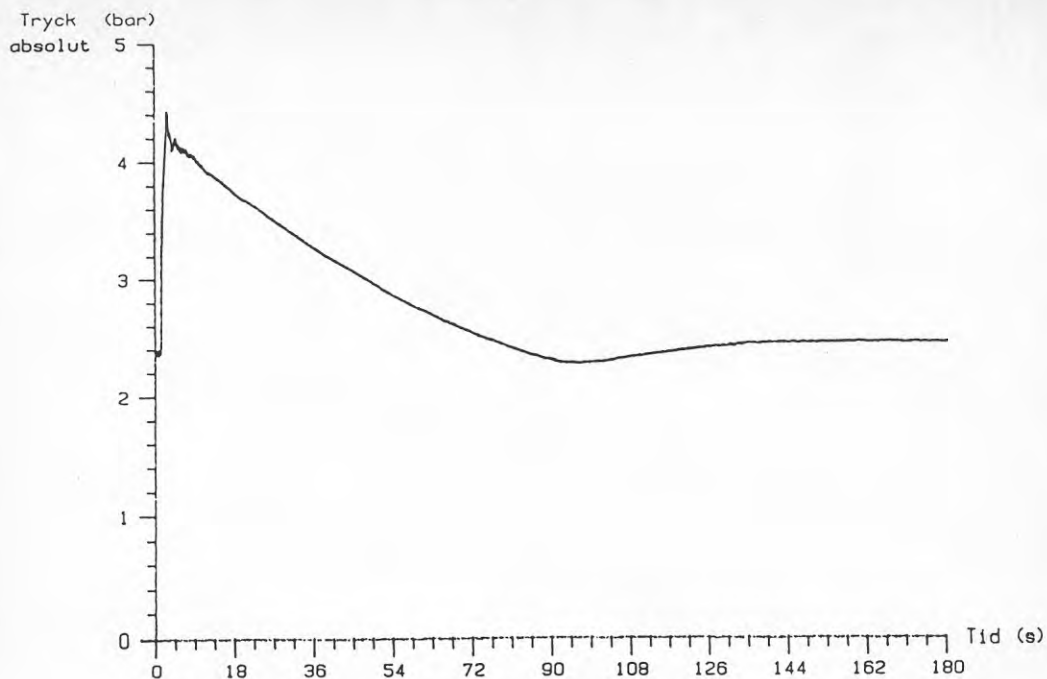


Fig. 47 Stopp av pump. Inkommande ledning FV-central.  
Nät drift.

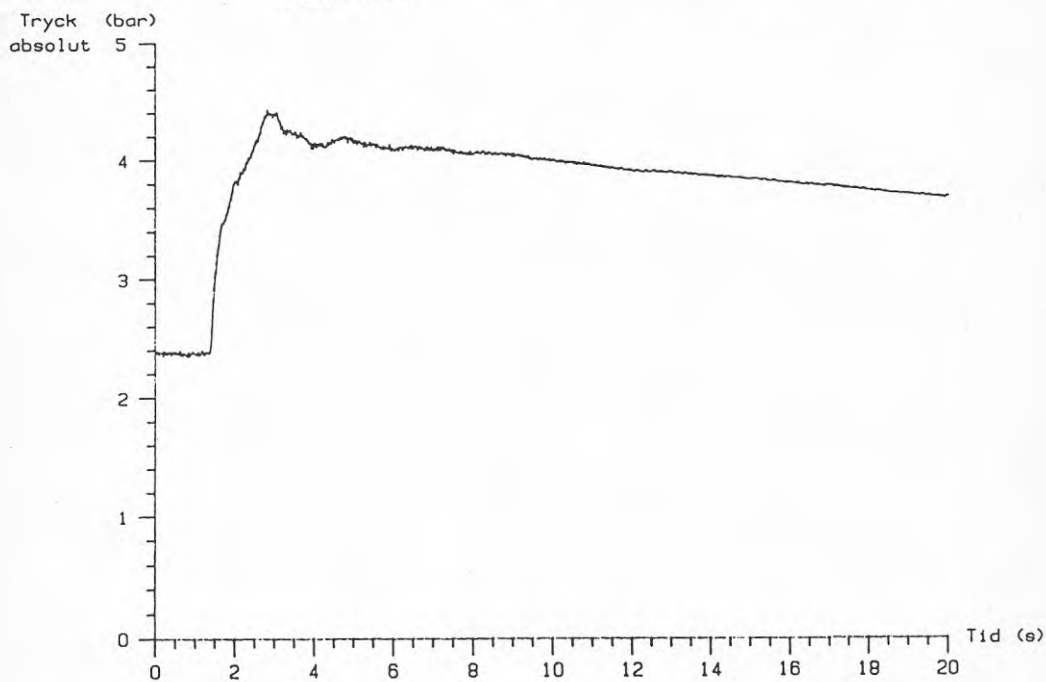


Fig. 48 Förstorad bild av fig. 47.



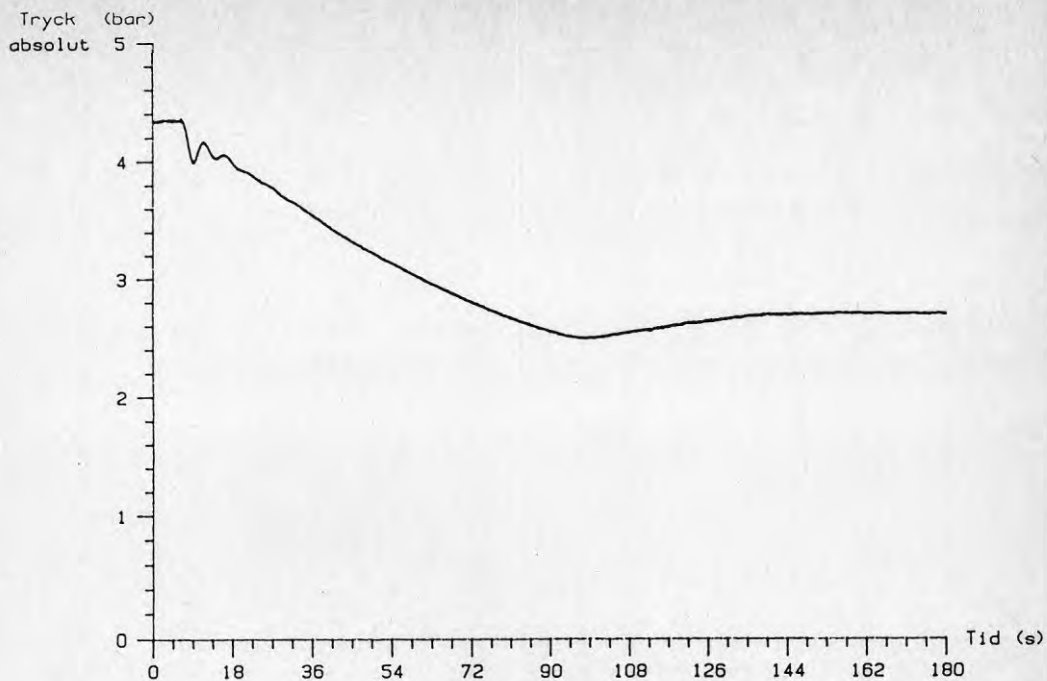


Fig. 49 Stopp av pump. Inkommande ledning till abonnent nr 2.

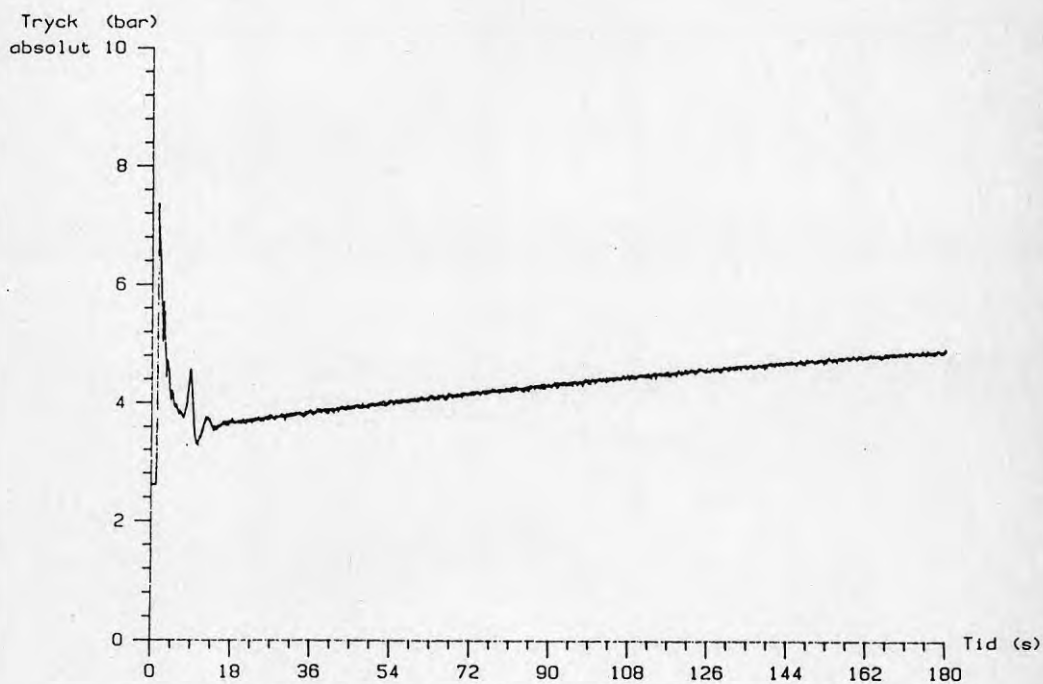


Fig. 50 Start av pump. Utgående ledning från FV-central.  
Nät drift.

