



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

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



Rapport

R72:1983

**Absorptionsvärmepump
för utvinning av värme
från rökgaser**

Teknisk-ekonomisk utvärdering

Mats Westermarck

*K
M/W*

| | |
|----------------------------------|-----------------|
| INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION | |
| Accnr | Plac <i>Scr</i> |

Byggeforskningsrådet

R72:1983

ABSORPTIONSVÄRMEPUMP FÖR UTVINNING
AV VÄRME FRÅN RÖKGASER

Teknisk-ekonomisk utvärdering

Mats Westermark

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
810452-7 från Statens råd för byggnadsforskning
till Scandiaconsult AB, Stockholm.

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

R72:1983

ISBN 91-540-3956-8
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
LiberTryck Stockholm 1983

INNEHÅLL

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | SAMMANFATTNING | 5 |
| 2 | INLEDNING | 7 |
| 3 | TEKNISK OCH EKONOMISK ANALYS AV ABSORPTIONS- VÄRMEPUMPAR | 8 |
| 3.1 | Teknisk analys av absorptionsvärmepumpar | 8 |
| 3.2 | Ekonomisk analys av absorptionsvärmepumpar | 9 |
| 4 | LOKALISERING AV DEMONSTRATIONSANLÄGGNINGAR ... | 18 |
| 4.1 | Kriterier för utformning av demonstrationsanläggningar | 18 |
| 4.2 | Värmeutvinning från rökgaser | 18 |
| 4.3 | Värmeutvinning från spillvärme | 20 |
| 4.4 | Värmeutvinning från naturliga lågtemperaturkällor | 20 |
| 5 | BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SPILLVÄRME- ÅTERVINNING I TROLLHÄTTAN | 22 |
| 5.1 | Värmebehov i fjärrvärmenät | 22 |
| 5.2 | Befintliga och planerade värmeproduktionsanläggningar | 24 |
| 5.3 | Inventering av tänkbara ytterligare spillvärmekällor | 26 |
| 6 | TEKNISK OCH EKONOMISK BEDÖMNING AV ABSORP- TIONSVÄRMEPUMP I TROLLHÄTTAN | 28 |
| 6.1 | Förslag till teknisk utformning | 28 |
| 6.2 | Bedömning av energibesparing | 31 |
| 6.3 | Bedömning av investeringsbehov | 34 |
| 6.4 | Bedömning av driftkostnader och lönsamhet | 35 |
| 6.5 | Jämförelse med andra alternativ | 37 |
| 7 | FÖRSLAG TILL FORTSATT HANTERING AV PROJEKTET I TROLLHÄTTAN | 39 |
| 7.1 | Villkor för BFR-stöd till demonstrationsanläggningar | 39 |
| 7.2 | Förslag till handläggning | 40 |
| 7.3 | Tidplan | 40 |
| 8 | BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SPILLVÄRME- ÅTERVINNING I ÅDALEN | 42 |
| 8.1 | Värmebehov i fjärrvärmenät | 42 |
| 8.2 | Befintliga och planerade värmeproduktionsanläggningar | 42 |
| 8.3 | Inventering av tänkbara spillvärmekällor | 42 |
| 9 | TEKNISK OCH EKONOMISK BEDÖMNING AV ABSORP- TIONSVÄRMEPUMP I ÅDALEN | 44 |
| 9.1 | Förslag till teknisk utformning | 44 |
| 9.2 | Bedömning av energibesparing och driftförhållanden | 46 |
| 9.3 | Bedömning av investeringsbehov | 47 |
| 9.4 | Bedömning av kapitalkostnader, driftkostnader och lön- samhet | 48 |
| 9.5 | Jämförelse med andra alternativ | 49 |
| 9.6 | Variansanalys | 49 |

| | | |
|------|--|----|
| 10 | FÖRSLAG TILL FORTSATT HANTERING AV PROJEKTET I ÅDALEN | 51 |
| 10.1 | Villkor för BFR-stöd till demonstrationsanläggning | 51 |
| 10.2 | Förslag till handläggning | 52 |
| 10.3 | Tidplan | 52 |
| 11 | SLUTSATSER OCH DISKUSSION | 54 |
| 12 | LITTERATURLISTA | 57 |

Ritning nr 1 Flödesschema för anläggning i Trollhättan
Ritning nr 2 Flödesschema för anläggning i Ådalen

1 SAMMANFATTNING

Ändamålet med denna utredning har dels varit att undersöka lämpliga applikationer för stora absorptionsvärmepumpar (1-10 MW kyleffekt) samt dels att föreslå lokalisering av försöksanläggningar ingående i BFR's forskningsprogram.

Applikationer

I avsikt att finna lämpliga applikationer för absorptionsvärmepumpar redovisas en teknisk och ekonomisk analys av olika applikationer och olika driftfall. Avsikten är att hitta tillämpningar där absorptionsvärmepumpar ur teknisk eller ekonomisk synpunkt är överlägsna konkurrerande alternativ (i första hand mekanisk värmepump). Slutsatserna av denna analys kan kortfattat sammanfattas enligt följande:

- Nuvarande kommersiella absorptionsvärmepumpar (vatten/litiumbromid samt ammoniak/vatten) har relativt begränsad marknadspotential. Detta beror på att medierna är anpassade till kylapplikationer (luftkonditionering respektive frysanläggningar). Systemet vatten/litiumbromid ger endast upp till ca 30^o temperaturhöjning varför man är begränsad till lågtemperaturkällor som håller lägst 30-40^oC om man önskar uppnå distributionstemperaturer av lägst 60-70^oC. Systemet ammoniak/vatten ger möjlighet att uppnå erforderliga distributionstemperaturer även med lättillgängliga lågtemperaturkällor (t ex avloppsvatten eller ytterluft) men ger så låga värmefaktorer och höga investeringskostnader att detta absorptionssystem sällan kan konkurrera med mekaniska värmepumpar. Dessutom bedöms ammoniakgasen utgöra en så pass allvarlig olycksfallsrisk att detta kan försvåra en mera allmän användning.
- Enligt vad som för närvarande är känt pågår i världen utveckling av två olika absorptionsmediapar med lämpliga egenskaper för värmeproduktion. Båda systemen ger både tillräckligt stor temperaturhöjning och höga värmefaktorer. Dessa medier bedöms därför besitta större marknadspotential än de nuvarande mediaparen.
- För att bedöma de förbättrade värmepumparnas konkurrenskraft utfördes en ekonomisk jämförelse med mekanisk värmepump för applikationsområdets fjärrvärmeproduktion. De nya absorptionsmedierna ger en bränslebesparing av storleksordningen 43 % (motsvarar värmefaktorn 1,75). Mekaniska värmepumpar ger en bränslebesparing av storleksordningen 50-57 % beroende på temperaturkrav i värmenätet. Kostnaden för drivenergi har satts till 12 öre/kWh för värme och 20 öre/kWh för el. Slutsatsen av kostnadsjämförelsen är att absorptionsvärmepumpar i de flesta fall ger högre årsbesparing än mekanisk värmepump redan vid nuvarande prisrelationer mellan värme och elektrisk energi.

Lokalisering av demonstrationsanläggningar

En demonstrationsanläggning för absorptionsvärmepumpning bör enligt vår åsikt uppfylla följande kriterier:

- Anläggningen skall vara tekniskt realiserbar med nuvarande kommersiellt tillgängliga absorptionsvärmepumpar. Eftersom anläggningarna skall kunna uppföras 1982-1983 är främst mediaparen vatten/litiumbromid och ammoniak/vatten aktuella. Av dessa bedöms det förstnämnda vara att föredraga på grund av lägre investeringskostnad, bättre värmefaktor och lägre olycksfallsrisk vid eventuellt haveri.
- Anläggningen skall vara ekonomiskt lönsam i jämförelse med olja, samt ekonomiskt konkurrenskraftig i jämförelse med andra alternativ (t ex mekanisk värmepump).
- Anläggningen bör ha en viss allmängiltighet d v s demonstrera en applikation där ett stort antal anläggningar kan uppföras och en betydande energibesparing kan erhållas.
- Anläggningen bör ha ett nyhetsvärde i jämförelse med anläggningar och frågeställningar som undersöks i andra länder.

På basis av ovanstående utvärderingskriterier har följande två anläggningar närmare utvärderats och rekommenderats för uppförande av demonstrationsanläggningar:

- Anläggning i Trollhättan för utvinning av industriellt spillvärme vilket medelst värmeväxling och värmepumpning inmatas i det kommunala fjärrvärmenätet. Som drivenergi används höggradig spillvärme i form av vattenånga.
- Anläggning i Adalen för utvinning av spillvärme från våta rökgaser vilket medelst värmeväxling och värmepumpning inmatas i det kommunala fjärrvärmenätet. Som drivenergi används värme från torveldad hetvattenpanna.

I rapporten redovisas investeringsbehov och lönsamhetskalkyler samt jämförelser med andra alternativ. Slutsatsen är att båda applikationerna utgör nischer där absorptionsvärmepumpar är ekonomiskt lönsamma samt dessutom fullt konkurrenskraftiga med andra alternativ (t ex mekanisk värmepump). Vi bedömer det sålunda angeläget att uppföra demonstrationsanläggningar med absorptionsvärmepumpar för de undersökta applikationerna.

2 INLEDNING

För den framtida energiförsörjningen är det ett viktigt mål att finna processer som minskar såväl oljeberoendet som elberoendet. Vidare bör den framtida tekniken i ökad utsträckning baseras på inhemska bränslen såsom flis och torv.

Värmepumpar enligt absorptionstekniken är en av de processer som uppfyller samtliga ovanstående kriterier. Processen går ut på att utvinna lågtemperaturvärme från omgivningen och pumpa upp den till utnyttningsbar temperatur. Erforderlig drivenergi tillförs i form av värmeenergi och kan sålunda framställas av valfritt bränsle. Detta gör absorptionsvärmepumpen mera framtidsanpassad än mekanisk värmepump som fordrar elenergi eller mekanisk energi som drivenergi.

Nuvarande absorptionsvärmepumpar har utvecklats för kyländamål och är i många fall olämpliga för värmeproduktion eftersom temperaturområdet ej är detsamma. Emellertid pågår forskning och utveckling i såväl Sverige som i utlandet för att finna lämpliga medier för värmeproduktion samt för att modifiera apparaturen. Scandiaconsult har sedan 1980 bedrivit forskning på STU-medel för att finna lämpliga media för värmeproduktion. Arbetet har bl a lett till att en ny mediasammansättning patentsökts och att en mindre pilotanläggning uppförts. Det är vår uppfattning att mediapar med väsentligt förbättrade prestanda kommer att kunna framställas och att sålunda absorptionsvärmepumpar har en avsevärd utvecklingspotential.

Absorptionsvärmepumpens framtida marknadsandel påverkas främst av konkurrensen med mekaniska värmepumpar. Om elpriset stiger mera än andra bränslepriser kommer detta att förbättra absorptionsvärmepumpens konkurrenskraft. En kostnadsanalys visar emellertid att absorptionsvärmepumpar i de flesta fall ger högre årsbesparing redan vid nuvarande kostnadsrelationer mellan el och andra bränslen.

3 TEKNISK OCH EKONOMISK ANALYS AV ABSORPTIONSVÄRMEPUMPAR

Syftet med detta utredningsavsnitt är att finna vilka applikationer som är fördelaktiga för installation av större absorptionsvärmepumpar (1-10 MW kyleffekt). Applikationerna skall helst utgöra en "nisch" där absorptionsvärmepumpar från teknisk eller ekonomisk synpunkt är överlägsna konkurrerande alternativ (i första hand mekanisk värmepump).

Kapitlet behandlar i huvudsak bostadsuppvärmning och tappvarmvattenberedning i centrala värmenät eftersom detta är en stor sektor med relativt ensartad problemställning.

Första delen i kapitlet behandlar tekniska aspekter såsom mediaval och prestanda hos absorptionsvärmepumpar medan andra delen i kapitlet utgör en ekonomisk jämförelse mellan mekaniska värmepumpar och absorptionsvärmepumpar.

3.1 Teknisk analys av absorptionsvärmepumpar

Kravspecifikationen för en absorptionsvärmepump för bostadsuppvärmning är i korthet följande:

- Krav 1: Tillräckligt stor pumphöjd. Värmepumpen bör ta värme vid ca 0°C och pumpa upp temperaturen till $60-70^{\circ}\text{C}$ för att kunna mata centralvärmenät eller fjärrvärmenät.
- Krav 2: Hög värmefaktor så att drivenergin blir så liten som möjligt.
- Krav 3: Liten farlighet hos medium och utrustning. Mediet bör vara så ofarligt som möjligt och bör ej kunna läcka ut till omgivningen.
- Krav 4: Mediet skall vara kemiskt stabilt och så korrosionsvänligt som möjligt. Det bör även vara kommersiellt lättåtkomligt och billigt.

