



Friktionsnedsättning i fjärrvärmenät genom tillsats av tensider

En teknisk och ekonomisk bedömning

Henrik Bjurström och Lars-Åke Cronholm

Friktionsnedsättning i fjärrvärmenät genom tillsats av tensider - En teknisk och ekonomisk bedömning

Henrik Bjurström och Lars-Åke Cronholm
Fjärrvärmeutveckling FVU AB

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING
BOX 1765 - 111 87 STOCKHOLM - TEL. 08/790 06 00
Juli 1994
ISSN 0282-3772

RAPPORT FVU-93/10

1994-07-01

**FRIKTIONSNEDSÄTTNING I FJÄRRVÄRMENÄT GENOM
TILLSATS AV TENSIDER**

En teknisk och ekonomisk bedömning

Henrik Bjurström och Lars-Åke Cronholm

Postadress – Postal address

Fjärrvärmeutveckling FVU AB
S-61182 NYKÖPING
SWEDEN

Telefon – Phone

Nat 0155-22 11 60
Int +46 155 22 11 60

Telefax

Nat 0155-26 30 58
Int +46 155 26 30 58

FRIKTIONSNEDSÄTTNING I FJÄRRVÄRMENÄT GENOM TILLSATS
AV TENSIDER - En teknisk och ekonomisk bedömning.

DRAG REDUCING ADDITIVES IN DISTRICT HEATING SYSTEMS
Feasibility study.

Henrik Bjurström och Lars-Åke Cronholm

HUVUDINNEHÅLL

Föreliggande rapport redovisar tekniska och ekonomiska förutsättningar för att tillsätta friktionsnedsättande tensider i fjärrvärmesystem.

Rapporten behandlar företrädesvis möjligheterna att reducera driftkostnaderna genom minskat pumparbete i befintliga nät. Möjligheterna att minska kulvertinvesteringen vid nyetablering eller för system som har kapacitetsbegränsningar i nätet värderas ej, men med friktionsnedsättande tillsatser finns det möjligheter att leverera samma värmeeffekt med reducerad kulvertdimension.

Projektet har genomförts i nära samarbete med Stockholm Energi AB. Simuleringsberäkningarna har genomförts tillsammans med Universitét Dortmund.

Fjärrvärmeutveckling FVU AB



Bengt Ivung

KEY WORDS

District heating, drag reducing additives, feasibility study, computer simulation, cost reduction.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	2
Figur- och tabellförteckning.	5
Sammanfattning	8
Summary	11
1. Tensidbaserade tillsatser och allmänna förutsättningar för projektet.	12
2. Stockholm Energi ABs västra distrikt - Hässelbynätet.	14
2.1 Produktions- och nätbeskrivning.	14
2.2 Driftdata.	16
2.3 Val av representativa driftpunkter.	19
3. Förutsättningar samt resultat från datorsimuleringen.	22
3.1 Validering av datormodell med kontrollberäkningar.	22
3.2 Simulering av en driftsäsong.	24
3.3 Friktionsnedsättande tillsatser.	25
3.3.1 Driftegenskaper för Habon G och Dobon G.	25
3.3.2 Stabilitet och koncentration av tensidbaserade tillsatser.	26
3.4 Beräknade tryckfallsreduktioner med friktionsnedsättande tillsatser.	28
3.4.1 Referensfall med produktionsanläggningar placerade ute i nätet.	28
3.4.2 System med fri produktionsfördelning.	30
3.4.3 System med centralt placerade produktionsanläggningar.	31
4 Ekonomisk analys.	37
4.1 Grundläggande förutsättningar.	37
4.1.1 Fjärrvärmesystemets effekt- och energibalans.	38
4.1.2 Produktionskostnad för levererad energi och energi till distributionspumpar.	40
4.1.3 Prisbild på friktionsnedsättande tillsatser.	40
4.1.4 Koncessionsansökan för användande av tensider i fjärrvärmesystem.	41
4.1.5 Omsättning av fjärrvärmevatten.	42
4.1.6 Doserings- och övervakningsutrustning.	43
4.1.7 Nedbrytning av tensid och rening av sönderfallsprodukter.	44

4.2	Ekonomiskt utbyte av att tillsätta tensider i fjärrvärmewattnet.	45
4.2.1	Lönsamhet vid centralt placerade produktionsanläggningar - ideala förhållanden.	47
4.2.2	System med produktionsanläggningar placerade ute i nätet, referensfall och fri fördelning - ideala förhållanden.	48
4.2.3	Sammanfattande bedömning vid ideala nätförhållanden.	49
4.3	Känslighetsanalyser.	50
4.3.1	Spädvattenomsättning.	51
4.3.2	Förändrat pris på elenergi i förhållande till övriga bränslen.	54
4.3.3	Förändrade framledningstemperaturer.	56
5.	Tekniska och ekonomiska möjligheter med friktionsnedsättande tillsatser i Hässelbynätet.	58
5.1	Tekniska och ekonomiska möjligheter i 1987 års system.	58
5.2	Tekniska och ekonomiska möjligheter i 1993 års system.	59
6.	Slutsatser och möjligheter.	61
6.1	Möjligheter med friktionsnedsättande tillsatser.	61
6.2	Investeringsbehov samt årliga driftkostnader.	64
6.3	Kommentarer och diskussion av erhållna resultat.	66
6.4	Möjligheter i Hässelbysystemet.	68
6.5	Slutomdöme.	68
6.6	Rekommendationer för fortsatt arbete.	69
7.	Litteraturförteckning.	71
7.1	Datorprogram och datorsimuleringar.	71
7.2	Ågestaförsöket.	71
7.3	Storskaliga försök.	71
7.4	Miljöfrågor.	72
7.5	Tensider och tensidkombinationer.	73
7.6	Bestämning av tensidlösningarnas egenskaper.	74
7.7	Inverkan på fjärrvärmesystem.	75
7.8	Korrosionsfrågor.	75
7.9	Värmeöverföring.	76
7.10	Översikter och verksamhetsrapporter från Universitt Dortmund.	77
7.11	Ekonomisk kalkylering.	77
7.12	vrigt.	78

- Bilagor
- A. Kulvertar i Hässelby/Akalla fjärrvärmenät - Tekniska uppgifter för beräkning av värmeförluster.
 - B. Val av driftförhållanden för simulering av Hässelby/Akalla fjärrvärmenät - Driftåret 1987.
 - C. De tensidbaserade friktionsnedsättande tillsatserna - Kemisk struktur och egenskaper.
 - D. Sammanställning av energi- och effektkostnader. Denna bilaga ingår enbart i Stockholm Energi ABS rapportversion.

Figur- och tabellförteckning.

- Figur 1. Skiss över ledningsdragningen i Stockholm Energi ABs västra distrikt - Hässelbynätet
- Figur 2. Framledningstemperaturen under sommarperioden 1987, sorterad efter flödets varaktighetskurva.
- Figur 3. Framledningstemperaturen under vinterperioden 1987, sorterad efter flödets varaktighetskurva.
- Figur 4. Varaktighetskurva. Levererad effekt samt modellanpassning med valda driftpunkter.
- Figur 5. Långtidsegenskaper av Habon G vid ett 18 mån försök i Herning-Lind, Danmark.
- Figur 6. Tryckfall som funktion av tensidkoncentration - Principskiss.
- Figur 7. Kvoten av beräknade pumpeffekter, utan tillsats och med Dobon G med NaSal, som funktion av levererad värme.
- Figur 8. Erhållna pumpeffekter i respektive driftpunkt.
- Figur 9. Schematisk energibalans utan och med friktionsnedsättande tillsatser i fjärrvärmevättnet. Angivna exempel på effektvärden i Sankeydiagrammet härrör ifrån driftpunkt D i referensfallet.
- Figur 10. Beräknad årskostnad inklusive kapitalkostnader som funktion av spädvattenomsättning för Dobon G med NaSal och Habon G.
- Figur 11. Beräknad årskostnad inklusive kapitalkostnader som funktion av spädvattenomsättning för referensfallet och centralt placerad produktion.
- Figur 12. Förändring av årskostnaden som funktion av ett ökat pris på elenergi.

Figur 13. Ändring av maximalt tillåten spädvattenomsättning vid ett förändrat elenergipris.

Figur 14. Beräknad årskostnad inklusive kapitalkostnader som funktion av spädvattenomsättning.

Figur 15. Maximalt tillåten spädvattenomsättning vid ett förändrat elenergipris.

Tabell 1. Produktionsanläggningar i Hässelby och Akalla.

Tabell 2. Erhållna resultat från modellvalidering, Driftpunkt A och B.

Tabell 3. Pumpeffekter i respektive driftpunkt samt tillförd energi.

Tabell 4. Pumpeffekt i respektive driftpunkt utan tillsatser samt med Habon G och Dobon G + NaSal - Referensfall.

Tabell 5. Tillförd pumpenergi för respektive tidssegment - Referensfall.

Tabell 6. Pumpeffekt i respektive driftpunkt utan tillsatser samt med Habon G och Dobon G + NaSal - Fri produktionsfördelning.

Tabell 7. Tillförd pumpenergi för respektive tidssegment - Fri produktionsfördelning.

Tabell 8. Pumpeffekt i respektive driftpunkt utan tillsatser samt med Habon G och Dobon G + NaSal - Centraliserad produktion.

Tabell 9. Pumpeffekt i driftpunkt A, utan tillsatser samt med Habon G och Dobon G + NaSal - Centraliserad produktion, DN 800.

Tabell 10. Uppskattade pumpeffekter för driftpunkt A - Centraliserad produktion.

Tabell 11. Tillförd pumpenergi för respektive tidssegment - Centraliserad produktion.

Tabell 12. Kapital- samt drift- och underhålls-
kostnader kSEK per år. Nät utan späd-
vatteninmatning.

Tabell 13. Kapital- samt drift- och underhålls-
kostnader kSEK per år. Nät med 90 %
spädvattenomsättning.

SAMMANFATTNING.

De första försöken att tillsätta friktionsnedsättande tillsatser i Svenska fjärrvärmesystem gjordes 1979 i Ågesta. De tillsatser man då hade tillgång till var vattenlösliga polymerer med begränsad livslängd. Dagens tillsatser, tensidbaserade preparat, har en stabilitet som är väsentligt bättre än de polymerbaserade.

Resultatet av våra beräkningar visar att det är ekonomiskt möjligt att tillsätta friktionsnedsättande tensider i fjärrvärmenät med kapacitetsbegränsningar eller vid en nybyggnadssituation. Grundinvesteringen i tensid och utrustning värderas då, i båda dessa fall, mot investeringar i kulvertsystemet. I det förra fallet mot en förstärkning av nätet och i det senare fallet mot ett ledningsnät av större dimensioner.

Friktionsnedsättningen kan även vara ekonomiskt intressant i befintliga nät för att reducera driftkostnaderna genom minskat pumparbete. Trots ett relativt sett lågt pris på elenergi finns det ekonomiska möjligheter att tillsätta tensider i fjärrvärmenät som har en spädvattenomsättning som ligger över Värmeverksföreningens beräknade genomsnitt för föreningens medlemsverk. Med spädvattenförbrukning menas total vattentillförsel till nätet inklusive planerade tappningar och uppfyllningar. Vid planerade tappningar bör man emellertid återvinna vattenvolymen för att minska miljöbelastningen av tensid till omgivningen.

FAKTARUTA

Pumpenergin kan minskas med mellan 30 och 55 % med Habon G eller Dobon G med NaSal.

För att uppnå en friktionsnedsättning krävs minst 0.5 kg Habon G per m³ vatten, med Dobon G inklusive NaSal behövs minst 1.8 kg per m³.

FAKTARUTA forts.

För att tillsätta tensid i ett fjärrvärmesystem krävs investeringar i initialdosering av tensid, doseringsutrustning samt övervaknings- och reningsutrustning. Drift- och underhållskostnaderna består i huvudsak av underhållsdosering och analyskemikalier.

Svenska fjärrvärmenät har i genomsnitt en spädvattenomsättning av 0.6 omsättningar per år. En tillsats av Habon G är ekonomiskt försvarbar om spädvattentillförseln understiger en årsomsättning av 55 till 100 %. Dobon G med Natriumsalicylat kräver en spädvattenomsättning av maximalt 20 - 45 % för att vara ekonomiskt försvarbar.

Förutom spädvattenomsättningen påverkar även priset på tillförd energi och på den reducerade eleffekten värdet av att tillsätta tensider i fjärrvärmevattnet.

Något aktuellt pris på tensid från tillverkare har ej erhållits. Den offertförfrågan som tillsänts Hoechst Svenska AB av Stockholm Energi AB har lämnats utan åtgärd och prisbilden på produkten är därför oklar. Likaså är tensidernas långtidsegenskaper och restprodukter ej klarlagda.

Nedan sammanfattas innehållet i rapportens olika kapitel.

Kapitel 1 redovisar projektets bakgrund samt ger en övergripande definition av projektet och dess arbetsmoment.

Kapitel 2 beskriver Stockholm Energi ABs produktions- och distributionssystem i Hässelby och Akalla samt redovisar hur valet av driftpunkter under året har skett för att specificera en indatabas för simuleringsberäkningarna.

- Kapitel 3 ger en beskrivning av de tryckfallsreduktioner som erhålls i nätet vid de olika driftpunkterna. Vidare redovisas minskningen i pumpenergi för de driftfall som valts. I kapitlet görs även en jämförelse mellan Chalmers program, som används av Stockholm Energi AB för tryckfallsberäkningar, och Universitét Dortmunds program.
- Kapitel 4 presenterar de investeringar i dosering, drift och övervakningsutrustning som krävs samt sätter dessa investeringar i relation till erhållna driftbesparingar i kulvertnät.
- Kapitel 5 diskuterar förutsättningarna för att tillsätta tensider i Hässelby/Akalla-systemet, Stockholm Energi.
- Kapitel 6 presenterar och sammanfattar kortfattat erhållna resultat samt ger en rekommendation om kompletterande utredningar.
- Kapitel 7 redovisar de viktigaste publikationerna om friktionsnedsättande tillsatser.

SUMMARY

Drag reduction additives based on tensides have been shown to be stable enough for use on an all-year around basis in district heating network.

The feasibility study shows that the drag reducing additives allow the use of piping with a smaller dimension than is usual, both when one builds a new network and when the capacity limit of an existing network has been reached. In both cases, the investment in additives and in equipment is compared with investment in piping, and the latter are usually much larger.

Drag reduction is also economically interesting in existing networks when a reduction of energy consumption leads to lower operation costs. Adding 0.5 kg Habon G per m³ water or 1.2 kg Dobon G and 0.6 kg sodium salicylate per m³ water yields a halving of the pumping energy during a year. In spite of low prices for electricity, utilizing these tensides may be economically viable in district heating networks even if the rate of addition of make-up water exceeds the average rate calculated by the Swedish District Heating Association for its member networks. The make-up volume is taken here as all additions of water to the network, including intentional tapping for e g repairs and refilling. However, when a line is tapped intentionally the water extracted should be recycled in order to avoid possible damages to the environment.

The price for the additives is yet uncertain as Hoechst Svenska AB did not reply to a request for a quote from Stockholm Energy AB. Some technical properties of the additives are still not fully documented, e g their expected lifelength and the properties of the products from their possible breakdown. The investigations that have been performed until now have treated mainly their effect on friction in piping system.

1. Tensidbaserade tillsatser och allmänna förutsättningar för projektet.

Genom att tillsätta friktionsnedsättande preparat till fjärrvärmevattnet kan strömningssmotståndet i ledningssystemet minskas. Denna effekt skulle kunna ge möjligheter till att reducera drift- och kapitalkostnader för nätet på grund av att:

Större värmeeffekt kan överföras i ett befintligt nät, alternativt kan en oförändrad effekt överföras med en lägre pumpeffekt.

Klenare dimensioner kan användas i nya rörsystem.

Det första försöket att tillsätta friktionsnedsättande tillsatser i fjärrvärmesammanhang gjordes 1979 i Ågesta fjärrvärmesystem. De tillsatser man hade tillgång till var vattenlösliga polymerer med begränsad livslängd. Tillsatserna bröts ner av för höga strömningsspåkänningar i pumpar och värmewäxlare etc. De arbeten som då genomfördes hade därför som syfte att kapa tillfälliga belastningstoppar inom den tidsperiod då polymerernas egenskaper var stabila. Av flera skäl som osäkerhet angående nedbrytningsprodukter, försämrade värmewäxling och små ekonomiska vinster gick man inte vidare enligt denna utvecklingslinje.

Tensidbaserade preparat har emellertid en mekanisk stabilitet som är väsentligt bättre än de polymerbaserade. I laboratorieförsök och i fullskaletester har tillsatserna gett en kontinuerlig friktionsnedsättande effekt, vilket gör att dessa preparat har förutsättningar för att användas i fjärrvärmesystem och ge en friktionssnedsättande effekt året om.

Större delen av de arbeten som hittills genomförts, och som pågår, har som målsättning att ta fram tillsatsernas tekniska egenskaper samt att studera den friktionsnedsättande effekten vid rörströmning. De arbeten som har koncentrerats på att bedöma den ekonomiska effekten av att tillsätta tensider i ledningssystem är färre. Målsättningen med detta uppdrag är att belysa de tekniska och ekonomiska möjligheterna av att tillsätta tensider i fjärrvärmesystem. I detta hänseende har även det totala fjärrvärmesystemets energibalans behandlats vad avser tillförd och bortförd energi.

Som grund för de tekniska och ekonomiska bedömningarna, inklusive känslighetsanalys, ligger en datorsimulering av ett års drift av Stockholm Energi ABs västra fjärrvärmedistrikt - Hässelby/Akalla nätet. Beräkningarna har genomförts med ett program utvecklat av Universitätt Dortmund för tryckfallsberäkning av ledningsnät. Detta program inkluderar även en databas över olika tensider och dess egenskaper grundat på erfarenheter och tester genomförda vid Universitetet.

Tensidernas miljöpåverkan vid handhavande och vid läckage från systemet behandlas i en separat förstudie.

2. Stockholm Energi ABs västra distrikt - Hässelbynätet

Fjärrvärmenätet i Stockholm Energi ABs västra distrikt har fått utgöra modell för den tekniska och ekonomiska bedömningen.

En anledning till detta har varit att vissa avsnitt av distributionssystemet uppvisar leveransbegränsningar under höglastperioder. Stockholm Energi har därför intressat sig av att utreda hur dessa begränsningar kan elimineras. Ytterligare en anledning till valet av västra distriktet är att fjärrvärmenätet har beräknats - simulerats - med ett program som utvecklats vid Institutionen för Termo- och Fluidmekanik, Chalmers Tekniska Högskola. Dessa beräkningar har visat god överensstämmelse med uppmätta driftdata och programmet kan därmed användas för att validera resultaten från det program som utvecklats vid Universitt Dortmund, Fachbereich Chemietechnik, Lehrstuhl Thermische Verfahrenstechnik und Wärme- und Stoffaustausch. Det innebär också att databasen som beskriver nätet, dimensioner, längder etc lagrats i ett format som lätt kan överföras till beräkningsprogrammet i Dortmund.

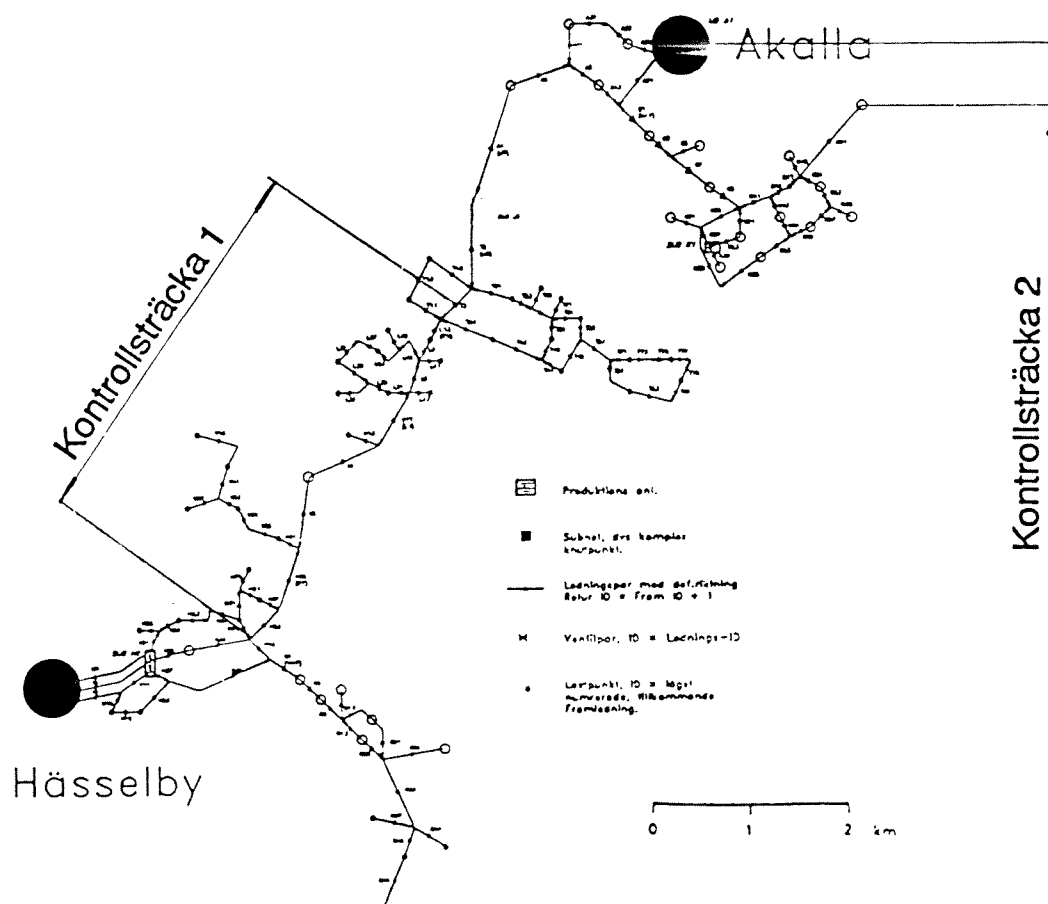
2.1 Produktions- och nätbeskrivning.

En versikt över ledningsdragningen i Hässelby/Akalla ges i figur 1. Beteckningarna hänför sig till beskrivningarna i Chalmers datorprogram. Samma beteckningar har också använts för våra beräkningar med Dortmunds program.

Värmen produceras från två produktionscentra belägna i Hässelby respektive Akalla. Leveranskapaciteten fr anläggningarna redovisas i Tabell 1. Värmen, fjärrvärmevättnet, pumpas från Hsselbyanlggningen ut till Hässelby och Vällingby. I Vällingby gr en huvudledning österut till Rcksta och Blackeberg, den andra till Akalla och Kista med sidoledningar till Vinsta och Kälvesta samt Tensta och Rinkeby. Den andra produktionsanläggningen som r belägen i Akalla distribuerar värme både mot Hässelby och Sollentuna. Från Kista finns även en ledning mot Helenelund. Idag finns också en förbindelse med fjärrvärmenätet i Järfälla. Exklusive produktionsanläggningarna i Järfälla r produktionskapaciteten

mer än 600 MW. Produktionen fördelas på Hässelby 297 MW och resterande del på Akalla. Tillgänglig ackumulatoreffekt i Hässelby ingår ej i ovanstående uppgifter.

Största installerade ledningen är DN 800 vilket motsvarar en innerdiameter i mediaröret på 795 mm. Total längd installerad kulvert är 250 km dubbelledning.



Figur 1. Skiss över ledningsdragningen i Stockholm Energi ABs västra distrikt - Hässelbynätet
Schematic layout of Stockholm Energi AB's western District Heating network.

Omfattningen av det nät som simulerats motsvarar nätutbyggnaden fram till 1987, det år för vilket driftdata har valts. Då förbindelsen med Järfälla är av senare datum ingår ej denna i simuleringen. Valet av år 1987 diskuteras mera under nästföljande delavsnitt, Avsnitt 2.2.

Den modell som använts är en förenklad beskrivning av Hässelby/Akallanätet. Anledningen till denna förenkling är att få en rimlig omfattning på nätbeskrivningen samt att begränsa beräkningstiderna. Den modellerade ledningslängden uppgår till 55 km av totalt 250 km. Abonnenter inom begränsade områden har slagits ihop och representeras i programmet av 69 belastningsnoder. Detta innebär att den del av nätet som består av klenare dimensioner ej ingår i beräkningarna. Uppgifter beträffande förläggningssätt och kulvert har angetts för respektive ledningsavsnitt. De sex ledningstyper som finns representerade i Hässelbysystemet beskrivs i bilaga A.

Då tryckdifferensen i Sollentuna är en av styrparametrarna för fjärrvärmepumparna i Hässelby/Akallanätet ingår ledningarna till Helenelund och Sollentuna i nätmodellen.

Tabell 1. Produktionsanläggningar i Hässelby och Akalla.
The production plants i Hässelby and Akalla.