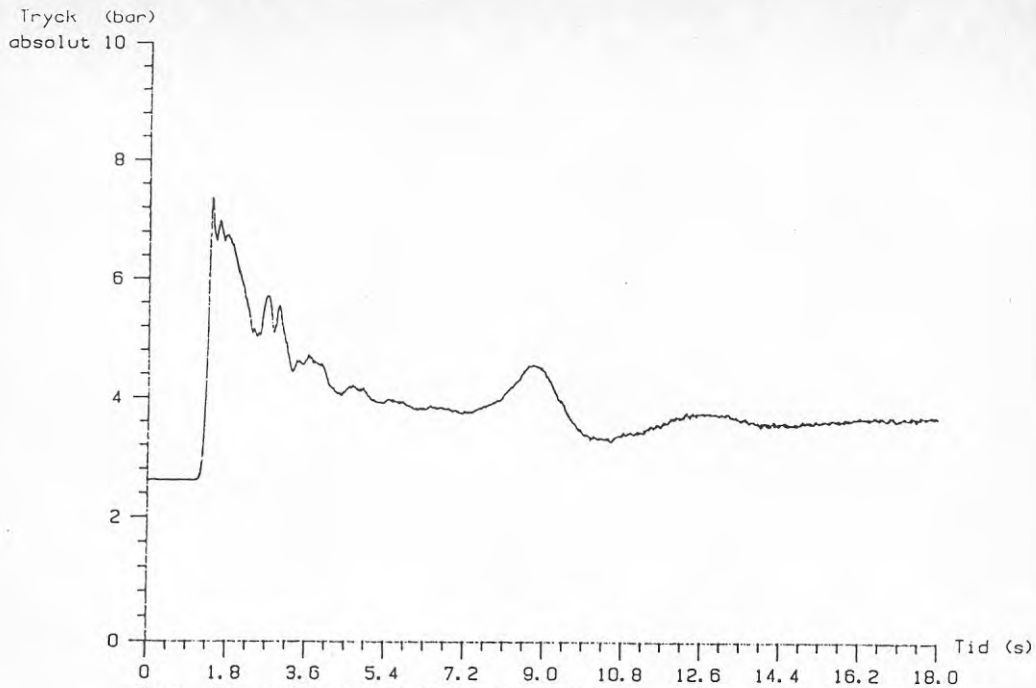


Fig. 51 Förstorad bild av fig. 50.

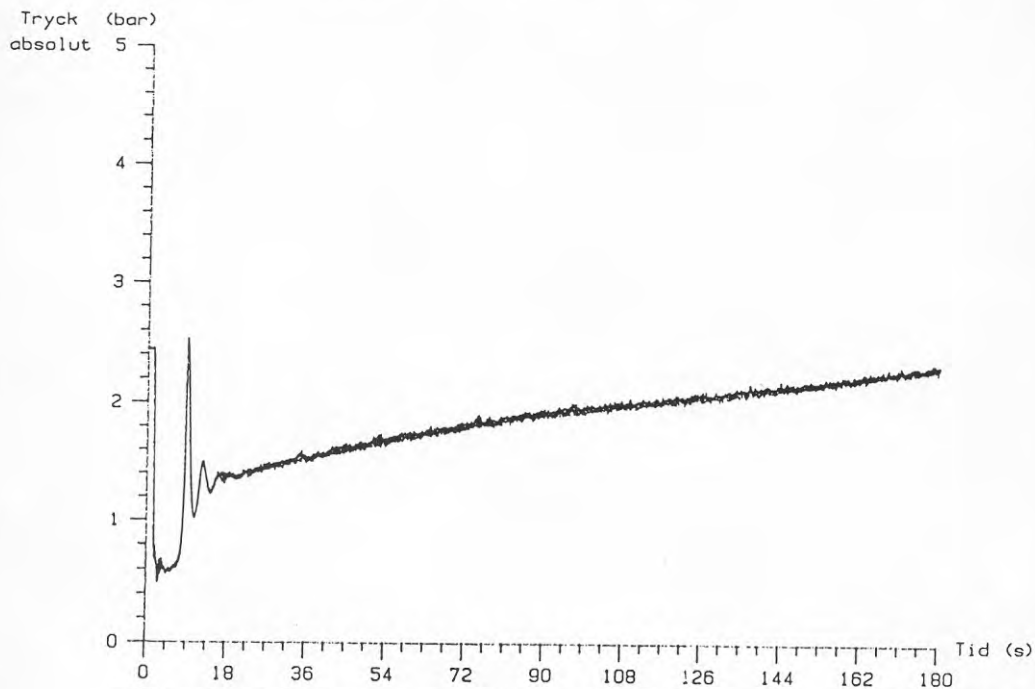


Fig. 52 Start av pump. Inkommande ledning FV-central. Nät drift.

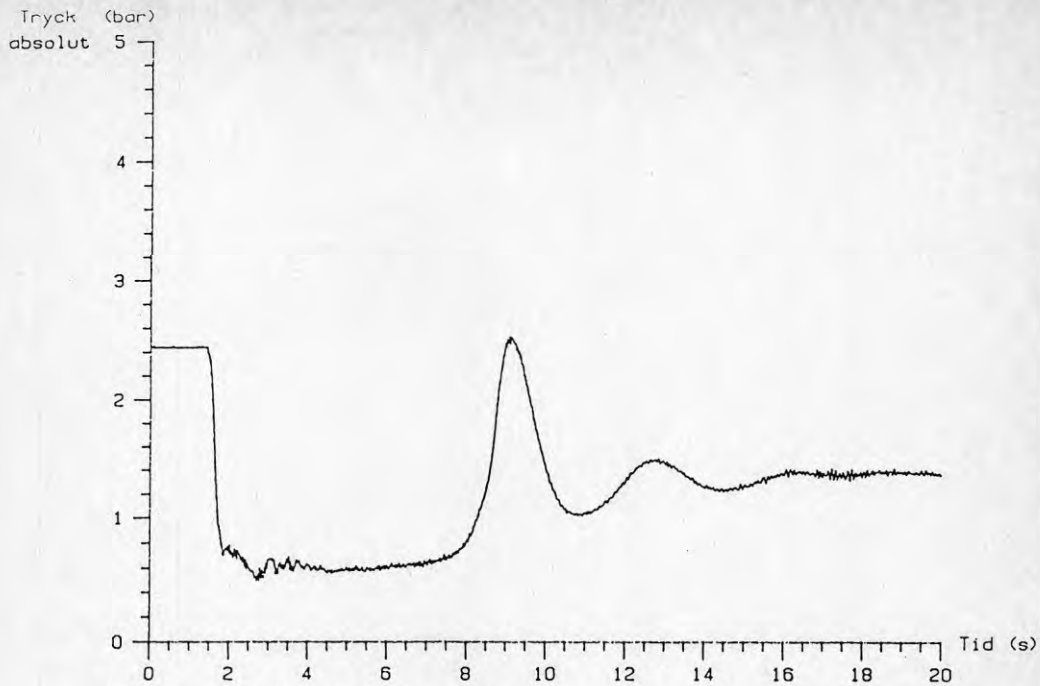


Fig. 53 Förstorad bild av fig. 52.

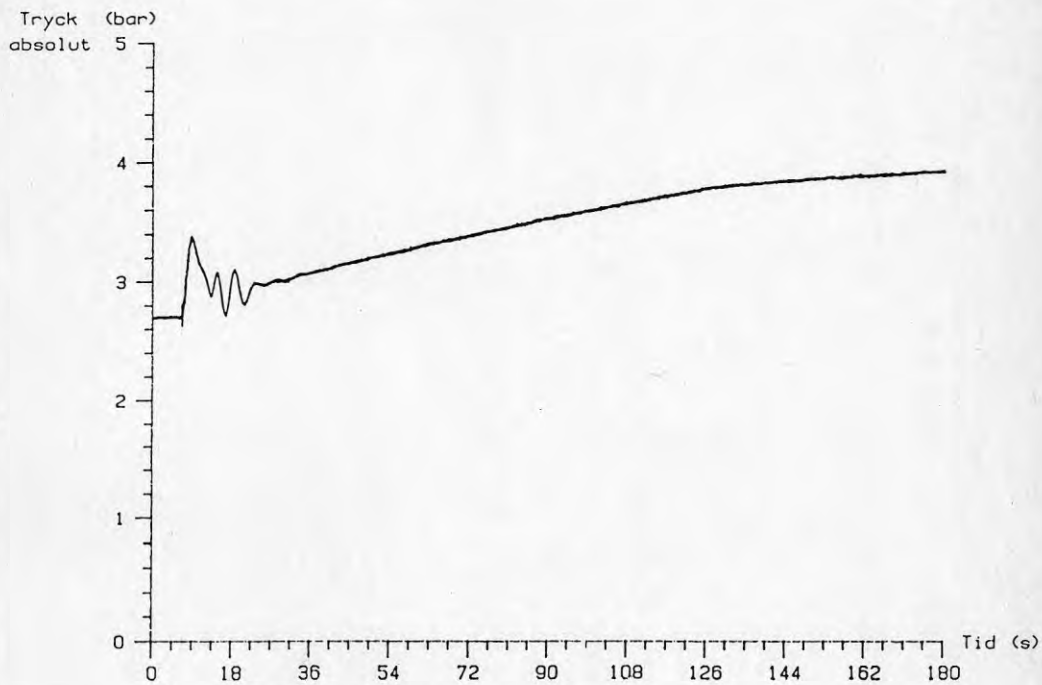


Fig. 54 Start av pump. Inkommande ledning till abonnent nr 2. Nät drift.

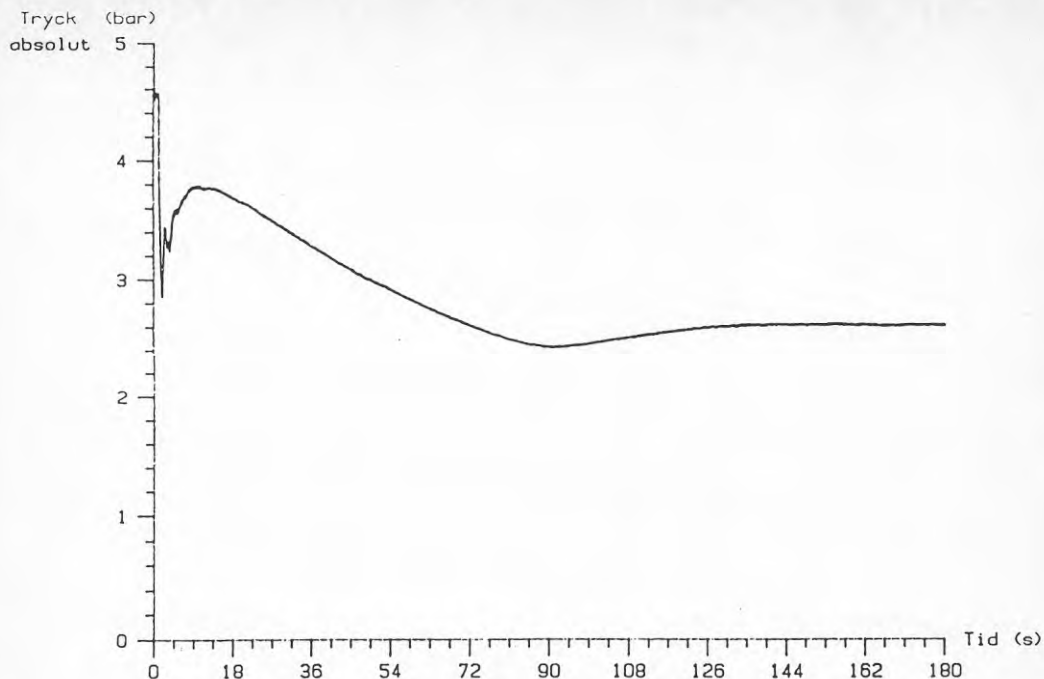


Fig. 55 Stopp av pump. Utgående ledning från FV-central.  
SAMI-drift.