Vid jämförelse mellan prestanda hos existerande och tänkbara absorptionsvärmepumpar med ovanstående kravspecifikation kan följande slutsatser dras:

- Systemet vatten/litiumbromid ger endast ca 30°C i pumphöjd vilket är för litet vid de flesta applikationer. Systemet är endast intressant om man t ex har tillgång till $30-40$ gradig spillvärme som man önskar pumpa till $60-70^{\circ}\text{C}$. Mediet uppfyller däremot krav 2, 3 och 4. Det har sålunda hög värmefaktor (ca 1,65), låg farlighet och godtagbara korrosionsegenskaper.
- Systemet ammoniak/vatten ger erforderlig pumphöjd (1) $60-70^{\circ}\text{C}$ (krav 1) men ger låg värmefaktor (ca 1,3-1,4). Man kan beteckna mediet som relativt farligt eftersom ammoniak håller ett arbetstryck av ca 20-40 bar och sålunda vid haverier lätt kan läcka ut i omgivningen. Eftersom ammoniak uppträder som gas kan den ej uppsamlas utan sprider sig med vinden. Ammoniak är kemiskt stabil upp till ca 180°C varefter den sönderdelas i vätgas och kvävgas. Ammoniak förorsakar ej korrosionsproblem men utrustningen blir ändå relativt dyrbar eftersom man måste dimensionera utrustningen för höga driftryck.
- Diverse andra system med ammoniak eller aminer har föreslagits och studerats (t ex $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr}$, $\text{CH}_3\text{NH}_2/\text{H}_2\text{O} + \text{LiBr}$). Dessa har i stort sett samma problem och prestanda som $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$.

- Under de senaste åren har två system med erforderlig pumphöjd och höga värmefaktorer nått pilotskala. Dessa uppfyller både krav 1 och krav 2 och kan bedömas bli tekniskt och ekonomiskt överlägsna nuvarande system. Dessa system är vatten/svavelsyra och vatten/oorganiskt salt.

Vatten/svavelsyra har tillräckligt stor pumphöjd samt hög värmefaktor (ca 1,70). En nackdel är att svavelsyra har en icke försumbar flyktighet(3) Vid aktuella temperaturer av ca 180-190°C i generatoren får man enligt litteraturen räkna med att ångan innehåller ca 3 000-4 000 mg H₂SO₄/m³. Gränsvärdet i Sverige är 1 mg/m³ och redan vid halter på 10-20 mg/m³ uppkommer lungskador. Redan vid rumstemperatur räcker svavelsyrans ångtryck av SO₂ för att ge irritationer i andningsvägarna. Svavelsyra är en mycket kraftig syra som är starkt frätande på hud. Jag bedömer därför att vissa problem uppkommer att få den accepterad från arbetsmiljösynpunkt. Ångtrycket av SO₂ kommer också att innebära att condensatet från generatoren kommer att innehålla svavelsyra. Vid en pilotanläggning i USA har syrehalten ökat med ca 0,04 vikt-% per cykel vid en temperatur av ca 150°C(4) Man kan räkna med en cykeltid av storleksordningen 0,1 timme och en högsta tillåtna syrehalt av ca 4 % (dvs 100 cykler). Vattnet i absorbatoren skulle sålunda behöva förnyas 1 gång per 10 h. Man bör kunna åstadkomma detta genom ett kontinuerligt avdrag som pumpas till syrasidan för omdestillation utan att detta påverkar värmefaktorn särskilt påtagligt. Korrosionen är ett allvarligt problem och i pilotanläggningen har man tvingats välja värmväxlare av glas.

Systemet vatten/oorganiskt salt som framtagits av Scandiaconsult på uppdrag av STU har tillräckligt stor pumphöjd samt mycket hög värmefaktor (ca 1,75). Absorptionsvätskan är betydligt fördelaktigare från miljösynpunkt än svavelsyra ty dels är den betydligt mindre frätande och dels är dess flyktighet försumbar vid de temperaturer som är aktuella. Korrosiviteten är också lägre än för svavelsyra och det är möjligt att använda vanligt syrafast stål (SIS 2343) i absorbatoren och kondensoren medan generatoren fordrar mera höglegerade stål. Det nya mediet framstår därför som det fördelaktigaste mediasystemet av de hittills redovisade för bostadsuppvärmning. En förklaring till detta är att mediet utvecklats helt med tanke på värmepumpning.

3.2 Ekonomisk analys av absorptionsvärmepumpar

Från ekonomisk synpunkt bör en absorptionsvärmepump fylla följande krav för att kunna konkurrera med mekaniska värmepumpar:

- Investeringskostnaden bör vara så låg som möjligt och helst lägre än för mekaniska värmepumpar.
- Driftkostnadsbesparingen (dvs intäkter av minskad bränsleförbrukning minus utgifter för drivenergi och skötsel) bör vara större än för mekanisk värmepump.

Beträffande investeringskostnaden för mekanisk värmepump kan konstateras att storleksordningen 50 % av totalinvesteringen normalt åtgår till andra objekt än själva värmepumpen (t ex byggnad, ledningsdragnings, pump för lågtemperaturkälla, värmekulvertar etc) (5). Dessa delar av investeringen torde vara lika stora för absorptionsmaskiner som för mekaniska värmepumpar. Investeringskillnaden skulle därför bestå i kostnadsskillnaden mellan själva värmepumpaggregaten. Apparatkostnaden för konventionell mekanisk värmepump är av storleksordningen 700-1 000 kr/kW (kyleffekt) inom området 2-10 MW kyleffekt (5). Apparatkostnaden för en absorptionsvärmepump varierar starkt med mediet. För en konventionell

kylmaskin med systemet H_2O LiBr vid pumphöjden ca $25^{\circ}C$ uppger Carrier en apparatkostnad av 740 000 kr för 2,2 MW kyleffekt (6). Detta motsvarar 340 kr/kW kyleffekt. Sanyo marknadsför modifierade LiBr/ H_2O -maskiner som anpassats speciellt för värmeproduktion. Temperaturhöjningen mellan förångare och absorptor kan härvid höjas till ca $35^{\circ}C$. Apparatkostnaden stiger dock till ca 1 000 kr/kW kyleffekt i kapacitetsområdet 1-4 MW kyleffekt (9). För systemet NH_3/H_2O är apparatkostnaden betydligt högre på grund av högt arbetstryck och mera komplicerad process. Borsig (2) uppger att nuvarande kostnader är ca 750 kr/kW värmeeffekt vilket vid en värmefaktor 1,4 motsvarar 1 900 kr/kW kyleffekt. På Borsig tror man sig kunna sänka tillverkningskostnaden till ca 1 000 kr/kW kyleffekt i framtiden (2). Kostnadsuppgifterna hänför sig till anläggningsstorlekar större än 0,9 MW kyleffekt (dvs större än ca 3 MW värmeeffekt).

Jämförelsen av investeringskostnader visar sålunda att absorptionsvärmepumpar med systemet H_2O /LiBr är jämförbara med mekaniska värmepumpar medan däremot absorptionsvärmepumpar med systemet NH_3/H_2O är avsevärt dyrare. Ammoniaksystemets höga investeringskostnad beror dels på att systemet kräver hög tryckklass, dels att värmeflödena blir stora på grund av låg värmefaktor. De tekniskt mest intressanta systemen anser vi emellertid vara H_2O/H_2SO_4 resp H_2O /oorganiskt salt vilka ännu ej finns kommersiellt tillgängliga. En pågående beräkning av investeringsbehovet för värmepump med mediaparet oorganiskt salt/ H_2O . Beroende på temperaturhöjningen bedöms apparatkostnaden till mellan 700 och 1 400 kr/kW kyleffekt för effekter mellan 5-10 MW kyleffekt (8). I det fortsatta resonemanget har ansatts att investeringskostnaden för en komplett energiproduktionsanläggning är oberoende av om själva värmepumpen är mekanisk värmepump eller absorptionsvärmepump. Vi bedömer att detta antagande är tämligen korrekt och att avvikelserna ej är så stora att det påverkar slutsatserna.

Jämförelsen av årsbesparing för mekaniska värmepumpar och absorptionsvärmepumpar är av större betydelse än investeringsjämförelsen. På grund av dagens höga energikostnader kommer nämligen drivenergikostnaderna under värmepumpens livstid att kraftigt överstiga investeringskostnaden. Vid en driftkostnadsjämförelse är följande kostnadsposter av betydelse.

Intäkter

Minskad bränsleförbrukning

Utgifter

Kostnad för drivenergi (el, olja etc)

Kostnad för underhåll och övervakning

Beträffande kostnad för underhåll och övervakning är denna för stora anläggningar i allmänhet försumbar i jämförelse med övriga kostnader. Det torde dessutom vara rimligt att anta att skötselbehovet är av ungefär lika omfattning för de båda pumptyperna varför denna kostnads-post ej behöver medtagas i en kostnadsjämförelse. De kostnadsposter som återstår att jämföra är därmed bränslebesparing samt kostnad för drivenergi.

Bränslebesparingen är lätt att beräkna eftersom den helt enkelt sammanfaller med värmepumpens kyleffekt. Om man t ex utvinnet 1 MW lågtemperaturvärme under en drifttid av 8 000 h sparar man in 8 000 MWh vilket med 1981 års oljepris av ca 12 öre/kWh (pannförlust inräknad) motsvarar 960 000 kr/år. Om den mekaniska värmepumpen och absorptionsvärmepumpen dimensioneras för samma kyleffekt blir bränslebesparingen identisk.

Kostnaden för drivenergi är i allmänhet av avgörande betydelse för valet mellan absorptionsvärmepump och mekanisk värmepump. Det är viktigt att beakta att drivenergin vid värmepumpning ej går förlorad utan frigörs i kondensorn och kommer värmenätet till godo. Detta gör att de tekniska och ekonomiska övervägandena blir radikalt annorlunda än vid en konventionell kylanläggning där ju drivenergin går förlorad i kylvatt-net. I en kylapplikation är mekanisk värmepump oftast billigare i drift än en absorptionsvärmepump eftersom den har högre köldfaktor och sålunda fordrar mindre drivenergi för en viss köldproduktion. I en anläggning för värmeproduktion gäller däremot att absorptionsvärmepumpen i de flesta fall är billigare i drift än en mekanisk värmepump.

I värmepumpanläggningar för värmeproduktion kombinerar man alltid en värmepump med en efterföljande panna (t ex tjockoljeeldad). Vid en mekanisk värmepump ger den tillförda elenergin för kompressorarbete motsvarande minskning av oljebehovet i pannan. Det är sålunda kostnadskillnaden mellan el och olja som utgör den verkliga kWh-kostnaden för drivenergi. Under 1981 kan man i Sverige räkna med ett pris av ca 20 öre/kWh för el och ca 12 öre/kWh för tjockoljeproducerad värme. Elenergin för drift av mekanisk värmepump kostar sålunda ca $20 - 12 = 8$ öre/kWh sedan man tillgodoräknat sig oljesparingen. Vid en värmefaktor av ca 3,5 motsvarar drivenergikostnaden $8 \text{ öre} / 2,5 = 3 \text{ öre/kWh}$ utvunnet lågtemperaturvärme.

Vid en absorptionsvärmepump kan värmen från pannan utnyttjas som drivenergi. Denna drivenergi frigörs sedan i kondensorn och kommer värmenätet till godo. Värmeenergin för drift av en absorptionsvärmepump är alltså gratis sedan man tillgodoräknat sig oljesparingen. Vid driften åtgår också en viss mängd elenergi för drift av cirkulationspumpar, automatik och vacuum pump men dessa utför endast ca 1 % av utvunnet lågtemperaturvärme. En del av detta åtgår till pumpning av absorptionsmedium och kommer sålunda systemet tillgodo.

En ekonomisk jämförelse mellan absorptionsvärmepumpar och mekaniska värmepumpar påverkas även av lokala omständigheter. De viktigaste av dessa faktorer är:

- kapaciteten hos lågtemperaturkällan
- temperaturkrav i värmenätet
- kostnadsrelationer mellan el och övriga bränslen

För att illustrera samspelet mellan ovanstående parametrar har tre "typfall" diskuterats nedan samt redovisats i figur 1-3. Varje typfall renodlar en av ovanstående parametrar som den dimensioneringsbestämmande.