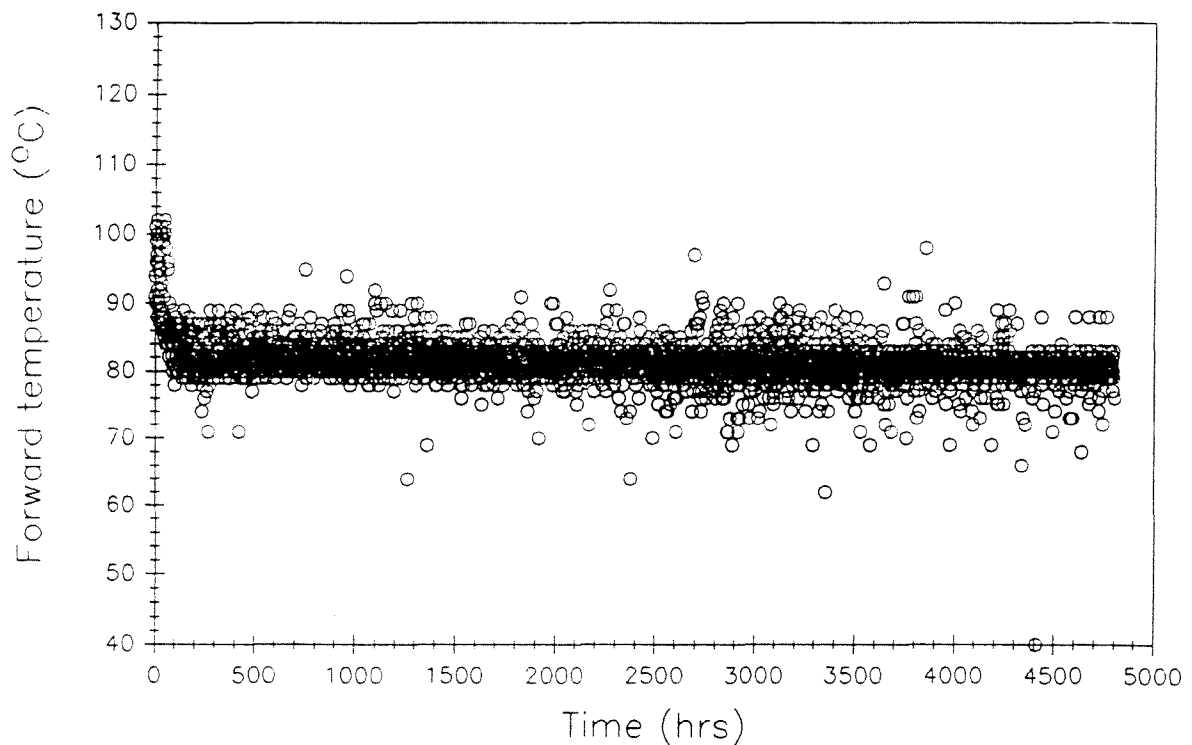
Anläggning	Placering	Bränsle	Produktionskapacitet
Kraftvärme	Hässelby	Kol/Olja	80 MW el 200 MW värme
Hetvattenpanna	Hässelby	El	57 MW värme
Hetvattenpanna	Akalla	El	75 MW värme
Hetvattenpanna	Hässelby	Olja	2 x 20 MW värme
Hetvattenpanna	Akalla	Olja	3 x 75 MW värme
Akkumulator			3 x 2 300 m ³

2.2 Driftdata

Som beräkningsbas har året 1987 valts ut. Driften av nätet uppfattas då som "normal" och kalla perioder med topplast har inträffat under året. De följande vintrarna har varit ovanligt milda, vilket gör dem mindre representativa ur leveranssynpunkt.

Driftdata för år 1987 består av flöde, framlednings- och returtemperatur samt levererad effekt vid Hässelby- och Akalla. Dessutom ingår utomhustemperaturen i Akalla samt flöde och levererad effekt till Sollentuna. Samtliga parametrar är timmedelvärde.

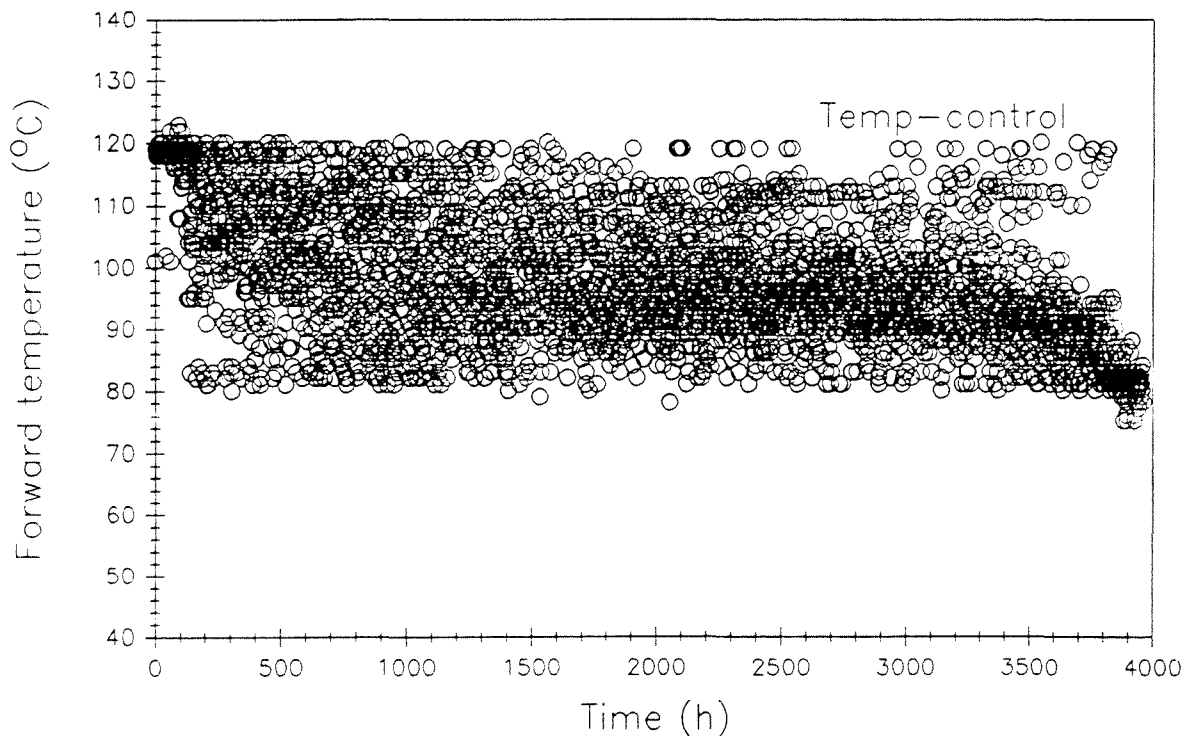
Vid bearbetningen av ovanstående uppgifter erhålls som resultat att året kan delas in i två perioder med principiellt olika driftförhållanden och därmed två olika reglerprinciper varmed fjärvärmenätet har körts. Perioderna motsvarar i stort en sommarperiod och en vinterperiod. Uppdelningen motsvarar inte en helt perfekt uppdelning efter driftstrategi, men skillnaden är dock så pass liten att en större noggrannhet inte är motiverad.



Figur 2. Framledningstemperaturen under sommarperioden 1987, sorterad efter flödets varaktighetskurva.
The forward temperature during the summer period, 1987. The data have been sorted according to the flow duration curve from the production plants.

Med sommar avses perioden 1 maj till 15 november, under vilken utomhustemperaturen är över 0 grader C. Med vinter avses resterande tid under kalenderåret, dvs 1 januari - 30 april och 16 november - 31 december då utomhustemperaturen understiger 0 grader C.

Under sommarperioden hålls framledningstemperaturen i stort sett konstant. Under sommarsens 4800 timmar ligger framledningstemperaturen uteslutande i ett band mellan 78 och 84 grader C. Returtemperaturen har legat i stort sett vid 40 grader C vid Hässelby och ca 5 grader högre vid Akalla. Levererad effekt har reglerats genom flödesreglering med fjärrvärme-pumparna. Flödet har emellertid överstigit 1000 m³/h vilket är för stort för att alltid få hög avkylning



Figur 3. Framledningstemperaturen under vinterperioden 1987, sorterad efter flödets varaktighetskurva.

The forward temperature during the winter period, 1987. The data have been sorted according to the flow duration curve from the production plants.

med låg returtemperatur från undercentralerna. När flödet är för högt stiger returtemperaturen upp till 45 - 50 grader C. Under sommaren har värmeleveransen upprätthållits av Hässelbyverket och periodvis har även Akalla varit i drift, 4800 respektive 3000 timmar.

Under vinterperioden levererar fjärrvärmepumparna maximalt flöde. Levererad effekt regleras med hjälp av framledningstemperaturen. Högsta värdet för framledningstemperaturen är 120 grader C då även den högsta returtemperaturen erhålls. Under vintern är returledningstemperaturen nästan linjärt beroende av framledningstemperaturen.

Under vinterperioden, som under sommaren, har Hässelby levererat värme under hela perioden. Leveransen under vintern har skett med maximalt tillåtet flöde. Värme har levererats från Akalla när effektbehovet har krävt en framledningstemperatur i nätet som varit större än 90 grader C. Under perioder då både Hässelby och Akalla har levererat värme har en reglering skett med både flöde och framledningstemperatur.

2.3 Val av representativa driftpunkter.

Kriterierna vid val av driftpunkter för simuleringsberäkningarna är att driftpunkterna skall vara representativa för nätet samt innehålla parametrar som är väsentliga för tensid tillsatsernas verkan, dvs nätets flödes- och temperaturförhållanden under året. Antalet driftpunkter skall även begränsas för att reducera beräkningsarbetet men tillsammans skall driftpunkterna ändå kunna utgöra en god approximation av varaktighetskurvan för levererad effekt. Vidare skall totalt levererad energi någorlunda överensstämma med den verkligt levererade energin under det studerade driftåret. En utförlig beskrivning av tillvägagångssättet vid valet av driftpunkterna ges i bilaga B.

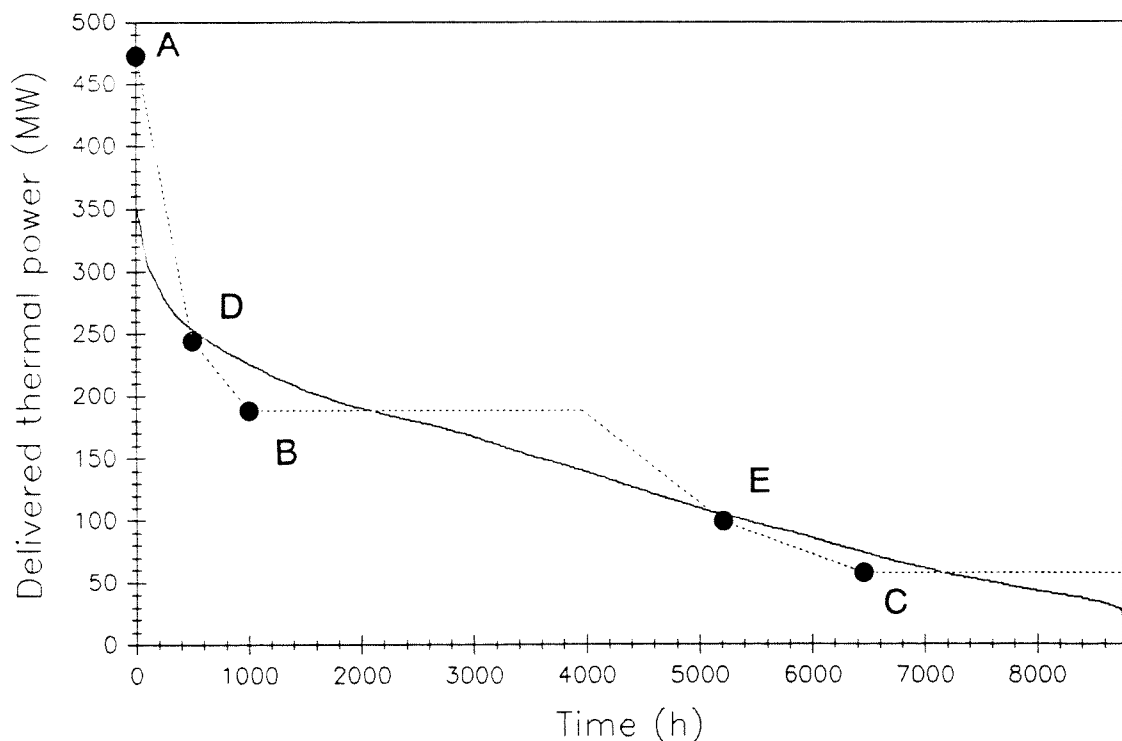
Den levererade energin erhålls genom att beräkna ytan under varaktighetskurvan. Det enklaste integreringsförfarandet är att dela upp varaktighetskurvorna i ett antal trappsteg där varje trappsteg definieras av en driftpunkt och en tidslängd. Ett annat förfarande är att anpassa en matematisk funktion till varaktighetskurvan och göra en numerisk

integration utgående från data för ett flertal driftförhållanden. Detta förutsätter att driftförhållandena övergår i varandra på ett kontinuerligt sätt. Den periodvisa driften av Akalla ger emellertid diskontinuerliga driftförhållanden, inte i effekter men väl för flöden.

Den levererade energin har beräknats enligt följande: I de fall där valda driftpunkter bedömts ha en viss varaktighet användes effekt och tidsstegets längd för att beräkna levererad energi. Där förhållandena varierat kraftigt integreras kurvan med hjälp av trapetsregeln.

En jämförelse mellan den verkliga, uppmätta, varaktighetskurvan för levererad effekt och modellkurvan ges i Figur 4.

Driftpunkt C representerar förhållanden som är typiska för den varma årstiden. Leverans av värme sker både från Hässelby och Akalla.



Figur 4. Varaktighetskurva. Levererad effekt samt modellanpassning med valda driftpunkter. Approximation of the load duration curve using cases A - E.

Genom driftpunkt B anknyter förhållandena till vinterperioden. Under resten av sommarperioden finns inga väldefinierade förhållanden varför interpolation sker med hjälp av driftpunkt E.

Under större delen av vinterperioden är endast Hässelby i drift, och driftpunkten B representerar väl de förhållanden som råder i nätet. Driftpunkt A representerar topplastfallet och förhållanden mellan A och B interpoleras med hjälp av punkt D.

Totalt levererad energi under året är 1176.1 GWh fördelat med 771.6 GWh under vinterperioden och 404.5 under sommaren. Beräknad energileverans för året med de förutsättningar som angivits ovan, är totalt 1278.9 GWh med fördelningen 882.6 GWh respektive 396.3 GWh.

3. Förutsättningar samt resultat från datorsimuleringen.

Utgångspunkten för datorsimuleringen är att resultaten skall vara förankrade mot verkliga driftförhållanden. Beräkningarna har därför utgått ifrån att Chalmers program, som visar överensstämmelse med uppmätta driftfall, och Universitét Dortmunds program skall ge jämförbara resultat.

I princip arbetar programmen med samma grundekvationer men vissa skillnader finns i modellstrukturen. Bland annat modelleras distributionspumparna på olika sätt. Tryckstegringen i enskilda pumpar och pumpgrupper kan beräknas i Chalmers program. Både den hydrauliska och tillförda eleffekt anges. Med UniDos program erhålls hydrauleffekten utifrån beräknad tryckstegring för respektive ledningsavsnitt.

En annan skillnad mellan de två programmen är hur värmeförlusterna beräknas. I Universitét Dortmunds program läggs information in om kulverttyp, förläggningsdjup och antagen marktemperatur för respektive ledningssträckning. I uppgifterna för kulverttyp ingår isolertjocklek och värmekonduktivitet. I Chalmers program beräknas värmeförlusterna utifrån en generell ansatt värmekonduktivitet och antagen marktemperatur.

Då fjärrvärmenätets nivåpunkter ej har varit tillgängliga, har datorberäkningarna genomförts med ledningssystemet på nollnivå, det vill säga utan nivåskillnader. Båda programmen kan dock behandla system där nivåskillnaderna ingår i förutsättningarna.

Programmen kan ej behandla tillsatsernas eventuella effektförändringar i undercentralernas och produktionsanläggningarnas värmeväxlare.

3.1 Validering av datormodell med kontrollberäkningar

Tidigare beräkningar med Chalmers program har visat god överensstämmelse med uppmätta driftdata och kan därmed användas för att validera resultaten från det

program som utvecklats vid Universitt Dortmund. Vid valideringen beräknades tryckbilden vid normal drift utan friktionsnedsättning med båda programmen

Tabell 2. Erhållna resultat från modellvalidering, Driftpunkt A och B.
Validation of the UniDo model. Results for cases A and B.

			Driftpunkt A		Driftfall B	
			CTH	UniDo	CTH	UniDo
FÖRUTSÄTTNINGAR						
Temperatur						
Fram	grad C		120	120	90	90
Retur	grad C		60	60	40	40
Produktionsfördelning						
Hässelby	%		52	52	100	100
Akalla	%		48	48	0	0
Flödesfördelning						
Hässelby	m3/s		1.03	1.03	0.91	0.93
Akalla	m3/s		0.59	0.59		
Sollentuna	m3/s		0.35	0.37		
ERHÅLLNA RESULTAT						
Tryckfall						
Kontrollstrcka 1						
Fram	bar		2.70	2.52	4.28	4.10
Retur	bar		2.74	2.47	4.33	4.08
Kontrollstrcka 2						
Fram	bar		0.72	0.63	0.20	0.15
Retur	bar		0.74	0.62	0.17	0.16
Hydraulisk pumpeffekt	kW		1578	1611	1001	982
Total last	MW		474	475	184	188
Levererad effekt	MW		483	490	189	197
Distributionsförlust	MW		9	16	5	9

Kontrollstrcka 1 Hässelby - Tensta
Kontrollstrcka 2 Akalla - Helenelund

för två av de driftpunkter, driftpunkt A och B som definierades i föregående avsnitt.

I Tabell 2 ges erhållna resultat från valideringen. Tabellen redovisar den hydrauliska pumpeffekten för respektive program och driftpunkt. Vidare anges erhållna tryckfall över två kontrollsträckor i nätet. Kontrollsträckornas placering framgår av Figur 1.

Den elektriska effekten till pumparna erhålls genom att dividera den hydrauliska effekten med pumpens och elmotorns verkningsgrader.

En jämförelse av beräkningsresultaten visar att de båda programmens beräknade tryckbilder stämmer väl med varandra. Universitét Dortmunds program ger emellertid något lägre tryckfall än de som Chalmers program ger men avvikelserna får anses som ringa.

3.2 Simulering av en driftsäsong.

Då resultaten från Chalmers och Universitt Dortmunds program var samstämmiga beräknades

Tabell 3. Pumpeffekter i respektive driftpunkt samt tillförd energi.
Pumping power and energies for the actual allocation of
heat production and the cases chosen.

Drift- punkt	Produktionsför- delning		Total effekt MW	Hydraulisk pumpeffekt			Pump- energi MWh
	Hässelby %	Akalla %		ledning kW	abonnent kW	totalt kW	
A	52	48	472	728	883	1611	667
D	84	16	245	659	395	1054	509
B	100	0	188	655	327	982	2907
E	57	43	99	27	97	123	691
C	58	42	58	7	51	58	113 133
Tillförd pumpenergi under året							5020

även de resterande driftpunkterna med UniDos program för att representera en hel driftsäsong. Produktionsfördelningen mellan Hässelby och Akalla framgår av tabell 3 ovan, där även erhållna pumpeffekter i respektive driftpunkt redovisas. Vidare redovisas hur pumpeffekten fördelas mellan ledningssystem och undercentraler.

Sätts den beräknade under året tillförda elenergin till fjärrvärmenätets distributionspumpar i relation till den värmeenergi som levererats till fjärrvärmesystemet erhålls ett relationstal av 5.5 kWh el/MWh värme. I jämförelse med uppgifter från en tidigare utredning från 1976, där ett relationstal av 12.5 anges, är det beräknade värdet lågt men i samma storleksordning.

3.3 Friktionsnedsättande tillsatser.

3.3.1 Driftegenskaper för Habon G och Dobon G.

Första generationens tillsats, Habon, och dess efterträdare Habon G, är verksamma inom intervallet 40 grader C till ca 100 grader C. Dessa ger en friktionsnedsättning under större delen av året i både fram- och returledningen, med undantag av höglastperioder då man arbetar med temperaturer över 100 grader C i framledningen.

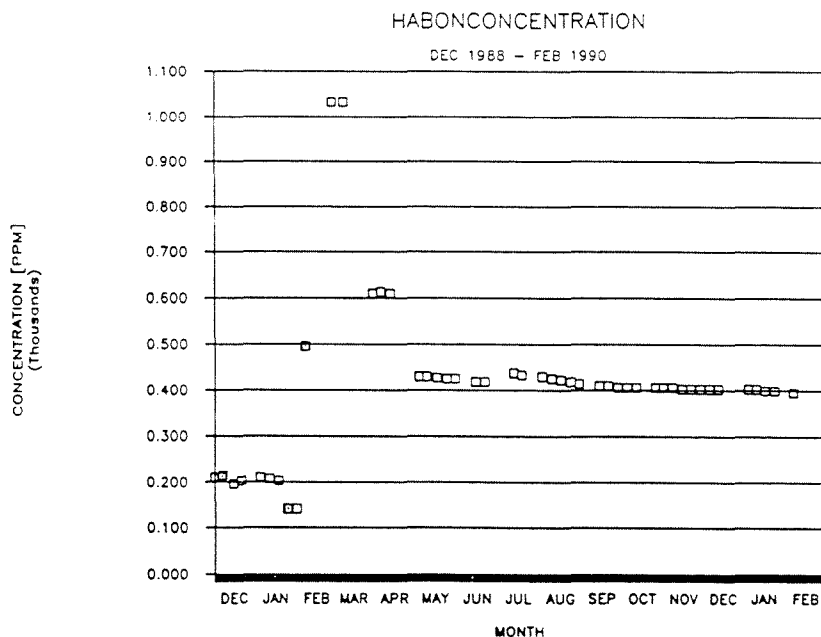
Dobon G är verksam inom intervallet 80 grader C till 150 grader C vilket ger en friktionsnedsättning enbart i framledningen. Genom en tillsats av Natriumsalicylat kan man utsträcka det verksamma intervallet för Dobon G att även omfatta intervallet 40 till 80 grader C och därmed täcka hela det temperaturintervall som förekommer i fjärrvärmenätet från 40 grader C till maxtemperatur kallaste vinterdag, 120 grad C.

Av ovan framgår att det finns en valsituation mellan en tillsats som är verksam hela året eller en tillsats som har begränsningar i höglastperioder. I de beräkningar som genomförts har båda dessa alternativ behandlats.

3.3.2 Stabilitet och koncentration av tensid-baserade tillsatser.

De tensidbaserade tillsatserna är stabila på grund av att den friktionsnedsättande egenskapen kan återbildas efter ett sammanbrott. Detta beror på att tensidmolekylerna bildar grupper av många molekyler, s k miceller, om temperaturen och koncentrationen är de rätta, se bilaga C. Micellerna har ett ständigt utbyte av molekyler med de fria molekylerna i vattnet och de har även den egenskapen att de, under inverkan av strömningspåkänningar, kan ordna sig i en lös sammanhållen glidstruktur som ger en friktionsnedsättande effekt i vattnet. Strömningsförhållandena i fjärrvärmenäten är sådana att en glidstruktur kan bildas. Strukturen kan emellertid brytas sönder till enskilda miceller, i till exempel pumpar, men byggs åter upp efter pumpen vid lämpliga förhållanden.

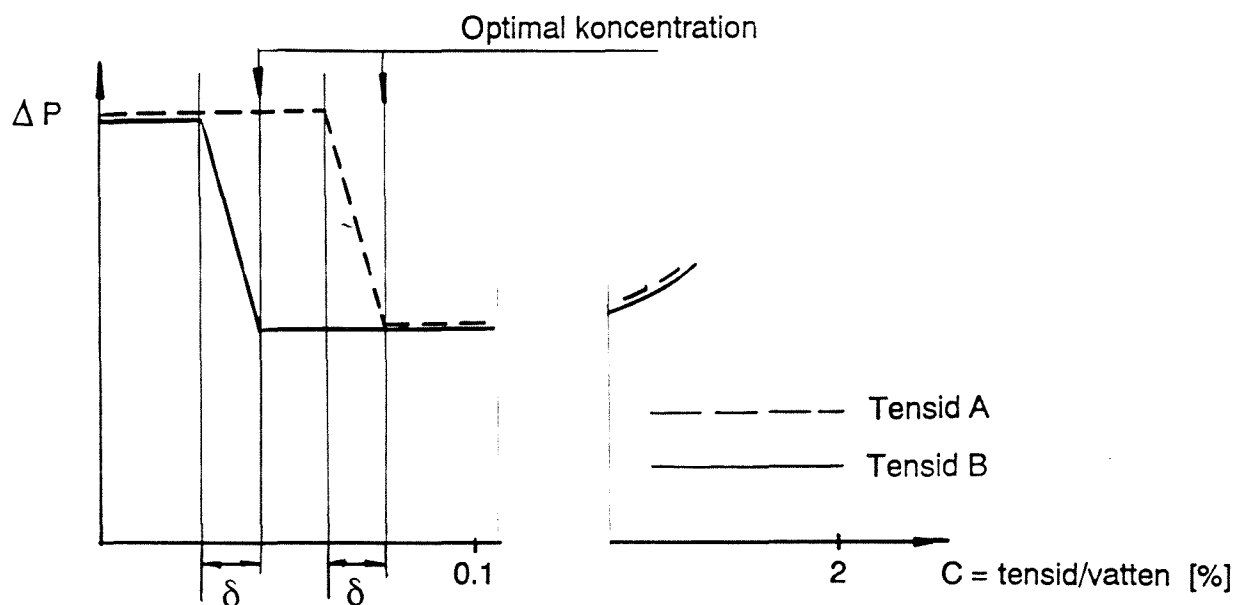
Tensidmolekylens kemiska stabilitet under längre tid är också god även om man noterat en viss känslighet och nedbrytning på grund av syre löst i vattnet.



Figur 5. Långtidsegenskaper av Habon G vid ett 18 mån försök i Herning-Lind, Danmark. The Habon concentration during the pilot scale experiment in a 2.8 km long pipe between Herning and Lind, Denmark.

Figur 5 visar halten av Habon i Herning-Lind under ett 18 månader långt försök. Under de första månaderna genomfördes ett antal försök med varierande halt tensid. Men från maj till att försöket avbröts gjordes inga ändringar från nivån 400 mg/l. Under denna tid sjönk halten med 20 mg/l till 380 mg/l. Nedbrytningen av tensid och rengöring av sönderfallsprodukter diskuteras vidare i avsnitt 4.1.7.

I nedanstående diagram, Figur 6, ges en schematisk skiss av friktionsnedsättningen, reducerat tryckfall, som funktion av tensidkoncentrationen. Vid låga koncentrationer erhålls ingen glidstruktur utan denna bildas först vid en koncentration, som är karakteristiskt för olika tensider. Efter det att denna punkt uppnåtts sker ingen förändring av friktionsnedsättningen förrän man uppnått sådana koncentrationer att man får anse att vattnet har övergått till ett annat medium. Tryckfallet i systemet kommer då förmodligen att öka.