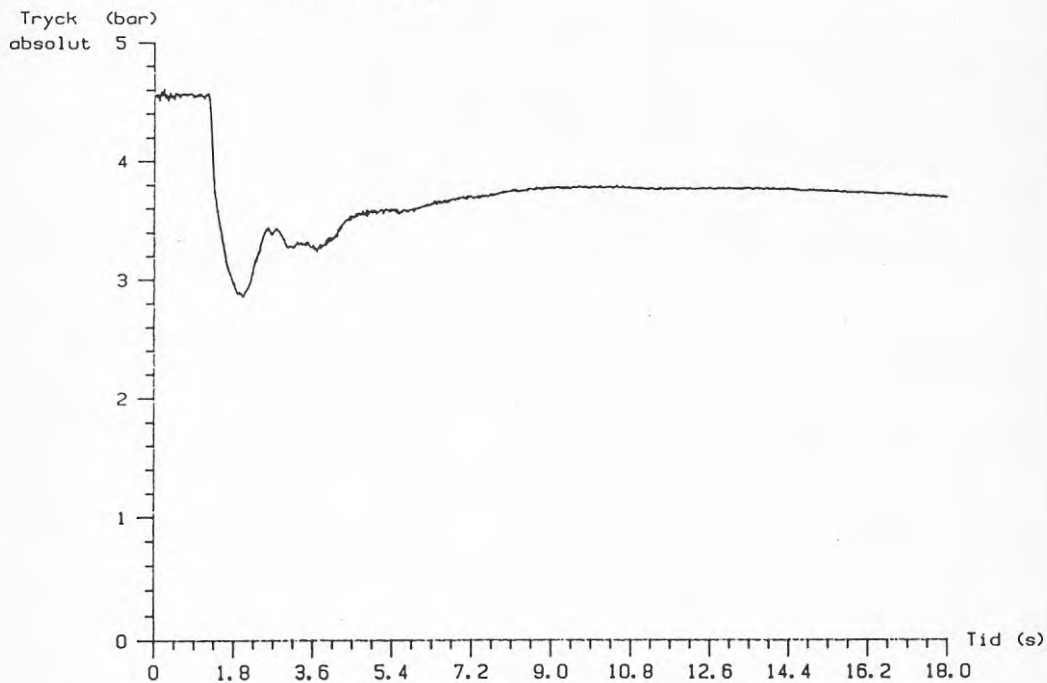


Fig. 56 Förstorad bild av fig. 55.

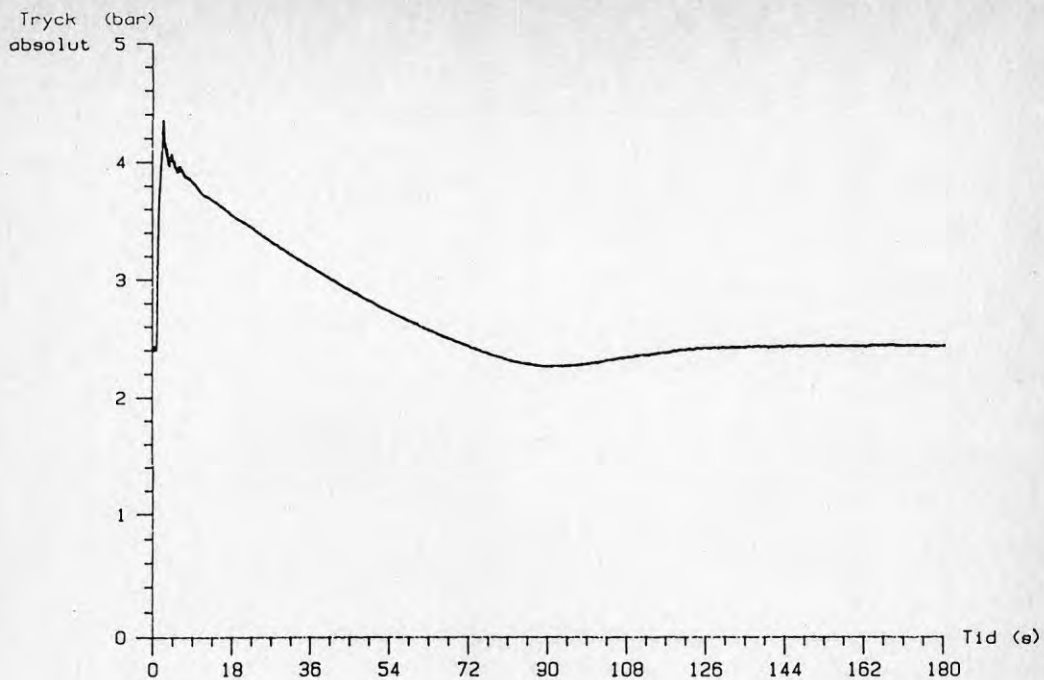


Fig. 57 Stopp av pump. Inkommande ledning FV-central.  
SAMI-drift.

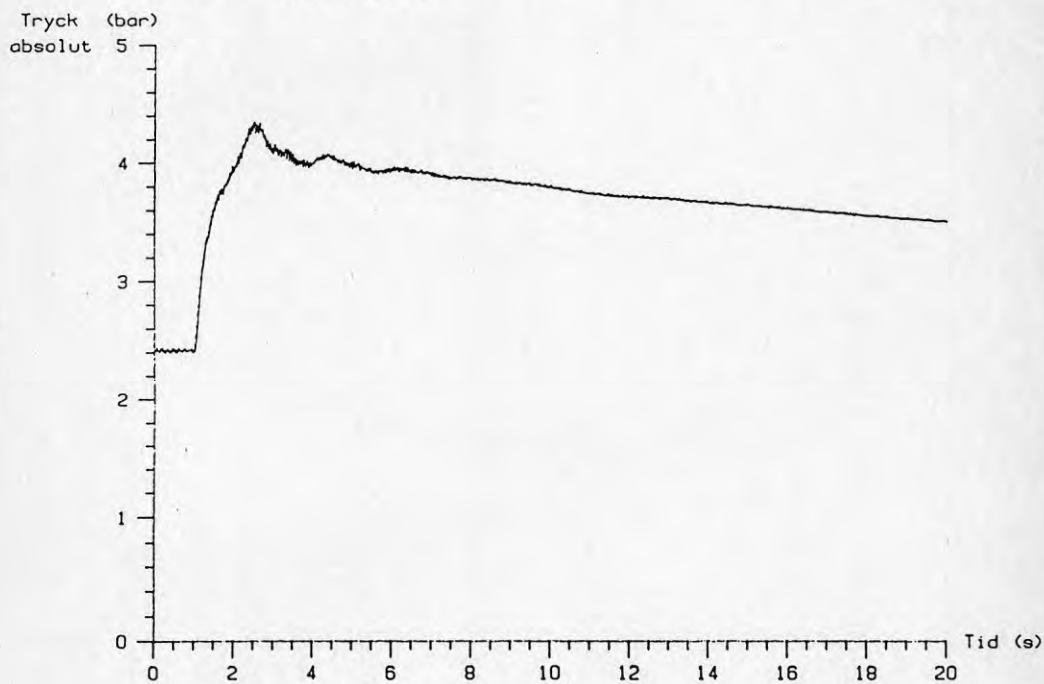


Fig. 58 Förstorad bild av fig. 57.

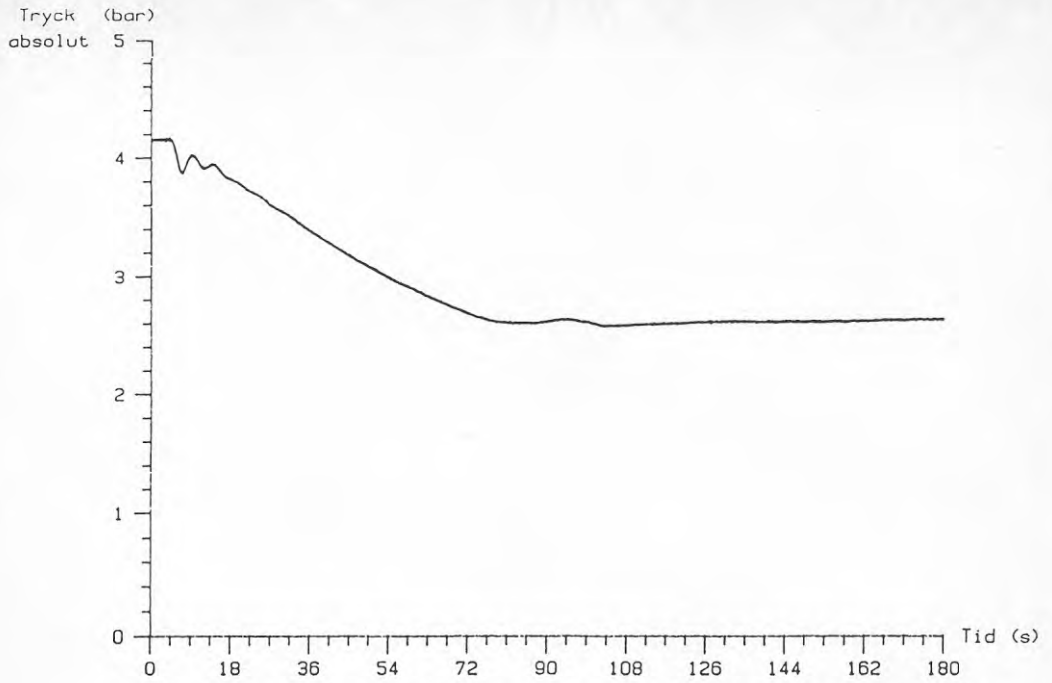


Fig. 59 Stopp av pump. Inkommande ledning till abonnent SAMI-drift.