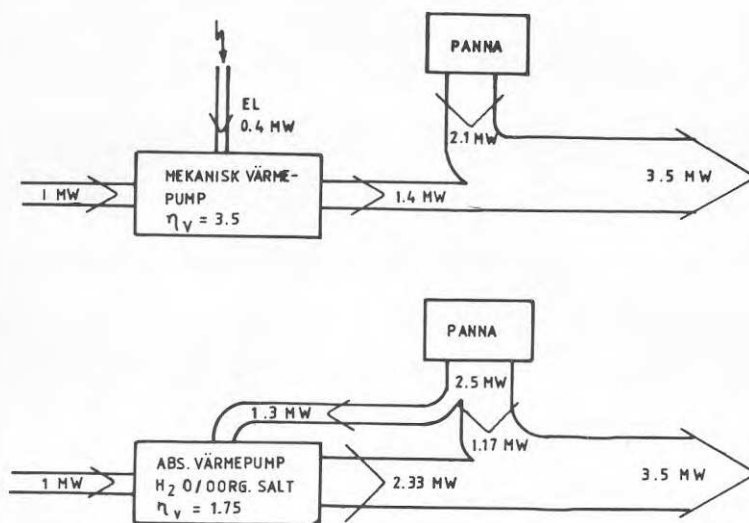
Typfall 1: Kapaciteten hos lågtemperaturkällan begränsande

Detta typfall karaktäriseras av att effekten hos lågtemperaturkällan begränsar storleken hos värmepumpen. Värmepumpen måste begränsas till en kyleffekt som motsvarar värmeeffekten hos lågtemperaturkällan även om värmenätet skulle kunna ta emot mångfalt större effekt.

Typfall 1 är mycket vanligt under vintertid eftersom tillgången på lågtemperaturvärme är begränsad under vintern när energibehovet är störst.

Det är sålunda sällsynt med tillräckliga lågtemperaturkällor och t ex avloppsvatten kan ofta endast svara för en relativt blygsam andel av effektbehovet i ett fjärrvärmenät. Exempelvis svarar den avloppsvattenförsörjda värmepumpen i Sala för ca 10 % av vintereffektbehovet.

I typfall 1 är absorptionsvärmepumpen den ekonomiskt fördelaktigaste eftersom energiproduktionen i pannan är tillräckligt stor för att driva absorptionsvärmepumpen. Den inbesparade driftkostnaden motsvarar skillnaden mellan elpris och oljekostnad dvs ca 8 öre/kWh elenergi. Även från energipolitisk synpunkt är absorptionsvärmepumpen överlägsen eftersom elbehovet för en mekanisk värmepump kan ersättas med samma mängd värmeenergi som kan utvinnas av godtyckligt bränsle och med betydligt bättre verkningsgrad än el. Energiflöden och beräkningar redovisas i figur 1. Resultatet är att absorptionsvärmepumpen ger en extra årsbesparing av storleksordningen 240 kkr per MW installerad kyleffekt.



Driftekonomisk kalkyl för 1 MW kyleffekt:

Mek värmepump: $0,4 \text{ MW} \times 200 \text{ kr/MWh} + 2,1 \text{ MW} \times 120 \text{ kr/MWh} = 332 \text{ kr/h}$

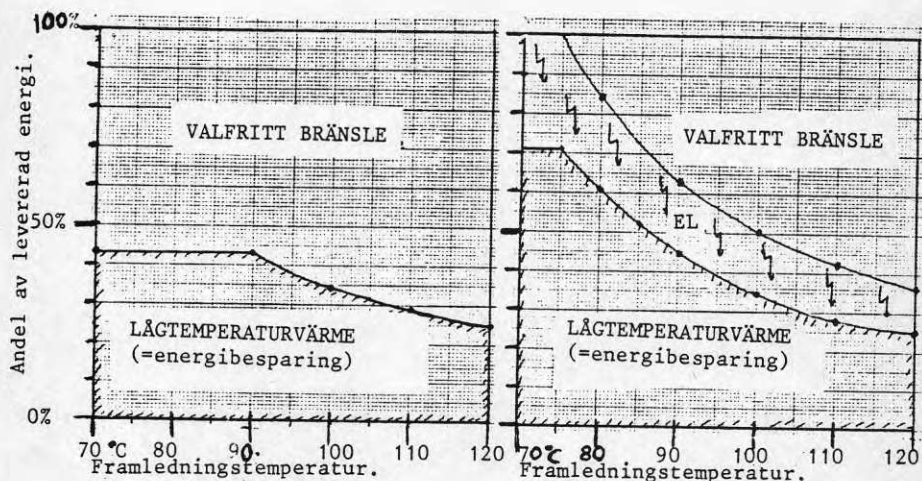
Abs värmepump $\text{H}_2\text{O}/\text{oorg salt}$: $2,5 \text{ MW} \times 120 \text{ kr/MWh} = 300 \text{ kr/h}$

Absorptionsvärmepump ger sålunda en ökad besparing med 32 kr/h per MW installerad kyleffekt. Vid en drifttid av 8 000 h/år motsvarar detta 256 000 kr/år per MW installerad kyleffekt.

Typfall 2: Temperaturen i värmenätet begränsande (se figur 2, sid 15)

Detta typfall är särskilt vanligt under sommarhalvåret och karaktäriseras av att lågtemperaturvärme finns i tillräcklig mängd men att den utvunna andelen lågtemperaturvärme begränsas av temperaturkravet i värmenätet.

I fjärrvärmenät används normalt en säsonsberoende framledningstemperatur av 80-130°C och en återledningstemperatur av ca 50°C. Kravet på lägst 80°C i framledningstemperatur orsakas av att varmvattenberedare fordrar ca 80°C för att ge tillfredsställande temperaturer hos tappvarmvattnet. Vid mekaniska värmepumpar är framledningstemperaturen begränsad till 75°C eftersom högre pumphöjder ger oacceptabelt höga drifttryck. Uppgiften avser köldmedium R12 som normalt används i dessa applikationer. Ängtrycket för detta medium är ca 18 atö vid 70°C. Denna begränsning kan övervinnas om man seriekopplar två värmepumpar med olika värmemedier men detta alternativ är sällan realistiskt på grund av kraftigt försämrade värmefaktor och ökad investeringskostnad. Normalt används sålunda mekaniska värmepumpar med endast ett medium. Man kan förvärma returvattnet från ca 50 till 75°C innan det leds in i pannan för att höjas till 80-130°C. Fördelningen mellan lågtemperaturvärme, el och bränske vid olika temperaturer återges i diagram nedan. Returtemperaturen har antagits till 50°C och värmefaktorn till 3,5.



Absorptionsvärmepump.

Mekanisk värmepump.

Fördelning mellan energislag i absorptionsvärmepump och mekanisk värmepump.

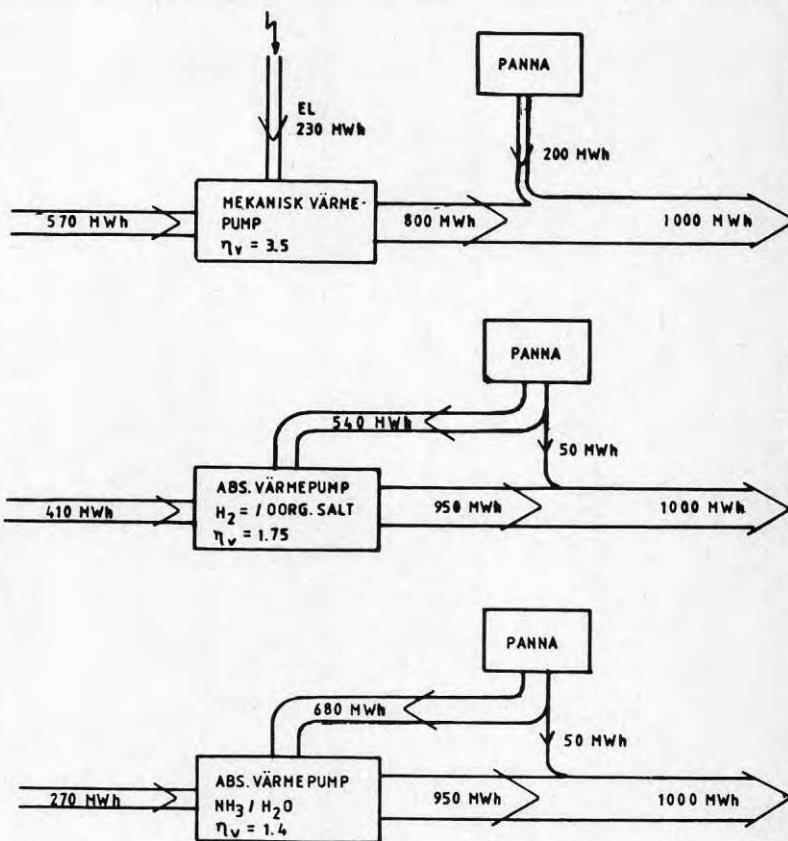
Ett praktiskt exempel på en anläggning där distributionstemperaturen begränsar den uttagna värmeeffekten är den planerade värmepumpen i Visby. Lågtemperaturkällan utgörs sommartid av havsvatten som ju finns i överflöd. Däremot kommer temperaturkravet att begränsa värmepumpens effektandel.

Med absorptionsvärmepump kan man med lämpliga media uppnå temperaturhöjningar av upp till 90°C . Med systemet $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ är det möjligt att erhålla värmefaktorn 1,4 vilket innebär att lågtemperaturkällans andel utgör 29 % av energiproduktionen. Med de nya absorptionsmediaparen som nu befinner sig i pilot-skala kan man uppnå en värmefaktor av ca 1,75. Denna värmefaktor innebär att lågtemperaturkällans andel utgör 43 % av energiproduktionen. Fördelningen mellan lågtemperaturvärme och bränsle återges i diagram nedan. Returtemperaturen har antagits till 50°C och värmefaktor till 1,75. Som framgår av diagrammet är energibesparingen för en absorptionsvärmepump lika hög som för en mekanisk värmepump om distributionstemperaturen är 90°C eller högre. Vid distributionstemperaturen under 90°C ger absorptionsvärmepump lägre energibesparing men på grund av lägre pris på drivenergi kan den ändå vara konkurrenskraftig.

I beräkningsexemplet i figur 2 har antagits en genomsnittlig distributionstemperatur av 85°C .

Med systemet $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ får man avsevärt lägre energibesparing än med mekanisk värmepump (29 % jämfört med 51 %). Trots att drivenergin för absorptionsvärmepumpen är avsevärt billigare per kWh blir driftkostnadsbesparingen lägre än för den mekaniska värmepumpen.

Med de nya absorptionsmedierna får man något lägre energibesparingar än med mekanisk värmepump (43 % jämfört med 51 %). Eftersom drivenergin för absorptionsvärmepumpen är avsevärt billigare per kWh blir driftkostnadsbesparingen störst för absorptionsvärmepumpen. De höga värmefaktorerna hos de nya absorptionsmedierna gör alltså att absorptionsvärmepumpar blir mera ekonomiska än mekaniska värmepumpar även för detta typfall som normalt förekommer i befintliga värmenät.



Typfall 2. Temperaturen i värmenätet begränsande.

Drifekonomisk kalkyl för 1 MWh uteffekt:

Mek värmepump: $0,20 \text{ MW} \times 200 \text{ kr/MWh} + 0,29 \text{ MW} \times 120 \text{ kr/MWh} = 74,8 \text{ kr/h}$

Abs värmepump H_2O /oorg salt: $0,57 \text{ MW} \times 120 \text{ kr/MWh} = 68,4 \text{ kr/h}$

Abs värmepump NH_3/H_2O : $0,71 \text{ MW} \times 120 \text{ kr/MWh} = 85,2 \text{ kr/h}$

Abs värmepumpen H_2O salt ger den högsta årsbesparingen. Den mekaniska värmepumpen ger ca 10 % högre driftkostnader och absorptionsvärmepump med ammoniak/vatten ca 25 % högre driftkostnader.

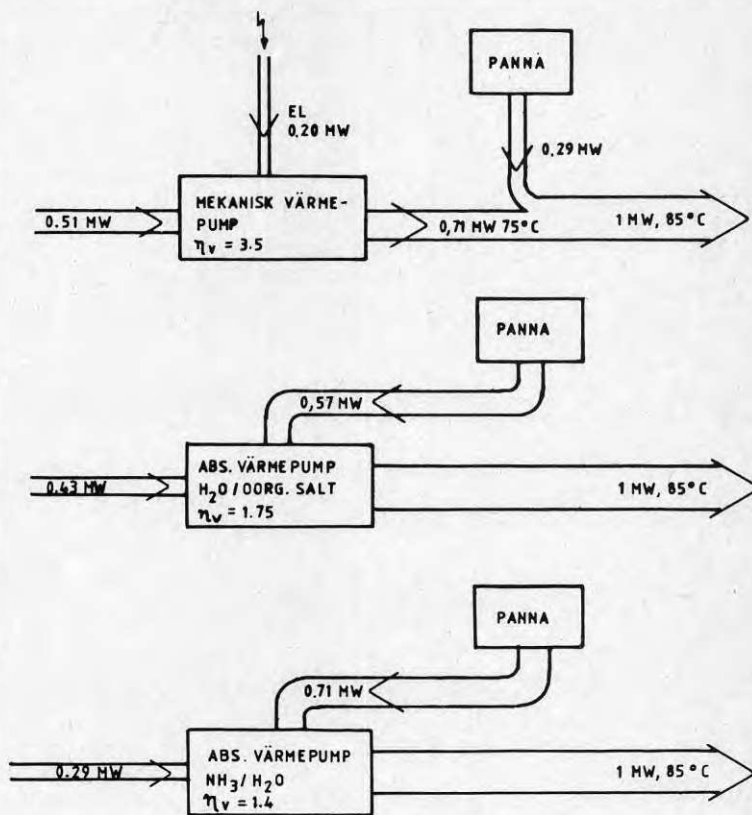
Typfall 3: Kostnadsrelationen mellan el och övriga bränslen begränsande

Detta typfall karaktäriseras av att tillgången på lågtemperaturkälla är tillräcklig och att temperaturkraven är så låga att en mekanisk värmepump kan svara för hela energiförsörjningen. Därmed blir priset på drivenergi den avgörande faktorn. Detta typfall är sällsynt men kan tänkas uppkomma i extrema lågtemperaturnät eller där lågtemperaturkälla vid 20-30°C finns tillgänglig.