Figur 6. Tryckfall som funktion av tensidkoncentration - Principskiss.
The pressure drop in a pipe as a function of drag reducing additives concentration. All other parameters constant.

Som framgår av diagrammet har olika tensider en optimal lägsta koncentration där friktionsnedsättningen börjar. Om flera tensider uppvisar friktionsnedsättning i samma arbetsintervall, temperatur och skjuvspänning, kommer valet att baseras på tensidens optimala koncentration och dess pris om friktionsnedsättningen är densamma.

Friktionsnedsättningen förekommer således där koncentration och förhållanden i temperatur och strömningsspåkänningar möjliggör att micellerna hålls samman. Lokala sammanbrott förekommer där förhållandena gått utanför det tillåtna intervallet för någon av variablerna men återbildas igen när förhållandena är de rätta.

3.4 Beräknade tryckfallsreduktioner med friktionsnedsättande tillsatser.

Referensfallet utgörs av en simulering av en driftsäsong med en för systemet normal driftstrategi med leverans av värme både från Hässelby och Akalla. Förutom referensfallet beräknas dels ett fall med fri fördelning av produktionen mellan Hässelby och Akalla, dels ett fall då leverans av värme enbart sker från en leveranspunkt, dvs Hässelby.

I resultattabellerna redovisas förutom det totala tryckfallet även hur tryckfallet fördelas mellan ledningssystemet och de tryckfall som erhålls över undercentralerna. Som framgått av Kapitel 1 har friktionsnedsättningen i första hand studerats i ledningssystem och mera i begränsad omfattning vad avser tryckfall i undercentraler.

3.4.1 Referensfall med produktionsanläggningar placerade ute i nätet.

Produktionsfördelningen mellan Hässelby och Akalla framgår av tabell 3, ovan. I tre av driftfallen är värmeleveransen fördelad med ca 60 % från Hässelby och resterande från Akalla. De två övriga driftpunkterna representerar driftfall med 100 % och 84 % värmeproduktion i Hässelby. I nedanstående tabeller redovisas erhållna hydrauliska pumpeffekter samt utifrån dessa beräknad tillförd energi.

Tabell 4. Pumpeffekt i respektive driftpunkt utan tillsatser samt med Habon G och Dobon G + NaSal - Referensfall. Pumping power, in cases A - E, for the actual allocation of heat production, without drag reducing additives, with Habon G and with Dobon G/NaSal repectively.

Drift- punkt	Utan tillsats			Habon G			Dobon G + NaSal		
	ledn. kW	abonn. kW	tot. kW	ledn. kW	abonn. kW	tot. kW	ledn. kW	abonn. kW	tot. kW
A	728	883	1611	487	779	1266	253	393	646
D	659	395	1054	273	282	556	250	281	531
B	655	327	982	235	187	422	258	196	454
E	27	97	123	13	92	106	15	93	109
C	7	51	58	4	51	55	5	52	56

Tabell 5. Tillförd pumpenergi för respektive tidssegment - Referensfall.

Pumping energy in each time interval for actual allocation of heat production.

Tids- segment	Utan tillsats	Habon G	Dobon G + NaSal
	MWh	MWh	MWh
A - D	667	455	294
D - B	509	254	246
B	2907	1249	1344
B - E	691	353	352
E - C	113	101	103
C	133	127	130
	5020	2539	2470
	100 %	51 %	49 %

Resultaten av beräkningarna visar att friktionsnedsättning erhålles i samtliga ledningar i näten utom i driftfall A för Habon G. Friktionsnedsättning erhålles då enbart i returledningen på grund av att framledningstemperaturen är satt till 120 grad C vilket är över Habon G arbetstemperatur. Tabell 4 visar också hur pumpeffekten fördelas mellan ledningssystemet och abonnentcentralerna.

3.4.2 System med fri produktionsfördelning.

Om det finns möjlighet att fritt fördela värmeproduktionen mellan Hässelby och Akalla bör produktionen fördelas jämnt på respektive produktionscentra. Pumpenergin kan då reduceras jämfört med referensfallet ovan. En sådan fördelning förutsätter emellertid att marginalkostnaderna för de senast idrifttagna enheterna i Hässelby respektive Akalla är likvärdiga.

Resultatet vid en sådan möjlighet åskådliggörs av tabell 6 och tabell 7 nedan. Jämfört med den normala driftstrategin har förutsättningarna för driftpunkt D och B ändrats med avseende på leveransfördelning. De övriga driftpunkterna överensstämmer med tidigare beräkningar.

Tabell 6. Pumpeffekt i respektive driftpunkt utan tillsatser samt med Habon G och Dobon G + NaSal - Fri produktionsfördelning. Pumping power in cases A - E for a more evenly allocated production of heat, without drag reducing additives, with Habon G and with Dobon G/NaSal repectively.

Pkt	H %	A %	MW	Utan tillsats			Habon G			Dobon G + NaSal		
				ledn kW	ab kW	tot kW	ledn kW	ab kW	tot kW	ledn kW	ab kW	tot kW
A	52	48	472	728	883	1611	487	779	1266	253	393	646
D	55	45	245	201	233	434	96	204	300	89	203	291
B	58	42	188	103	196	299	465	178	224	498	178	226
E	57	43	99	27	97	123	13	92	106	15	93	109
C	58	42	58	7	51	58	4	51	55	5	52	56

Tabell 7. Tillförd pumpenergi för respektive tidssegment - Fri produktionsfördelning.
Pumping energy in each time interval for an even allocation of heat production.

Tids-segment	Utan tillsats	Habon G	Dobon G + NaSal
	MWh	MWh	MWh
A - D	511	392	234
D - B	183	131	129
B	885	663	667
B - E	264	206	209
E - C	113	101	103
C	133	127	129
	2089	1620	1471
	100 %	78 %	70 %

3.4.3 System med centralt placerade produktionsanläggningar.

Detta system motsvarar förhållanden för små och medelstora fjärrvärmesystem där värmen oftast levereras från ett produktionscentrum. I de större systemen finns även produktionsanläggningar ute i nätet.

Vid denna beräkning har vi utgått från samma nät-konfiguration som ovan men all värmeproduktion antas ske från anläggningarna i Hässelby. Som framgår av tabell 8 nedan, har utmatningsledningen från Hässelby inte kapacitet för att leverera 472 MW utan att otillåtna tryck uppkommer i nätet. Detta gäller även för driftpunkt D, med en värmeleverans av 245 MW, vid simulering utan friktionsnedsättande tillsats. Drifttrycket i framledningen har för detta fall beräknats till 19 bar. Med tillsatser, erhålls tillåtna tryck i systemet för driftfall D.

Tabell 8. Pumpeffekt i respektive driftpunkt utan tillsatser samt med Habon G och Dobon G + NaSal - Centraliserad produktion.
Pumping power in cases A - E for a centralized production of heat, without drag reducing additives, with Habon G and and with Dobon G/NaSal repectively.

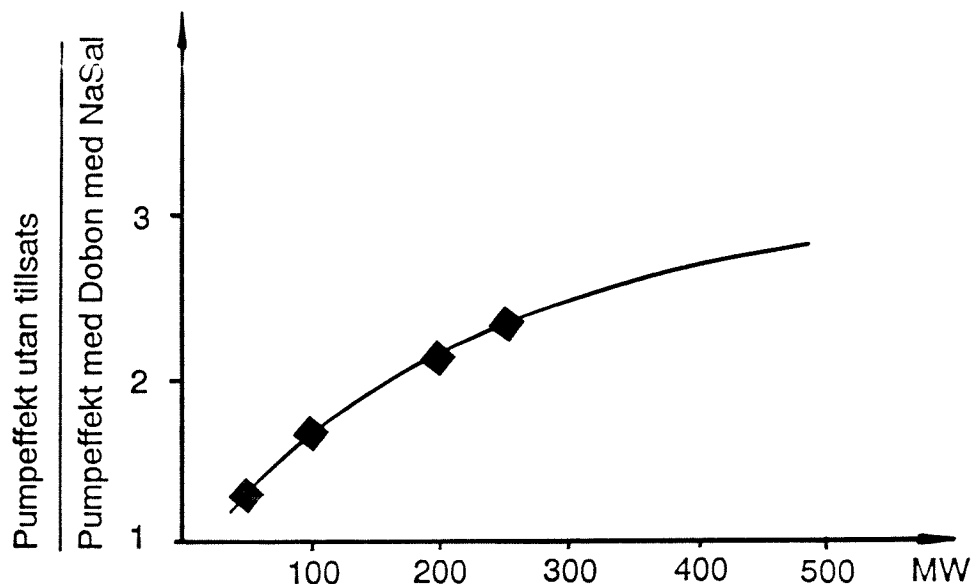
Pkt	H %	A %	MW	Utan tillsats			Habon G			Dobon G + NaSal		
				ledn kW	ab kW	tot kW	ledn kW	ab kW	tot kW	ledn kW	ab kW	tot kW
A	100	0	472			****			***			***
D	100	0	245	1087	569	1655	424	329	752	393	319	712
B	100	0	188	655	327	982	235	187	422	258	196	454
E	100	0	99	198	153	351	74	115	189	88	119	207
C	100	0	58	37	62	98	17	56	73	20	57	76

För att erhålla ett referensvärde för driftpunkt A ansattes en förstärkt ledning mellan Hässelby och Tensta, DN 800 i stället för befintlig dimension DN 450. Detta gav en tillåten tryckuppsättning i systemet med Dobon G + NaSal. Vid beräkningarna utan friktionsnedsättande tillsatser i fjärrvärmeverket och med tillsats av Habon G för driftfall A, erhålls fortfarande för höga tryck i systemet. Den höga pumpeffekten för Habon G orsakas av att framledningstemperaturen överstiger 100 grader C vilket medför att friktionsnedsättning erhålles enbart i returledningen.

Tabell 9. Pumpeffekt i driftpunkt A, utan tillsatser samt med Habon G och Dobon G + NaSal - Centraliserad produktion, DN 800.
Pumping power in case A, centralized production of heat, DN 800.

Pkt	H %	A %	MW	Utan tillsats			Habon G			Dobon G + NaSal		
				ledn kW	ab kW	tot kW	ledn kW	ab kW	tot kW	ledn kW	ab kW	tot kW
A	100	0	472			****			****	899	583	1482

För att kunna beräkna tillförd pumpenergi under den kallaste driftperioden har pumpeffekterna för driftfall A, utan tillsatser och med Habon G, extrapolerats enligt figur 7, från kvoten av beräknade pumpeffekter, utan respektive med tillsats av Dobon G med NaSal. De därvid erhållna pumpeffekterna, som anges i tabell 10, har utgjort underlag för att beräkna tillförd energi under höglastperioden.



Figur 7. Kvoten av beräknade pumpeffekter, utan tillsats och med Dobon G med NaSal, som funktion av levererad värmeeffekt. Relation between the pumping power expected for a system without and a system with Dobon G as a function of delivered thermal power.

Tabell 10. Uppskattade pumpeffekter för driftpunkt A - Centraliserad produktion.
Estimated pumping power in case A, centralized production of heat.

Pkt	Hässelby	MW	Utan tillsats	Habon G	Dobon G + NaSal
A	100 %	472	4100 kW	2900 kW	1482 kW

Tabell 11. Tillförd pumpenergi för respektive tidssegment - Centraliserad produktion.
Pumping energy in each time interval for centralized production of heat.

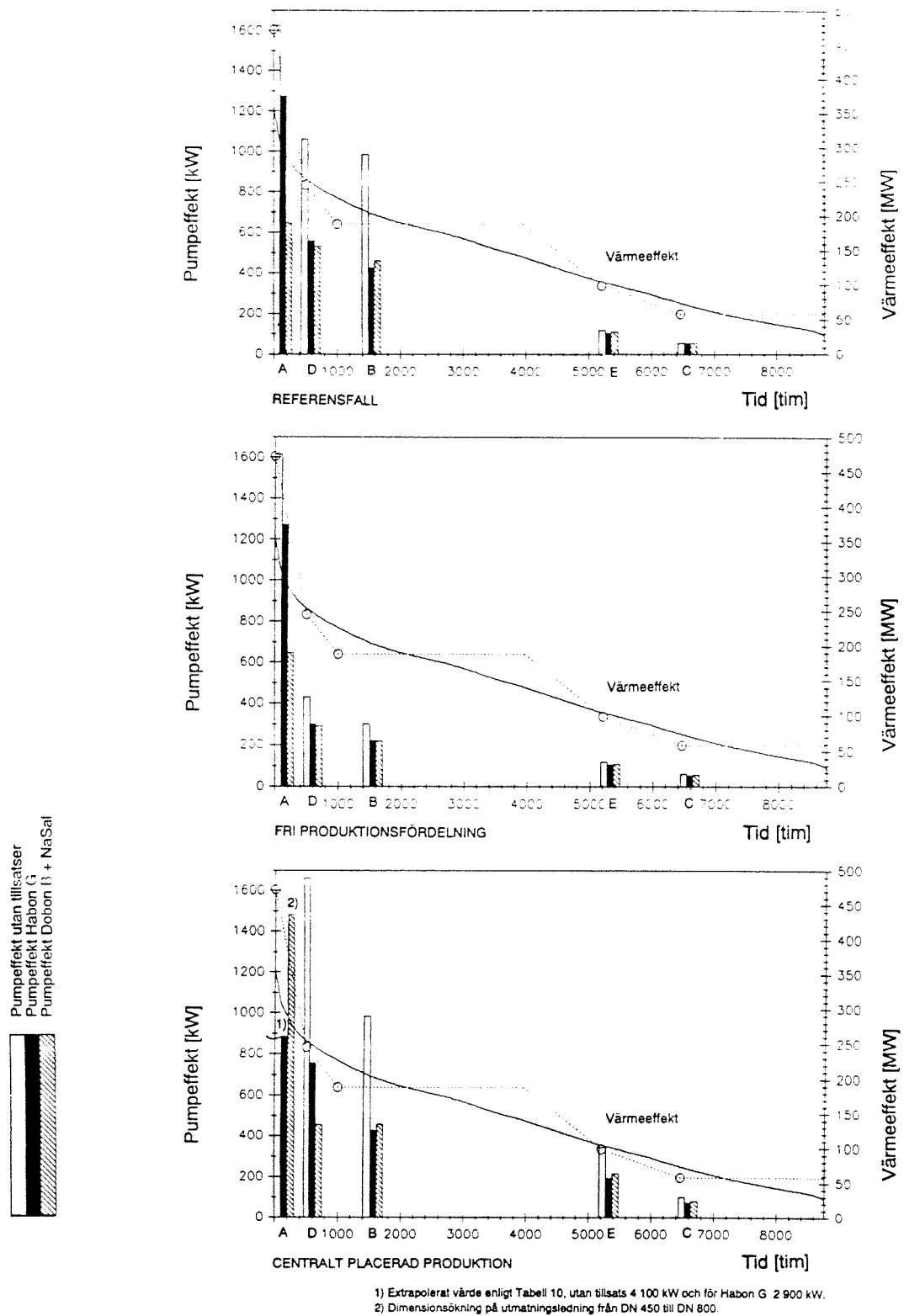
Tids-segment	Utan tillsats	Habon G	Dobon G + NaSal
	MWh	MWh	MWh
A - D	1439 1) 2)	914 1) 2)	549 2)
D - B	659	294	292
B	2907	1249	1344
B - E	833	382	413
E - C	281	164	177
C	225	168	175
	6344 4905	3171 2257	2950 2401
	100 % 100 %	50 % 46 %	47 % 49 %

Tabellnot 1. Extrapolerat värde enligt Figur 7 och Tabell 10.

Tabellnot 2. Dimensioneringsökning på utmatningsledning från DN 450 till DN 800.

I jämförelsen mellan centralt placerade produktionsenheter och produktionsenheter ute i nätet med en driftstrategi enligt referensfallet kan man notera följande:

Fjärrvärmesystem med produktionsenheter lokaliserade till ett produktionsställe och med en matningsledning erhåller generellt högre pumpeffekter och därmed högre pumpenergi. Skillnaden är ungefär 10 % mellan referensfallet och då värmeleveransen sker från en produktionsanläggning. Anledningen till att en lägre pumpeffekt har erhållits i referensfallet är att de båda pumpgrupperna i Hässelby och Akalla samkörs när båda anläggningarna är i drift och att det sker en värmeleverans från Akalla mot Hässelby. Under driftåret har enbart Hässelby körts i 2960 timmar eller 34 % av drifttiden. Under resterande tid har båda anläggningarna levererat värme.



Figur 8. Erhållna pumpeffekter i respektive driftpunkt.
Pumping power calculated in each case.

Både i referensfallet och vid central produktion sker en reduktion av pumpenergin med ca 50 % för både Habon G och Dobon G + NaSal. Omvänt kan man säga att kapaciteten på nätet har utökats. I det senare beräkningsfallet erhålls acceptabla tryck med Dobon G med tillsats av NaSal även i driftfallet med maximal last på nätet, dock under förutsättning av en ledningsförstärkning.

I samtliga driftpunkter erhålls friktionsnedsättning över hela ledningssystemet, utom för driftpunkt A i beräkningsfallen med Habon G. För dessa fall erhålls friktionsnedsättning enbart i returledningen på grund av att framledningstemperaturen 120 grader C överskrider den maximalt tillåtna drifttemperaturen för Habon G. Den friktionsnedsättande effekten upphör eller bildas emellertid progressivt i nätet där driftförutsättningarna, temperatur och strömningspåkänningar ändras och kommer att ligga utanför respektive inom tensidernas tillåtna driftintervall.

4 Ekonomisk analys

En av målsättningarna med projektet är att analysera lönsamheten i att tillsätta friktionsnedsättande preparat. I kapitel 3 ovan diskuterades erhållna resultaten från tryckfallsberäkningarna utgående från ett beräknat referensvärde för ett system utan tillsatser. Därefter har effekten av två olika friktionsnedsättande tillsatser beräknats. I detta avsnitt diskuteras det ekonomiska värdet av dessa resultat.

4.1 Grundläggande förutsättningar

Den ekonomiska analysen består av att studera vilka parametrar som förändras då friktionsnedsättande tillsatser doseras i fjärrvärmevattnet och hur dessa påverkar det ekonomiska resultatet. I detta hänseende får även det totala fjärrvärmesystemets energibalans behandlas vad avser tillförd och bortförd energi.

Inga finansieringsaspekter tas upp i analysen utan bara investeringskostnader. Detta innebär att vi inte tar hänsyn till eventuella bidrag, fördelaktiga lån etc som kan vara möjliga i samband med introduktion av ny teknik. Skatter undantas ej utan dessa ingår tex i bränslepriserna. I beräkningarna tas ingen hänsyn till eventuella förändringar i mantid - arbetstid - och arbetsinnehåll för den personal som har till uppgift att övervaka och tillse driften av fjärrvärmenätet.

Alla beräkningar görs i 1992 års penningvärde. Beräkningarna genomförs också i reala priser, dvs rensade från inflation. Realräntan antas till 6 %. Vid beräkningarna har annuitetsmetoden använts.

Vid beräkningarna tas hänsyn till över året tidsdifferentierade priser. I detta fall är det produktionskostnaden för värme och för tillförd elenergi till distributionspumparna som varierar i tiden.

I beräkningarna har de olika kostnadsposterna fördelats enligt följande rubriker:

- investerings- och kapitalkostnader som avser initialdosering av tensid, doserings-, över-

vaknings- och reningsutrustning. Vidare ingår kostnader för koncessionsansökan i en initial investering.

- kostnader för tillförd energi - elenergi till distributionspumpar och kostnader för producerad värme.
- drift- och underhållskostnader omfattar underhållsdosering och analyskemikalier.

Dessa kostnader diskuteras vidare under respektive avsnitt.

Tensidernas miljöpåverkan vid handhavande och vid läckage från systemet behandlas i en separat studie.

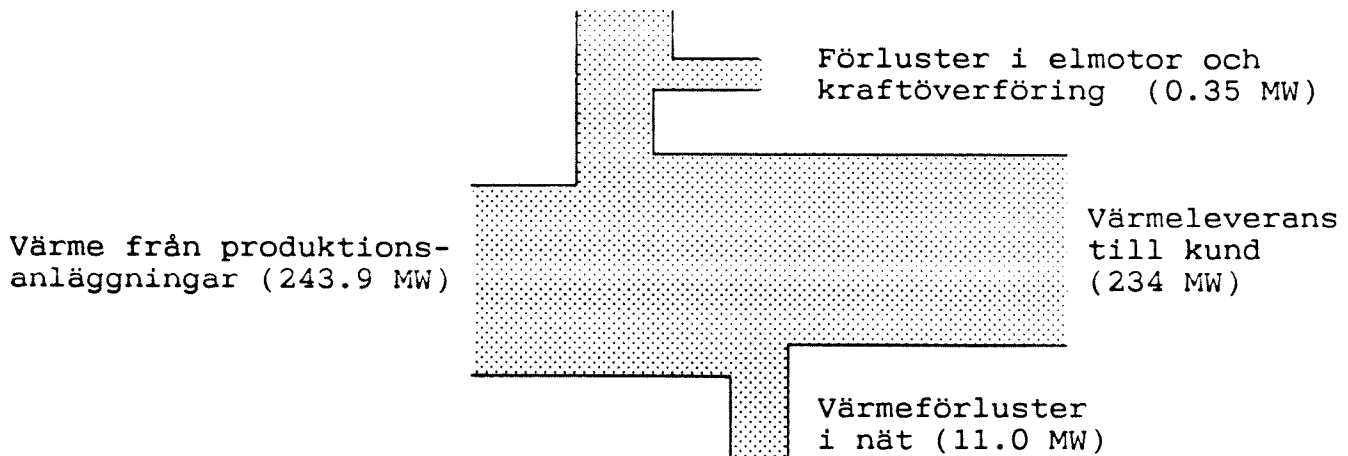
4.1.1 Fjärrvärmesystemets effekt- och energibalans.

I nedanstående Sankeydiagram, figur 9, visas schematiskt hur energibalansen för fjärrvärmesystemet förändras då tensider tillsätts fjärrvärmevattnet. Förutsättningen är att värmeleveransen till fjärrvärmeabonnenterna är densamma med eller utan friktionsnedsättande tillsatser i fjärrvärmevattnet. I de fall som jämförs är även värmeförlusterna desamma då samma temperaturprogram har simulerats.

Skillnaderna i energibalansen utan och med friktionsnedsättande tillsatser blir att förhållandet mellan tillförd värme via distributionspumparna och värme från produktionsanläggningarna förändras. I våra beräkningar har vi antagit att 75 % av elenergin till distributionspumparna tillförs fjärrvärmevattnet och omsätts till värme. Resterande del är förluster i elmotor och kraftöverföring.

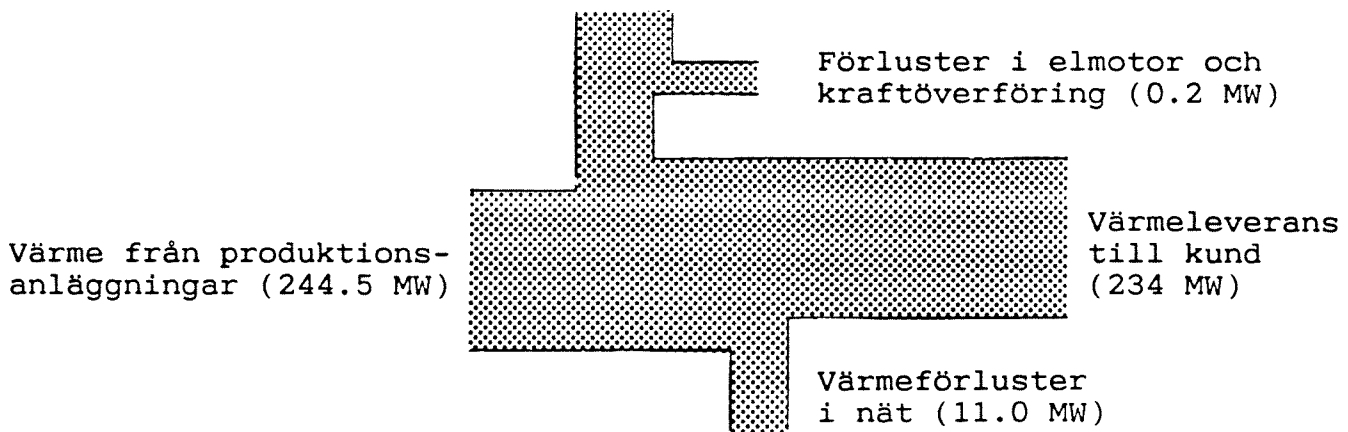
Med friktionsnedsättande tillsatser reduceras effektbehovet till distributionspumparna och därmed förloras till en del den värme som dessa tillför fjärrvärmevattnet. Denna förlust måste kompenseras med en ökad värmeproduktion från el-, oljepannor eller mottrycksvärme från kraftvärmeanläggningen. Då denna energi inte kompenseras med ett ökat eluttag innebär detta att den abonnerade effekten i avtalet med råkraftleverantören kan minskas i motsvarande grad.

Tillförd eleffekt till
distributionspumpar (1.4 MW)



a) Utan tillsatser

Tillförd eleffekt till
distributionspumpar (0.75 MW)



b) Med tillsatser

Figur 9. Schematisk energibalans utan och med friktionsnedsättande tillsatser i fjärrvärmevattnet. Angivna exempel på effektvärden i Sankeydiagrammen härrör från driftpunkt D i referensfallet. Schematic energy balance a) without and b) with drag reducing additives. The figures in the Sankey diagrams refer to case D, for the actual distribution of heat production.

4.1.2 Produktionskostnad för levererad energi och energi till distributionspumpar.

I den ekonomiska bedömningen skall bland annat minskade värmeförluster och reducerad pumpenergi värderas. Dessa vinster är verksrelaterade och beroende av på vilket sätt den levererade värme- och elenergin har producerats.

Värdet på den tillförda elenergin till distributionspumparna relateras till avtal beträffande inköp av el, i normala fall till råkraftavtal men för större verk till kraftpriset på kraftbörsen.