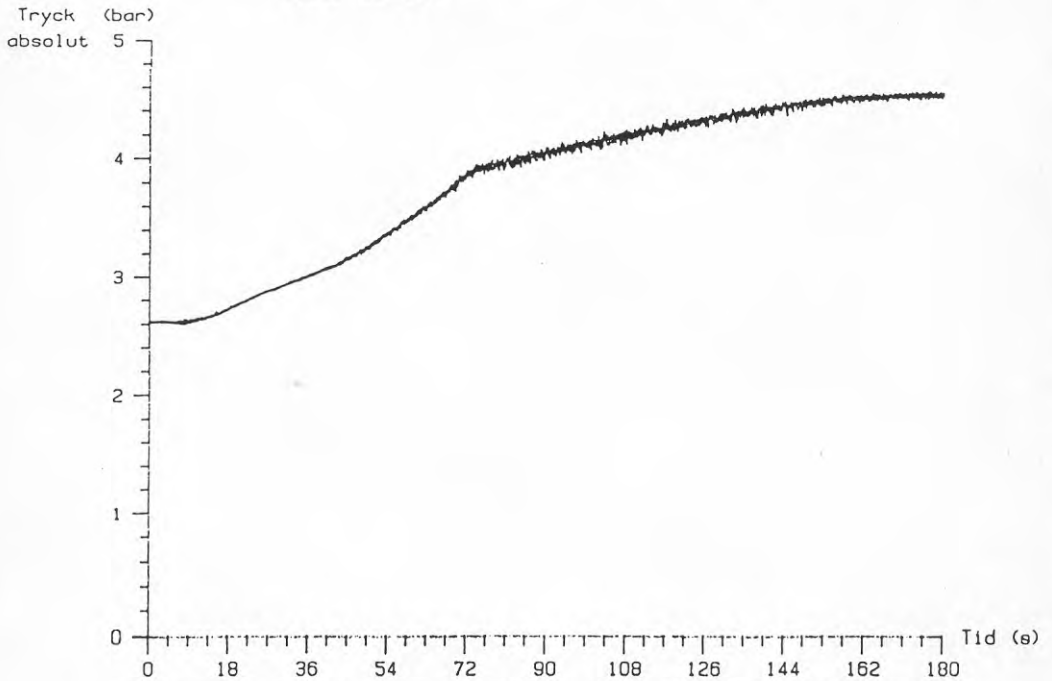


Fig. 60 Start av pump. Utgående ledning från FV-central. SAMI-drift.

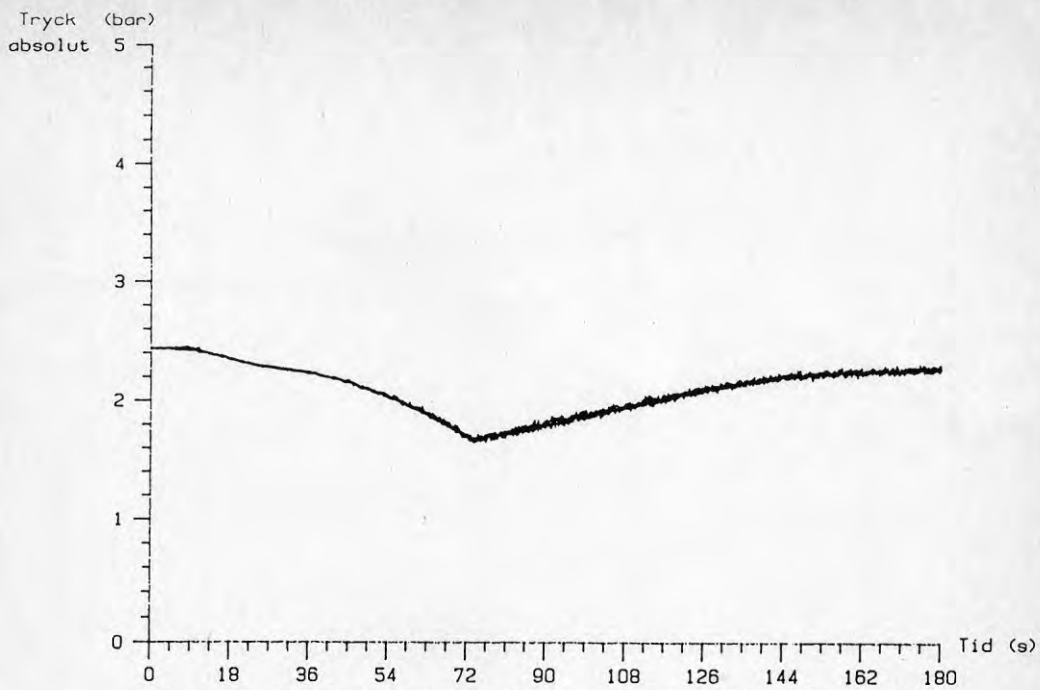


Fig. 61 Start av pump. Inkommande ledning FV-central.  
SAMI-drift.

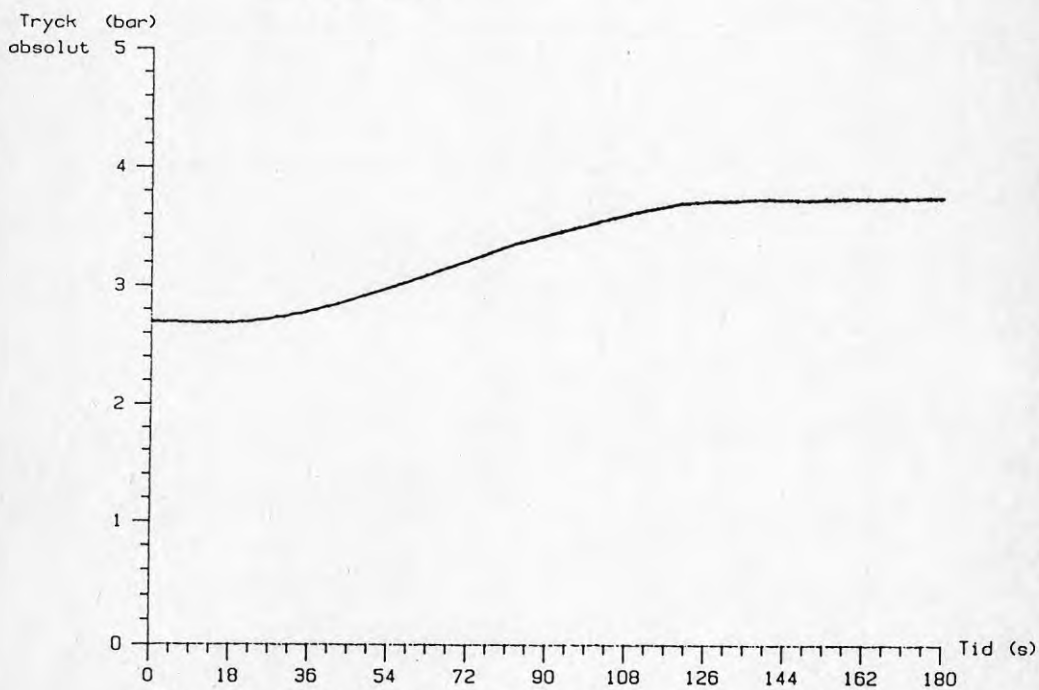


Fig. 62 Start av pump. Inkommande ledning till abonnent nr 2.  
SAMI-drift.

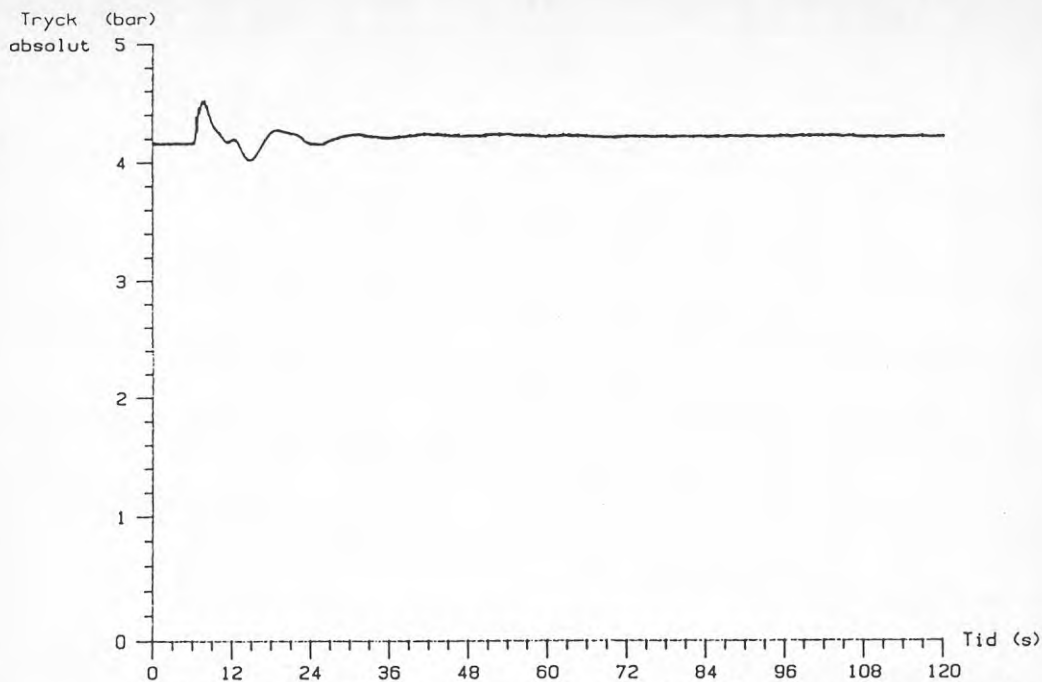


Fig. 63 Ventilstängning på utgående ledning från område 2.  
Mätning på inkommande ledning till abonnent nr 2.

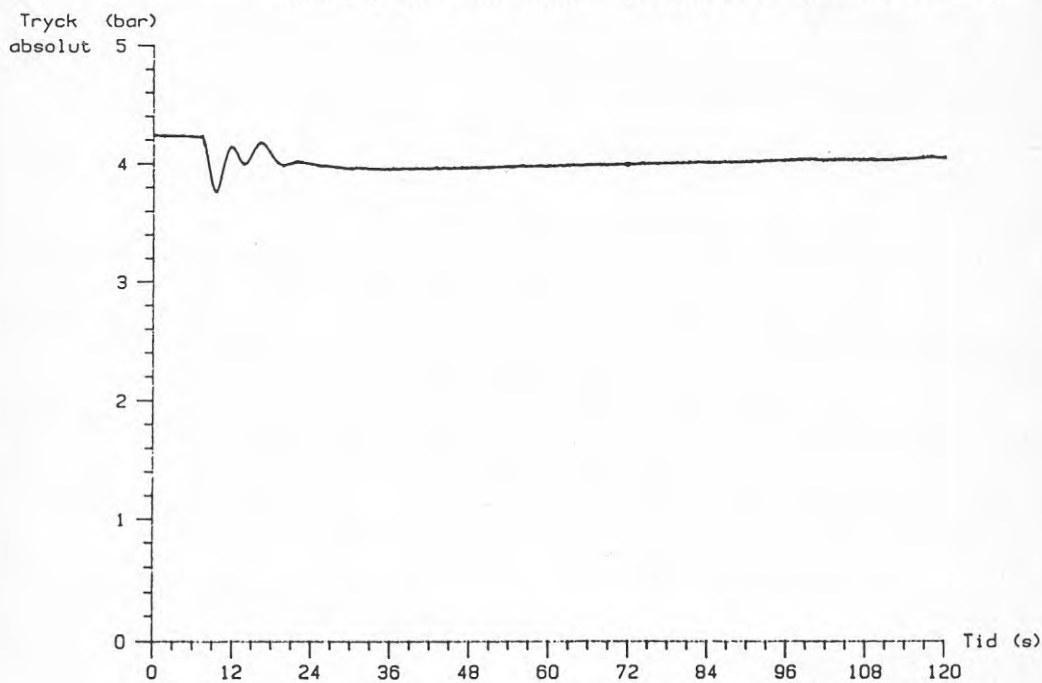


Fig. 64 Ventilöppning på utgående ledning från område 2.  
Mätning på inkommande ledning till abonnent nr 2.