Med en mekanisk värmepump är det sannolikt optimalt att dimensionera värmepumpens uteffekt till ca halva maxeffekten. Den kommer då att producera ca 80 % av årsbehovet medan resterande topplast produceras i oljepanna. Med en värmefaktor av 3,5 kommer storleksordningen 23 % av energiförbrukningen att bestå av el och 20 % av olja medan resterande 57 % utgörs av utvunnet lågtemperaturvärme.

Med en absorptionsvärmepump som dimensioneras för samma kyleffekt som den mekaniska värmepumpen erhålls en uteffekt av ca 80 % av toppförbrukningen. Detta beror på att värmefaktorn är 1,75 jämfört med ca 3,5 för en mekanisk värmepump. Behovet av olja för spetslast minskar därmed till 5 % av årsförbrukningen. Energibehovet under året kommer därmed att bestå av ca 59 % olja (54 % för drift av absorptionsvärmepump samt resterande 5 % för spetslast) medan resterande 41 % av årsbehovet utgörs av utvunnet lågtemperaturvärme.

Jämförelsen visar att absorptionsvärmepumpen förbrukar mera olja men mindre el än den mekaniska värmepumpen. För att absorptionspumpen skall bli den mest ekonomiska fordras att kvoten mellan elenergipris och värmeenergipris skall vara större än 1,7. Vid en värmekostnad av 12 öre/kWh fordras sålunda att elpriset är lägst $1,7 \times 12 = 20,3$ öre/kWh. Eftersom elpriset i Sverige befinner sig just i denna storleksordning kan man således säga att årsbesparingen för de båda värmepumpstyperna är lika (inom felräkningsmarginalen). Emellertid blir absorptionsvärmepumpen den fördelaktigaste i framtiden om elpriserna stiger snabbare än oljepriserna eller om inhemska bränslen med lägre pris än tjockolja finns tillgänglig. Det kan också tilläggas att elpriserna i Sverige är extremt låga i jämförelse med andra länder vilket vid jämförelsen gynnar den mekaniska värmepumpen.



Typfall 3. Kostnadsrelationen mellan el och övriga bränslen begränsande.

Drifekonomisk kalkyl för 1 000 MWh energiproduktion:

Mek värmepump: 230 MWh x 200 kr/MWh + 200 MWh x 120 kr/MWh = 70 000 kr

Abs värmepump H₂O/oorg salt: 590 MWh x 120 kr/MWh = 70 800 kr

Abs värmepump NH₃/H₂O: 730 MWh x 120 kr/MWh = 87 600 kr

4 LOKALISERING AV DEMONSTRATIONSANLÄGGNINGAR

I BFR's budget ingår medel för att studera absorptionsvärmepumpar. En del av dessa medel kommer att användas till teoretiska studier och utredningar medan resterande del kommer att användas för att stödja uppförandet av ett mindre antal försöksanläggningar. Det är väsentligt att försöksanläggningarna lokaliseras vid sådana objekt där absorptionsvärmepumpar ger tekniska och ekonomiska fördelar i jämförelse med konkurrerande alternativ (främst mekanisk värmepump). I detta kapitel görs därför en kritisk genomgång av tänkbara demonstrationsobjekt.

4.1 Kriterier för utformning av demonstrationsanläggningar

En demonstrationsanläggning för absorptionsvärmepumpning bör enligt vår åsikt uppfylla följande kriterier:

- Anläggningen bör utnyttja kommersiellt tillgängliga absorptionsvärmemedier eftersom den skall kunna uppföras redan 1982-1983. Systemet vatten/litiumbromid är det naturliga valet ty ammoniak/vatten är väsentligt dyrare och har sämre värmefaktorer.
- Anläggningen bör vara kommersiellt konkurrenskraftig i jämförelse med t ex mekaniska värmepumpar.
- Anläggningen bör ha viss allmängiltighet dvs demonstrera en applikation där ett stort antal anläggningar kan uppföras och en betydande energibesparing kan erhållas.
- Anläggningen bör ha ett nyhetsvärde i jämförelse med anläggningar och frågeställningar som undersöks i andra länder.

På basis av ovanstående kriterier har vi funnit det intressant att närmare studera följande applikationsområde:

- Värmeutvinning från spillvärme
- Värmeutvinning från naturliga lågtemperaturkällor

Däremot har värmelagring ej medtagits eftersom Batellinstitutets utredning visar att ekonomin är otillfredsställande och energibesparingspotentialen låg. Vidare har utredningen begränsats till kapacitetsområdet 1-10 MW kyleffekt dvs till central- och fjärrvärménät.

4.2 Värmeutvinning från rökgaser

Värmeutvinning från rökgaser har följande uppenbara fördelar i jämförelse med t ex avloppsvatten, kylvatten och andra tänkbara lågtemperaturkällor:

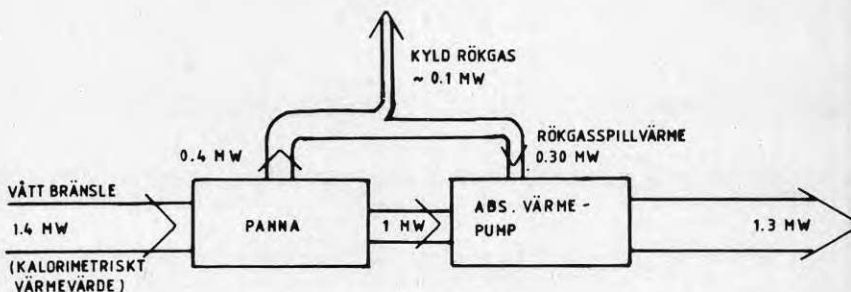
- Rökgaser genereras i närheten av pannanläggningar. Därigenom blir värmeöverföringsledningarna korta. Vidare kan personalen vid pannanläggningen användas för övervakning och skötsel av värmepumpen.
- Rökgasen genereras när värmebehovet finns dvs lagringsbehovet bortfaller.
- Den utvunna lågtemperaturvärmen håller en relativt hög temperaturnivå (ca 30-40°C).

- Den utvinningsbara effekten ger en betydande energibesparing. För fuktiga bränslen såsom flis och torv blir energibesparingen ca 35-45 %. För torra bränslen såsom olja och kol blir bränslebesparingen ca 15-20 %.

Värmeutvinning från rökgaser har emellertid följande nackdelar:

- Rökgaser kan ge korrosionsproblem hos värmeväxlarytor. Vid kol- och oljeeldning utfälls svavelsyra vid utkondensering av vattenånga. Man får därför räkna med att använda syrafasta stålmaterial i värmeväxlarytorna. Utvecklingsarbete har bl a bedrivits av Fagersta AB för att lösa korrosionsproblematiken och man anser att problemet är lösbart. Korrosionen vid flis- och torveldade anläggningar är mindre allvarliga eftersom svavelsyra finns i mindre grad.
- Utfällning av stoft från rökgasen kan eventuellt ge igensättnings- och belägningsproblem i värmeväxlarytor. Det utkondenserade vattnet måste sannolikt neutraliseras och befrias från tungmetaller. Ur miljösynpunkt är det naturligtvis positivt att stoft avskiljs men stoftet kan ge ökade driftproblem. Möjligheten att använda kemisk eller mekanisk rensning av värmeväxlarytorna bör provas.

En demonstrationsanläggning för värmeutvinning ur rökgaser bör lämpligen lokaliseras vid någon flis- eller torveldad värmecentral. Den erforderliga drivenergin för absorptionsvärmepumpen tas från pannan. Eftersom drivenergin sedan kommer värmenätet tillgodo medför detta ingen driftkostnad. Vid jämförelse med mekanisk värmepump kan konstateras att absorptionsvärmepumpen ger lägre driftkostnad men samma energibesparing. Driftfallet innebär nämligen att lågtemperaturkällans kapacitet är begränsande för värmeproduktionen ("Typfall 1" sid 12). Princip-schemat för värmeutvinningsanläggningen återges i nedanstående figur.



4.3 Värmeutvinning från spillvärme

Med spillvärme avses värme vid 30-40°C som genereras i olika processer. Det är härvid möjligt att med litiumbromidvärmepumpar höja temperaturnivån till 60-70°C och mata in värmen i fjärrvärmenät. Möjligheten att utnyttja absorptionsvärmepumpar för detta ändamål har observerats av olika tillverkare. För närvarande pågår sålunda ett betydande utvecklingsarbete hos tillverkare av absorptionskylmaskiner för att modifiera aggregaten för värmeproduktion.

Marknadspotentialen hos absorptionsvärmepumpar för detta ändamål beror huvudsakligen på konkurrenskraften gentemot mekaniska värmepumpar. I de flesta fall när prisrelationen mellan el och värme är utslagsgivande ("Typfall 3" sid 17) är det troligt att mekaniska värmepumpar har något lägre driftkostnader än absorptionsvärmepumpar. Om elpriset ökar snabbare än andra energislag kan emellertid motsatt förhållande uppstå i framtiden. Vid nuvarande elpriser är sålunda absorptionsvärmepumpar främst aktuella under någon av följande två förutsättningar:

- Lågtemperaturkällan begränsande för värmeuttaget
- Lågtemperaturmediet kraftigt korrosivt eller kraftigt beläggningsbenäget så att förångare till mekaniska värmepumpar ej kan användas. Vid absorptionsvärmepump kan plattvärmeväxlare användas vilket möjliggör korrosionståligt material (t ex titan) och manuell rengöring.

Under förutsättning att en plats med någon av ovanstående förutsättningar kan utpekats är en demonstrationsanläggning befogad. Emellertid bedömer jag att erfarenheter från utlandet (med högre elpriser) kan vara tillräckligt för att bedöma den tekniska och ekonomiska potentialen.

4.4 Värmeutvinning från naturliga lågtemperaturkällor

Med naturliga lågtemperaturkällor avses ytvatten, grundvatten, avloppsvatten, havsvatten, ytterluft, markslingor m m. Dessa naturliga lågtemperaturkällor har fördelen att vara allmänt förekommande men har nackdelen att temperaturnivån är låg (ca -5°C till +5°C).

Med naturliga lågtemperaturkällor fordras en temperaturhöjning av ca 60-80°C för att kunna mata in värmen i fjärrvärmenätet. För närvarande kan endast absorptionsmedieparet ammoniak/vatten åstadkomma denna temperaturhöjning ty litiumbromid har för låg löslighet. Ammoniak/vatten bedöms dock ej konkurrenskraftig med mekaniska värmepumpar p g a för låg värmefaktor. Emellertid pågår utveckling av nya absorptionsmediapar med förbättrade egenskaper. Dessa medier är fullt konkurrenskraftiga med mekaniska värmepumpar för de flesta driftfall redan vid nuvarande elpriser. Vi bedömer följaktligen att man ej bör satsa medel på en demonstrationsanläggning för ammoniak/vatten utan istället satsa tillgängliga medel på att utveckla de nya medierna.

En demonstrationsanläggning lokaliseras förslagsvis vid ett central- eller fjärrvärmenät och använder t ex havsvatten som lågtemperaturkälla. Som drivenergi erfordras värme vid ca 200°C vilket t ex kan genereras i en hetoljepanna som drivs av valfritt bränsle. Om gas används som drivenergi kan absorptionsvärmepumpen göras direktledad.

Marknadspotentialen för värmeutvinning från naturliga lågtemperaturkällor bedöms vara mycket stor. I de flesta länder är ytterluft en fullt

tillräcklig lågtemperaturkälla under hela året. Detta gör metoden lätt att introducera så snart ett värmepumpmedium med lämpliga egenskaper har utvecklats. Den uppnårliga bränslebesparingen blir 43 % för ett medium med 1,75 i värmefaktor. Konkurrensförmågan gentemot mekanisk värmepump påverkas främst av prisrelationen mellan el- och värmeenergi samt av värmefaktorerna hos respektive värmepump. Överslagsmässigt gäller att absorptionsvärmepumpen fordrar storleksordningen dubbelt så mycket drivenergi som en mekanisk värmepump (värmefaktor 1,75 respektive 3,5). Emellertid uppvägs detta av att värmeenergi är väsentligt billigare än elenergi. I de tillämpningar där elenergin är mer än dubbelt så dyr som värmeenergin blir sålunda absorptionsvärmepumpar billigare. I de flesta länder produceras huvuddelen av elenergin i kondenskraftverk och kostar storleksordningen 3 gånger så mycket som värmeenergi.