I nedanstående beräkningar har respektive kostnad för energin erhållits från Stockholm Energi. I bilaga D sammanfattas antagna priser på respektive energislag samt antagna effektaavgifter. Bilaga D ingår enbart i Stockholm Energi ABs rapportversion.

4.1.3 Prisbild på friktionsnedsättande tillsatser.

Något aktuellt pris från tillverkare av tensider har ej erhållits.

Offertförfrågan har tillsänts Hoechst Svenska AB av Stockholm Energi AB avseende inköp av tensid för dosering motsvarande Stockholm Energis västra distrikt - Hässelbyområdet. Eftersom Hoechst inte har lämnat något svar på Stockholm Energi ABs förfrågan är prisbilden på produkterna för närvarande oklar.

Ett antal faktorer påverkar emellertid produktens slutpris. Dessa är bland annat:

Råvarupriset för de ingående komponenterna för respektive friktionsnedsättande tillsats.

Total marknad och tillverkningsvolym för produkten.

Levererad volym - Initialdosering eller underhållsdosering.

Transportkostnader från fabrik till kund.

Konkurrensen på marknaden dvs om tillverkande företag är ensamma på marknaden eller ej. Idag betraktas Hoechst AB som ledande beträffande friktionsnedsättande tillsatser och kan på detta

sätt styra priset på marknaden.

Tensidernas kvalitet dvs livslängd.

I vårt antagande beträffande tensidernas prisbild har vi utgått i prisuppgifter som erhållits för den grupp av kemikalier som Habon G och Dobon G tillhör. Vedertagna priser för denna grupp varierar mellan 10 - 40 SEK/kg, vilket antas vara ett bulkpris på färdig tensidprodukt. För att uppskatta priset på NaSal, som tillsätts för att utöka Dobon Gs temperaturområde, har vi utgått från kostnadsrelationen till ovanstående kemikalier vid inköp i mindre mängder. Priset på NaSal ansätts då till hälften av priset av en tensidkemikalie.

Vid våra analyser har utgått från följande antaganden beträffande pris på friktionsnedsättande tillsatser fritt levererat till kund:

Dobon G, Habon G eller motsvarande tensid:	40 SEK/kg
--	-----------

NaSal eller motsvarande:	20 SEK/kg
--------------------------	-----------

Dessa priser antas gälla både vid köp vid initial dosering som vid inköp av mindre kvantiteter för tillsatsdosering under drift.

Som framgick av avsnitt 3.3.2 sker valet av tensid utifrån lägsta optimala koncentration och pris på tillsats som har ett rätt arbetsområde. Vid beräkningarna har det visat sig att lämplig koncentration för Habon G och Dobon G med NaSal är 0.5 kg per m³ vatten respektive 1.2 och 0.6 kg.

Tillsatsen av Dobon G + Nasal är ca 24 ton Dobon G och 12 ton NaSal. Tillsatsen av Habon G är ca 10 ton. Investeringen i initialdoseringen blir således 1.2 MSEK respektive 0.4 MSEK.

4.1.4 Koncessionsansökan för användande av tensider i fjärrvärmesystem.

Under förutsättning att koncessions- eller tillståndsansökan kan ses som en enkel tilläggsansökan för ett befintligt gällande tillstånd kan kostnaden begränsas till ca SEK 60 000. Årskostnaden kommer då även att ingå i tidigare grundkoncession.

Då det inte finns någon vedertagen praxis för bedömning av ansökningar beträffande tillsatser av tensider i fjärrvärmesystem blir med all säkerhet underlaget för den första ansökan mer omfattande än när fasta rutiner har utarbetats. Kostnaden för en sådan utredning har här ej uppskattats. Vidare förutsättes att tillverkarnas produktbeskrivning avseende ekotoxikologiska egenskaper ingår i produktens pris vid leverans.

4.1.5 Omsättning av fjärrvärmevatten.

I Värmeverksföreningens rapport FJÄRRVÄRMEVATTEN, december 1989, framgår att det finns stora vattenförluster i fjärrvärmesystemen. I genomsnitt motsvarar spädvattentillförseln 0.6 omsättningar av nätvolymen per år i de 149 verk som har svarat på den enkät som ligger till grund för beräkningen.

Spädvattenförbrukningen varierade mellan 0 och 3.6 omsättningar per år. Av rapporten framgår att förbrukningen ökar med nätvolym och nätets ålder, även om sambandet inte är entydigt.

Med spädvattenförbrukning menas i ovanstående utredning total vattentillförsel till nätet inklusive uppfyllningar. För uppfyllning i ledningar i samband med underhåll och anslutning av nya fjärrvärmeområden och i packboxar etc går det alltid åt en viss vattenmängd. I förekommande fall bör man skilja mellan planerad spädvattentillförsel enligt ovan och läckage från ledning och värmväxlare i abonnentcentraler.

Spädvattenomsättningen har en direkt påverkan på kostnaderna för underhållsdosering av tensid. Möjligheterna att introducera friktionsnedsättande tensider i fjärrvärmenät är större ju lägre spädvattenomsättningen är. Tensid tillsatsen är då ytterligare en orsak att på ett systematiskt sätt arbeta sig igenom distributionssystemet för att minska spädvattenomsättningen till nätet, som i sig innebär stora kostnader.

4.1.6 Doserings- och övervakningsutrustning.

En dosering av tensid i en fjärrvärmekrets omfattar två faser:

Initialdosering för att uppnå önskad tensid-koncentration i kretsen.

Underhållsdosering eller tillsatsdosering för att upprätthålla önskad koncentration.

De båda fallen kräver två helt olika doserings-volymer. Den beräknade initialdoseringen för ett nät med en volym av 20 000 m³ uppgår till ca 50 m³. Vid en initialdosering över ett dygn skall i genomsnitt ca 2 m³ tensid per timma pumpas in i fjärrvärmekretsen. Samtidigt skall även en spädvatteninmatning ske till fjärrvärmesystemet av ungefär samma storlek. Under dessa premisser kan det vara lämpligt att förlänga doseringstiden samt anpassa denna till spädvatteninmatningen. Vid en anpassning till spädvatteninmatningen kan man dock inte räkna med att spädmatningen är konstant. I större system med kraftvärme och system med hetvattenpannor av senare datum med matarvattentank sker ofta påfyllningen från matarvattentanken för att upprätthålla rätt kvalitet på fjärrvärmevattnet.

Den tankvagn som krävs för transporten torde även användas som lagertank under doseringsperioden. Det som behövs då är en pump för att trycka in tensiden i systemet. En pump för ca 2 m³ per timma och ett mottryck av 16 bar kostar ca 10 000 med motor och anslutningar. För pumpning av tensiden mellan tank - pump - distributionssystem bör slang kunna användas. Om man kan förutsätta att tankvagnen är försedd med en pump med motsvarande kapacitet kan denna investering utgå.

Underhålls- eller tillsatsdoseringen kommer att ske regelbundet. Doseringen kan ske dels med lågt kontinuerligt flöde, dels i större mängd vid vissa tillfällen. I de flesta anläggningar torde det finnas doseringsutrustning av tillräcklig kapacitet för dosering i fjärrvärmekretsen. Alternativt kan man köpa en enkel och lätthanterlig doseringsutrustning komplett med pump, inställbar för olika flöden, och doseringskärl på 50 - 100 liter. Kostnaden för en sådan är mellan 5 000 - 15 000 kronor beroende på pumpstorlek och tryckförhållandena vid anslutnings-

punkten mot distributionsnätet.

Övervakningen av tensidkoncentrationen i fjärrvärmevättnet kan i princip genomföras på två sätt, dels direkt, genom att bestämma halten tensid genom en analys av ett vattenprov från nätet, dels indirekt genom att kontinuerligt mäta tryckfallet över en provsträcka i nätet.

Halten tensid kan bestämmas med Eptontitrering som är en standardmetod. Beroende på hur långtgående automatiseringen av titreringen önskas kan kostnaden för utrustningen uppskattas till mellan SEK 10 000 och SEK 30 000. Bestämning av koncentration bör genomföras regelbundet i en eller tvåveckorsintervaller.

Den kontinuerliga övervakningen förutsätter instrumentering med flödes- och tryckgivare samt utvärderingsprogram med larmfunktion.

I den ekonomiska analysen har vi antagit att övervakningen utgörs av uttag av vattenprover och titrering. Kostnaderna för analyskemikalier uppskattas till ca 2000 SEK per år.

4.1.7 Nedbrytning av tensid och rening av sönderfallsprodukter.

I ett helt tätt distributionssystem behövs ingen kontinuerlig inmatning av spädvatten i nätet. Enda anledningen att förnya tensiden i ett sådant system är dess nedbrytning. Några uppgifter om nedbrytningshastigheten finns inte. FVUs undersökning av Habon G antyder en nedbrytning motsvarande en minskning av koncentrationen på ca 10 % per år. Resultaten från ett fältförsök med Habon i Herning visar på en nedbrytning av ca 7 % per år. Ett andra försök med Habon G påvisar ingen nedbrytning alls. Mekanismerna och orsaken till denna försämring i det första försöket är ej fullt fastlagda. Man vet inte heller vilka nedbrytningsprodukterna är.

Nedbrytningen av tensiderna kräver två åtgärder, dels att ny tensid måste tillsättas, dels måste sönderfallsprodukterna avlägsnas från det cirkulerande fjärrvärmevättnet.

Överslagsmässigt borde man räkna med en tillsatsdosering på mellan 5 till 10 % per år. Det normala förfarandet vid rening av fjärrvärmevattnet är att låta en delström av huvudvattenflödet passera en reningsprocess som dimensioneras och konstruerats utifrån nedbrytningsprodukterna i vattnet. Eftersom nedbrytningsprodukterna från tensiderna ej är kända ges nedan en skiss på en möjlig utformning och kostnader relaterad till denna.

I huvudsak kan en reningsprocess bestå av en ultrafiltrering och adsorptionskolonn som avskiljer tensiderna, micellerna. Nedbrytningsprodukterna avlägsnas därefter och fjärrvärmevattnet återförs till systemet. Tensiderna som separerats tidigare tillförs åter till systemet via systemets doseringsutrustning. Investeringskostnaden för en sådan reningsutrustning kan här bara grovt uppskattas då tensidernas nedbrytningsprodukter ej är kända. Vidare beror kostnaden även på storleken på den delström som avskiljs från huvudflödet. Erfarenheterna från Herning visar att det även kan uppstå ett behov av att modifiera redan installerade filter för magnetit då dessa inte fungerar med tensidtillsatser i fjärrvärmevattnet.

I den ekonomiska analysen har en investeringskostnad för en reningsprocess antagits till SEK 235 000.

4.2 Ekonomiskt utbyte av att tillsätta tensider i fjärrvärmevattnet.

Målsättningen med den ekonomiska analysen är således att försöka besvara frågan under vilka villkor det är lönsamt att tillsätta tensider i fjärrvärmevattnet. Det ekonomiska värdet bedöms först utifrån ett idealt system. Därefter diskuteras ett antal möjliga driftsituationer utgående dels från tensidens egenskaper, dels från förhållande i nät samt värdet av tillförd energi. En första jämförelse görs mellan ett nät med extremt gynnsam systemutformning för att tillsätta tensider och ett nät med normala driftförhållanden.

Ideala förhållanden för friktionsreducerande tillsatser är att fjärrvärmesystemet är helt tätt och inte har något utläckage. Vidare att fjärrvärmevatten har en sådan kvalitet att tensiderna ej kemiskt påverkas och försämras av vattnet.

Produktionsanläggningarnas placering i fjärrvärmenätet påverkar även tryckbilden i nätet. I system där den huvudsakliga värmen produceras i ett produktionscentrum erhålls en trycksituation i nätet som skiljer sig från de fall då värmeproduktionen är utplacerad på två eller flera produktionsställen i olika delar av nätet.

För att erhålla ett friktionsreducerat system krävs emellertid investeringar i anläggningar och tensid enligt följande. Dessa investeringar är oberoende av systemutformning och gäller således för de systemvarianter som vi har behandlat.

ANLÄGGNINGSKOSTNADER	Habon G	Dobon G + NaSal
Doseringsanläggning inkl utrustning för initialdosering	25 000	25 000
Analys och övervakning	30 000	30 000
Reningsanläggning	235 000	235 000
Koncessionsansökan	60 000	60 000
TENSID		
Initialdosering	400 000	1 200 000
Summa SEK	750 000	1 550 000

ÅRLIGT DRIFT OCH UNDERHÅLL	Habon G	Dobon G + NaSal
Spädvatteninmatning m3/dygn	0	0
Tillsatsdosering		
läckage SEK		
nedbrytning SEK	20 000	60 000
Kemianalys SEK	2 000	2 000
Summa SEK/år	22 000	62 000

4.2.1 Lönsamhet vid centralt placerade produktionsanläggningar - ideala förhållanden.

Med centralt placerade produktionsanläggningar menas ett system där all värme distribueras via ett antal centralt placerade distributionspumpar, eventuellt kompletterade med tryckstegringspumpar ute i nätet. Ideala förhållanden innebär att nätet ej har något läckage.

Kostnaden för den tillförda elenergin till distributionspumparna har med ovanstående förutsättningar, utan friktionsnedsättande tillsatser, beräknats till 1.37 MSEK per år. Motsvarande kostnad med friktionsnedsättande tillsats, Habon G och Dobon G + NaSal är 0.69 MSEK respektive 0.63 MSEK per år. Den värmeproduktion som kompenserar för den lägre värmeenergin från distributionspumparna har för respektive Habon G och Dobon G + NaSal beräknats till 0.55 respektive 0.61 MSEK. Detta innebär en merkostnad för system med friktionsnedsättande tillsatser i förhållande till konventionella system, då kostnaden för el i våra förutsättningar är lägre än produktionskostnaderna för värme producerat med olja och mottrycksvärme.

Dessa kostnader kompenseras dock till en del av den lägre effekten i elkraftabonnemanget vilket värderas totalt till 425 SEK per kW.

		Utan tillsats	Habon G	Dobon G + NaSal
Kostnader för tillförd pumpenergi	SEK/år	1 374 615	690 919	627 323
Kostnader för tillsatsenergi	SEK/år		547 879	615 015
Reduktion i elkraftabonnemang				
Abonnemangsavgift	100 SEK/kW		- 160 000	- 349 000
högbelastningsavgift	325 SEK/kW		- 357 500	- 481 780
Summa kostnad SEK per år		1 374 615	721 298	411 558
TENSID				
Drift och underhåll	SEK/år		22 000	62 000
Kapitalkostnad	SEK/år		101 925	210 645
SUMMA	SEK	1 374 615	845 223	684 203

4.2.2 System med produktionsanläggningar
placerade ute i nätet, referensfall
och fri fördelning - ideala förhållanden.

I referensfallet utgår beräkningarna från att värmeleveransen i huvudsak sker från Hässelby. Produktionsfördelningen mellan Hässelby och Akalla samt rangordningen av enheterna baseras på värme-produktionskostnaden i respektive anläggning.

Kostnaden för den tillförda elenergin till distributionspumparna har med existerande driftstrategi för referensfallet beräknats till 1.1 MSEK per år. Motsvarande kostnad med friktionsnedsättande tillsatser Habon G och Dobon G + NaSal är 0.54 MSEK respektive 0.52 MSEK per år. Den värmeproduktion som kompenserar för den lägre värmeenergin från distributionspumparna har för referensfallet beräknats till 0.42 MSEK och 0.44 MSEK per år för Habon G respektive Dobon G + NaSal.

Effektreduktionen i kraftabonnemangen är 0.46 MW med Habon G och 1.28 MW med Dobon G + NaSal.

		Utan tillsats	Habon G	Dobon G + NaSal
Kostnader för tillförd pumpenergi	SEK/år	1 075 895	542 948	521 252
Kostnader för tillsats- energi	SEK/år		417 921	442 391
Reduktion i elkraft- abonnemang				
Abonnemangsavgift	100 SEK/kW		- 46 000	- 128 700
högbelastningsavgift	325 SEK/kW		- 182 975	- 265 655
Summa kostnad SEK per år		1 075 895	731 894	569 288
TENSID				
Drift och underhåll	SEK/år		22 000	62 000
Kapitalkostnad	SEK/år		101 925	210 645
SUMMA	SEK	1 075 895	855 819	841 933

Vid möjligheter till en fri produktionsfördelning, där man strävar efter att fördela värmeproduktionen så jämnt som möjligt mellan Hässelby och Akalla, har kostnaderna för den tillförda elenergin till distributionspumparna beräknats till 0.45 MSEK per år utan friktionsnedsättande tillsatser. Motsvarande kostnad med friktionsnedsättande tillsats är 0.35 MSEK för Habon G och 0.31 MSEK och Dobon G med NaSal. Tillsatsenergin för att kompensera den lägre värmeenergin från distributionspumparna har beräknats till 0.10 MSEK och 0.12 MSEK per år för Habon G respektive Dobon G + NaSal.

Effektreduktionen i kraftabonnemangen är 0.46 MW med Habon G och 1.3 MW med Dobon G + NaSal.

		Utan tillsats	Habon G	Dobon G + NaSal
Kostnader för tillförd pumpenergi	SEK/år	449 292	345 896	307 458
Kostnader för tillsatsenergi	SEK/år		86 082	123 318
Reduktion i elkraftabonnemang				
Abonnemangsavgift	100 SEK/kW		- 46 000	- 128 700
högbelastningsavgift	325 SEK/kW		- 66 000	- 121 030
Summa kostnad SEK per år		449 292	319 978	181 046
TENSID				
Drift och underhåll	SEK/år		22 000	62 000
Kapitalkostnad	SEK/år		101 925	210 645
SUMMA	SEK	449 292	443 903	453 691

4.2.3 Sammanfattande bedömning vid ideala nätförhållanden.

Resultatet från ovanstående beräkningar kan sammanfattas enligt följande tabell. Förutsättningarna för dessa resultat är således ett tätt system och att tillsatsdoseringen, här antagen till 5 % balanserar tensidens initialdosering dvs upprätthåller tensidkoncentrationen i fjärrvärmevättnet. Balansen blir således ett mått på tensidens tekniska livslängd.

Tabell 12. Kapital- samt drift- och underhållskostnader kSEK per år.
 Nät utan spädvatteninmatning.
 Initial and running costs for a network without any water
 make up. Costs in kSEK per year.

Central produktion			Referensfall			Fri fördelning		
Utan till- sats	Habon G	Dobon G + NaSal	Utan till- sats	Habon G	Dobon G + NaSal	Utan till- sats	Habon G	Dobon G + NaSal
1 375	845	684	1 076	856	842	449	444	454

I de system där det finns möjligheter att fritt fördela produktionen och leverera värmen från flera leveranspunkter i nätet bör man om möjligt eftersträva detta. I exemplet ovan reduceras driftkostnaderna i en sådan omfattning att det inte finns någon lönsamhet i att investera i friktionsnedsättande tillsatser.

De två övriga fallen, referensfall och central produktion visar att om fjärrvärmesystemet är tätt så finns det möjligheter för en kostnadsreduktion. I referensfallet är det ekonomiska resultatet för Habon G och Dobon G med NaSal likvärdigt, trots att temperaturområdet för Dobon G med NaSal täcker hela driftområdet från 40 grad C upp till 120 grad C. Möjligheterna med Dobon G + NaSal att under höglastperioder reducera abonnerad eleffekt och pumpenergi balanseras här av den lägre koncentrationen och inköpskostnaderna för Habon G. Vid central produktion är Dobon G med NaSal mera fördelaktigt.

4.3 Känslighetsanalyser.

Det ekonomiska värdet av att tillsätta tensider till fjärrvärmenätet bedöms ovan utifrån ideala system utan läckage. Vi har därigenom uppmärksammat de extremt gynnsamma utfallen.

Utifrån detta kan sedan ett antal möjliga driftsituationer diskuteras med hänsyn till tensidens egenskaper, nät- och produktionsförhållande samt värdet av tillförd energi. I frånvaro av säkra

bestämda parametrar är de framtida lönsamhetsförväntningarna obestämda. Genom att variera ett antal ingående parametrar kan man emellertid bedöma resultatets känslighet. Med känslighetsanalyserna har vi försökt uppmärksamma även de ogynnsamma utfallen. De parametrar som vi därvid har studerat är spädvattenomsättning, pris på pumpenergi där även hänsyn till effektbehovet diskuteras.

4.3.1 Spädvattenomsättning.

Vattenvolymen i Hässelbynätet beräknas till ca 20 000 m³. Spädvatteninmatningen år 1992 uppgick till ca 50 m³/dygn vilket innebär att fjärrvärmevattnet omsättes nästan en gång per år. I dessa uppgifter inkluderas även spädvatteninmatning för Järfälla. Spädvattenomsättningen år 1991 var 180% men då var inte förbindelsen med Järfälla installerad.

I ett näts vattenförluster ingår förlorade vattenvolymer i samband underhåll och byte av ledningar och kulvert. I dessa fall bör tensid tillsatserna återvinnas. För mindre volymer kan t ex en tank utnyttjas för att lagra fjärrvärmevattnet under reparationen för att senare återfyllas. För större volymer kan tensiden återvinnas med en portabel avskiljningsanläggning. I den följande ekonomiska analysen har dock ingen hänsyn tagits till möjlig återvinning, utan all vattenförlust har antagits leda till en motsvarande förlust av tensid tillsats.

ÅRLIGT DRIFT OCH UNDERHÅLL		Habon G	Dobon G + NaSal
Spädvatteninmatning	m ³ /dygn	50	50
Tillsatsdosering			
läckage	SEK	365 000	1 095 000
nedbrytning	SEK	20 000	60 000
Kemianalys	SEK	2 000	2 000
Summa	SEK/år	387 000	1 157 000

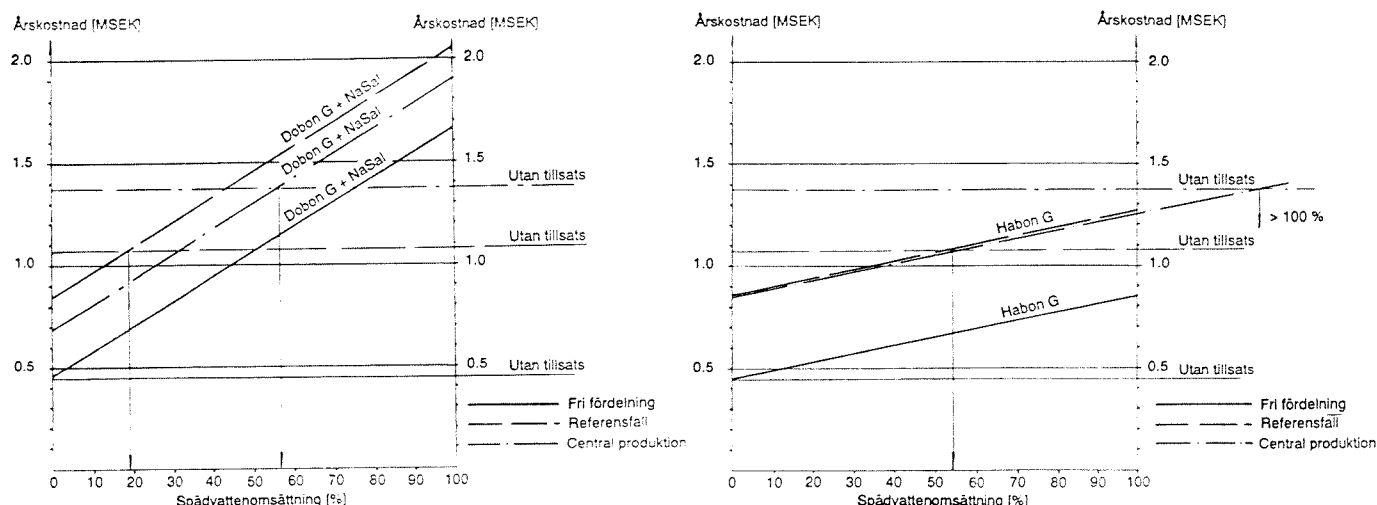
I tabell 13 nedan redovisas resultatet vid en spädvatteninmatning av ca 50 m³/dygn vilket således motsvarar normala förhållanden för driften av Hässelbynätet. Här framgår att med en spädvatteninmatning i nätet förstärks skillnaden mellan Habon G och Dobon G med NaSal på grund av den relativt sett dyrare tillsatsdoseringen. Habon G ger ett bättre ekonomiskt resultat än Dobon G med NaSal i samtliga beräknade fall. Vid en stor spädvattentillförsel blir således Habon G ett bättre alternativ även i fallet med central produktion. Det är inte heller möjligt att ta bort tillsatsen av Natrium-salicylat från Dobon G för att minska investeringskostnaden för tillsats- och tillsatsdosering utan att erhålla ökade kostnader för pumpenergi. NaSal är en nödvändig tillsats till Dobon G för att få en friktionsnedsättning i fjärrvärmenätets returledning. Detta innebär att relationen mellan Habon G och Dobon G med NaSal tekniskt och ekonomiskt med hänsyn till systemförutsättningar är stabil såvida inte kostnadsrelationen mellan de båda preparaten förändras.

Tabell 13. Kapital- samt drift och underhållskostnader kSEK per år.
Nät med ca 90 % spädvattenomsättning.
Initial and running costs for a network with a 90 %
addition rate for make up water.

Central produktion			Referensfall			Fri fördelning		
Utan till- sats	Habon G	Dobon G + NaSal	Utan till- sats	Habon G	Dobon G + NaSal	Utan till- sats	Habon G	Dobon G + NaSal
1 375	845	684	1 076	856	842	449	444	454
	365	1 095		365	1 095		365	1 095
1 375	1 210	1 779	1 076	1 221	1 937	449	809	1 549

Figur 10 nedan visar i diagramform årskostnaden som funktion av nätets spädvattenomsättning. I deldiagrammen redovisas respektive beräkningsfall för Habon G och Dobon G med en tillsats av NaSal vid olika grad av spädvattenomsättning. Resultatet av beräkningarna utan tillsats ger en rät linje i respektive diagram för de olika beräkningsfallen.

Lägsta årskostnaden som funktion av spädvattenomsättning för referensfallet och central produktion visas i Figur 11. Brytpunkterna i diagrammen är den spädvattenomsättning där lägsta årskostnaden övergår från olika tensid tillsatser respektive ingen tillsats alls.