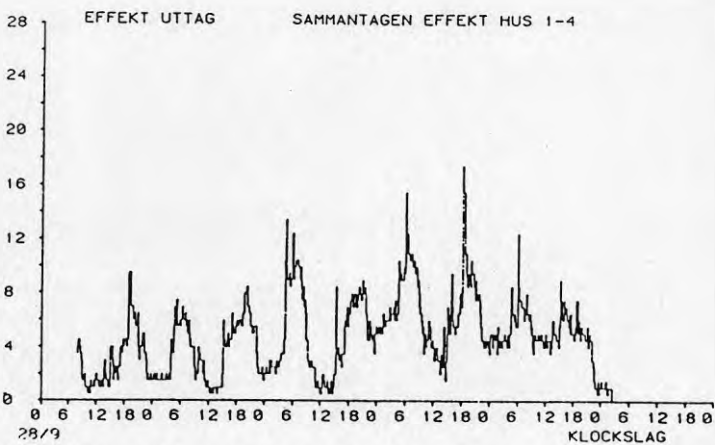
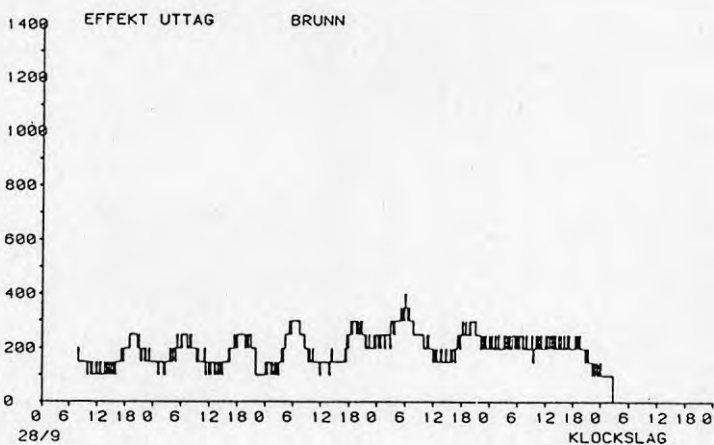
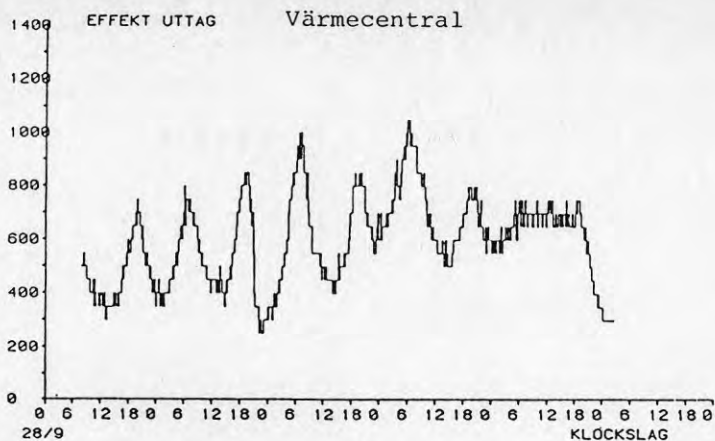


Fig. 65a Effekttuttag perioden 83-09-28--10-02  
Beräkningstid 12 min.

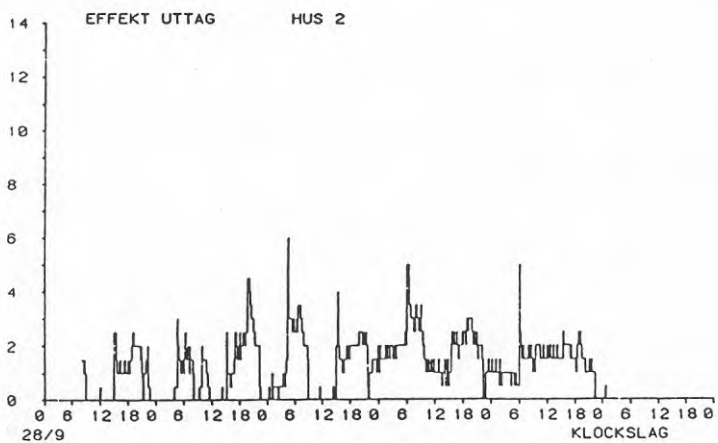
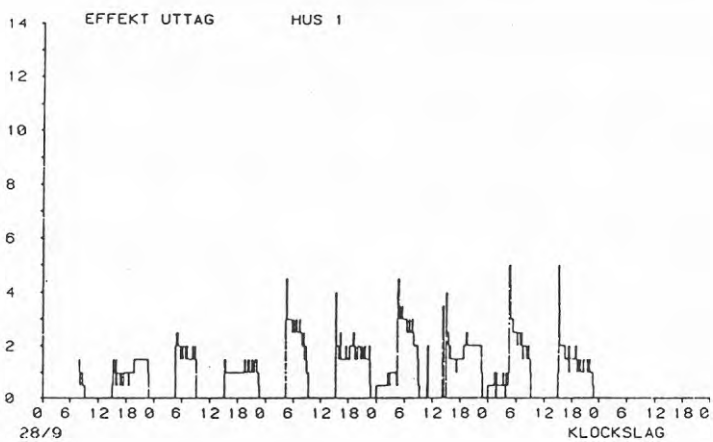


Fig. 65b

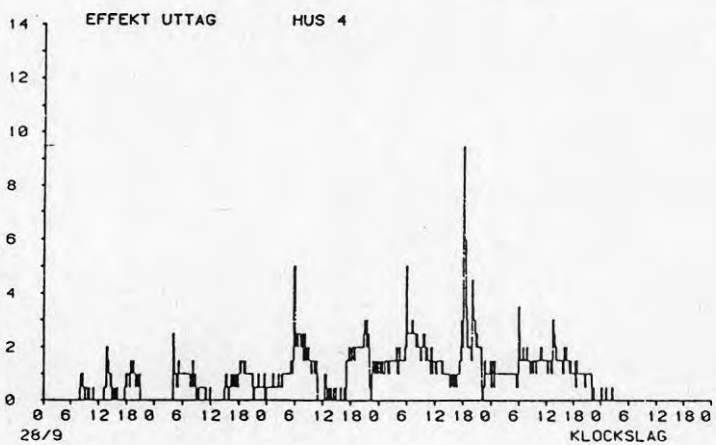
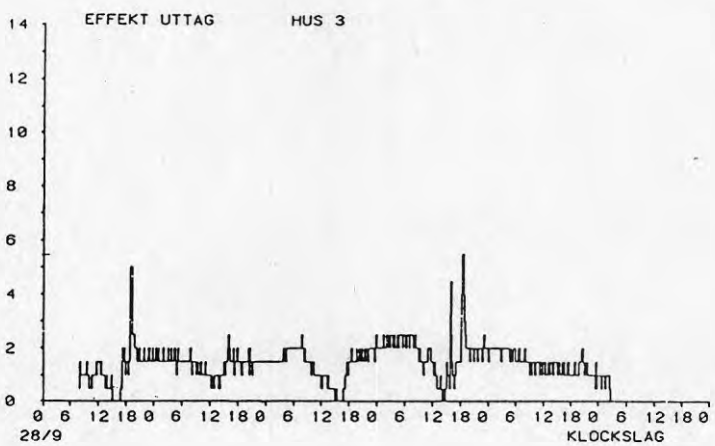


Fig. 65c

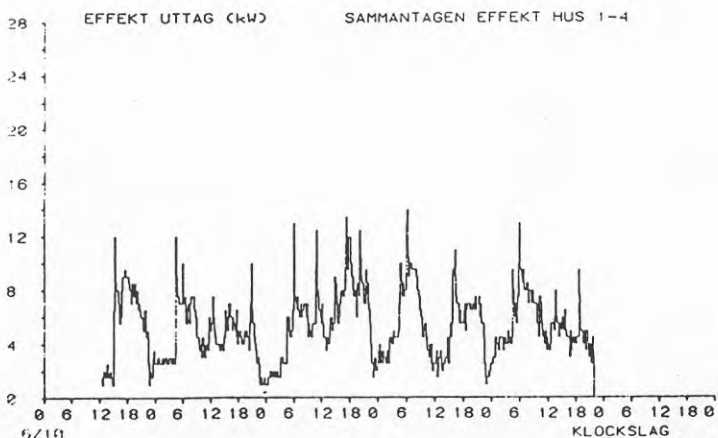
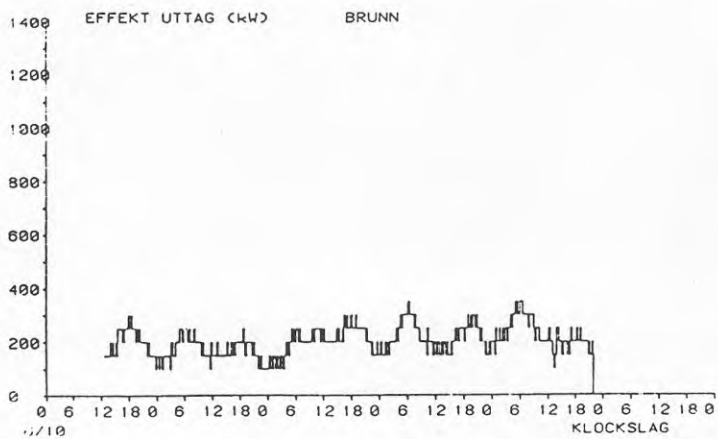
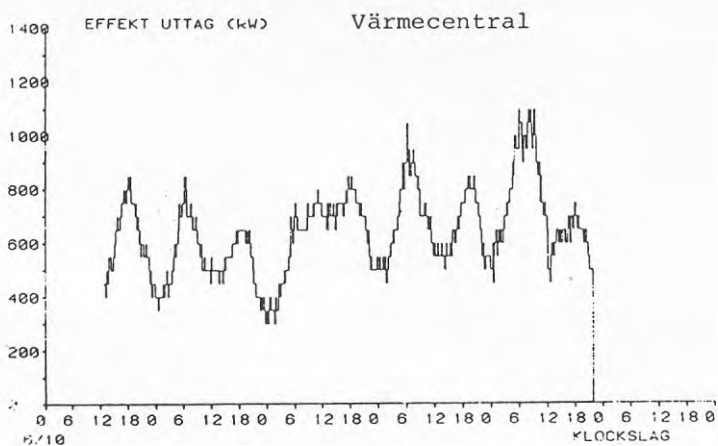


Fig. 66a Effektutttag perioden 83-10-06--10-10  
Beräkningstid 12 min.