5 BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SPILLVÄRMEÅTERVINNING I TROLLHÄTTAN

Trollhättans kommun har på grund av sin industrikaraktär samt sitt fjärrvärmenät goda möjligheter att utnyttja industriellt spillvärme. Vårt bedömning är att man också hittills har tillvaratagit dessa möjligheter på ett gott sätt. För närvarande har man tecknat leveransavtal med Kema Nord och Union Carbide om leverans av spillvärme från dessa. För att kunna göra en teknisk och ekonomisk bedömning av ytterligare spillvärmeåtervinning måste hänsyn tas till bl a värmebehov i fjärrvärmenät, befintliga värmeproduktionsanläggningar samt tillgång på spillvärmekällor. Dessa olika faktorer skall därför redovisas kortfattat nedan.

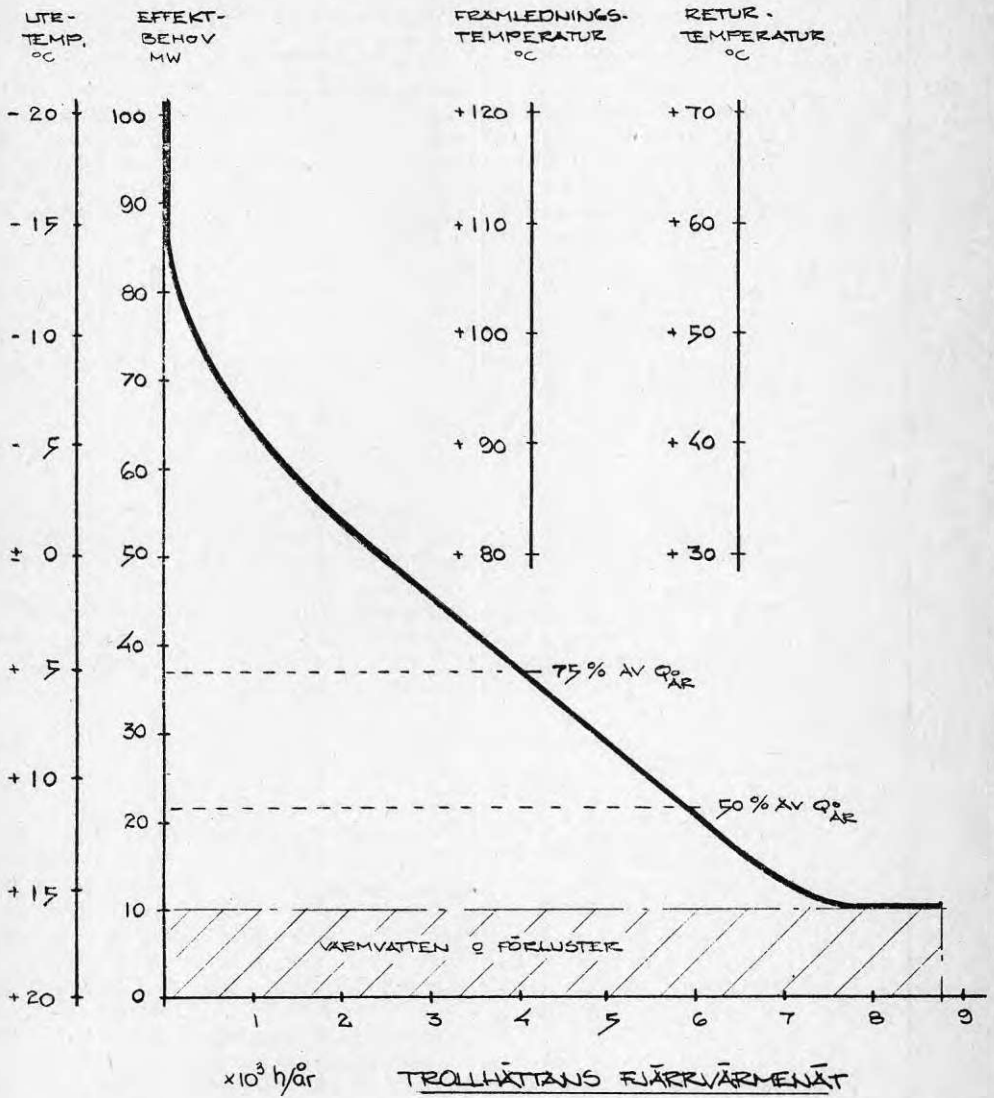
5.1 Värmebehov i fjärrvärmenät

Det sammanlagrade effektbehovet kommer att öka under de närmaste åren på grund av utbyggnad av nätet. Följande utveckling förutses av Trollhättans Fjärrvärme AB (TFAB):

| <u>År</u> | <u>Effektbehov MW</u> |
|-----------|-----------------------|
| 1979 | 50 |
| 1980 | 60 |
| 1981 | 70 |
| 1982 | 80 |
| 1983 | 90 |
| 1984 | 100 |

Under 1983 kommer en hopkoppling att ske av nätets både nuvarande delar så att ett enda nät erhålls. Ur vår synpunkt är det mest relevant att beakta situationen från 1984 och framåt. Man bör härvid kunna förutsätta att utbyggnadstakten kommer att stagnera när flertalet fastigheter anslutits så att förhållandena blir någorlunda konstanta.

I varaktighetsdiagrammet, Figur 1, har TFAB redovisat effektbehov samt temperaturer i framledning och returledning under ett normalår. Vår uppfattning är att detta diagram är tillräckligt underbyggt för att kunna användas som dimensioneringsunderlag.



TROLLHÄTTANS FJÄRRÄRMENÄT

VÄRKAFTIGHETSDIAGRAM - VÄRMEENERGI

LTE-TEMPERATUR, EFFEKTBEHÖV, FÖR-
 OCH RETURLEDNING

820804

51.2643-03

5.2 Befintliga och planerade värmeproduktionsanläggningar

För närvarande genereras huvuddelen av värmeenergin medelst förbränning av tjockolja medan en mindre del genereras från förbränning av kommunalt avfall.

Fr o m hösten 1983 sker en utökad förbränning av avfall. Vidare kommer man att återvinna industriellt spillvärme från Kema Nord (förbränning av vätgas) samt från Union Carbide (förbränning av processgaser). Dessa värmeproducenter får betraktas som baslastproducenter eftersom de är i drift under en stor del av året och ger ett lägre energipris än tjockolja. Värmeproduktionen från avfall och industriellt spillvärme kommer att täcka hela värmenätets behov under ca 2 000 h/år (d v s under tiden juni, juli och augusti). En ytterligare spillvärmeåtervinning medelst värmepump kan därför endast drivas under den tid under året när ett ytterligare värmebehov finns (ca 6 800 h/år). För spetslast används tjockolja.

Nedan ges en kort sammanställning över befintliga och planerade värmeproduktionsanläggningar.

Avfallspanna

Värmeenergin i sopor från Trollhättan uppgår för närvarande till 20 000 MWh/år. Medelst tillskott av sopor bl a från Lilla Edet beräknas denna siffra höjas till maximalt 35 000 MWh/år.

Under 1983 installeras ny avfallspanna med maxeffekt 7,5 MW. Driften sker normalt måndag - fredag varför antalet drifttimmar torde bli ca 6 000 h/år. Medeleffekten under drift blir därmed $ca \frac{35\ 000}{6\ 000} = 5,8$ MW. Utslaget över året (8 760 h) blir medeleffekten 4,0 MW.

Vätgaspanna

I vätgaspannan bränns fr o m hösten 1983 vätgas från Kema Nords klorattillverkning i en ångpanna som ger ånga vid 10 bar. Befintlig panna ger med brännare för vätgas maximalt ca 5,2 MW. Dessutom finns möjlighet att använda tjockolja som stödbränsle eller reservbränsle. Under normala produktionsförhållanden med enbart vätgasförbränning erhålls 4,5 - 5,0 MW i form av ånga. Kema Nord förbrukar internt ca 10 000 ton ånga/år för processändamål och uppvärmning. Maximal avtappning är 3 ton/h (= 1,68 MW). Överskottet av ånga från vätgasförbränningen uppgår sålunda till 2,8 - 5,0 MW. Ångöverskottet skall ledas till fjärrvärmeverket i Stallbacka för produktion av fjärrvärme varefter kondensatet pumpas tillbaka till ångpannan. En alternativ användning skulle vara att använda ångan för drift av en absorptionsvärmepump. Detta alternativ utreds i kapitel 4.

Avtal om köp av ånga har tecknats mellan Kema Nord och TFAB. Årsmängden levererad ånga har uppskattats till minst 25 MWh och normalt ca 32 000 MWh vilket motsvarar ca 4,0 MW under 8 000 h/år (= 11 mån/år). Förutom denna mängd förbrukas storleksordningen 6 000 MWh/år ånga för intern uppvärmning hos Kema Nord.

Avgaspanna vid Union Carbide

Destruktion genomförs av vissa processavgaser. En brännare av typ Volvo Flygmotor används och eldningsolja 1 tillsätts som stödbränsle. Värmet från rökgasen kommer att utvinnas fr o m 1983 i en konventionell panna. Avtal har träffats mellan Union Carbide och Trollhättans Fjärrvärme AB (TFAB).

Pannans maximala uteffekt är 6 MW. Medeleffekten under året uppskattas till maximalt 3,5 MW (= 30 000 MWh/år). Panneffekten varierar kraftigt under dygnet beroende på driftförhållanden.

Sammanställning av värmeproduktionsanläggningar

I tabell 1 nedan har en sammanställning gjorts av de olika värmeproducerande anläggningarna vid de förhållanden som gäller år 1984 och framåt. Man bör lägga märke till att värme från avfallspannan samt spillvärme från Kema Nord och Union Carbide svarar för nära hälften av årsvärmemängden. Man har alltså en relativt god situation när det gäller att ersätta olja med andra bränslen.

| Värmeproducent | Drifttid h/år | Effekt (under drift) | | Energiproduktion | |
|--|------------------|----------------------|--------|------------------|-------------------|
| | | medel | max | MWh/år normal | MWh/år minimal |
| Avfallspanna | ca 6 000 | 5,8 MW | 7,5 MW | 35 000 | 20 000 |
| Vätgaspanna (Kema Nord) | ca 8 000 | 4,0 MW | 5,0 MW | 32 000* | 25 000* |
| Avgaspanna (Union Carbide) | ca 8 000 | 3,8 MW | 6,0 MW | 30 000 | 12 000 |
| Tjockoljeeldade fjärrvärme- pannor (TFAB) | ca 6 800 | 15 MW | 105 MW | <u>103 000</u> | |
| | | | | 200 000 | |

* Förutom denna levererade värmemängd till fjärrvärmeverket produceras ca 6 000 MWh (= 0,75 MW medeleffekt) för eget behov hos Kema Nord.

Tabell 1

Sammanställning av befintliga värmeproduktionsanläggningar (år 1984 och framåt).

5.3 Inventering av tänkbara ytterligare spillvärmekällor

Förutom de spillvärmekällor som man beslutat att använda (se kapitel 5.2) finns ytterligare ett antal spillvärmekällor som kan vara aktuella för framtida utnyttjande. Dessa spillvärmekällor har sammanställts nedan.

Elektrolyskylvatten från Kema Nord

Vid kylning av elektrolyslösningen från klorattillverkning frigörs 4,0-5,0 MW värmeenergi. Denna värme överförs via plattvärmeväxlare till en kylvattenström vars temperatur normalt höjs från 35-40°C till 65°C. Kylvattenflödet blir ca 32-48 l/s (= 115 - 170 m³/h).

Kylvattnet består av vatten från älven och är under normala förhållanden ej förorenad med processkemikalier.

Kristalliseringskylvatten från Kema Nord

Vid vacuumkristallisering av kloratlösning frigörs ca 2,5-3,0 MW värmeenergi. Denna värme överförs medelst direktkondensation till en kylvattenström vars temperatur höjs från älvvattnets nivå (0-20°C) till ca 5 grader över denna. Kylvattenflödet blir ca 120 - 140 l/s (= 430-515 m³/h).

Kylvattnet består av vatten från älven som kan vara något förorenat med klorider m m på grund av att värmeutbytet sker medelst direktkondensation. Av korrosionsskäl bedömer vi därför att en värmeväxlare (t ex plattvärmeväxlare med titanplattor) behöver installeras för att skydda förångaren i en eventuell framtida värmepump.