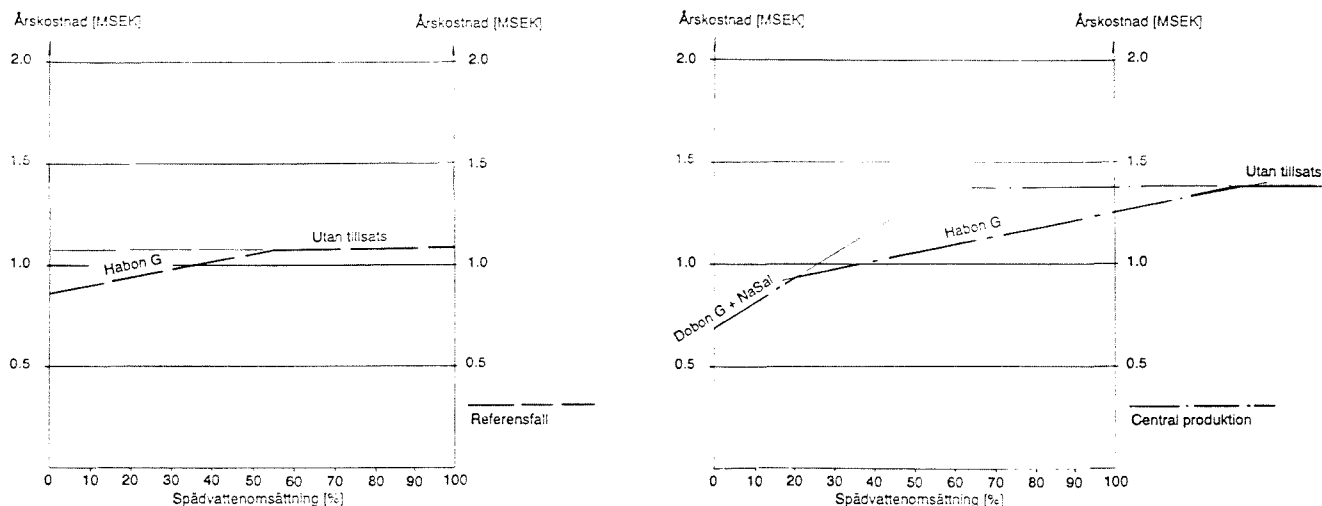


Figur 10. Beräknad årskostnad inklusive kapitalkostnader som funktion av spädvattenomsättning för Dobon G med NaSal och Habon G.

Dependence of the yearly operating and capital costs for using drag reducing additives as a function of the rate of addition of make up water to the network. Dobon G and NaSal, left diagram and Habon G, right diagram. Cases: ——— evenly distributed production, - - - - - actual distribution of production and - . . . - centralized production.

Med de antaganden som gjorts, om bland annat kostnaderna för tensid och tillförd pumpenergi, bör spädvattenomsättningen i nätet understiga 100 % för att friktionsnedsättande tillsatser skall vara intressanta.

För fjärrvärmeverken i landet är spädvattenomsättningen i genomsnitt 0.6 omsättningar av nätvolymen per år.

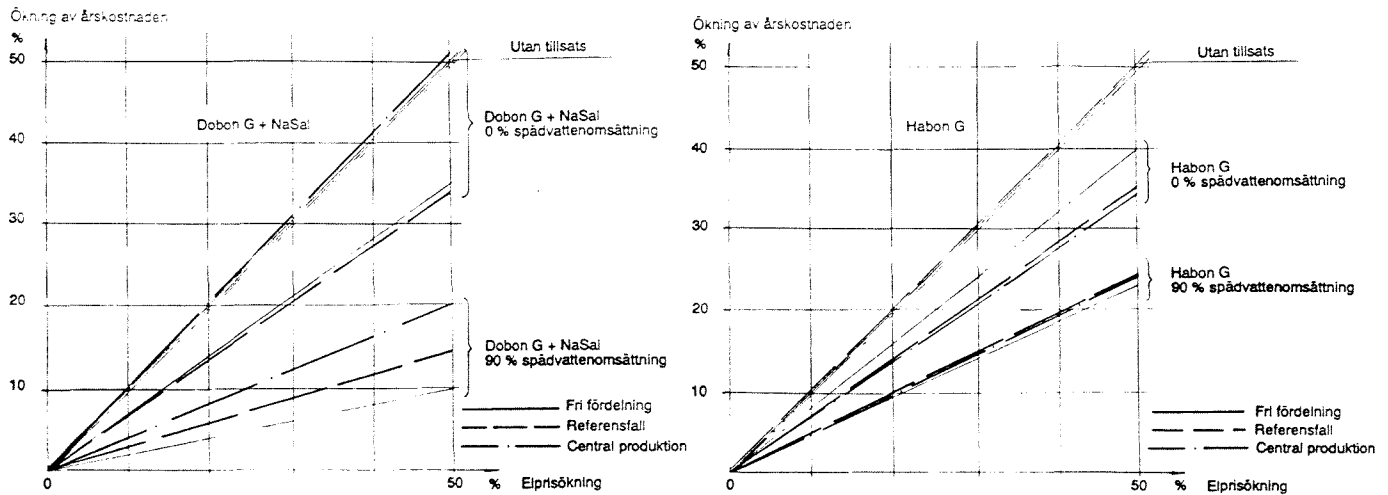


Figur 11. Beräknad årskostnad inklusive kapitalkostnader som funktion av spädvattenomsättning för referensfallet och centralt placerad produktion. Optimal operating conditions for the actual distribution of heat production, left diagram, and for centralized production, right diagram. Yearly cost as a function of addition of make up water.

4.3.2 Förändrade prisrelationer på elenergi i förhållande till övriga bränslen.

Som framgår av avsnitt 4.2.1 till 4.2.3 ovan är de stora kostnadsposterna energi till distributionspumpar och tillsatsenergi. I de fall man har spädvatteninmatning i nätet kan även kostnaden för tillsatsdosering bli en dominerande kostnad vilket framgått av avsnittet ovan.

För att belysa hur årskostnaden ändras vid ett ökat pris på elenergi har känsligheten i resultaten undersökts med avseende på en elprisökning i förhållande till övriga bränslen.

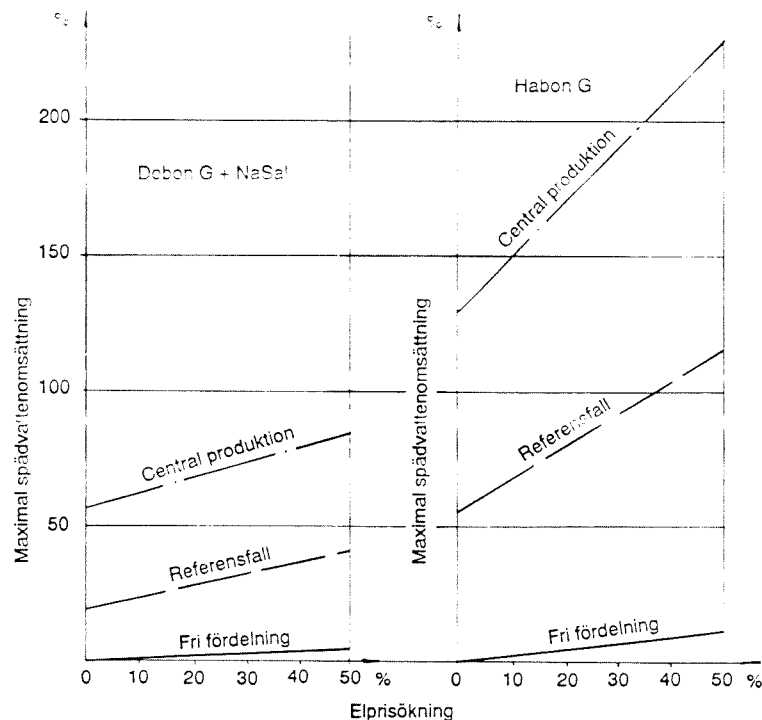


Figur 12. Förändring av årskostnaden som funktion av ett ökat pris på elenergi.
Increase in yearly cost caused by an increase in electricity price. Key of symbols as in Figure 10.

Ett ökat elpris får ett direkt genomslag med ökande driftkostnader för distributionspumparna. Kostnadsökningen för tillsatsvärme till fjärrvärmenätet blir emellertid inte så stor då denna enbart till en del produceras med elpannor. I Figur 12 visas hur årskostnaden förändras då priset på elenergin ökar.

En ökning av elenergikostnaden med 50 % ökar årskostnaden med mellan 35 och 50 % utan spädvatteninmatning och med 10 till 25 % i nät med en spädvattenomsättning på 0.9.

Ett ökat elpris i relation till övriga bränslen skapar således ett större lönsamhetsutrymme för friktionsnedsättande tillsatser. Omsatt i måttet spädvattentillförsel innebär detta att det blir möjligt att tolerera en högre spädvattenomsättning utan att lönsamheten går förlorad. Detta framgår av Figur 13.



Figur 13. Ändring av maximalt tillåten spädvattenomsättning vid ett förändrat elenergipris. Sensitivity of the critical addition rate of make up water to the increase of electricity price. Left diagram Dobon G and NaSal, right diagram Habon G. Symbols as in Figure 10.

4.3.3 Förändrade framledningstemperaturer.

En lägre framledningstemperatur ger mindre värmeförluster från fjärrvärmenätet, men i och med att differensen mellan fram- och returtemperaturen minskar måste flödet ökas för att den levererade värmeeffekten skall upprätthållas. Kostnadsökningen på grund av de ökade flödet måste således vara mindre än värdet av minskade värmeförluster om sänkning av framledningstemperaturen skall vara lönsam.

Sänkningen av framledningstemperaturen har gjorts för de partier av reglerkurvan som berör driftpunkterna A, D och B. I dessa punkter har temperaturen sänkts 10 grader C. Returtemperaturen har behållits oförändrad. Värmeförlusten har därvid reducerats med 2 800 MWh från 69 000 MWh till 66 000 MWh.

Flödesökningen orsakar emellertid ett ökat pumparbete. För referensfallet ökar pumpenergin med dessa förutsättningar med 3 400 MWh, 1 230 MWh och 1 460 MWh vid beräkningar utan tillsatser, med Habon G respektive Dobon G + NaSal. Vid samma beräkning för det centraliserade systemet erhöles en pumpenergiökning exkl. pumpenergin under högbelastning av 3 200 MWh utan tillsatser och 2 400 MWh med tillsats av Dobon G + NaSal. Vid höglast erhöles ej tillåtna tryck.

Av ovan framgår att några större vinster erhöles inte genom att sänka framledningstemperaturen på bekostnad av ett ökat flöde i nätet. Man bör istället vidta åtgärder för att öka temperaturdifferensen i nätet genom att sänka returtemperaturen.

5. Tekniska och ekonomiska möjligheter med friktionsnedsättande tillsatser i Hässelbynätet.

Sedan 1987 har Hässelby/Akallanätet förändrats. Den största ändringen är att fjärrvärmenätet i Järfälla har kopplats ihop med nätet i Hässelby och Akalla. Vidare har ett antal nya abonnenter tillkommit vilket också förändrat nätutbredningen.

Inkopplingen av Järfälla har också inneburit en förändrad produktionsstruktur. I systemet finns det nu möjligheter att erhålla värme producerad med värmepumparna i Järfälla, vilket för med sig att värmeproduktionen i nätet omfördelas.

Ytterligare en ändring kan påvisas, nämligen att spädvattenomsättningen har förändrats i och med inkopplingen av Järfällas fjärrvärmesystem. Före inkopplingen var spädvattenomsättningen i Hässelby/Akalla 180 % men med inkopplingen av Järfälla är spädvattenomsättningen för det sammansatta nätet 100 %. Detta beror på att Järfällas fjärrvärmenät hade som enskilt system en förhållandevis låg spädvattenomsättning.

Vad innebär nu detta för möjligheterna att tillsätta friktionsnedsättande tillsatser i Hässelby/Akalla? För att besvara denna fråga måste man särskilja dåtid och nutid.

5.1 Tekniska och ekonomiska möjligheter i 1987 års system.

I 1987 års Hässelby/Akallasystem fanns kapacitetsbegränsningar i utmatningsledningarna från Hässelby. Höga värmelaster förde med sig höga vattenhastigheter och därmed höga tryckfall i utmatningsledningarna som inte dessa var dimensionerade för. De produktionsenheter som finns lokaliserade till Hässelby har därvid inte kunnat leverera värme i full omfattning utan dyrare energislag i Akalla har fått tas i drift för att tillgodose värmeleveransen. För att undvika denna extra kostnad har olika möjligheter för att öka leveranskapaciteten i nätet utretts. Nätförstärkningen av de ledningsdelar som

berörts har kostnadsberäknats till mellan 95 till 105 MSEK beroende på vilken dimension som väljs. Med en annuitetsfaktor på 0.0726 (30år, 6% kalkylränta) blir den beräknade årskostnaden mellan 6.9 och 7.6 MSK per år. Denna kostnad skall då jämföras med minskade driftskostnader för fjärrvärmepumparna samt en bättre utnyttjande av produktionsanläggningarna.

Vilka möjligheter hade då funnits i 1987 års system med att tillsätta friktionsnedsättande tillsatser? I simuleringsberäkningarna bekräftas kapacitetsbegränsningen i nätet. Med friktionsnedsättande tillsatser kan man dock överbrygga kapacitetsbegränsningen i en sådan omfattning att kraftvärmeverket kan leverera full kapacitet till nätet. Kostnaderna för de friktionsnedsättande tillsatserna blir här beroende av spädvatteninmatningen till nätet. Som framgått av ovan är spädvattenomsättningen före inkopplingen av Järfälla 180 % vilket ger en uppskattad årskostnad med friktionsnedsättande tillsatser av ca MSEK 1.6 för Habon G och MSEK 2.9 för Dobon G med NaSal.

Med friktionsnedsättande tillsatser skulle man således uppnå likvärdigt kapacitetsutnyttjande av nätet som med en förstärkning av kulvertnätet till dimension DN 800 men till en betydligt lägre årskostnad. Sammanfattningsvis kan man här konstatera att trots den höga spädvattenomsättningen med hög underhållsdosering blir friktionsnedsättande tillsats ett ekonomiskt bättre alternativ än att förstärka kulverten.

5.2 Tekniska och ekonomiska möjligheter i 1993 års system.

Begränsningen i utmatningskapacitet från Hässelby som fanns 1987 finns fortfarande kvar i 1993 års system även om vissa förstärkningsarbeten har skett. Man kan dock konstatera att 1993 års produktions- och nätförhållande är annorlunda än de som gällde för år 1987.

I och med att produktionen i Hässelby och Akalla kan samspela med Järfällas produktionsenheter förändras värderingskriterierna för en nätförstärkning. Värmeproduktionskostnaderna från värmepumparna torde understiga värmekostnaderna för både el- och oljeproducerad värme.

För att konkret studera de ekonomiska förutsättningarna för detta system måste föreliggande utredning kompletteras i första hand med avseende på nätutbredning och förväntade produktionsstrategier.

Allmänt sett torde produktionsförhållandena mera efterlikna referensfallet och beräkningsfallet med fri fördelning enligt ovan. Detta skulle innebära att vinsterna med friktionsnedsättning blir mera begränsade. Om behovet av ett fullt utnyttjande av kraftvärmeblocket krävs och ett eventuellt produktionsöverskott inte kan regleras med ackumulatören kan friktionsnedsättande tillsatser vara ett intressant alternativ.

Arbetet med att på ett systematiskt sätt minska spädvattenomsättningen bör dock fortsätta, dels för att spädvattenomsättningen i sig för med sig höga kostnader, dels för att kostnaderna för tillsatsdoseringen av tensid reduceras.

En sammanställning av spädvattenomsättningen i Stockholm Energi AB skilda fjärrvärmesystem finns i Bilaga D, Sammanställning av energi- och effektpriiser samt beräkningsmetodik. Bilaga D ingår enbart i Stockholm Energi ABs rapportversion.

6. Slutsatser och möjligheter.

6.1 Möjligheter med friktionsnedsättande tillsatser.

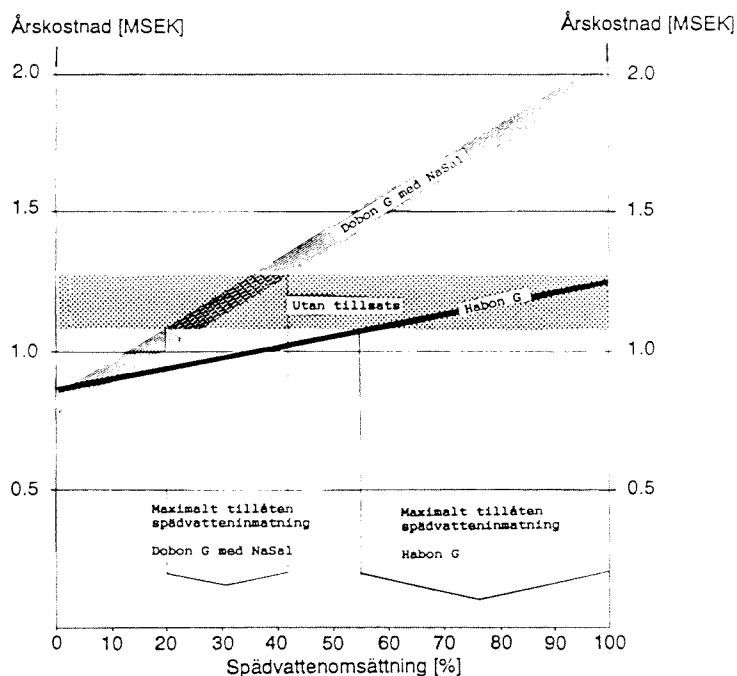
Genom att tillsätta tensider i fjärrvärmevattnet kan tryckfallet i fjärrvärmenätet reduceras. I föreliggande rapport har simuleringsberäkningar av ett befintligt nät visat att tryckfallet minskar så att pumpenergin reduceras med mellan 30 och 55 %. I ett befintligt nät kan denna tryckfallsreduktion skapa möjligheter att:

ge en ökad leveranskapacitet i nätet

eller, om en kapacitetsökning inte är nödvändig att erhålla en lägre pumpeffekt.

Det ekonomiska utbytet av en tillsats av tensid är förutom pridfaktorerna även beroende av ett antal systemfaktorer som utretts ovan. En vägd bedömning av dessa resultat framgår av figurerna nedan. En jämförelse mellan de två tensiderna visar att Habon G under normala fjärrvärmeförhållanden ger ett bättre ekonomiskt resultat än Dobon G med NaSal. Detta är betingat, dels av en lägre koncentration, dels av att NaSal är en nödvändig komponent till Dobon G för att få en friktionsnedsättning i fjärrvärmesystemets returledning. Man kan således inte ta bort NaSal från Dobon G för att reducera kostnaderna för investerings- och tillsatsdoseringen utan att erhålla ökade kostnader för pumpenergi. Med de temperaturförhållanden som idag används i fjärrvärmesystemen torde Habon G alltid ge ett ekonomiskt bättre resultat.

Av Figur 14 framgår att Habon G är ekonomiskt försvarbar under förutsättning att spädvattentillförseln understiger en årsomsättning av 55 till 100 %. Dobon G ger ett mer begränsat intervall med maximalt 20 till 45 % spädvattenomsättning. Sammanfattningsvis kan man konstatera att verksorienterade parametrar som spädvattentillförsel får ett stort genomslag i en lönsamhetsbedömning.



Figur 14. Beräknad årskostnad inklusive kapitalkostnader som funktion av spädvattenomsättning.
Yearly cost, including capital cost, for using drag reduction additives as a function of addition rate of make up water for a generalized district heating network.

FAKTARUTA

Habon G ger en friktionsnedsättande effekt i temperaturintervallet 40 - 110 grad C. Dobon G är verksam i temperaturintervallet 80 - 150 grader C. Med Natriumsalicylat utökas intervallet för Dobon G ner till 40 grad C.

Pumpenergin kan minskas med mellan 30 och 55 % med Habon G eller Dobon G med NaSal.

För att uppnå en friktionsnedsättning krävs minst 0.5 kg Habon G per m³ vatten, med Dobon G inklusive NaSal behövs minst 1.8 kg per m³.

FAKTARUTA forts.

Kemikalier i samma grupp som Habon G och Dobon G kostar mellan 10 - 40 SEK per kg.

För att tillsätta tensid i ett fjärrvärmenät krävs investeringar i initialdosering av tensid, doseringsutrustning samt övervaknings- och reningsutrustning. Vidare behövs tillstånd från miljömyndigheter.

Drift- och underhållskostnaderna består i huvudsak av underhållsdosering och analyskemikalier.

Underhållsdoseringen är i första hand en funktion av fjärrvärmevattnets spädvattenomsättning.

Svenska fjärrvärmenät har i genomsnitt en spädvattenomsättning av 0.6 omsättningar per år.

Habon G är ekonomiskt försvarbar om spädvattentillförseln understiger en årsomsättning av 55 till 100 %.

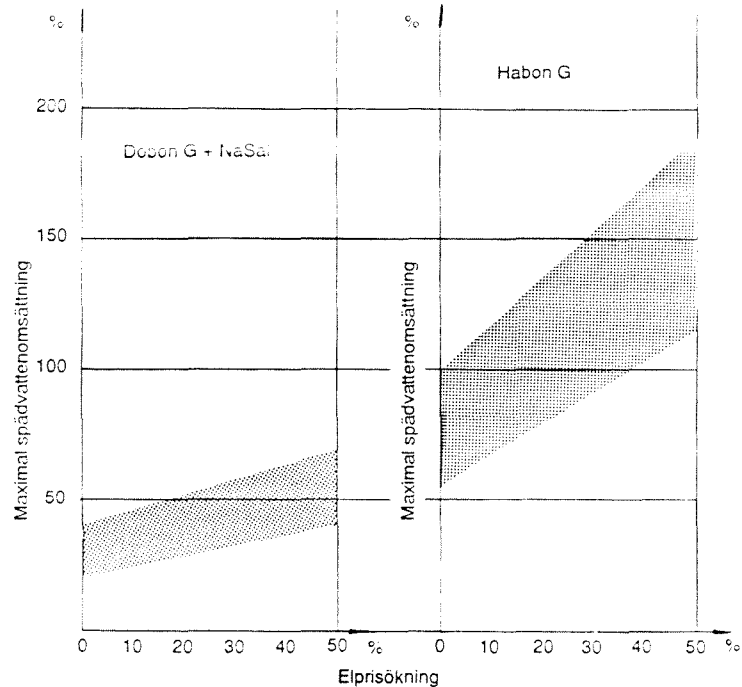
Dobon G med Natriumsalicylat kräver en spädvattenomsättning av maximalt 20 - 45 % för att vara ekonomiskt försvarbar.

Förutom spädvattenomsättningen påverkar även priset på tillförd energi och på den reducerade eleffekten värdet av att tillsätta tensider i fjärrvärmevattnet.

De bästa ekonomiska förutsättningarna för friktionsnedsättande tillsatser är i system där all värme levereras ut till nätet från en leveranspunkt - ett system med centraliserade produktionsanläggningar.

I fjärrvärmesystem där all värme levereras från en leveranspunkt, centraliserad produktion, kan Dobon G med Natriumsalicylat vara ett bättre ekonomiskt alternativ än Habon G under förutsättning att spädvattenomsättningen är låg. I övriga fall är Habon G ett bättre alternativ.

Ett ökat elpris i relation till övriga bränslen skapar ett större lönsamhetsutrymme för friktionsnedsättande tillsatser. Omsatt i måttet spädvattentillförsel innebär detta att det ur kostnadsynpunkt är möjligt att tolerera en högre spädvattenomsättning utan att lönsamheten ändras.



Figur 15. Maximalt tillåten spädvattenomsättning vid ett förändrat elenergi pris.
Dependence of the critical additive rate of make up water on the increase in electricity price.

6.2 Investeringsbehov samt årliga driftkostnader.

Något aktuellt pris från tillverkare av tensider har ej erhållits. Den offertförfrågan som tillsänts Hoechst Svenska AB av Stockholm Energi AB avseende inköp av tensid för dosering motsvarande Stockholm Energis västra distrikt - Hässelbyområdet har lämnats utan åtgärd och prisbilden på produkten är därför oklar. I våra analyser har vi utgått från ett antaget pris av 40 SEK/kg för tensider och 20 SEK/kg för Natriumsalicylat.

Anläggningskostnaderna för doseringsutrustningen har uppskattats utifrån priset på doseringsutrust-

ningar för matarvattenbehandling. Beroende på val av utrustning kan kostnaden för doserings- och övervakningsutrustningen uppskattas till mellan 15 000 och 100 000 kronor. Doseringsutrustningen utgör således en mindre del av investeringskostnaden. Därtill tillkommer analysutrustning för att bedöma graden av tillsatsdosering. Analysen förutsättes kunna göras av respektive verks driftpersonal. Kostnaden för analysutrustningen som sådan bör för manuell analys utgöra ca 10 000 kronor och för en mer automatiserad process ca 30 000 kronor. Därtill tillkommer en kostnad för analyskemikalier för ca 2 000 kronor per år.

I kontinuerlig drift minskar koncentration av tensiden på grund av nedbrytning. Eftersom det finns begränsade kunskaper om nedbrytningsprocessen för dessa tensidbaserade tillsatser i fjärrvärmenät kan vi inte heller beskriva den rengöringsutrustning som krävs. De kostnader som anges får därför ses som ett riktvärde för en allmänt uppförd reningsanläggning dimensionerad för ett uttag av en delström på 10 % av det kontinuerliga flödet. Nedbrytningen av tensiden innebär således ny tensid måste tillsättas för att kompensera nedbrytningen och att sönderfallsprodukterna måste avlägsnas från fjärrvärmevattnet. I detta fall uppskattas tillsatsen på grund av nedbrytning till ca 5 % per år. Reningsutrustningen uppskattas till ca 235 000 kronor.