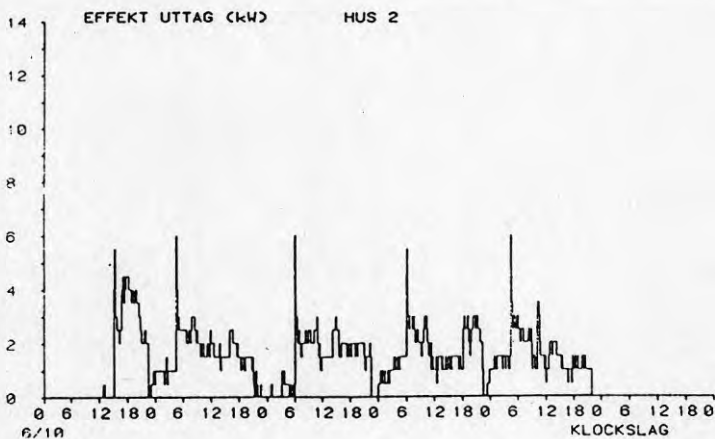
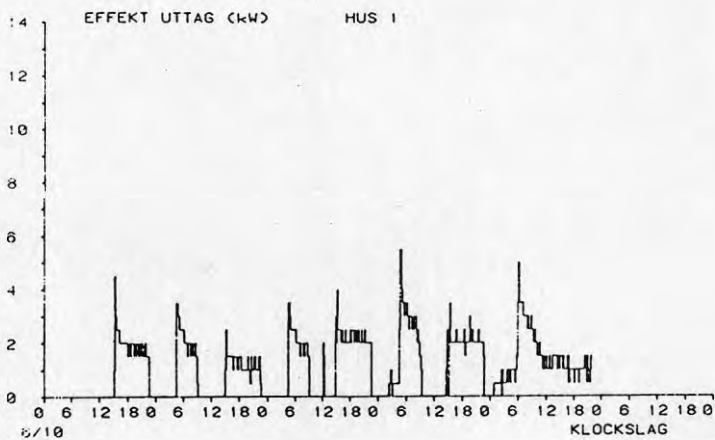


Fig. 66b

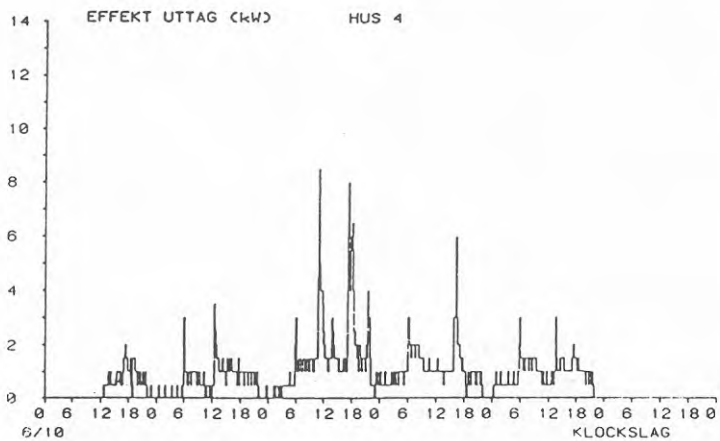
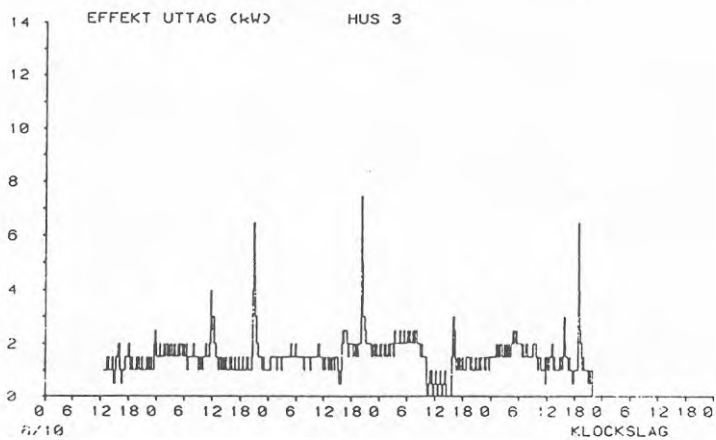


Fig. 66c







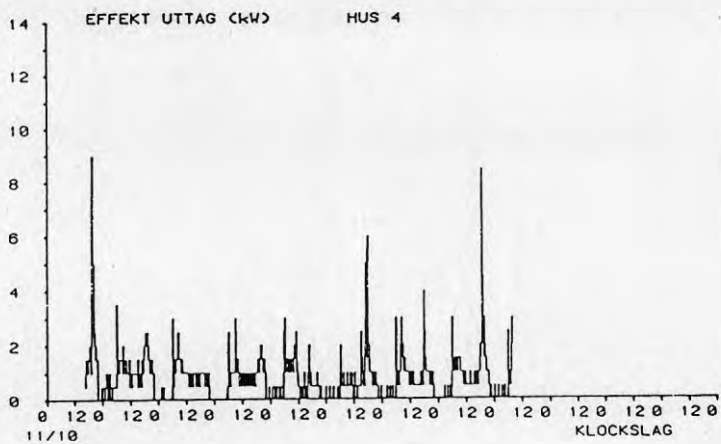
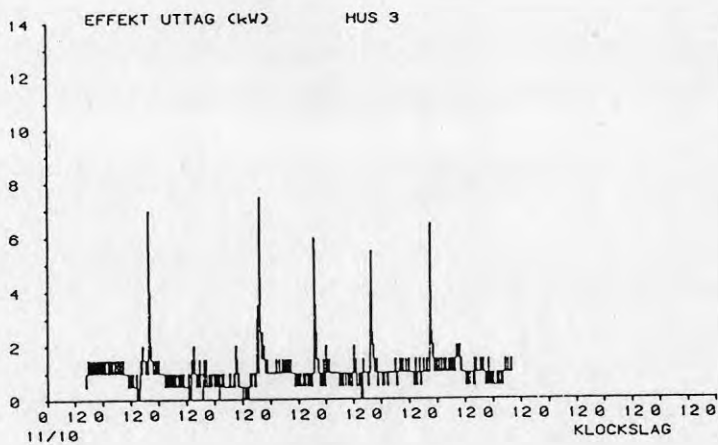


Fig. 67c



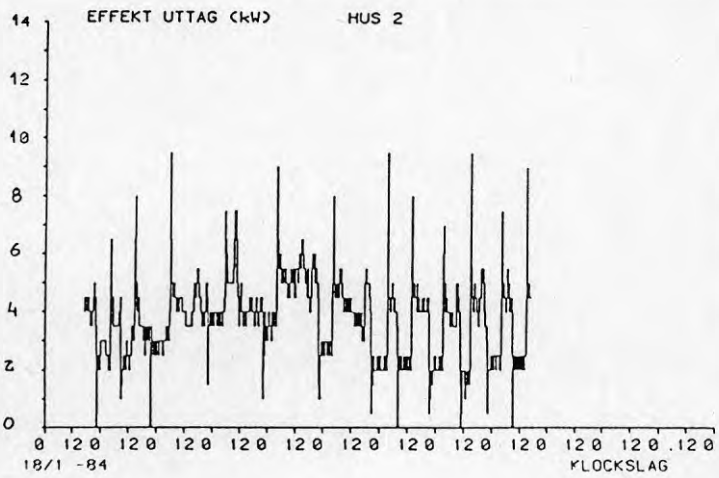
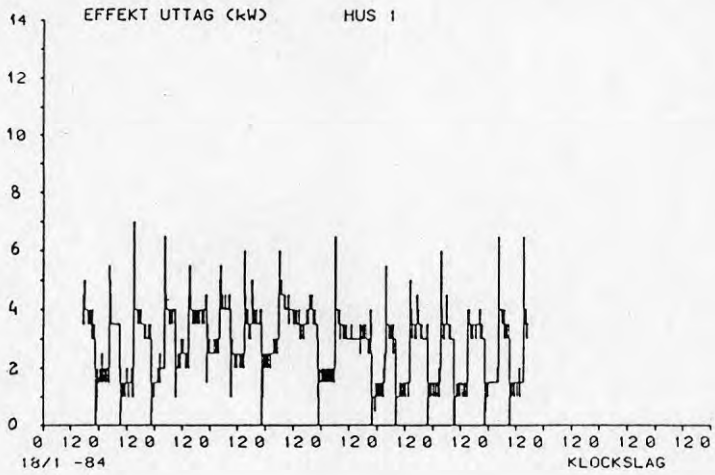


Fig. 68b



















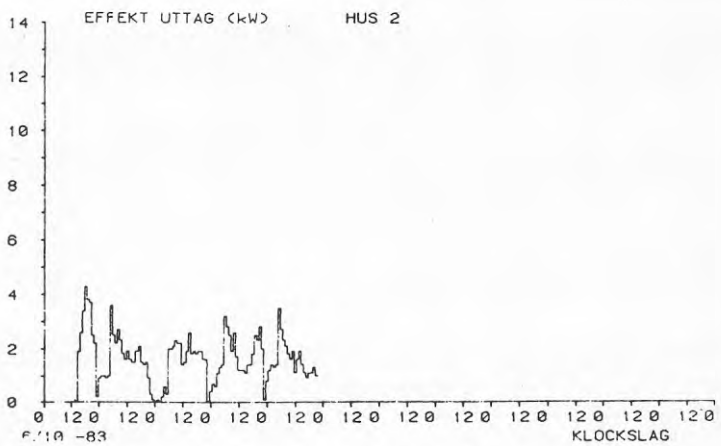
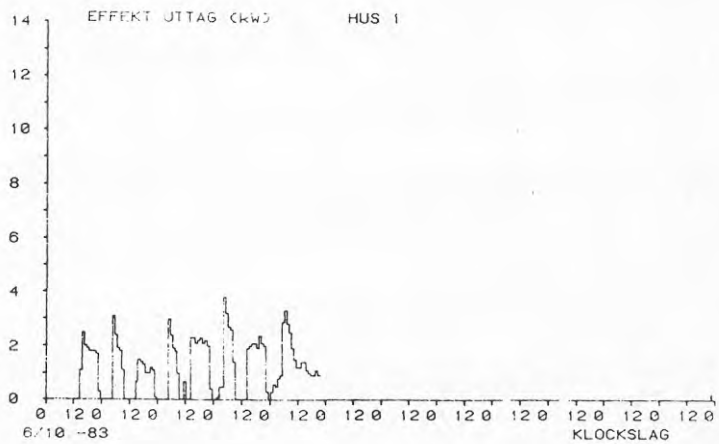