För att kunna nyttiggöra sig värmeenergin erfordras mekanisk värmepump (absorptionsvärmepump kan ej användas p g a att spillvärmemetemperaturen är för låg).

Ugnskylvatten från Ferrolegeringar

Vid kylning av lock till smältugn frigörs ca 2,5 MW värmeenergi. Denna värme överförs via värmeväxlare till en kylvattenström vars temperatur normalt höjs från ca 25-30°C till 45-50°C. Kylvattenflödet blir ca 30 l/s (= 107 m³/h).

Kylvattnet består av vatten från älven och är ej förorenat med processkemikalier. Avståndet till fjärrvärmecentralen i Stallbacka uppskattas till ca 200 m.

För att kunna nyttiggöra sig värmeenergin erfordras mekanisk värmepump eller absorptionsvärmepump.

En klar nackdel med spillvärmets är att risk finns att Ferrolegeringar tvingas avveckla driften p g a lågkonjunkturen för legerade stål. Man är knappast villig att investera pengar i långsiktiga projekt innan man vet om verksamheten skall fortsätta under en längre tid.

Ugnsavgaspanna vid Ferrolegeringar

Det är tekniskt möjligt att utvinna ca 13 MW värme ur avgaserna från en av ugnarna. Detta fordrar dock en omfattande ombyggnad av själva ugnen så att en avgaspanna kan anslutas. Investeringsbehovet har av Ferrolegeringar uppskattats till ca 30 miljoner kr (1982 års penningvärde). Intäkter från försäljning av värme till TFAB kan endast påräknas under ca 5 000 h/år ty under sommarmånaderna täcks behovet av sopförbränning samt av industriellt spillvärme från Union Carbide och Kema Nord. Maximal intäkt blir av storleksordningen 5 000 h/år · 13 MW · 170 kr/MWh = 12 milj kronor/år. Emellertid sänker man ofta produktionen under vintermånaderna (nov t o m febr) på grund av de väsentligt högre elpriserna. Detta reducerar naturligtvis den erhållna intäkten. Vidare får man räkna med relativt höga kostnader för övervakning och underhåll av avgaspannan. Ferrolegeringar uppskattar pay-off tiden för investeringen till storleksordningen minst 5 år vilket anses vara alltför olönsamt. Vidare hyser man en viss oro för framtiden p g a lågkonjunkturen för höglegerade stål. Man är sålunda knappast villig att investera pengar i långsiktiga projekt innan man närmare vet om tillverkningen kan fortsätta under längre tid.

6 TEKNISK OCH EKONOMISK BEDÖMNING AV ABSORPTIONSVÄRMEPUMP I TROLLHÄTTAN

6.1 Förslag till teknisk utformning

En teknisk lösning där elektrolyskylvattnet från Kema Nord utnyttjas som spillvärmekälla bedöms med säkerhet vara det alternativ som ger bästa lönsamheten och därför i första hand bör undersökas.

Beträffande kristalliseringskylvattnet från Kema Nord ger detta sämre ekonomi beroende på lägre temperaturnivå och lägre energiflöde. Det finns dock anledning att undersöka lönsamheten för detta spillvärmeflöde i en separat utredning.

Beträffande spillvärme från Ferrolegeringar bedöms osäkerheten om fortsatt drift alltför stor. Vidare är ekonomin för avgaspanna ännu för dålig även om driften skulle fortsätta. Ekonomin för värmeåtervinning från ugnskylvattnet bedöms sämre än för Kema Nords elektrolyskylvatten p g a lägre effekt och lägre temperaturnivå.

Det tekniska problem som i första hand bör penetreras är sålunda hur man på förmånligaste sätt skall nyttiggöra sig elektrolyskylvattnet från Kema Nord och tillföra detta till fjärrvärmenätet. En viss del av spillvärmets energi kan utvinnas medelst direkt värmeväxling till fjärrvärmenätet (spillvärmes Temperaturen är ca 65°C medan returtemperaturen i fjärrvärmenätet är 30 - 50°C under huvuddelen av året). Den resterande delen av spillvärmets energi måste dock tas tillvara med värmepump så att temperaturen hos spillvärmeströmmen kan sänkas till ca 35°C innan den leds tillbaka till processen.

Förslag till lämpligt processutförande ges i flödesschema, ritning nr 1. De viktigaste aspekterna är följande:

- Elektrolyskylvattnet pumpas från Kema Nord till en nyuppförd byggnad vid Stallbacka fjärrvärmeverk. I denna byggnad inryms värmeväxlare och värmepump med uppgift att överföra spillvärmets energi till fjärrvärmenätet. Därefter leds kylvattnet tillbaka till Kema Nord för förnyad användning.
- En del av värmets energi utvinns medelst värmeväxling med fjärrvärmenätets returvatten. Denna utformning minskar storleken (och investeringsbehovet) hos värmepumpen. Normal temperatur hos elektrolyskylvattnet är ca 65°C när det lämnar Kema Nord medan returvattnet i fjärrvärmenätet håller högst 50°C under huvuddelen av året.
- För värmepumpningen har valts en absorptionsvärmepump som drivs med ångan från Kema Nords vätgaspanna. Skälet till detta val är att ångan redan är inköpt och sålunda kan sägas utgöra "gratis" drivenergi för en absorptionsvärmepump. Vidare är situationen extra gynnsam eftersom ångmängden är tillräckligt stor för att all lågtemperaturvärme skall kunna nyttiggöras. Tillgängligheten hos ångleveransen är mycket hög och sammanfaller med tillgängligheten hos spillvärmes eftersom båda genereras i elektrolyprocessen. Alternativet till absorptionsvärmepump är mekanisk värmepump men denna fordrar el som drivenergi och blir därmed dyrare i drift. Kostnadsjämförelse mellan mekanisk värmepump och absorptionsvärmepump behandlas utförligare i kapitel 6.5.

- För att underlätta rengöring av värmeväxlarytorna från bakteriepåväxt m m har vi ansett att plattvärmeväxlare är en fördel framför tubvärmeväxlare. Detta har medfört att vi rekommenderat att en plattvärmeväxlare sätts in mellan elektrolyskylvattnet och värmepumpens förångarkrets.
- För att underlätta driftuppföljning av anläggningen har instrumentering för mätning och registrering av värmeflöden och temperaturer föreslagits på alla väsentliga strömmar. En del av instrumenteringen är ej nödvändig ur driftsynpunkt utan har tagits med på grund av att relativt noggrann driftuppföljning ingår som en nödvändig del i BFR's demonstrationsprojekt.
- Beträffande val av fabrikat och kapacitet för absorptionsvärmepumpen är utbudet ännu begränsat p g a att värmeproducerande värmepumpar är ett relativt nytt område. Ett av de ledande företagen är Sanyo i Japan som hittills levererat ett 50-tal större värmeproducerande absorptionsvärmepumpar med uteffekten 0,4 - 9 MW. För den fortsatta redovisningen har vi valt att räkna med absorptionsvärmepump typ FH 1000 - XS från Sanyo med kyleffekten 3,715 MW, driveffekten 5,588 MW och uteffekten 9,303 MW. Drivenergin utgörs av ånga. Beträffande data för tillgängliga Sanyo-maskiner hänvisas till tabell 2 på nästa sida. Valet av kylkapaciteten 3,715 MW betingas av att viss reservkapacitet bör finnas för utbyggnad i Kema Nord eller anslutning av ugnskylvatten från Ferrolegeringar (dessa framtida driftförhållanden diskuteras närmare i kapitel 6.2).

| BENÄMNING, AHP I TYP | AH- | AH- | BH- | BH- | CH- | CH- | CH- | DH- | DH- | EH- | EH- | FH- | FH- | FH- |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|--------|
| | 50 | 75 | 110 | 150 | 200 | 250 | 310 | 410 | 510 | 610 | 710 | 800 | 1000 | 1000XS |
| <u>Utgående varmvatten</u> | | | | | | | | | | | | | | |
| effekt, kW..... | 439 | 659 | 967 | 1318 | 1758 | 2197 | 2725 | 3604 | 4483 | 5450 | 6155 | 7032 | 8790 | 9303 |
| Flöde m ³ /h Δt 40°.. | 9,4 | 14,2 | 20,8 | 27,2 | 37,8 | 47,2 | 58,6 | 77,5 | 96,4 | 117,2 | 132,3 | 151,2 | 189 | 200 |
| <u>Ingående spillvatten</u> | | | | | | | | | | | | | | |
| effekt, kW..... | 175 | 263 | 306 | 527 | 703 | 879 | 1090 | 1441 | 1793 | 2197 | 2460 | 2813 | 3516 | 3715 |
| Flöde m ³ /h Δt 15°.. | 10 | 15 | 22 | 29 | 40 | 50 | 62 | 82 | 103 | 125 | 141 | 161 | 201 | 213 |
| <u>Ingående driveffekt</u> | | | | | | | | | | | | | | |
| Ånga kW..... | 264 | 396 | 581 | 791 | 1055 | 1218 | 1635 | 2163 | 2690 | 3270 | 3695 | 4219 | 5274 | 5588 |
| Flöde kg/h..... | 425 | 638 | 935 | 1275 | 1700 | 2125 | 2635 | 3485 | 4335 | 5269 | 5954 | 6798 | 8498 | 9100 |
| Elförbrukning, kW... | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 5,6 | 5,6 | 5,6 | 7,8 | 7,8 | 10 | 10 | 11,5 | 11,5 | 11,5 |
| <u>Alternativ drivkälla</u> | | | | | | | | | | | | | | |
| olja 12,09 kw/kg. ^(kg/h) | 27 | 40 | 59 | 80 | 107 | 133 | 165 | 218 | 271 | 329 | 378 | 424 | 530 | |
| <u>Alternativ drivkälla</u> | | | | | | | | | | | | | | |
| gas 12,79 kW/Nm ³ /h. | 27 | 40 | 59 | 80 | 107 | 133 | 165 | 218 | 271 | 329 | 378 | 424 | 530 | |
| <u>Längd i mm</u> | | | | | | | | | | | | | | |
| Ångtyp | 3140 | 3140 | 4390 | 4410 | 5630 | 5730 | 7000 | 5700 | 5900 | 7100 | 7300 | 7300 | 8900 | 8900 |
| gas/olja | 3085 | 3085 | 4335 | 4335 | 5520 | 6900 | 6900 | 5900 | 7100 | 7200 | 7300 | 7400 | 9000 | |
| <u>Bredd i mm</u> | | | | | | | | | | | | | | |
| Ångtyp | 1710 | 1710 | 1710 | 1810 | 1810 | 1900 | 2010 | 2500 | 2500 | 2800 | 3200 | 3200 | 3300 | |
| gas/olja | 2275 | 2275 | 2275 | 2635 | 2635 | 3150 | 3150 | 3400 | 3500 | 4100 | 5000 | 5600 | 5700 | |
| <u>Höjd i mm</u> | | | | | | | | | | | | | | |
| Ångtyp | 2650 | 2650 | 2650 | 2800 | 2800 | 3050 | 3050 | 3700 | 3700 | 4000 | 4500 | 4700 | 4700 | |
| gas/olja | 2650 | 2650 | 2650 | 2800 | 2800 | 3050 | 3050 | 3700 | 3700 | 4000 | 4500 | 4700 | 4700 | |

Tabell 2

Data för Sanyo absorptionsvärmepumpar för värmeproduktion.

6.2 Bedömning av energibesparing och driftförhållanden

Den uppnådda energibesparingen med den föreslagna anläggningen beror på följande faktorer:

- tillgången på lågtemperaturvärme (kylvatten från elektrolysprocessen)
- tillgångar på drivenergi (ånga från vätgaspanna)
- temperaturförhållanden och effektbehov i fjärrvärmenätet

Under olika delar av året är vardera av ovanstående faktorer begränsande för energibesparingen. Något förenklat kan förhållandena beskrivas enligt följande:

- Under ca 2 000 h/år tillgodoses fjärrvärmenätets värmebehov helt med värme från avfallsförbränning, vätgasförbränning och med spillvärme från Union Carbide. Under denna tid finns ej möjlighet att tillgodogöra sig spillvärmets från elektrolysen.
- Under ca 500 h/år är returtemperaturen i fjärrvärmenätet högre än 50°C. Under denna tid är tillgången på drivenergi (ånga) begränsande ty nästan all spillvärme måste temperaturhöjas i värmepumpen för att kunna ledas in i fjärrvärmenätet. Tillgången på drivenergi från vätgaspannan varierar mellan 2,8 MW och 5 MW. Ett rimligt tidsmedelvärde bedöms vara ca 4,0 MW ånga vilket skulle ge möjlighet att utvinna 2,65 MW lågtemperaturvärme.
- Under resterande delen av året (ca 6 300 h/år) är tillgången på lågtemperaturvärme begränsande. Detta betyder att allt spillvärme från elektrolysen d v s 4,0-5,0 MW kan utvinnas. Som tidsmedelvärde har ansatts 4,5 MW. Förhållandet att tillgångar på spillvärme är begränsande för kapaciteten innebär att absorptionsvärmepumpen har överkapacitet som kan utnyttjas för utvinning av ytterligare spillvärme. Denna överkapacitet är speciellt stor under den del av drifttiden ca 5 000 h/år som fjärrvärmenätets returtemperatur är högst 40°C. Intrimning av fjärrvärmenätet kommer att utföras för att sänka returtemperaturen. Målsättningen är att uppnå returtemperaturer enligt varaktighetsdiagrammet, kap 5.1. Under dessa ca 5 000 h/år kan ytterligare lågtemperaturkällor utnyttjas. Om tillverkningen av klorat ökas i framtiden med ytterligare 50%—vilket enligt Kema Nords bedömning ter sig relativt sannolikt—kan denna överkapacitet komma väl till pass. Om tillverkningen av klorat ej ökar finns möjlighet att istället utvinna värme ur ugnskylvattnet från Ferrolegeringar.