FAKTARUTA

ANLÄGGNINGSKOSTNADER	Habon G	Dobon G + NaSal
Doseringsanläggning inkl utrustning för initialdosering	25 000	25 000
Analys och övervakning	30 000	30 000
Reningsanläggning	235 000	235 000
Koncessionsansökan	60 000	60 000
TENSID		
Initialdosering	400 000	1 200 000
Summa SEK	750 000	1 550 000

6.3 Kommentarer och diskussion av erhållna resultat.

De resultat som diskuteras ovan är sammanfattande resultat över året. Om man granskar resultaten från de skilda driftpunkterna under året i detalj finner man att den totala tryckreduktionen under låglastperioderna är begränsade. Detta beror på att tensiderna ger en reduktion av friktionsförlusterna (strömningsförlusterna) i nätet. I låglastperioder då flödet är lågt blir reduktionen av strömningsförlusterna små i förhållande till tryckfallet över undercentralerna. Höglast med stora flöden och flödes hastigheter och därmed stora strömningsförluster innebär att en friktionsnedsättning får större inverkan. Detta gäller även om friktionsnedsättningen för ledningssystemet procentuellt blir lika stora i både höglast och låglast.

Systemens likheter

I vår analys har vi studerat tre typer av fjärrvärmesystem - system med centraliserad värmeproduktion samt system med produktionen fördelad i två produktionscentra. Vår bedömning är att referensfallet är det system som närmast återspeglar genomsnittet av svenska fjärrvärmenät. De båda andra fallen är kanske inte två ytterligheter i sin utformning, men resultaten överbetonar systemets skillnader gentemot referensfallet på grund av följande:

I beräkningarna med en centraliserad produktion har vi utgått från samma nätkonfiguration som referensfallet men placerat all produktion till en leveranspunkt. Beräkningarna har därvid gett icke tillåtna tryck i ledningsnätet. Detta har vi delvis kompenserat med beräkningar med större ledningsdimensioner i vissa ledningsavsnitt. Vår bedömning är emellertid att pumpeffekterna i de tidssegment som representerar höglastperioder är större än i motsvarande verkliga centraliserade system.

I beräkningsfallet med fri produktionsfördelning mellan två produktionscentra erhålles den andra ytterligheten. Tryckbilderna byggs upp av två identiska värmeleveranser från respektive produktionscentra, vilket innebär att värmeproduktionskostnaderna i respektive enhet är samma. Normalt sett placeras pannor av topplastkaraktär med låg kapitalkostnad och högt bränslepris ute i nätet. Vår bedömning är därför att denna typ av drift är mindre vanlig och

att verkligheten mera sammanfaller med referensfallet.

Fördela produktionen

Om det i system finns möjligheter att fördela produktionen till flera enheter i nätet bör man emellertid alltid överväga att göra detta, om värmeproduktionen i respektive enhet sker till samma marginalkostnad och om reduktionen av pumpkostnaderna är större än utgifterna för uppstartkostnaderna för pannorna. Denna slutsats är giltig oberoende av friktionsnedsättande tensider tillsätts eller ej.

Effektavgift och energikostnader

För den ekonomiska analysen innebär de höga pumpeffekterna i beräkningsfallet med centraliserad produktion bland annat att reduktionen i effektavgifterna överskattas. Med fri fördelning underskattas effektavgifterna.

Pumpeffekternas höga respektive låga nivå inverkar även på resultatet vid beräkning av kostnaderna för tillförd pumpenergi. Tillsammans ger detta att den beräknade lönsamheten med avseende på beräknade pumpeffekter skattas för högt i det centraliserade beräkningsfallet respektive för lågt med fri fördelning.

Spädvatteninmatning

En annan viktig systemberoende parameter är omfattningen av spädvatteninmatningen till nätet. Kostnaden för tillsatsdoseringen under kontinuerlig drift beror till hög grad av spädvatteninmatningen. Normal nedbrytning av tensiden uppskattas till mellan 5 - 10 % per år vilket innebär att tensiden omsätts under en 10 årsperiod. Vad som emellertid framgår av VÄRMEVERKSFÖRENINGENS rapport FJÄRRVÄRMEVATTEN från 1989 är att spädvatteninmatningen i de svenska fjärrvärmenäten är omfattande. Spädvatteninmatningen motsvarar i medeltal 0.6 omsättningar (60 %) av nätvolymen per år. Slutsatsen av ovanstående rapport är att fjärrvärmenätens spädvattenomsättning får en avgörande betydelse huruvida en tensidtillsats blir lönsam eller ej, och att tensidens livslängd, på grund av spädvattenomsättningen och tillsatsdoseringen till nätet, får en mer underordnad betydelse. Tensidernas långtidsegenskaper är emellertid ej fullt klarlagda, men under ett 18 månaders försök i Herning-Lind påvisades dock ingen större nedbrytning av tensidens egenskaper.

6.4 Möjligheter i Hässelbysystemet.

Omfattningen av det nät som simulerats motsvarar Hässelbys nätutbyggnad fram till 1987. Sedan dess har fjärrvärmesystemet sammanlänkats med Järfällas fjärrvärmenät, vilket innebär att produktions- och nätförhållandena har förändrats i förhållande till 1987 års system. Sammanlänkningen möjliggör en samkörning av värmeproduktionen mellan systemen även om de utmatningsbegränsningar i ledningsnätet som fanns 1987 från Hässelby fortfarande, men i begränsad omfattning kvarstår.

Begränsade
vinster

1993 års situation efterliknar således mera referensfallet och beräkningsfallet men fri fördelning ovan, vilket innebär att vinsterna med friktionsnedsättande tillsatser blir begränsade. För att konkret studera de ekonomiska förutsättningarna för detta system måste föreliggande utredning kompletteras i första hand med avseende på nätutbredning och förväntade produktionsstrategier.

God
lönsamhet

Vilka möjligheter fanns då i 1987 års system? I simuleringsberäkningarna bekräftas att de kapacitetsbegränsningen som fanns i nätet kan överbryggas med friktionsnedsättande tillsatser. Kostnaderna för de friktionsnedsättande tillsatserna beräknas, med 180 % spädvattenomsättning, till ca MSEK 1.6 för Habon G och MSEK 2.9 för Dobon G med NaSal per år. Nätförstärkningen av de ledningsdelar som berörts har kostnadsberäknats till mellan 6.9 och 7.6 MSEK per år.

Med friktionsnedsättande tillsatser skulle man således uppnå likvärdigt kapacitetsutnyttjande av nätet som med en förstärkning av kulvertnätet till dimension DN 800 men till en betydligt lägre årskostnad. Sammanfattningsvis kan man här konstatera att trots den höga spädvattenomsättningen med hög underhållsdosering blir friktionsnedsättande tillsats ett ekonomiskt bättre alternativ än att förstärka kulverten.

6.5 Slutomdöme.

Resultatet av våra beräkningar visar att det inte bara är ekonomiskt möjligt att utnyttja friktionsnedsättande tensider i fjärrvärmenät med kapacitetsbegränsningar eller vid en nybyggnadssituation, då

grundinvesteringen i tensid och utrustning värderas mot investeringar i kulverts-systemet, förstärkning av nät respektive ett ledningsnät med större dimensioner. Friktionsnedsättningen kan även vara ekonomiskt intressant i befintliga nät för att reducera driftkostnaderna genom minskat pumparbete.

Trots ett relativt sett lågt pris på elenergi finns det ekonomiska möjligheter att tillsätta tensider i fjärrvärmenät med en spädvattenomsättning som ligger över Värmeverksföreningens beräknade genomsnitt för föreningens medlemsverk. Med spädvattenomsättningen menas total vattentillförsel till nätet inklusive planerade tappningar och uppfyllningar. Vid planerade tappningar bör emellertid vattenvolymen återvinnas för att minska miljöbelastningen av tensid till omgivningen.

Möjligheterna att introducera friktionsnedsättande tensider i fjärrvärmenät är emellertid ytterligare en orsak till att på ett systematiskt sätt arbeta för att minska spädvattenomsättningen till distributionsnätet, som i sig medför stora kostnader.

6.6 Rekommendationer för fortsatt arbete.

De insatser som gjorts beträffande tensidegenskaper har i huvudsak berört friktionsnedsättande effekter och då i rörsystem. Vissa arbeten har genomförts för att studera tensidens effekt på värmeväxlare. Huvudintrycket är emellertid att dessa utvärderingar bör fortsätta och även innefatta ventiler och reglerfunktion. När säkra resultat kan påvisas från dessa studier kan det vara av intresse att komplettera systemstudien för att se de ekonomiska konsekvenserna av dessa resultat.

Utomlands har tekniska frågeställningar som tryckslag samt korrosion för både metaller och polymermaterial bearbetats. Dessa undersökningar kan emellertid behöva kompletteras för svenska förhållanden. Andra intressanta områden att utvärdera är möjligheten till utbytbarhet mellan olika tillsatser samt hur skilda vattenkemier i fjärrvärmenätet påverkar tensidens egenskaper.

Förutom tekniska och ekonomiska frågor är miljöbelastningen vid ett eventuellt läckage av fjärrvärmevatten med friktionsnedsättande tillsatser till omgivande mark en väsentlig fråga. För närvarande pågår arbeten i syfte att bedöma konsekvenserna för miljön av ett sådant läckage.

7. Litteraturförteckning

7.1 Datorprogram och datorsimuleringar.

Pipe Flow Calculations - Steady Flow (PFC-SF)
Edition 920414 och 920501
Institutionen för Termo- och Fluidmekanik,
Chalmers Tekniska Högskola.

Nätberäkningsprogram.
Fachbereich Chemietechnik, Lehrstuhl Thermische
Verfahrenstechnik und Wärme- und Stoffaustausch,
Universität Dortmund.

M Icking, W Althaus, M Frankhänel, A Steiff &
P-M Weinspach.
Hydraulic network simulation of the use of drag
reducing additives in district heating systems.
Proc. Int. Symp District heating Simulation,
Reykjavik, 1989. Nordiska Ministerrådet.

7.2 Ågestaförsöket.

L Ahlbom & U Hagstrand.
Toms effekt i fjärrvärmesystem.
Värmeforskrapport SVF-50 (1977)

L Ahlbom & U Hagstrand.
Toms effekt i fjärrvärmesystem. Fullskale-
försök vid Ågesta/Farsta
Värmeforskrapport SVF-97 (1981)

L Ahlbom & U Hagstrand.
Toms effekt i fjärrvärmesystem.
Värmeforskrapport SVF-131 (1982)

7.3 Storskaliga försök

B Aastrup, F Hammer & F P Lang.
I Herning bruger man "glat vand".
Fjernvarmen 2/89, 50-53.

B Aastrup, F Hammer & F P Lang.
In Herning wird "glattes Wasser" angewendet.
Fernwärme Int. 18(1989), 271-276.

Hoecht AG, Stadtwerke Herning och Bruun & Sørensen Energiteknik AS.
 Glattes Fernwärmewasser, Demonstrationsprojekt I.
 Rapport NEI-DK-789 (1990).

H H Kleuker, W Althaus, A Steiff & P M Weinspach.
 Result of the EC-demonstration project i
 Völkingen (Germany).
 Proc. int. Symp. Fluids for District Heating,
 Köpenhamn, 1991, sid 123-137, Nordiska Minister-
 rådet.

F Hammer.
 Demonstration of smooth water in the district
 heating system of Herning, Denmark.
 Proc. int. Symp. Fluids for District Heating,
 Köpenhamn, 1991, sid 139-150, Nordiska Minister-
 rådet.

7.4 Miljöfrågor

J Helmig, A Steiff & P-M Weinspach.
 Recovery of surfactant solutions.
 Proc. Int. Symp Fluids for District Heating,
 Köpenhamn, 1991, sid 99 - 110, Nordiska
 Ministerrådet.

J Helmig.
 Untersuchungen zum Einsatz der Ultrafiltration
 für die Abtrennung kationischer Tenside aus
 Fernheisswasser.
 Doktorsavhandling, Universität Dortmund, 1992.

J Helmig, A Steiff & P-M Weinspach.
 Environmental effects of surfactant friction
 reduction additives.
 IEA District Heating report 1993:P7, "Advanced
 energy transmission fluids for district heating
 and cooling", p. 4-1/4-76.

H Bjurström & H Torstensson.
 Friktionsnedsättande tensiders effekt på miljön,
 en förundersökning.
 Studsvik Arbetsrapport UD-91/29, 1991.

7.5 Tensider och tensidkombinationer

A V Shenoy.

Drag reduction with surfactants at elevated temperatures.

Rheol. Acta 15 (1976), 658-664.

T P Elson & J Garside.

Drag reduction in aqueous cationic soap solutions.

J. Non-Newtonian Fluid Mech. 12(1983), 121-133.

G D Rose, K L Foster, V L Slocum & J G Lenhart.

Drag reduction and heat transfer characteristics of viscoelastic surfactant formulations.

Proc. 3rd Int. Conf. Drag Reduction, Bristol, 1984, p. D.6 - 1/7.

D Ohlendorf, H Hoffman, W Interthal &

U Pintschovius.

Quartäre Ammoniumsalze und deren Verwendung als Strömungbeschleuniger.

Europeiskt patent 0 097 926 (1984).

D Ohlendorf & M Hofinger.

Oxalkylierte quartäre Ammonium-Verbindungen, Verfahren zu deren Herstellung und deren Verwendung als Strömungsbeschleuniger.

Europeiskt patent 0 146 097 (1985).

D Ohlendorf, W Interthal, H Bathelt &

H Hoffman.

Fluorierte quaternäre Ammonium-Verbindungen, Verfahren zu deren Herstellung und deren Verwendung als Strömungsbeschleuniger.

Europeiskt patent 0 149 172 (1985).

B Wojtech, W Interthal & D Ohlendorf.

Verfahren zur Herstellung von halogenidfreien quaternären Ammoniumsalzen.

Tyskt patent DE 35 16 843 (1986)

D Ohlendorf, W Interthal & H Hoffman

Surfactant systems for drag reduction - Physico-chemical properties and rheological behaviour.

Rheologica Acta 25 (1986), 468-486.

H W Bewersdorff & D Ohlendorf.
The behaviour of drag-reducing cationic
surfactant solutions.
Colloid and Polymer Sci. 266 (1988), 941-953.

G D Rose & K L Foster.
Drag reduction and rheological properties of
cationic viscoelastic surfactant formulations.
J. Non-Newtonian Fluid Mechanics (1989), 59-85.

L C Chou, R N Cristensen & J L Zakin.
The influence of chemical composition of
quaternary ammonium salt cationic surfactant on
their drag reducing effectiveness.
Proc. 4th Int. Drag Reduction Conf. Davos, 1989,
"Drag Reduction in Fluid Flows - Techniques for
friction control", 141-148.

L C Chou & J L Zakin.
Use of mixed cations and mixed counter-ions to
extend the effective temperature range for drag
reducing surfactant additives.
Proc. Int. Symp. Fluids for District Heating,
Köpenhamn, 1991, sid 75-86. Nordiska Minister-
rådet

7.6 Bestämning av tensidlösningarnas egenskaper.

J Zakin & H L Lui.
Variables affecting drag reduction by nonionic
surfactant additives.
Chem. Eng. Comm. 23(1983), 77-88.

G Wellenhoff.
Zum Einfluss von Reibungsminderern auf den
Druckverlust und den Wärmeübergang in
Fernwärmeleitungen.
Doktorsavhandling, Universität Dortmund,
Forschungsbericht BMFT-FB-T 86-058 (1986)

H Rehage & H Hoffmann
Rheological properties of viscoelastic surfactant
systems.
J. Phys. Chem. 92(1988), 4712-4719.

M Fankhänel.
 Druckverlust und Wärmeübergang in Fernwärmesystemen bei Einsatz von mizellaren Widerstandsverminderern.
 Doktorsavhandling, Universität Dortmund, 1991.

W Althaus.
 Anwendung widerstandsvermindernder Additive in Fernwärmesystemen.
 Doktorsavhandling, Universität Dortmund, 1991.

7.7 Inverkan på fjärrvärmesystem

Universität Dortmund & Bruun & Sörensen Group AS.
 Advanced Transmission Fluids parameter study.
 Rapport till IEA, 1992.

F Hammer.
 Smooth water for district heating.
 Fernwärme Int. 22 (1993), 142-150.

7.8 Korrosionsfrågor

J Weber & K Knopf
 Die Wirkung von Reibungsmindernden Zusätzen auf die Metallkorrosion in wässrigen Medien.
 Werkstoffe und Korrosion 42 (1991), 348-355.

B C Smith, J L Zakin & B E Wilde.
 The effect of drag reducing surfactants on corrosion inhibition in district heating systems.
 Proc. 81st Ann. Conn. IDHCA,
 Toronto, 1990, 357-381.

J Zakin, B C Smith & B Lu.
 The influence of friction reduction additives on corrosion rates of district heating system materials.
 IEA District Heating report 1993:P7, "Advanced energy transmission fluids for district heating and cooling", p. 6-1/6-53.

7.9 Wärmeöverföring

M Weber.

Wärmeübergang und Druckverlust wässriger Tensidlösungen in Rohren und Rohrwendeln. Doktorsavhandling, Universität Dortmund, 1990.

M Weber, A Steiff & P M Weinspach.

Wärmeübergang und Druckverlust wässriger Tensidlösungen in Rohren. Forsch. Ing. 57 (1991), 1-7.

M Weber, A Steiff & P M Weinspach.

Wärmeübergang und Druckverlust wässriger Tensidlösungen in Rohrwendeln. Forsch. Ing. 57 (1991), 112-118.

M Weber, H H Kleuker, A Steiff & P M Weinspach.

Wärmeübergang und Druckverlust wässriger Tensidlösungen an einer querangeströmten berippten Rohrwendeln. Forsch. Ing. 58 (1992), 205-212.

U S Choi & T N Tran.

Effects of a friction-reducing surfactant on the performance of a shell-and-tube heat exchanger. Proc. Int. Symp: Fluids for District Heating, Köpenhamn, 1991, sid 87-98, Nordiska Minister-rådet.

H H Kleuker. Wärmeübergang und Druckverlust wässriger Tensidlösungen in Plattenwärme-übertragern. Doktorsavhandling, Universität Dortmund, 1992.

F Hammer & M Sörensen.

Performance of plate heat exchangers operating with friction reducing additives. IEA District Heating report 1993:P7, "Advanced energy transmission fluids for district heating and cooling", p. 3-1/3-28.

7.10 Översikter och verksamhetsrapporter från Universität Dortmund

G Wellinghoff, A Steiff & P M Weinspach.
Zum Einfluss von Reibungsminderern auf den
Druckverlust und den Wärmeübergang in Fern-
wärmeleitungen.
Fernwärme Int. 15 (1986), 64-71.

M Fankhänel, W Althaus, A Steiff & P M Weinspach.
Einsatzmöglichkeiten von Reibungsminderern.
Fernwärme Int. 17 (1988), 16-19.

M Fankhänel, M Icking, W Althaus, A Steiff &
P M Weinspach.
Anwendung widerstandsvermindernder Additive in
der Fernwärme.
Fernwärme Int. 19 (1990), 117-134.

P M Weinspach
Druckverlust und Wärmeübergang in
Fernwärmeleitungen bei Zugabe von
Reibungsminderern.
Abschlussbericht, BMFT 03-28710 C (1990).

A Steiff, W Althaus, S Groth, J Helmig,
H H Kleuker, T Wocadlo & P M Weinspach.
Progress in the application of drag reducing
additives in District Heating systems.
Proc. Int. Symp. Fluids for District Heating,
Köpenhamn, 1991, sid 35-69, Nordiska Minister-
rådet.

W Althaus, J Helmig, H H Kleuker, A Steiff &
P M Weinspach.
Einsatz widerstandsvermindernder Additive in
der Fernwärmenetzen.
Fernwärme Jahrbuch 1990, 168-177.

7.11 Ekonomisk kalkylering

S Asztély.
Investeringsplanering.
Esselte studium AB, Akademiförlaget, 1973
ISBN 91-24-13141-5.

Esa Hakkarainen.
Att beräkna kostnader och lönsamhet för
energiteknik - Riktlinjer för val av metoder
och ingångsvärden.
Energiforskningsnämnden, Efn-rapport nr 5, 1983.
ISBN 9138-08010-9.

7.12 Övrigt

H Hedman.
Förundersökning över tillsatser i fjärrvärme-
system - Friktionsreducerande substanser och
latentvärmelagrande material i vatten som
avancerad värmebärare.
Studsvik Arbetsrapport ED-88/25 (1988).

H Bjurström & B Oddving.
Höga hastigheter och friktionsnedsättande
tillsatser i GRUDIS-System. Laboratorie-
undersökningar.
Studsvik Arbetsrapport ED-90/56 (1990).

H Bjurström & B Oddving.
Testing a drag reducing additive in a plastic
system.
Proc. Int. Symp. Fluids for District Heating,
Köpenhamn, 1991, sid 35-69, Nordiska Minister-
rådet.

F Hammer & M Sörensen.
Tryckstöd i transmissionssystemer med glat vand.
Bruun & Sörensen Energiteknik AS, NEI-DK-884,
dec 1991.

F Hammer, M Sörensen & K Wieck-Hange.
Konsekvenser for vandrensningsanlaeg ved brug af
glat vand i fjernvarmetransmissionssystemer.
NEI-DK-1184, jan. 1993.

- Bilaga
- A. Kulvertar i Hässelby/Akalla fjärrvärmenät - Tekniska uppgifter för beräkning av värmeförluster.
 - B. Val av driftförhållanden för simulering av Hässelby/Akalla fjärrvärmenät - Driftåret 1987.
 - C. De tensidbaserade friktionsnedsättande tillsatserna: Kemisk struktur och egenskaper.
 - D. Sammanställning av energi- och effektkostnader. Denna bilaga ingår enbart i Stockholm Energi ABs rapportversion.

KULVERTAR I HÄSSELBY/AKALLA FJÄRRVÄRMENÄT

Tekniska uppgifter för beräkning av värmeförluster

I fjärrvärmenet i Hässelby/Akalla finns sex ledningstyper representerade. De typer av ledningar som finns är typ 2, 3, 5, 7, 8 och 14, enligt tekniska indata, typ av ledning. Varje kulvert finns representerade med följande dimensioner, se tabellen nedan. I beräkningarna ersätts dock typ 3, betongrör, med typ 7.

Anslutning DN	Plast 2	Betongrör 3	Hålrör 5	Betong 7	Eternit 8	Tunnel 14
125	x				x	
150	x			x	x	
200	x		x	x	x	x
250						x
300		x		x		x
350	x			x		
400	x			x		x
450				x		
500	x			x		x
600				x		x
700						x
800						x

I efterföljande tabeller ges tekniska data för respektive kulverttyp.

Plastkulvert typ 2

Anslutn nr. DN	Innerdiam mm	Mantelns diameter mm	Värme- ledning W/m K	Djup till hjässa mm	Centrum avstånd mm
125	132.5	250	0.027	600 1)	450
150	160.3	315			480
200	210.1	355			555
350	312.7	520			800 2)
400	393.8	560			870 2)
500	495.4	710			1010

1) Minsta rekommenderade förläggningsdjup vid trafikytor.

För övriga ytor rekommenderas läggningsdjupet, 400 mm.

2) Beräknat centrumavstånd med hjälp av övriga dimensioner.

Hålrörskulvert typ 5

Anslutn nr. DN	Innerdiam mm	Mantelns diameter mm	Värme- ledning W/m K	Djup till hjässa mm	Centrum avstånd mm
200	210.1	290 1)	0.027	600 2)	400

1) Mantelns diameter beräknad utifrån hålrörets isolertjocklek. Hålrörets dimensioner är Dy 315 mm och Di 236 mm, vilket ger en isolertjocklek av 79 mm.

2) Minsta rekommenderade förläggningsdjup vid trafikytor. För övriga ytor rekommenderas läggningsdjupet, 400 mm.

Betongkulvert, cellbetong typ 7

Anslutn nr. DN	Innerdiam mm	Mantelns diameter mm	Värmeledning Cell Betong W/m K W/m K		Djup till lock mm	Centrum avstånd mm
150	160.3		0.25	2.4	3000	280
200	210.1					340
300	312.7					450
350	312.7					510
400	393.8					570
500	495.4					670
600	594.0					770

Hålrörskulvert, eternit typ 8

Anslutn nr. DN	Innerdiam mm	Mantelns diameter mm 1)	Värme- ledning W/m K	Djup till hjässa mm	Centrum avstånd mm
125	132.5	215	0.04	800 2)	450
150	160.3	240		800	480
200	210.1	290		800	555

- 1) Mantelns diameter beräknad utifrån hålrörets isolertjocklek. Två isolertjocklekar Isol 20 resp Isol 40 finns för PUR och 30 resp 40 mm finns för mineralull. I tabellen ovan har 30 mm mineralull valts. Hålrörets dimensioner är för respektive Anslutn. nr. Dy 250, 315 och 355.
- 2) Rekommenderat läggningsdjup är min 800 mm enligt produktkatalog.

Tunnel typ 14

Anslutn nr. DN	Innerdiam mm	Mantelns diameter 1) mm	Värme- ledning W/m K	Djup mm	Vetrikalt centrumavst mm
200	210.1	410	0.040		1100
250	263.0	465			
300	312.7	510			
400	393.8	590			
500	495.4	700			
600	594.0	800			
700	694.0	900			

- 1) Mantelns diameter är beräknad utifrån en isoleringstjocklek av 100 mm.

BILAGA B

VAL AV DRIFTFÖRHÅLLANDEN FÖR SIMULERINGEN AV HÄSSELBY/AKALLA FJÄRRVÄRMENÄT

SAMMANFATTNING

För simuleringen av driften av Hässelby/Akalla fjärrvärmennät med och utan friktionsnedsättande tillsatser behöver ett antal representativa driftfall väljas ut. Denna delrapport redovisar driftdata, kriterier för urval och förslaget till uppsättning driftpunkter för detta arbete.

Förhållanden under året 1987 representeras med hjälp av fem driftpunkter:

Drift punkt	Lev. effekt (MW)	Totalt	Flöden (t/h) H-by	Temp.(°C) Akalla	Fram/ Retur
A	383	5500	3500	2000	120/60
D	243	3800	3200	600	100/45
B	174	3200	3200	–	90/40
E	93	2100	1200	900	80/40
C	56	1200	700	500	80/40

med det integreringsförfarande som beskrivs i denna rapport.