Fig 71b





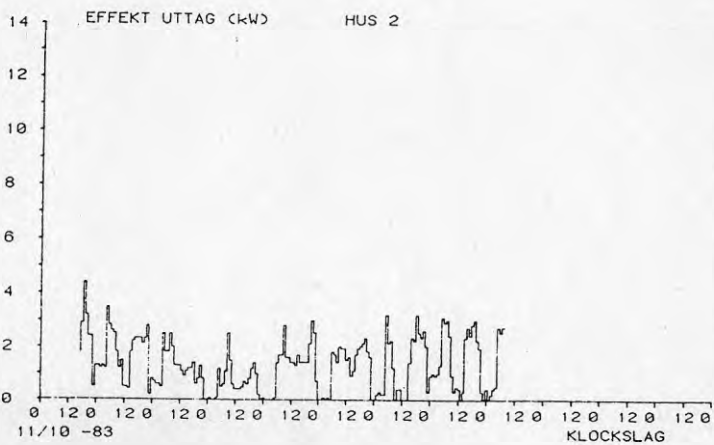
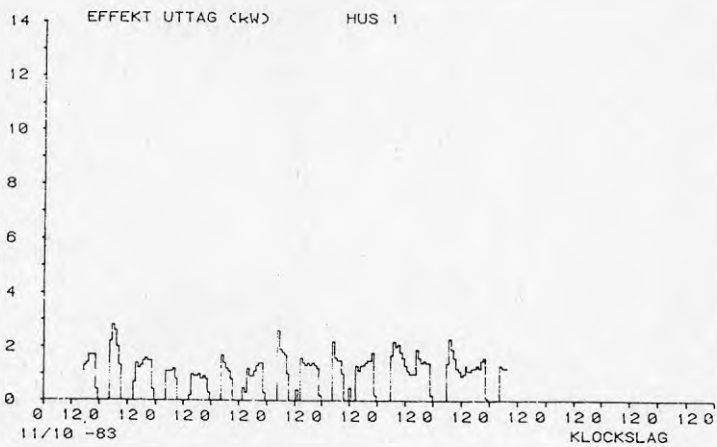


Fig 72b







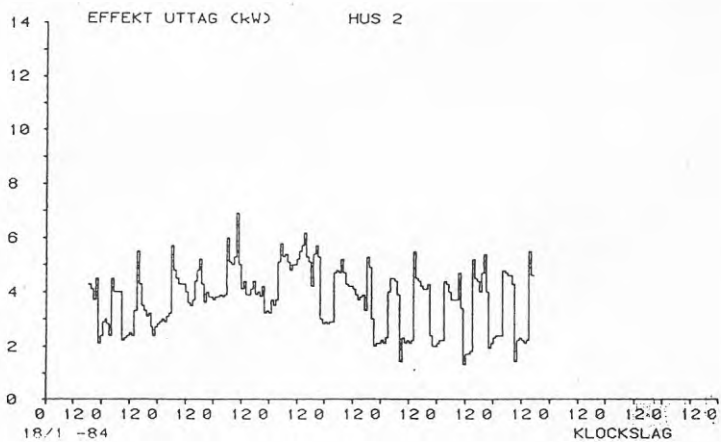
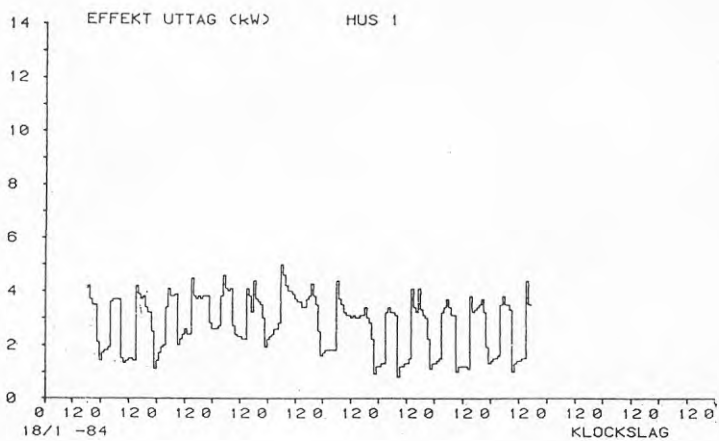