Utvunnet elektrolysvärme efter nuvarande utbyggnadsetapp på Kema Nord kan sammanfattas enligt tabell 2 nedan:

| Tidsperiod | Driftfall för värmepump | Utvunnet elektrolysvärme | |
|------------|--|--------------------------|--------------------|
| | | Effekt MW | Energimängd MWh/år |
| 2 000 | Sommarstopp | 0 | 0 |
| 6 300 | Normaldrift (returtemperatur 30-50°C) | 4,5 | 28 350 |
| 500 | Toppbelastning (returtemperatur 50-70°C) | 2,65 | <u>1 325</u> |
| | | | 29 675 |

Tabell 2 Utvunnet elektrolysvärme efter nuvarande utbyggnadsetapp.

Efter en eventuell framtida utbyggnadsetapp med 50% kapacitetsökning av klorattillverkningen eller anslutning av ugnskylvatten från Ferrolegeringar kan utvunnet lågtemperaturvärme sammanfattas enligt tabell 3 nedan:

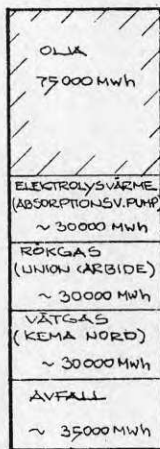
| Tidsperiod h/år | Driftfall för värmepump | Utvunnet elektrolysvärme | |
|-----------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|
| | | Effekt MW | Energimängd MWh/år |
| 2 000 | Sommarstopp | 0 | 0 |
| 5 000 | Returtemperatur 30-40°C | 6,75 | 33 750 |
| 1 300 | Returtemperatur 40-50°C | 6,0 | 7 800 |
| 500 | Returtemperatur 50-70°C | 3,7 | <u>1 850</u> |
| | | | 43 400 |

Tabell 3 Utvunnet elektrolysvärme efter eventuell framtida utbyggnad.

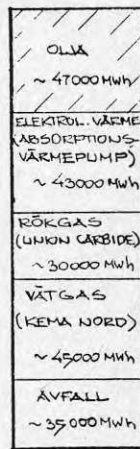
Utvinnningen av elektrolysvärme från Kema Nord medför en avsevärd minskning av oljeberoendet i fjärrvärmenätet. Av stapeldiagrammet på nästa sida framgår tydligt hur ett konsekvent användande av olika spillvärmekällor kan ersätta upp till ca 75% av oljebehovet. Trollhättans kommun tillhör utan tvekan de mest framstående kommunerna i landet när det gäller att avveckla oljeberoendet.



ÅR 1981



ÅR 1984-
(EFTER NUVARANDE
UTBYGGNAD AV
KEMA NORD)



EFTER EV.
YTTERLIGARE
UTBYGGNAD AV
KEMA NORD



FIGUR 1
FÖRDELNING AV OLIKA BRÄNSLE-
SLAG I TROLLHÄTTAN

6.3 Bedömning av investeringsbehov

På basis av flödesschema (Ritning nr 1) och preliminär lay-out samt vissa kostnadsdata från leverantörer har investeringsbehovet för driftfärdig anläggning beräknats till ca 11,5 milj kr enl tabell 4 nedan.

| | kkr |
|--|--------------|
| <u>Byggnad</u> | |
| Överbyggnad | 500 |
| Grundläggning, pålning | 150 |
| Projektering, upphandling kontroll | <u>150</u> |
| | 800 |
| <u>Maskinell utrustning</u> | |
| Absorptionsvärmepump (3,7 MW kyleffekt) | 4 300 |
| Värmeväxlare, pumpar | 500 |
| Instrument, automatik | 350 |
| Rörinstallationer inkl montage | 500 |
| Process- och elmontage, idrifttagning, oppläring av driftpersonal | 500 |
| Projektering | 600 |
| Oförutsett m m 5% | <u>300</u> |
| | 7 050 |
| <u>Yttre ledningar etc</u> | |
| Pumpstation vid Kema Nord | 200 |
| Spillvärmekulvert i mark 2x100 m, Ø 200 | 300 |
| Ång-, kondensat- och returvattenledningar mellan absorptionsvärmepump och värmecentral | 100 |
| Projektering av yttre ledningar | <u>100</u> |
| | 700 |
| <u>Övrigt</u> | |
| Beställarens kontrollorganisation | 100 |
| Räntekostnader under byggtid (8,5 Mkr . 1 år . 15%) | 1 300 |
| Entreprenadarvode (ca 15%) | <u>1 500</u> |
| | 2 900 |
| <u>Totalt investeringsbehov</u> | 11,450 Mkr |

Tabell 4 Bedömning av investeringsbehov.
(Kostnadsläge december 1982.)

6.4 Bedömning av kapitalkostnader, driftkostnader och lönsamhet

För beräkning av kapitalkostnader, driftkostnader och lönsamhet har följande bedömningar gjorts:

- Räntefoten har satts till 11%. Avskrivningstiden har satts till 15 år för maskinell utrustning, byggnader och yttre ledningar. Detta medför en annuitet av 14 % per år.
- Underhållskostnaden har satts till 1% för byggnader och yttre ledningar samt till 3% för maskinell utrustning.
- Kostnaden för övervakning och styrning har ansetts försumbar eftersom driften sköts från samma kontrollrum som Stallbackaverket.
- Intäkten av energibesparingen har beräknats ur inbesparingen av olja i Stallbackaverket. Kostnaden för olja har satts till 0,20 kr/kWh producerad värmeenergi (= 200 kr/MWh).

Bedömningen av kapitalkostnader, driftkostnader och lönsamhet har sammanställts i tabell 5 nedan.

Som synes ger anläggningen en årlig vinst av ca 4,0 milj kr/år vilket efter en eventuell utbyggnad av Kema Nord ökar till ca 6,7 milj kr/år. Dessa vinster gäller vid ett pris av 20 öre/kWh för återvunnet värme och en annuitet av 14% per år. Pay-off tiden blir ca 2 år för hela anläggningen. Det kan även vara av värde att beräkna en "pay-off-tid" för enbart själva absorptionsvärmepumpdelen. Vi har härvid bedömt att ca 8,5 milj kr av investeringen är att hänföra till absorptionsvärmepumpen samt att den svarar för storleksordningen 40% av den erhållna årliga spillvärmeutvinningen. Enligt dessa bedömningar är pay-off-tiden 3-4 år för absorptionsvärmepumpen.

Efter nuvarande utbyggnadsetapp på Kema Nord Efter ev framtida utbyggnadsetapp på Kema Nord

Utgifter

| | kk/år | kk/år |
|---|------------|------------|
| Kapitalkostnad (14% annuitet) | 1 600 | 1 610 |
| Underhållskostnad för maskinell utrustning (3% per år) | 200 | 200 |
| Underhållskostnad för övriga anläggningsdelar (1% per år) | 30 | 30 |
| Försäkringar (1%) | <u>100</u> | <u>100</u> |
| | 1 930 | 1 940 |

Inkomster

| | | |
|---|--------------|--------------|
| Oljebesparing (200 kr/MWh, 29700 MWh resp 43400 MWh oljebesparing/år) | <u>5 940</u> | <u>8 680</u> |
|---|--------------|--------------|

Årlig vinst

4 010 6 740

| | | |
|---|--------------|--------------|
| Produktionskostnad för återvunnen energi | 0,065 kr/kWh | 0,045 kr/kWh |
| Pay-off tid för hela anläggningen (investering/vinst före ränta och amortering) | 2,0 år | 1,4 år |
| Pay-off tid för enbart absorptionsvärmepumpen | ca 4 år | ca 3 år |

Tabell 5 Lönsamhetsbedömning.

6.5 Jämförelse med andra alternativ

Följande alternativ är intressanta som ekonomisk jämförelse till det föreslagna absorptionsvärmepumpsalternativet (Alt 1):

- Alternativ 2: Värmeproduktion med olja eller annat bränsle istället för spillvärmeutvinning.
- Alternativ 3: Enbart konventionell värmeväxling mellan fjärrvärmenät och elektrolyskylvatten (d v s absorptionsvärmepump utgår).
- Alternativ 4: Konventionell värmeväxling och värmepumpning enligt förslaget men med mekanisk värmepump istället för absorptionsvärmepump.

De ovanstående alternativen diskuteras kortfattat nedan:

- Vid en jämförelse med olja eller andra bränslen framstår utvinning av elektrolysspillvärme som klart billigare. I jämförelse med olja vinner man 4,7 - 6,4 milj kr/år enligt kapitel 6.4. På grund av liten anläggningsstorlek och kort utnyttjandetid (max ca 6 000 h/år) är alternativ med flis, torv eller kol sannolikt ännu dyrare än olja - i synnerhet om Kema Nord utbyggs ytterligare så att vätgasen kan utgöra ännu större andel av bränslebehovet.
- Vid en jämförelse med enbart konventionell värmeväxling (alternativ 3) kan konstateras att man går miste om ca 40% av elektrolysspillvärmets värme. Med 1982 års oljepriser motsvarar detta ca 2,4 milj kr/år och stiger till ca 3,5 milj kr/år om Kema Nord utbyggs ytterligare. Troligen kommer dessutom oljepriserna att ytterligare stiga under anläggningens livstid. Kapitalkostnader och underhåll för absorptionsvärmepumpen beräknas till ca 1,8 milj kr/år. Nettovinsten för absorptionsvärmepumpen är sålunda mellan 0,6 och 1,7 milj kr/år och kommer att stiga i takt med oljepriserna.

Vid en jämförelse med mekanisk värmepump (alternativ 4) kan i det närmaste samma spillvärmeutvinning uppnås. Emellertid kan normalt endast framledningstemperaturer av ca 70-75 °C uppnås jämfört med ca 80 °C i absorptionsvärmepumpen. Detta innebär sannolikt att den mekaniska pumpen måste avstängas eller gå med starkt reducerad kapacitet under uppskattningsvis 500 h/år när returtemperaturen i fjärrvärmenätet är ca 70 °C. Avställningen innebär en spillvärmeförlust av storleksordningen 150 - 200 kkr/år. Under normala förhållanden bör vidare absorptionsvärmepumpen ha större drifttillgänglighet och lägre underhållskostnader än en mekanisk värmepump (absorptionsvärmepump innehåller färre rörliga delar). En ytterligare fördel med absorptionsvärmepumpen är att elförbrukningen är ringa (ca 11,5 kW jämfört med ca 1 000 kW för en mekanisk värmepump av samma kapacitet). Den mekaniska värmepumpen skall belastas med kostnaden för el men tillgodoräknas en minskning av oljeförbrukningen eftersom drivenergin kommer värmenätet till del. Elförbrukningen för en mekanisk värmepump beräknas bli ca 5 000 - 6 000 MWh/år vilket med ett elpris av 0,22 kr/kWh motsvarar 1,1-1,3 milj kr/år. Denna el reducerar oljeproducerat värme med 5 000-6 000 MWh/år vilket med ett värmepris av 0,20 kr/kWh motsvarar 1,0-1,2 milj kr/år. Eldriften skulle i detta exempel belasta den mekaniska värmepumpen med en merkostnad av drygt 100 kkr/år. Slutsatsen av jämförelsen mellan mekanisk värmepump och absorptionsvärmepump är att absorptionspumpen ger ca 200 - 400 kkr/år lägre driftkostnader. Investeringsbehovet bedöms vara lika. Beträffande framtida prisändringar gäller att en relativ höjning av elpriset gynnar absorptionsvärmepumpen.

7 FÖRSLAG TILL FORTSATT HANTERING AV PROJEKTET I TROLLHÄTTAN

På basis av redovisade tekniska och ekonomiska förutsättningar bedömer vi att Trollhättan är en ort där installation av en absorptionsvärmepump är det bästa alternativet. Beräkningarna visar att återvinning av elektrolysvärme från Kema Nord kan ge en oljebesparing av ca 6 Mkr/år och en vinst av ca 4,0 Mkr/år jämfört med oljeproducerad värme. Anläggningen kan dessutom lätt förberedas för en eventuell framtida ökning av Kema Nord's kapacitet.