1 BAKGRUND

För att bedöma vilka driftmässiga och ekonomiska konsekvenser en användning av friktionsnedsättande tillsatser innebär för ett fjärrvärmenät simuleras förhållanden i Hässelby/Akalla nätet genom beräkningar av ett fåtal driftpunkter. Effekten på driftekonomin bedömes genom att med hjälp av ett lämpligt förfarande summera effekten i de olika punkterna till en energisumma för hela året och omvandla denna till en summa pengar.

De för tillsatsernas verkan väsentliga parametrarna är temperaturen i nätets alla delar och flöden. För konsekvenserna är det levererad effekt, värmeförluster och pumpenergi under året som är väsentliga. Valet av ett fåtal karakteristiska driftpunkter måste vara representativt vad gäller både tillsatsegenskaper och driftstorheter.

Stockholm Energi AB har gett oss följande timvisa driftdata både för Hässelby- och Akallaverken under 1987:

- o effekt
- o framledningstemperaturen
- o returledningstemperaturen
- o flöden

samt utomhustemperaturen i Akalla.

Vid valet av driftpunkter för simuleringsberäkningarna är det önskvärt att de extrema som kan iakttas ingår i uppsättningen. Kriteriet för dennas representativitet är att varaktighetskurvan för totala levererade effekten efterliknas så mycket som möjligt.

2 DRIFTFÖRHÅLLANDEN

Vid granskningen av de timvisa data för 1987 kan dessa indelas i två uppsättningar med principiellt olika driftsförhållanden. Denna uppdelning är inte bara empirisk utan kan legitimeras utgående från regleringsprincipen för ett fjärrvärmenät: när utomhustemperaturen underskrider ett värde specifikt för varje ort i Sverige regleras effekten mha framledningstemperaturen. När detta värde överskrids, regleras effekten mha flödet. Uppdelningen av timvisa data i två tidsintervall som görs här motsvarar inte perfekt den uppdelning som skulle göras utgående från driftstrategin och timvisa värden för flöde och temperatur. Någon knivskarp åtskillnad kan heller inte göras i de verkliga data då spridningen kring arbetslinjerna är för stor.

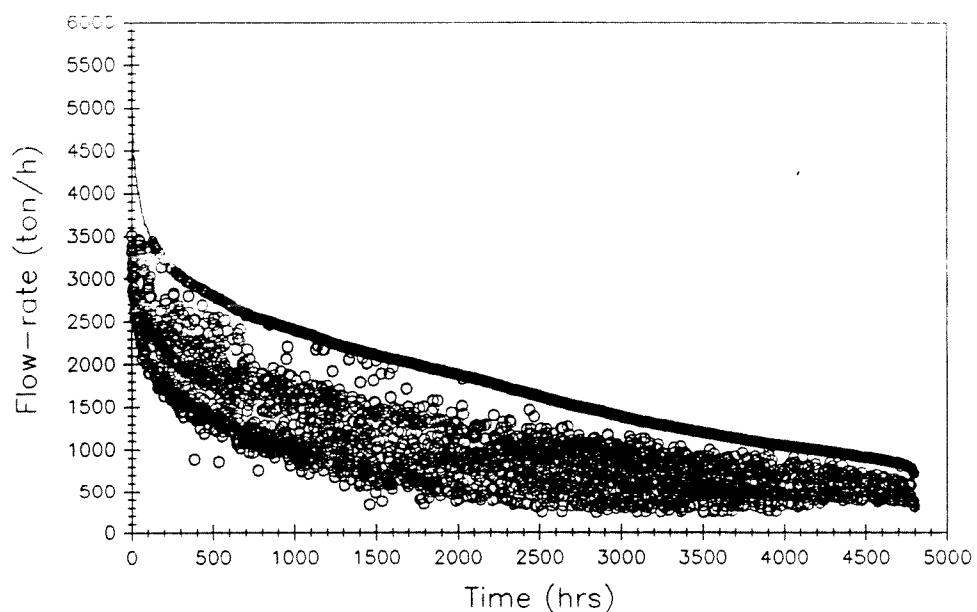
För att kunna tilldela en driftstid till de olika flödes- och temperaturförhållanden har varaktighetskurvor tagits fram för båda perioder var för sig.

2.1 Sommar

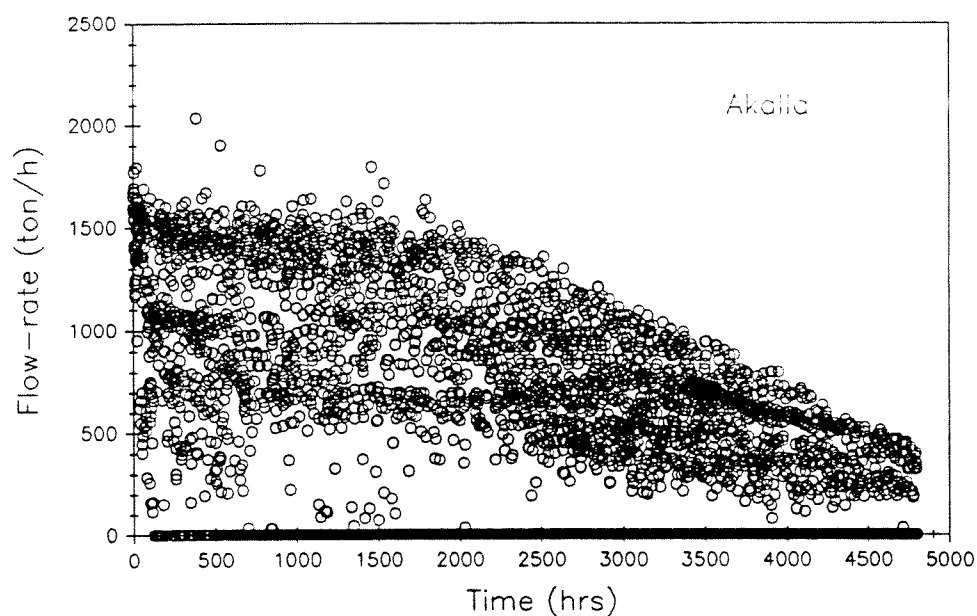
Med sommar avses perioden fr o m timma 2901 t o m timma 7700, dvs tiden 01 maj t o m 15 november. Under denna period är utomhustemperaturen över 0°C. Framledningstemperaturen hålles konstant vid 80°C, returtemperaturen hålles vid 40°C och levererade effekten regleras genom att reglera flödet.

En varaktighetskurva för framledningstemperaturen under sommarens 4800 timmar visar att denna varit praktiskt taget konstant vid 80°C under hela perioden. Data finns nästan uteslutande i ett band mellan 78°C och 84°C.

Hässelbyverket har varit i drift hela denna tid (4800 h), och periodvist har Akallaverket också varit i drift (3000 h). Varaktighetskurvan för summaflödet återges i Figur 1, och i samma figur återges flödesdata för Hässelby, sorterade timma för timma i samma ordning som data för summaflödet. I Figur 2 återges data för Akalla sorterade i samma ordning.



Figur 1. Varaktighetskurva för summaflödet under sommarperioden. Symbolema: data för flödet från Hässelbyverket sorterade i samma ordning som summaflödet.



Figur 2. Data för flödet sommartid från Akallaverket sorterade efter samma ordning som summaflödet i Figur 1.

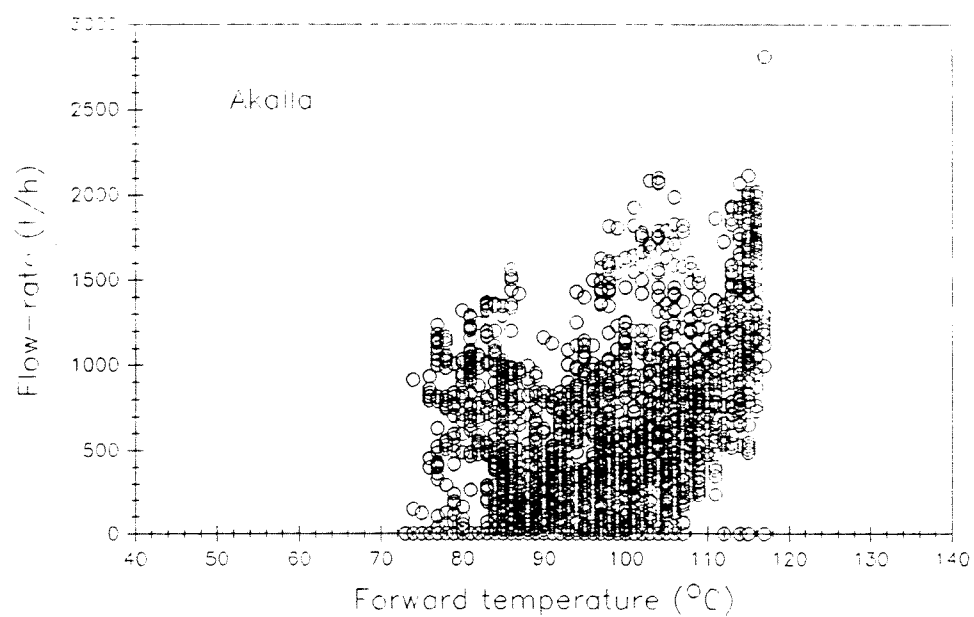
Vid en granskning av realtidsdata ser det ut som om flödet i nätet inte reglerats ner under 1000 m³/h. Returtemperaturen har därför inte varit konstant under sommarperioden, utan när flödet varit som lägst har den krypat upp till 45–50°C. Man kan samtidigt notera att returtemperaturen i Akalla genomgående är ca 50°C högre än den i Hässelby.

2.2 Vinter

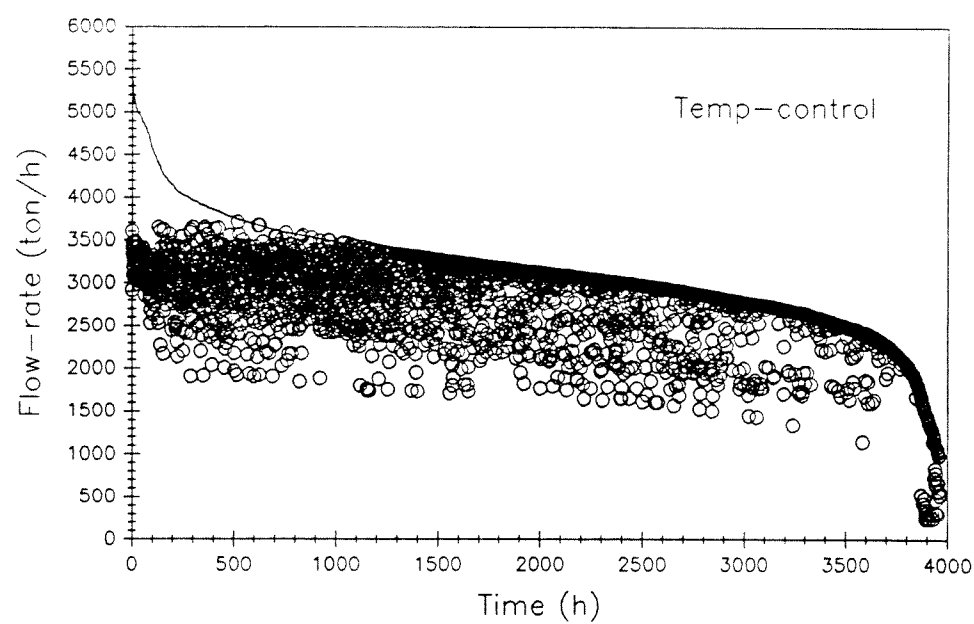
Med vinter avses två perioder, den första fr o m timma 1 t o m timma 2900 och den andra fr o m timma 7701 t o m timma 8760, under vilka utomhus-temperaturen underskrider 0°C, sammanlagt 3960 h. Flödet skall vara maximala flödet och levererade effekten regleras m h a framlednings-temperaturen. Högsta värdet för denna är 120°C. Returlednings-temperaturen är linjärt beroende av framledningstemperaturen, 40°C när den senare är 80°C och 55°C när den senare är 120°C. Denna linearitet är inte perfekt: i verkligheten är returtemperaturen 65°C när framlednings-temperaturen är 120°C. Både Hässelbyverket och, periodvist, Akallaverket är i drift.

Data för Hässelbyverket visar att man där har följt denna reglerprincip. Driften vid Akallaverket har varit annorlunda: det har kopplats in när framledningstemperaturen i Hässelby nått eller överskridit 90°C och därefter har man reglerat både flöde och framledningstemperatur, se Figur 3.

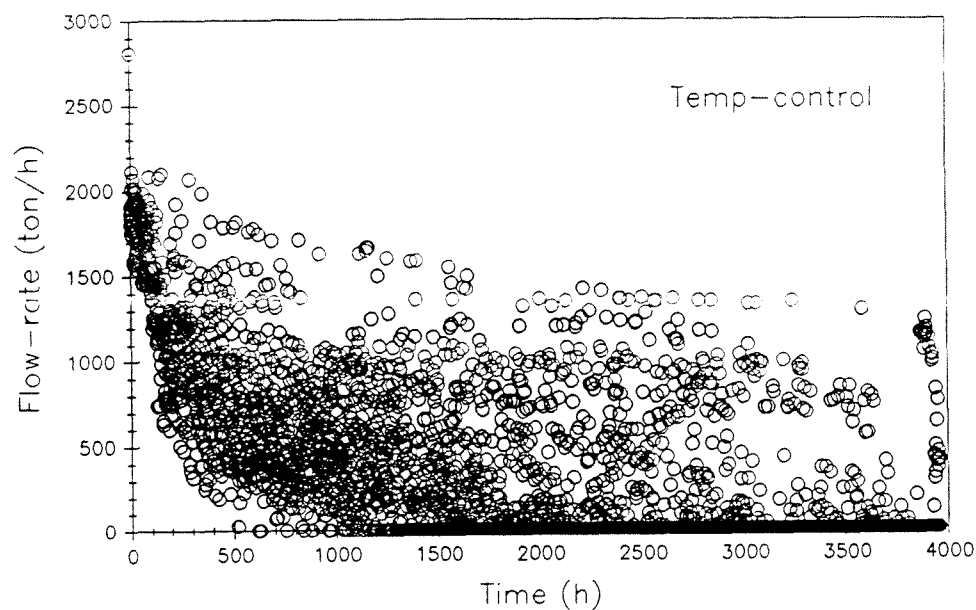
På samma sätt som ovan har en varaktighetskurva sorterats fram i Figur 4 för summaflödet i nätet under vintern. De sammansorterade data för Hässelby återges i samma figur och data för Akalla ges i Figur 5. För att bekräfta sambandet mellan summaflödet och framledningstemperaturen sorterades denna i samma ordning och resultatet återges i Figur 6. Här också finner man ett brett band mellan 80°C och 120°C.



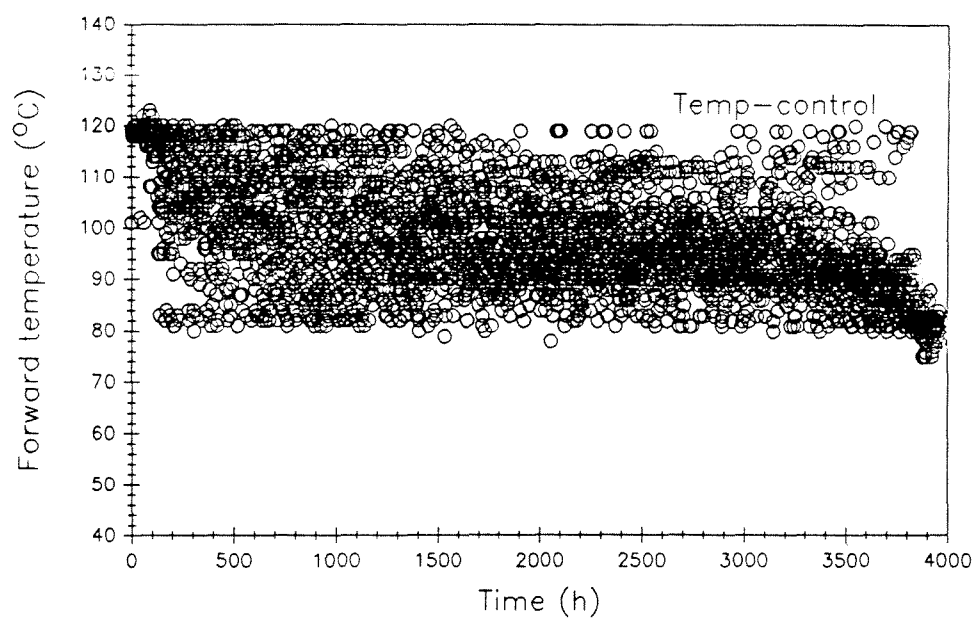
Figur 3. Flödet från Akallaverket under vintern som funktion av framledningstemperaturen.



Figur 4. Varaktighetskurva för summaflödet under vintern. Symbolema: data för flödet från Hässelbyverket sorterade i samma ordning.



Figur 5. Data för flödet vintertid från Akallaverket sorterade i samma ordning som summaflödet i Figur 4.



Figur 6. Data för framledningstemperaturen från Hässelbyverket under vintern sorterade i samma ordning som summaflödet i Figur 4.

3 VAL AV DRIFTPUNKTER

Uppsättningen driftpunkter för simuleringsberäkningarna skall ge en provkarta över de verkliga flödes- och temperaturförhållandena. De bör också vara så få som möjligt så att beräkningskostnaderna minimeras. Samtidigt bör levererad effekt och pumpenergi vid dessa punkter kunna integreras genom ett lämpligt förfarande till värden för hela året som är så nära verkligheten som möjligt.

Det enklaste urvalsförfarandet är att dela upp varaktighetskurvorna i ett antal trappsteg. En driftpunkt definieras för varje trappsteg och vid integreringen multipliceras det framräknade värdet för varje steg med den motsvarande tidslängden. Simuleringsberäkningarna blir få om antalet trappsteg är litet. En nackdel kan vara att variationerna utslätas: t ex kommer inte extrema såsom topplastfallen med.

Ett annat förfarande är att anpassa en funktion till en varaktighetskurva och göra en numerisk integration utgående från data för ett flertal driftsfall. I den enklaste varianten anpassas raka linjer sektionsvis till varaktighetskurvan och simuleringsberäkningar utförs för varje ändpunkt. Merarbetet i jämförelse med trappstegsmetoden är minimal.

Emellertid är tryckfallen ungefär kvadratisk beroende av flödet: linjär interpolering i en sektion leder till en överskattning av tryckfallet i intervallet. En bättre anpassning kan erhållas genom att driftpunkt väljes i mitten av ett intervall och passa en parabel till resultaten. Detta leder till ett något större merarbete.

Konsekvenserna av olika förfaranden att diskretisera flödets och temperaturens varaktighetskurvor för den beräknade levererade effekten redovisas nedan m h a tabeller.

3.1 Sommarförhållanden

Under sommaren levererades 404,5 GWh värme. Vid granskningen av varaktighetskurvan för summaflödet kan två mönster urskiljas för uppdelningen mellan Hässelby och Akalla:

- o Akallaverket är inte i drift, flödet från Hässelbyverket är summaflödet
- o Akallaverket ger ett flöde på en basnivå. Inom 0 till 2500 h intervallet, se Figur 1, är detta flöde antingen ca 700 m³/h eller ca 1500 m³/h och flödet från Hässelby följer i diagrammet två fåror som motsvarar dessa basflöden. Inom 2500 till 4800 h intervallet är Akallaflödet ca 500 m³/h och Hässelbyflödet är ungefär konstant vid 700 m³/h.

Här kan driftsförhållanden väljas på två sätt: antingen bortses från Akalla och endast Hässelby antas vara i drift, eller så tar man hänsyn till att båda verken varit i drift.

3.1.1 Akalla ur drift

Förslag S1 i Tabell 1 innebär ett enda trappsteg, och en enda driftpunkt. Ur värdet 404,5 GWh för levererade värmets räknas fram, efter avrundning, ett flöde på ca 1800 t/h.

I förslag S2 i Tabell 1 approximeras summaflödets varaktighetskurva med tre driftpunkter, varav två är periodens extrema, som interpoleras linjärt. Levererade värmets blir 438 GWh.

3.1.2 Akalla i drift

I detta fall delas sommaren upp i två intervall. I andra intervallet, 2500–4800 h, antas flödena vara konstanta: flödet från Hässelby är 700 t/h och det från Akalla är 500 t/h. I första intervallet, 0–2500 h, antas flödet i Akalla vara 700 t/h, dvs konstant, och för flödet i Hässelby anpassas en parabelsektion till tre driftpunkter. Ena ändpunkten är andra intervallets driftpunkt ovan. Andra ändpunkten är punkt B, en vinterdriftpunkt. Detta förslag, S3 i tabellen, innebär ett levererat värme på 395 GWh.

Tabell 1. Förslag till representativa driftpunkter för sommaren

Drift punkt	Lev. effekt (MW)	Flöden (t/h)		Temp.(°C) Fram/ Retur	Tid (h)
		H-by	Akalla		

S1: ett enda trappsteg för hela sommaren (401,3 GWh)

S	84	1800	–	80/40	4800
---	----	------	---	-------	------

S2: linjär interpolation mellan extrema (438 GWh)

B'	139	3000	–	80/40	2400
C'	93	2000	–	80/40	
F	40	1000	–	80/40	2400

S3: hänsyn tas till att Akalla är i drift (396 GWh)

B	186	3200	–	90/40	1250
E	93	1200	900	80/40	
C	56	700	500	80/40	2300

3.2 Vinterförhållanden

Om man bortser från de sista 200 h i diagrammet kan två intervall urskiljas i varaktighetskurvorna. I intervallet 1000 – 3960 h är Akalla avstängt och framledningstemperaturens tyngdpunkt är 90°C. I intervallet 0 – 1000 h är flödet från Hässelby konstant, framledningstemperaturen varierar linjärt med tiden och flödet från Akalla varierar kvadratisk med tiden mellan 0 och 2000 t/h.

Om det första intervallet (0–1000 h) representeras av ett trappsteg, förslag V1 i tabell 2, skall summaflödet vara ca 4200 t/h, fördelat som i tabellen. Eftersom denna del av varaktighetskurvan är starkt krökt kan det vara lämpligare att passa en parabel (förslag V2) till tre driftpunkter, med topplastpunkten som ena extremum.

Det andra intervallet kan representeras antingen som en enda driftpunkt, förslag V3 i tabellen, eller så kan en linje passas till tre driftpunkter, förslag V4. Ändpunkten till V2 är lämpligen samma som punkten i V3 och även ändpunkt till V4.

Det totalt levererade värmets är 771,6 GWh. Kombinationen V2 och V3 innebär 823 GWh, men om flödet i gemensamma punkten B sänks till 3000 t/h ger detta 777 GWh. Kombinationen V2 och V4 innebär 761 GWh och om man höjer flödet i intervallens gemensamma ändpunkt B till 3500 t/h ger detta 789 GWh.

Tabell 2. Förslag till representativa driftpunkter för vintern

Drift punkt	Lev. effekt (MW)	Flöden (t/h)		Temp.(°C) Fram/ Retur	Tid (h)
		H-by	Akalla		

Intervallet 0–1000 h:

V1: ett enda trappsteg för djupaste vintern (293 GWh)

V	293	3200	1000	110/50	1000
---	-----	------	------	--------	------

V2: en parabel (272 GWh)

A	383	3500	2000	120/60	500
D	243	3200	600	100/45	
B	186	3200	–	90/40	500

Intervallet 1000–3960 h:

V3: ett enda trappsteg för vårvintern och årets slut (550,6 GWh)

B	186	3200	–	90/40	2960
---	-----	------	---	-------	------

V4: linjär interpolation (489,1 GWh)

B	186	3200	–	90/40	1480
G	165	2850	–	90/40	
B"	145	2500	–	90/40	1480

4 REKOMMENDATION

För simuleringsberäkningarna föreslås följande diskretisering av varaktighetskurvorna:

V2 och V3 för vintern, S3 för sommaren

med de fem driftpunkterna i Tabell 3. Diskretiseringen åskådliggörs på nästa sida med den streckade linjen i Figur 7.

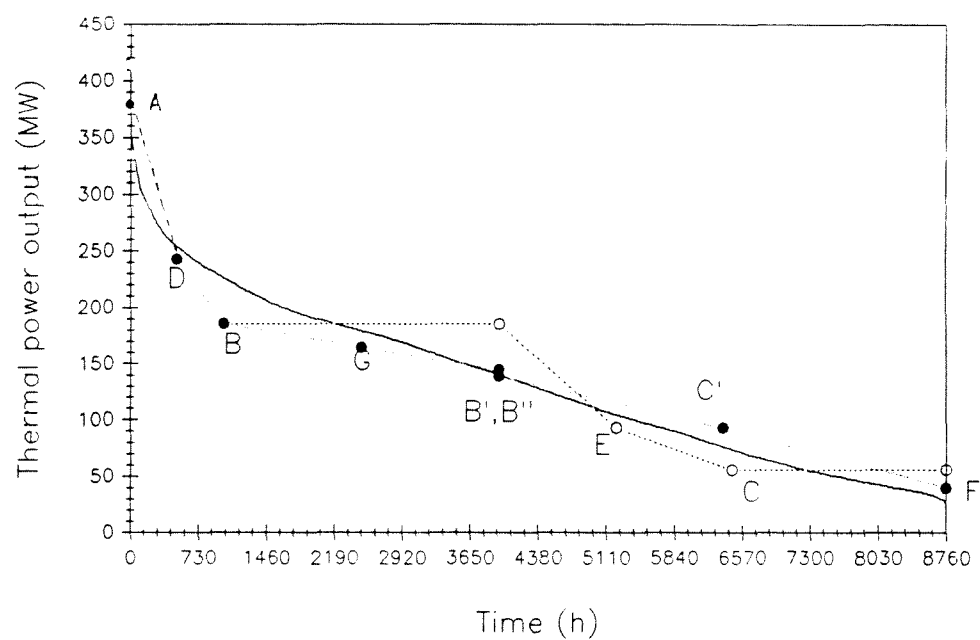
Tabell 3. Rekommenderade uppsättningen driftpunkter.