Fig 73b

















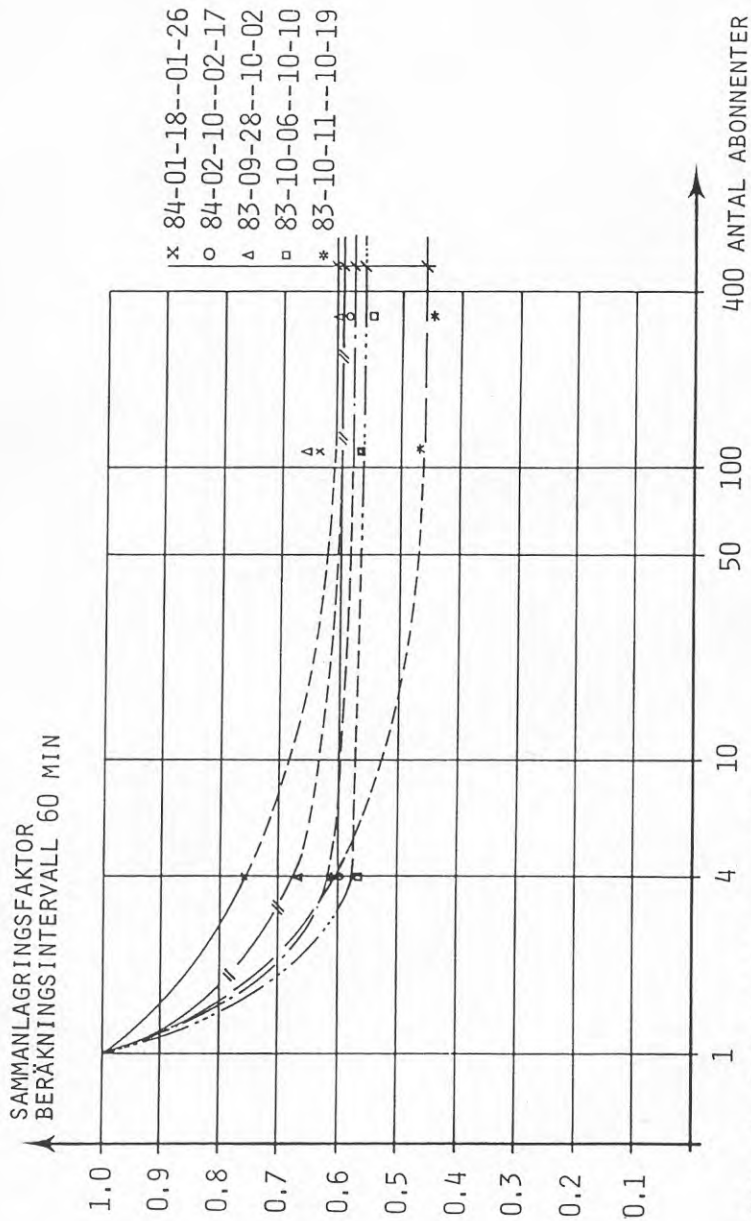


FIG. 76 SAMMANLAGRINGSFAKTOR  
FÖR MÄTPERIODER

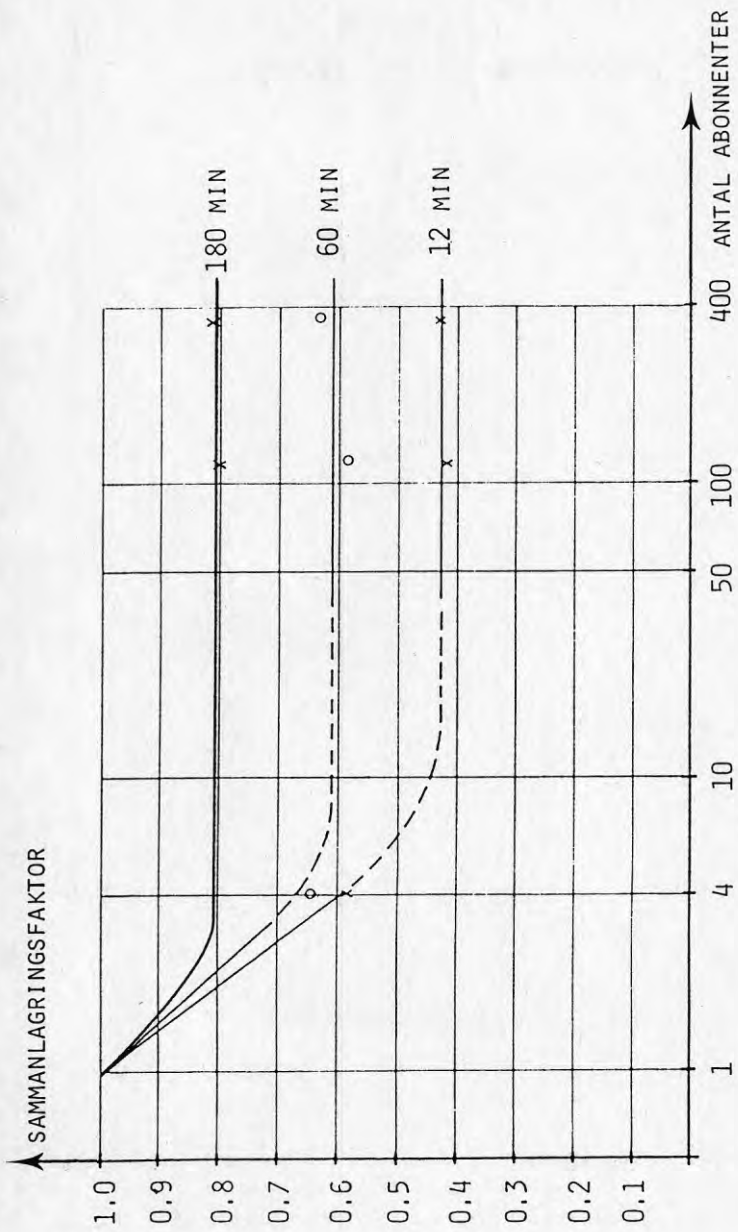


FIG. 77 JÄMFÖRELSE SAMMANLAGRINGSFAKTOR  
MÄTPERIOD 84-02-10--02-17

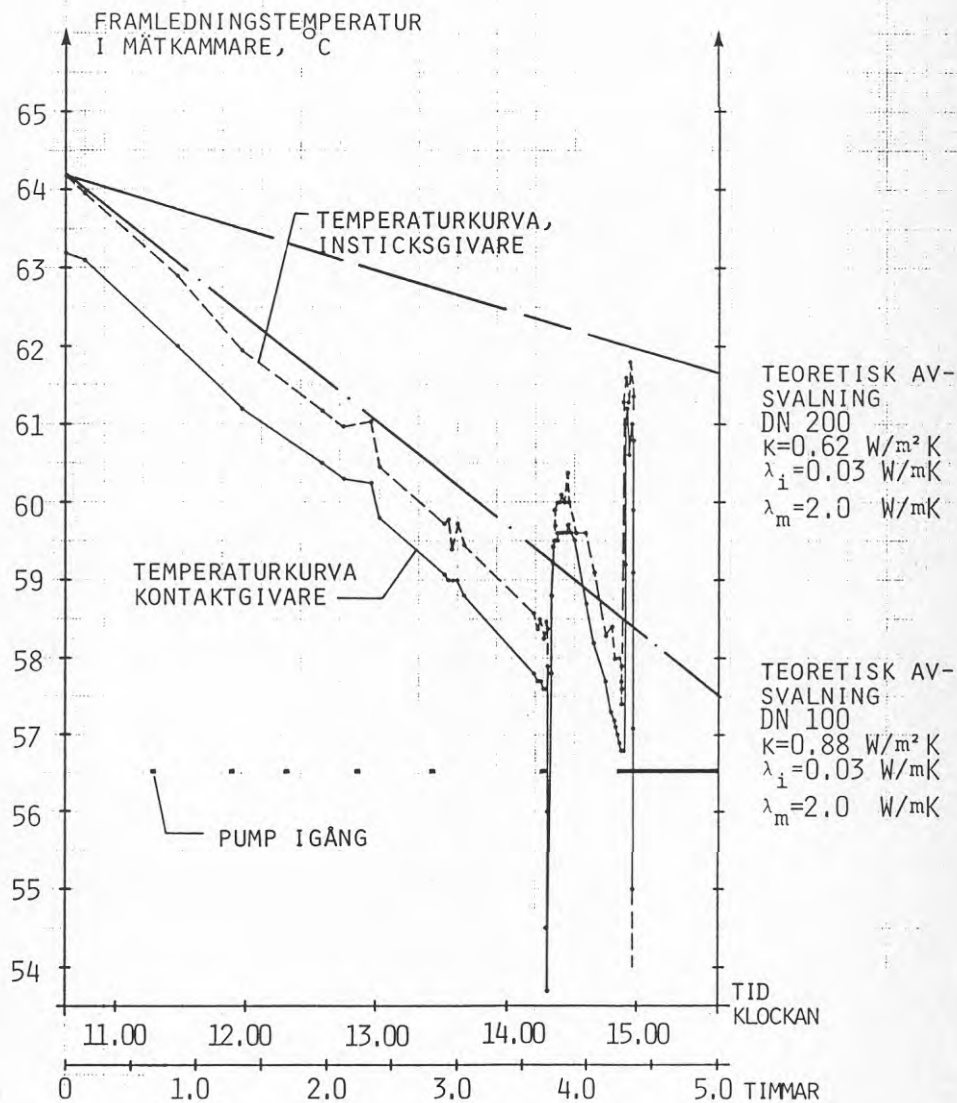


FIG. 78 MÄTNING AV AVSVALNINGSFÖRLOPP

Mätutrustning i mätpunkter för energimätningar

Abonnenter

Flödesmätare	SVMV -5 -1 -5 -1 -20
Temperaturgivare	SVMT Modell 01
Integreringsverk	SVME 61

Mätkammare

Flödesmätare	SVMV 1 -100 -640 -6
Temperaturgivare	SVMT 252 -01 PT 100
Integreringsverk	SVME 62 -360 -121
Mätvärdesomvandlare	SVMZ 3 -6 -80

Värmecentral

Flödesmätare	Fisher & Porter MAG/X dim 150
Temperaturgivare	PT 100 Hugo Tillqvist 75 sr $\frac{1}{2}$
Integrator	Hartman & Braun TZIF 3
Integreringsverk	Hugo Tillqvist

BILAGA: Beräkning av värmeövergångstalet  $k_i$  för en kulvertdimension (gäller endast för direkt i marken förlagda ledningar)

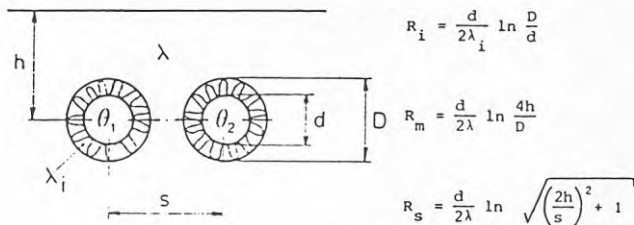
Värmeövergångstalet  $k_i$  för en kulvertdimension ges av:

$$k_i = \frac{1}{R_i + R_m + R_s}$$

- där  $R_i$  = värmemotstånd, isolering [m<sup>2</sup>K/W]  
 $R_m$  = värmemotstånd, mark [m<sup>2</sup>K/W]  
 $R_s$  = värmemotstånd, mark: tillägg för sammanfallande temperaturfält från rören. [m<sup>2</sup>K/W]

Värmemotstånden hänförs till medierörets mantelytor och inte till rörens längd, som är mycket vanligt i litteratur om värmeförluster från rörledningar.

Värmemotstånden beräknas enligt

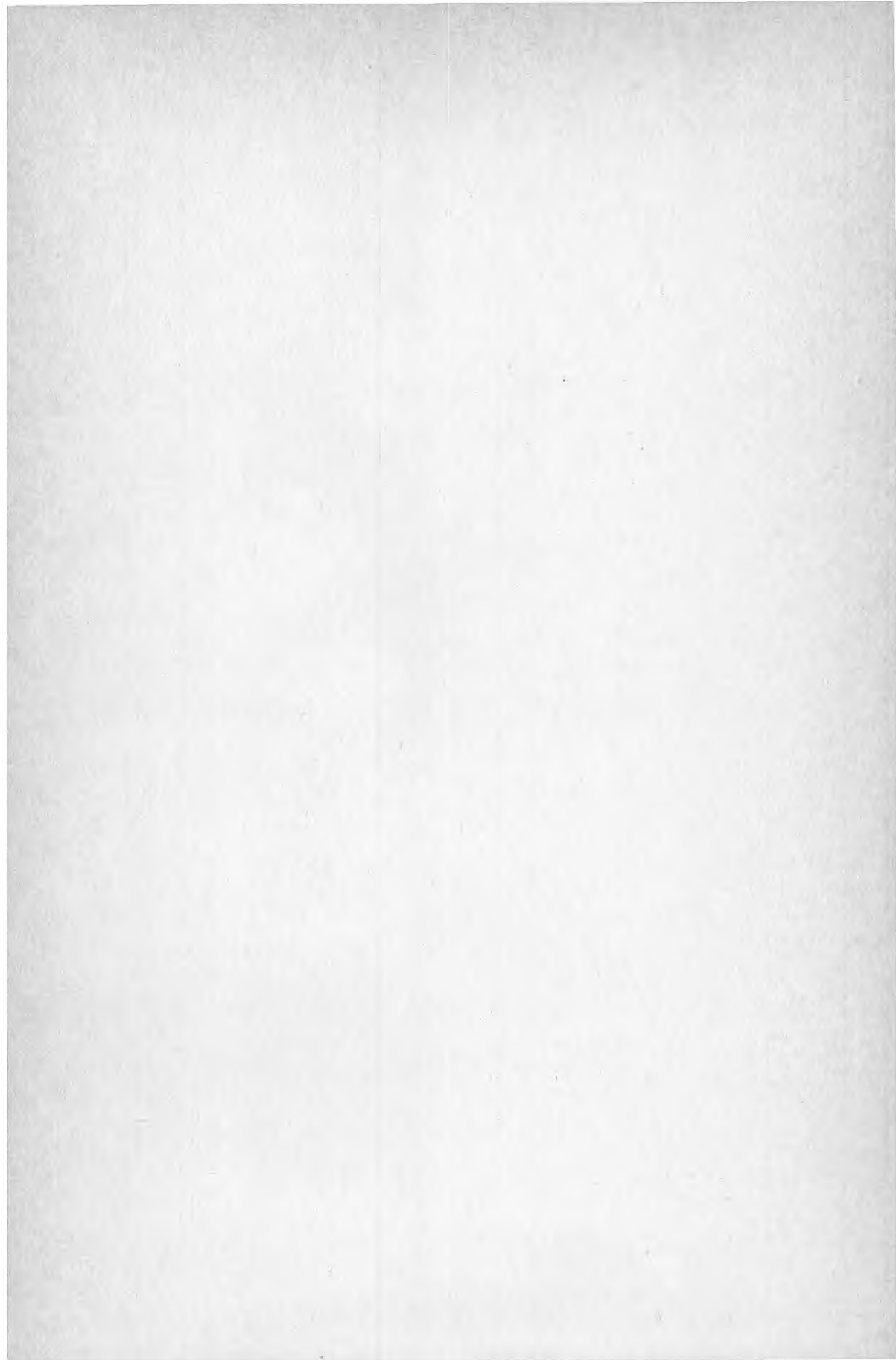


Beteckningarna  $\lambda$  och  $\lambda_i$  avser värmekonduktivitet i mark respektive isolering. Uttrycken för värmemotstånden  $R_m$  och  $R_s$  är approximativa och kan användas när man behandlar välisolerade ledningar.

Q <sub>in</sub> MWh	Variabel	Q <sub>förlust</sub>		Q <sub>såld, uppm.</sub>		Q <sub>nät</sub> fel i arb. centr. = Q <sub>såld</sub> - Q <sub>såld, uppm.</sub> (4924 MWh)				Anmärkning
		% av Q <sub>in</sub>	MWh	% av Q <sub>in</sub>	MWh	% av Q <sub>in</sub>	MWh	% av Q <sub>s, ng</sub>	MWh	
6325	-	22.1	1401	77.8	4924	-	-	-	-	
6325	① λ <sub>iso</sub> 10% lägre	20.1	1275	79.8	5050	2.0	2.6	126	126	
6325	② λ <sub>m</sub> 1.0 W/mK	20.8	1316	79.2	5005	1.4	1.7	85	85	
6325	③ λ <sub>iso</sub> + λ <sub>m</sub>	19.0	1201	81.0	5123	3.2	3.9	199	199	
6325	④ 5% lägre systemtemp	19.9	1261	80.0	5064	2.2	2.8	140	140	
6325	⑤ totalt 3 + 4	17.0	1075	83.0	5250	5.2	6.2	326	326	Mätfel i abonnentcentr.
6326	⑥ Antag 10% mätfel	14.4	909	85.6	5416	7.8	10	492	492	
5333	⑦ Valt serie III isolering	15.6	909	84.4	4924	-	-	0	0	Antar 0 % undermättn.
6269	⑧ Valt en kulvertdim mindre generellt	21.5	1345	78.5	4924	-	-	0	0	Antar 0 % undermättn.









**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 800382-3  
från Statens råd för byggnadsforskning till VBB AB,  
Malmö.**

**R60: 1985**

**ISBN 91-540-4394-8**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6705060**

**Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 50 kr exkl moms**