Drift punkt	Lev. effekt (MW)	Totalt	Flöden (t/h)		Temp.(°C)
			H-by	Akalla	
					Fram/ Retur
A	383	5500	3500	2000	120/60
D	243	3800	3200	600	100/45
B	174	3200	3200	–	90/40
E	93	2100	1200	900	80/40
C	56	1200	700	500	80/40

Noteras bör att den effekt som motsvarar samtidigt maximalt flöde och maximal framledningstemperatur är 415 MW, om returtemperaturen väljs till 55°C. Maximal effekt i timvisa driftdata är 350 MW vilket motsvarar en returtemperatur på 65°C.

Jämfört med alternativa diskretiseringar erbjuder denna lägsta antalet driftpunkter (fem) samtidigt som de karakteristiska förhållanden kommer med i uppsättningen.

En alternativ uppsättning driftpunkter är V2 och V3 för vintern med S2 för sommaren, dvs sex punkter, men då tas inte hänsyn till Akalla varit i drift under sommaren.



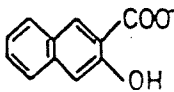
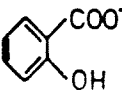
Figur 7. Framställning av förslagen till driftpunkter i den årsvisa varaktighetskurvan för effekten.

BILAGA C.

De tensidbaserade friktionsnedsättande tillsatserna: kemisk struktur och egenskaper.

1. Kemisk struktur hos tillsatserna

Närmast en kommersialisering befinner sig de tillsatser tyska företaget Hoechst AG har utvecklat. Dessa är organiska salter, i detta fall en kvartär ammoniumtensid, dvs en katjonisk tensid, med en organisk motjon. Hoechst har tagit fram två successiva uppsättningar av tillsatser, vilkas kemiska sammansättning återges i Fig. 1 (1).

Trade name	Quarternary ammonia cation	Counterion	Auxiliary Counterion
Habon	CH_3 $[\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{N}-\text{CH}_3]^+$ CH_3 n=16		
Obon	$[\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{N}-\text{CH}_3]^+$ n=18		
Dobon	CH_3 $[\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{N}-\text{CH}_3]^+$ CH_3 n=22 n-Alkyltrimethylammonia		
Habon-G	CH_3 $[\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{N}-\text{CH}_3]^+$ $(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_{1-2}\text{H}$ n=16	3-Hydroxy-2-naphtoate	Salicylate
Obon-G	$[\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{N}-\text{CH}_3]^+$ n=18		
Dobon-G	$(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_{1-2}\text{H}$ n=22 n-Alkyldimethylhydroxy-ethylammonia		

Figur 1. Den kemiska strukturen hos Hoechsts friktionsnedsättande tillsatser.

Fig. 1. The chemical structure of the Drag Reducing Additives developed by Hoechst AG.

Skillnaden mellan Habon, Obon och Dobon är längden på den alifatiska kolvätesvansen (16, 18 resp. 22 kolatomer) vilken bestämmer det temperaturintervall inom vilket tillsatsen ger en friktions-

nedsättande effekt. Med den gemensamma motjonen, 3-hydroxinaftoat, är Habon verksam från ca 40°C till ca 100°C, Obon från ca 60°C till ca 120°C och Dobon från ca 80°C till ca 140°C.

Ett större arbetsintervall kan inte åstadkommas genom att blanda två av dessa eller ens alla tillsammans. Däremot kan detta erhållas m h a en hjälptillsats: en annan organisk motjon. T ex kan Dobon, eller Dobon-G, fås att ge friktionsnedsättning i ett intervall från 40°C till 140°C genom en tillsats av natrium salicylat.

Skillnaden mellan de två serierna, t ex mellan Habon och Habon-G, är en etoxylgrupp i kemiska strukturen. Den inverkan detta har på tillsatsens egenskaper har mycket liten betydelse för denna utredning.

Dessa preparat används inte i andra sammanhang, utan är framtagna enbart för friktionsnedsättning. Däremot används katjoniska tensider, däribland sådana med snarlik struktur, som mjukgörare eller sköljmedel i tvättmedel. Katjoniska delen i Obon-G används i kosmetika eller hudcreme.

Det skulle vara bekvämt att blanda kloriden av katjoniska tensiden med natrium saltet av organiska anjonen direkt i fjärrvärmevatten. Tensiden och motjonen bildar då miceller, men samtidigt löses också ett oorganiskt salt, här natrium klorid. Kloridjoner ger upphov till korrosion i ledningarna, varför Hoechst utarbetat ett förfarande att avlägsna samtliga oorganiska salter som NaCl från friktionsnedsättande tillsatsen för fjärrvärmebruk.

2. Micellbildning och friktionsnedsättning

Förutsättningen för friktionsnedsättningen är att lösningen har viskoelastiska egenskaper, dvs utöver vätskors vanliga viskositet uppvisar en viss elasticitet eller förmåga till rekyl efter en rörelse. Man tror sig veta nu att en lösning får sådana egenskaper när de tensidbaserade tillsatserna bildar s k trådformiga miceller i lösningen. Miceller är lösa aggregat av ett ibland stort antal tensidmolekyler, vanligtvis klotformiga.

När tensiderna löses i vatten sjunker ytspänningen i lösningen från vattnets höga 72 mN/m till värden som ligger närmare oljors ytspänning. Detta hänger ihop med tensidens struktur: den oljeliknande kolvätessvansen har s a s mycket lägre löslighet i vatten än den polära salt delen. Den opolära svansen strävar till att hålla tensiderna utanför vattnet, den saltlika änden strävar att dra in tensiden i vattnet. Vid låga koncentrationer anrikas därför tensiden som en film i vattenytan med salthuvudet in i vattnet och svansen utåt, med nämnda konsekvens för ytspänningen.

Ökar man koncentrationen tensid kommer ett tillfälle när den makroskopiska ytan inte räcker till. För att minska repulsionen mellan vatten och alifatiska svansen bildas en ny inre, mikroskopisk fasgräns genom små lösa, klotformiga aggregat på 50 å 100 molekyler: micellerna. Analogt vattenytan visar molekylerna polära huvudet mot vatten och kolvätessvansarna bildar en fettdroppe. De är inte stela ansamlingar, utan det sker ett ständigt utbyte av tensidmolekyler mellan vattnet och micellerna och antalet molekyler i en micell pendlar omkring ett medeltal som beror på såväl kemisk struktur som temperatur. Micellernas diameter, i storleksordningen 0,01 μm , varför de inte syns med blotta ögat. Lösningen blir däremot svagt grumlig och har fortfarande newtonska egenskaper som vatten.

Om och när dessa miceller bildas beror på tensidens struktur och hur vattnets egenskaper påverkas av andra lösta ämnen som oorganiska salter och motjonen. T ex bildas inte miceller om svansen är för kort, inte heller om elektrostatiska repulsionen mellan salthuvuden är för starkt. Motjonen kan befrämja micellbildningen genom att skärma av salthuvuden från varandra och på så sätt minska denna repulsion. Det bör påpekas att avskiljning av tensiden som en klar makroskopisk oljefas eller en fällning är en alternativ utgång av en koncentrationshöjning. Micellbildningen är dock mycket vanlig, och det är en av förutsättningarna för att tensiderna i tvättmedel förmår lösa t ex oljefläckar.

När koncentrationen tensid fortsätter öka, ökar antalet miceller i lösningen utan att den enskilda micellens storlek påverkas. Så småningom kommer man till en koncentration där repulsionen mellan micellerna är så stark att ingen ny micell kan pressas in. Mera tensid kan dock pressas in om micellerna ändrar form: stavliknande eller trådformiga miceller utbildas.

I allmänhet har dessa stavmiceller en slumpmässig orientering i rymden. Friktionsnedsättning uppstår när skjuvspänningar i en strömmande lösning förmår orientera dessa trådmiceller som ett glest knippe i strömningens riktning. Lösningen får då riktningsberoende egenskaper: turbulenta rörelser tvärs över ett knippe dämpas. Däremot har trådarna lättare att s a s glida längs varandra i strömningsriktningen.

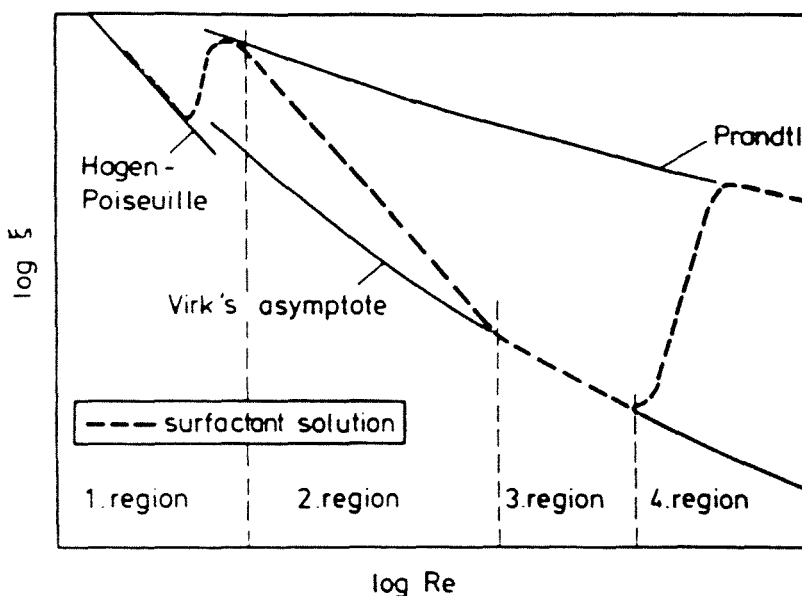
Fullt utvecklad innebär friktionsnedsättningen en minskning av strömningsmotståndet till en femtedel av det normala. Samtidigt reduceras värmeöverföringsförmågan ungefär lika mycket.

Blir flödeshastigheten och skjuvspänningarna för stora förmår inte knipporna hållas ihop och lösningens struktur bryts ner varvid friktionsnedsättningen upphör. Till skillnad mot de vattenlösliga polymer som också uppvisar en friktionsnedsättande effekt, där den kemiska strukturen bryts ner irreversibelt över denna gräns, bryts endast lösningens fysiska struktur ner, reversibelt, inte de kemiska beståndsdelarna. När flödet blivit mindre strid och skjuvspänningarna sjunkit under denna gräns återfås den överordnade fiberstrukturen och friktionsnedsättningen oavkortat.

Sammanfattningsvis, det finns en nedre koncentrationsgräns för effekten: beroende på molekylstruktur börjar den för de här aktuella ämnen vid halter mellan 0,01% och 0,05% (100 till 500 ppm eller mg/l). Det finns också en lägre och en övre gräns för väggskjuvspänningarna, mellan vilka effekten uppträder.

3. Tillsatsernas inverkan på turbulent strömning

Hur de friktionsnedsättande tensid tillsatserna påverkar friktionen för strömmande vatten i ett slätt rör illustreras i figur 2. Där återges friktionsfaktorns beroende av flödeshastigheten i ett slätt rör, uttryckt i dimensionslös form som Reynolds tal. I frånvaron av tillsatser gäller det samband för turbulent strömning som i diagrammet kallas för Prandtl. För laminär strömning gäller Hagen-Poiseuille sambandet.



Figur 2. Strömningsförluster i raka släta rör: friktionsfaktorns beroende av Reynolds tal. Hel-dragna kurvor: referenssamband, streckade kurvor: lösningar med tensidbaserade friktionsnedsättande tillsatser.

Fig. 2. Friction losses in straight smooth pipes: the dependence of the friction factor on the Reynolds number. Full-drawn curves: reference curves, dashed curves: solutions with additives.

Friktionsnedsättning har undersökts i stor detalj för de (instabila) vattenlösliga polymererna, som har varit välkända och lättillgängliga långt tidigare än tensidbaserade preparat. Redan vid låga koncentrationer uppträder en viss friktions-

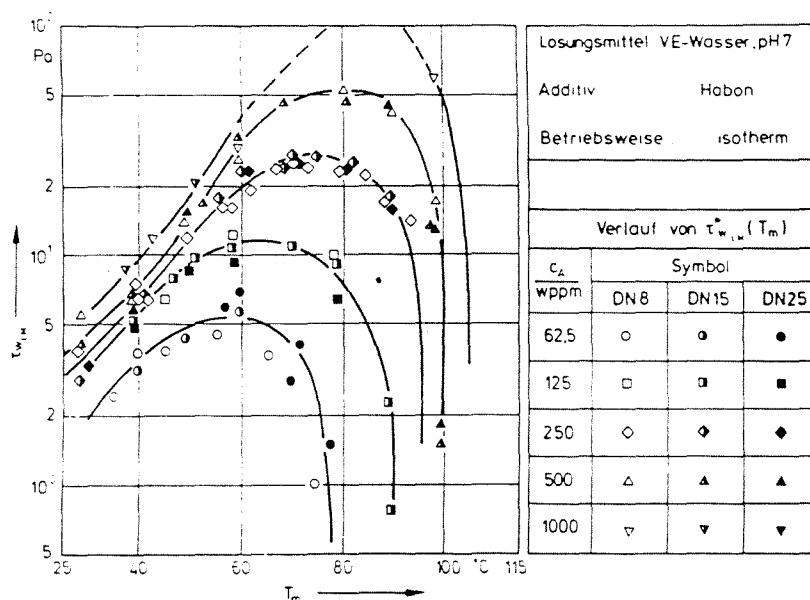
nedsättning och storleken på den effekten ökar med ökande koncentration polymer till en gräns över vilken fortsatt ökning av koncentrationen inte ger någon ytterligare sänkning av friktionen. Denna empiriskt bestämda maximala nedsättning har fått namnet Virk's asymptot och representeras av en kurva i figur 2. Denna återger givetvis inte alla drag i en viss lösnings beteende, t ex den lägsta skjuvspänning för effektens utbildande. Effektens sammanbrott vid höga strömningspåkänningar är inte särskilt välundersökt för dessa polymerer.

Om man sammanställer resultaten som erhållits för friktionsnedsättande tensid tillsatser med glasögon färgade av det man vet om polymerlösningarnas egenskaper, kan erhållna friktionsdata generaliseras till den streckade kurvan i Figur 2. Vid låga flöden har lösningen samma egenskaper som vatten och avviker inte från gängse samband, område 1 i figuren. När flödet ökar så att skjuvspänningen överstiger den låga gränsen, börjar friktionsnedsättningen utbildas i område 2 tills den når maximal intensitet, Virk's asymptot, i område 3. För de tillsatser Hoechst utvecklat tycks tröskeln för friktionsnedsättning vara så låg att gränsen mellan område 1 och 2 ligger i laminära området. När hastigheten ökar ytterligare så att den maximala skjuvspänning lösningen kan uppta överstiges, återgår strömningsförhållanden till de normala, område 4, dvs de som gäller för en vätska utan tillsatser. Precis som Virk asymptoten för polymererna, representerar kurvan i område 2 och 3 den maximala friktionsnedsättningen. En gång den har nåtts ger ytterligare tillsats av ämne ingen ytterligare friktionsnedsättning.

Denna bild utgör givetvis ett generaliserat förlopp och kommer att nyanseras i takt med att kunskap om skillnader mellan polymer- och micelllösningar kommer fram. Emellertid vet man redan nu mycket mer om villkoren för friktionsnedsättningens sammanbrott för tensidernas än för polymererna p g a de förras mekaniska stabilitet.

Den karakteristiska storheten för effektens sammanbrott vid höga strömningspåkänningar är inte ett flöde eller ett Reynolds tal som figuren antyder, utan en skjuvspänning. För en och samma tensid vid samma koncentration och temperatur

inträffar sammanbrottet vid olika Reynolds tal för olika rördiametrar, men vid samma medelväggskjuvspänning. När koncentrationen av tensid ökas, ökar den maximala uppnåbara skjuvspänning i stor sett linjärt med koncentrationen. Detta innebär att i ett nät med olika rördiametrar kommer en optimal koncentration tensid att vara den vid vilken friktionsnedsättningens sammanbrott undviks nämnt och jämnt i röravsnittet med största strömningsspåkänningar.



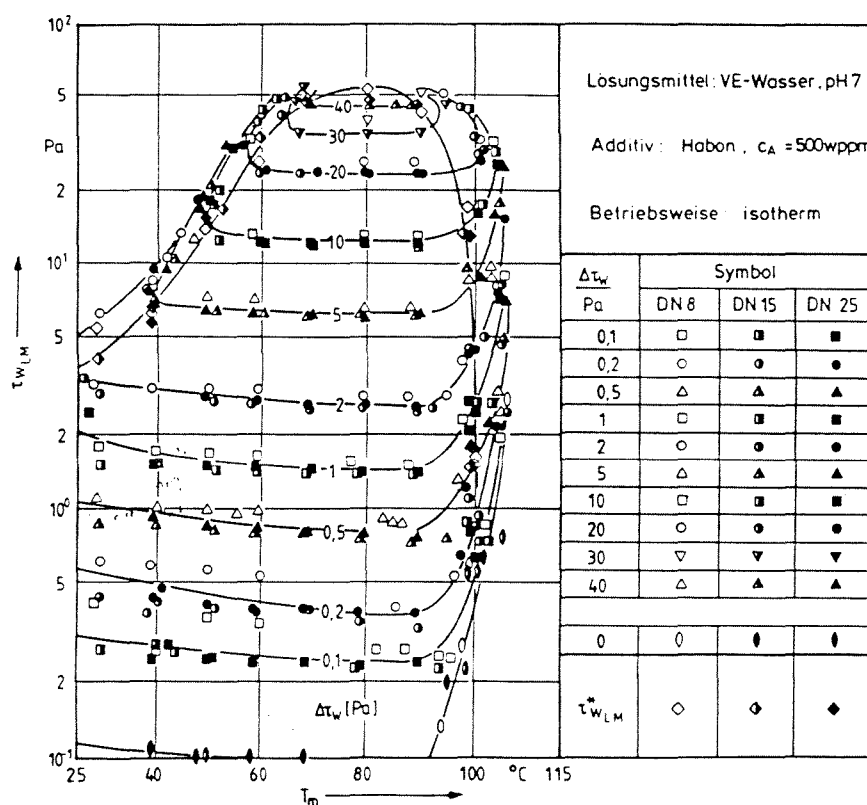
Figur 3. För friktionsnedsättningens sammanbrott kritiska medelväggskjuvspänningen som funktion av temperaturen. Tillsats: Habon vid olika koncentrationer.

Fig. 3. The critical mean wall shear stress for the collapse of drag reduction as a function of temperature, Habon at various concentrations.

I Figur 3 återges denna kritiska skjuvspänning beroende av temperatur och koncentration. I förbigående kan noteras att den fysikaliskt relevanta skjuvspänningen är den som råder i lösningen. Emellertid är den skjuvspänning, som skulle rått i tillsatsfritt vatten vid samma Reynolds tal som sammanbrottet äger rum vid, den

praktiskt använda storheten, dvs $\tau_{W,LM}^*$ i figuren. Denna kritiska skjuvspänning uppvisar ett maximum inom tensidens verksamma temperaturintervall, t ex vid ca 65°C för Habon med halten 125 mg/l, se Figuren. Man kan notera att vid denna koncentration är Habon praktiskt användbar mellan rumstemperatur och 80-90°C.

Varje kurva i Figur 3 definierar ett fält av temperaturer och skjuvspänningar (med referens till rent vatten) där friktionsnedsättning uppträder. Eftersom denna följer en "mättnadskurva", se Figur 2, när den är fullt utvecklad kan dess omfattning representeras av ett antal nivåkurvor



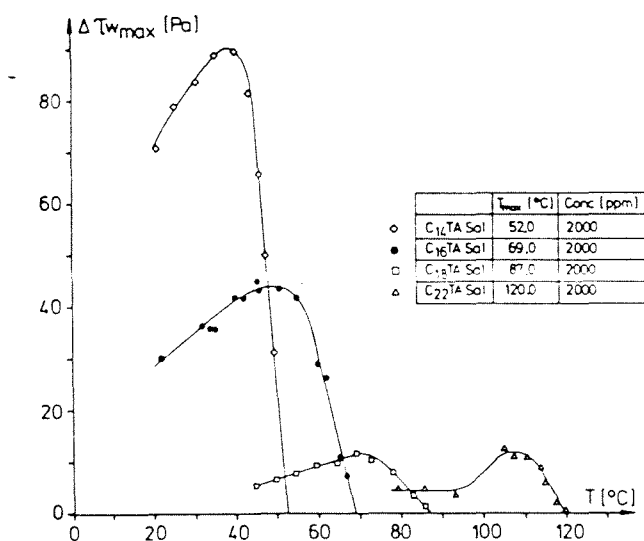
Figur 4. Friktionsnedsättningens omfattning: reduktionen av skjuvspänningen som funktion av referensskjuvspänning och temperatur för Habon, 500 mg/l.

Fig. 4. The extent of drag reduction: the decrease of mean wall shear stress as a function of shear stress and temperature for Habon, 500 mg/l.

som i Figur 4. Där visas skillnaden mellan referensvärdet, dvs den skjuvspänning som skulle rått i rent vatten vid i övrigt lika förhållanden, och den uppmätta skjuvspänningen i lösningen. Olika koncentrationer av en tillsats, olika tillsatser kommer i stort sett att skära ut olika fönster i detta (τ -T) plan.

Vilka fönster som skärs ut bestäms av vilken tillsats man väljer. Som nämndes inledningsvis har kolvätesvansens längd betydelse, likaså motjonen, koncentrationer etc.

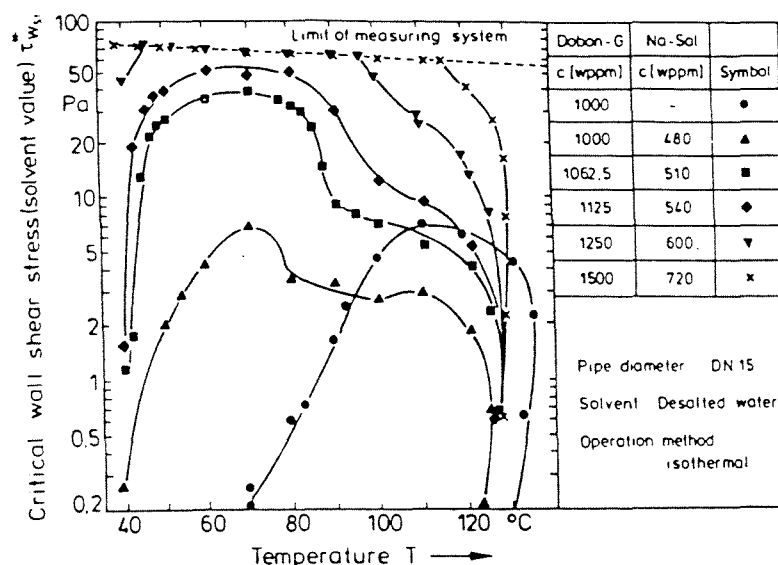
Om kolvätesvansen förlänges förskjutes det verksamma temperaturintervallet mot högre värden men samtidigt minskar den maximala skjuvspänning en lösning kan uppta vid konstant koncentration, se figur 5. Detta innebär att för samma begärda kritiska väggsjuvspänning måste man använda högre koncentration för ämnet med längre svans.



Figur 5. Maximala nedsättningen av skjuvspänningen som funktion av temperaturen för homologa serien alkyl-trimetylammonium salicylat, 2000 mg/l.

Fig. 5. The maximum mean wall shear stress decrease as a function of temperature for the homologous series alkyl-trimethyl ammonium salicylate, 2000 mg/l.

Motjonens effekt berördes inledningsvis. Verksamma temperaturintervallets bredd påverkas som synes något av koncentrationen, mycket mer av tensidvalet. Att blanda olika tensider kommer inte att ge bredare intervall, utan ett lika smalt intervall mitt emellan och klart sämre prestanda vad avser maximala väggskjuvspänning. Försök med att blanda olika motjoner har varit mer framgångsrika: på det sättet kan ett bredare fönster skäras ut såsom visas i Figur 6. Fönstret är inte nödvändigtvis sammanhängande.



Figur 6. Den kritiska väggskjuvspänningens beroende av temperaturen för Dobon-G vid olika halter av hjälptillsatsen NaSal (natrium salicylat).

Fig. 6. The dependence of the critical mean wall shear stress on temperature for Dobon-G at various concentrations of the auxiliary additive NaSal, i.e. sodium salicylate.

Det bör påpekas att den tekniska friktionsnedsättande tillsatsens egenskaper (i motsats till rena kemikalier) synes vara ganska känslig för olika föroreningar. De kan variera mellan olika batcher, eftersom man troligen inte optimerat produktionen ännu, och de fönster som visas i Figur 3-6 bör ses som exempel.

5. Litteratur:

1. A. Steiff, W. Althaus, S. Groth, J. Helmig, H.-H. Kleuker, T. Wocadlo & P.-M. Weinspach,
Progress in the application of drag reducing additives in district heating systems,
Proc. Int. Symp. "Fluids for District Heating", Köpenhamn, 1991, Ed. B. Böhm, 35-59
2. M. Fankhänel, M. Icking, W. Althaus, A. Steiff & P.-M. Weinspach,
Anwendung widerstandsvermindernder Additive in der Fernwärme,
Fernwärme Int. 19(1990), 117-134
3. B. Aastrup, F. Hammer & F.-P. Lang,
I Herning bruger man "glat vand",
Fjernvarmen 1989:2, 50-53
4. M. Weber, A. Steiff & P.-M. Weinspach,
Wärmeübergang und Druckverlust wässriger Tensidlösungen in Rohren,
Forsch. Ing. 57(1991), 1-7
5. J. Weber & K. Knopf,
Die Wirkung von reibungsmindernden Zusätzen auf die Metallkorrosion in wässrigen Medien,
Werkstoffe u. Korrosion 42(1991), 348-355
6. P.-M. Weinspach,
Druckverlust und Wärmeübergang in Fernwärmeleitungen bei Zugabe von Reibungsminderern,
Slutrapport till BMFT, 03-28710 C (1990)

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrierna
- Övrig Industri

Värmeforsk samarbetar med Statens Energimyndighet.

VÄRMEFORSK Service AB

101 53 Stockholm

Tel 08-677 25 80 • Fax 08-677 25 35

<http://www.varmeforsk.se>