Eftersom absorptionsvärmepumpar tillhör de processer som skall introduceras i svensk energiteknik finns goda möjligheter att bygga demonstrationsanläggningar med medel från BFR. Detta innebär också att eventuella risker ej belastar kommunen.

7.1 Villkor för BFR-stöd till demonstrationsanläggningar

Ändamålet med BFR-stöd är att stimulera utveckling och utprovning av nya energitekniker inom bostadsuppvärmningssektorn. Kravet för att få stöd är i princip följande:

- Projektet skall bedömas tekniskt utförbart.
- Projektet skall bedömas ekonomiskt attraktivt jämfört med konkurrerande tekniker.
- Projektet skall bedömas ha demonstrationsvärde (äga viss allmängiltighet; ge avsevärd energibesparing; demonstrera nya applikationer etc).

För de projekt som erhåller BFR-medel gäller normalt följande villkor:

- BFR finansierar med lånemedel den andel av investeringen som är hänföra till ny energiteknik. I det aktuella projektet i Trollhättan kan BFR väntas bidra med storleksordningen 8-10 milj kr medan TFAB får bidra med 2-4 milj kr för den konventionella delen (yttre ledningar m m).
- För BFR-medlen gäller ränte- och amorteringsfrihet i 3-5 år.
- Bidrag (ej återbetalningspliktigt) fås från BFR för mätning och utvärdering under 1-2 säsonger.
- Efter 2-3 års drift görs ekonomisk utvärdering av projektet. Vid "lyckade" projekt sker därefter amortering av lånen efter de lånebestämmelser som tillämpas för bostadslån (max 15 års avskrivningstid, paritetslån). Vid "misslyckade" projekt tar BFR den ekonomiska förlusten.

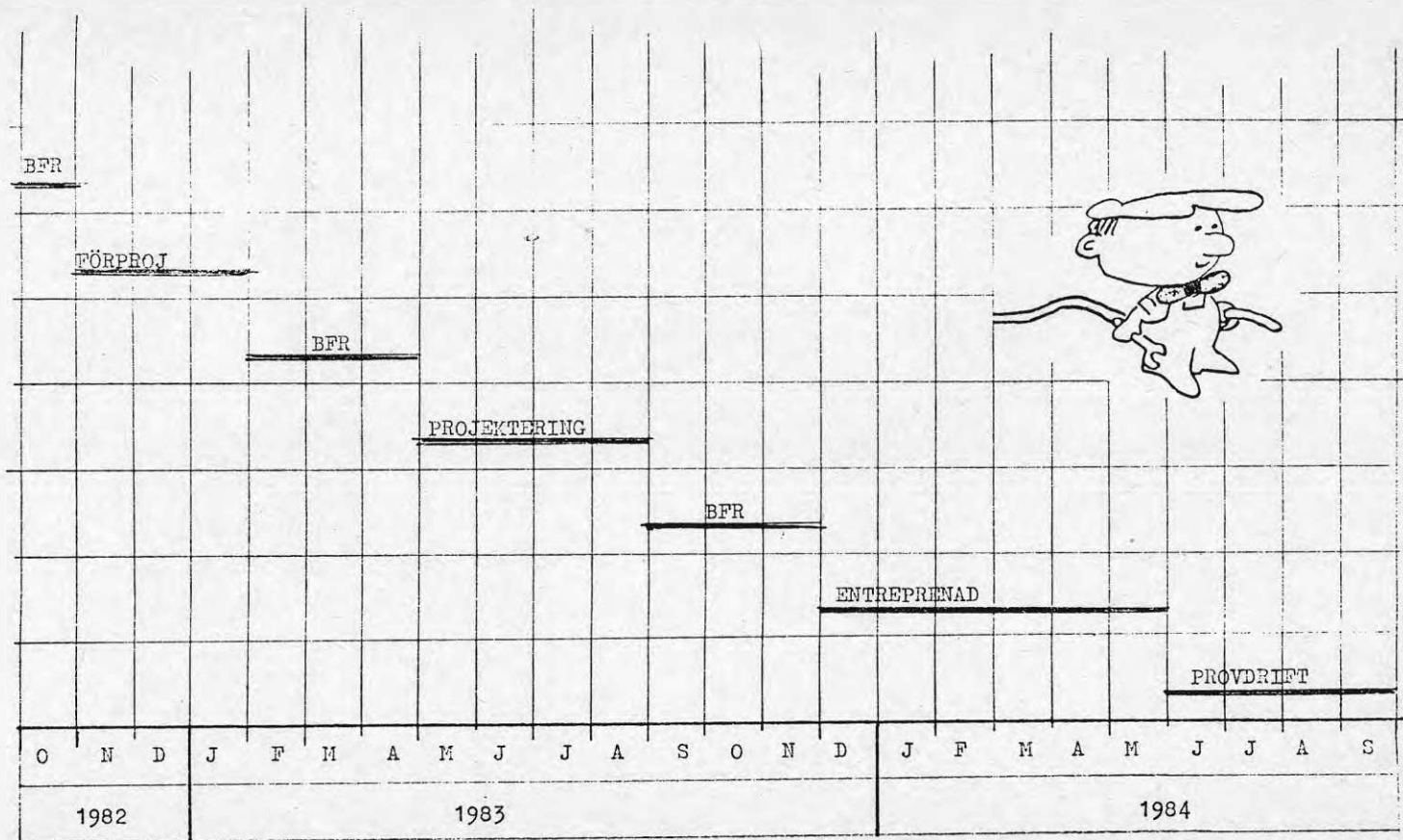
7.2 Förslag till handläggning

För den fortsatta handläggningen fram till upphandling förutser vi följande viktiga skeden:

- Granskning och presentation av denna rapport hos TFAB och Kema Nord.
- Principbeslut hos TFAB och Kema Nord om ansökan till BFR samt principöverenskommelse om taxesättning för spillvärme.
- Anbudsinfordran, offertgranskning och avtalsförhandlingar med leverantör.
- Beslut av BFR om tilldelning av demonstrationsmedel.
- Beslut om upphandling.

7.3 Tidplan

Tidplan framgår av figur på nästa sida. Absorptionsvärmepumpsanläggningen beräknas kunna tas i drift hösten 1984.



AVP - TROLLHÄTTAN
 Preliminär tidplan
 TFAB/SSj 82-10-14

8 BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SPILLVÄRMEÅTERVNING I ÅDALEN

Ådalen har på grund av sin tillgång på torv och flis goda förutsättningar att använda dessa inhemska energislag. För att samordna exploatering och projektering har kommunerna Härnösand, Kramfors och Sollefteå etablerat ett samarbetsprojekt kallat "Värmeverk Ådalen".

8.1 Värmebehov i fjärrvärmenät

De sammanlagrade effektbehoven kommer att öka under de närmaste åren på grund av utbyggnad av fjärrvärmenäten. Följande utveckling förutses:

| Kommun | Nuvarande effektbehov MW | Prognosticerat effektbehov MW |
|-----------|-----------------------------|----------------------------------|
| Härnösand | 41 | 53 |
| Kramfors | 27 | 27 |
| Sollefteå | - | 35 |

Härnösand är den kommun som hunnit längst i utbyggnaden av fjärrvärmenätet. Denna kommun kommer att få det största värmebehovet och kommer vidare att vara den första kommun som skall ta sin fastbränslepanna i drift (preliminärt upphandlas anläggningen i mitten av 1984 och tas i drift hösten 1985). Det är sålunda naturligt att den planerade torv/fliseldade pannan i Härnösand väljs som räkneexempel för att studera spillvärmeåtervinning med absorptionsvärmepump.

8.2 Befintliga och planerade värmeproduktionsanläggningar

I Härnösand planeras en baslastpanna för torv/flis som eventuellt skall kunna drivas med kol som reservbränsle. Effekten hos baslastpannan planeras bli ca 15 MW vilket innebär att den kommer att svara för ca 50 % av det årliga energibehovet.

För spetslastbehovet används konventionella oljepannor.

8.3 Inventering av tänkbara spillvärmekällor

Spillvärme från våt rökgas

Tänkbar spillvärmekälla för drift av värmepumpen är främst de våta avgaserna från fastbränslepannan. Detta spillvärme har relativt hög temperatur samt finns tillgänglig i omedelbar närhet till fjärrvärmenätet och under en stor del av året. Spillvärmets kan utvinnas medelst direktkontakt med vatten i särskilda kontaktorn. Denna typ av utrustning används nu bl a inom cellulosaindustrin för att utvinna spillvärme från sodapannornas fuktiga rökgaser.

Anledningen till att endast rökgasen från den torveldade pannan kyls ner är följande:

- Rökgasen från torv har betydligt högre spillvärmeinnehåll än rökgaser från oljeeldade pannor.
- Rök-gaser från oljeeldade pannor skapar större korrosionsproblem i värmväxlare och skorsten på grund av sitt svavelsyreinnehåll (SO_3 kan kondensera ut).
- Torveldade pannan används som baslastpanna och har därför betydligt längre årlig drifttid.

9 TEKNISK OCH EKONOMISK BEDÖMNING AV ABSORPTIONSVÄRMEPUMP I ÅDALEN

9.1 Förslag till teknisk utformning

Förslag till lämplig processutformning ges i flödesschema (ritning nr 2). De viktigaste aspekterna är följande:

- Huvuddelen av den stoftrenade rökgasströmmen från den torveldade pannan kyls till ca 40°C med vatten i en separat rökgaskylare. Härvid övergår huvuddelen av rökgasens latent och sensibla spillvärmeinhåll till vattenströmmen som kommer att upphettas några grader.
- Den uppvärmda vattenströmmen från rökgaskylaren pumpas genom en värmeväxlare där den avlämnar sitt spillvärme till förångarkretsen i en absorptionsvärmepump. Vattenströmmen används därefter på nytt i rökgaskylaren. Det utkondenserade vattnet från rökgasen avtappas kontinuerligt.
- Absorptionsvärmepumpen höjer temperaturen hos spillvärmets till ca 60 - 70°C varvid det kan nyttiggöras för förvärmning av returvattnet från fjärrvärmenätet. För drivning av värmepumpen används värme från pannans primärkrets.
- För att underlätta rengöring av värmeväxlarytorna i kylvattenkretsen har plattvärmeväxlare valts. Dessa kan rengöras både kemiskt och mekaniskt. Plattorna utförs i korrosionsbeständigt material (preliminärt är SIS 2343 tillräckligt beständigt).
- För att underlätta driftuppföljning av anläggningen har instrumentering för mätning och registrering av värmeflöden och temperaturer föreslagits på alla väsentliga strömmar. En del av instrumenteringen är ej nödvändig ur driftsynpunkt utan har tagits med på grund av att relativt noggrann driftuppföljning ingår som en nödvändig del i BFR's demonstrationsprojekt.
- Beträffande val av fabrikat och kapacitet för absorptionsvärmepumpen är utbudet ännu begränsat på grund av att värmeproducerande värmepumpar är ett relativt nytt område. Ett av de ledande företagen är Sanyo i Japan som hittills levererat ett 50-tal större värmeproducerande absorptionsvärmepumpar med uteffekten 0,4 - 9 MW. För den fortsatta redovisningen har vi valt att räkna med absorptionsvärmepump typ FH 800 från Sanyo med kyleffekten 2,8 MW, driveffekten 4,2 MW och uteffekten 7,0 MW. Drivenergin utgörs av hetvatten från primärkretsen. Beträffande data för tillgängliga Sanyo-maskiner hänvisas till tabell 6 på nästa sida.

| BEHÅRNING, ANP I TYP | AH- 50 | AH- 75 | BH- 110 | BH- 150 | CH- 200 | CH- 250 | CH- 310 | DH- 410 | DH- 510 | EH- 610 | EH- 710 | FH- 900 | FH- 1000 | FH- 1000XS |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Utgående varmvatten effekt, kW..... | 439 | 659 | 967 | 1318 | 1758 | 2197 | 2725 | 3604 | 4483 | 5450 | 6155 | 7032 | 8790 | 9303 |
| Flöde m ³ /h Δt 40°.. | 9,4 | 14,2 | 20,8 | 27,2 | 37,8 | 47,2 | 58,6 | 77,5 | 96,4 | 117,2 | 132,3 | 151,2 | 189 | 200 |
| Ingående spillvatten effekt, kW..... | 175 | 263 | 306 | 527 | 703 | 879 | 1090 | 1441 | 1793 | 2197 | 2460 | 2813 | 3516 | 3715 |
| Flöde m ³ /h Δt 15°.. | 10 | 15 | 22 | 29 | 40 | 50 | 62 | 82 | 103 | 125 | 141 | 161 | 201 | 213 |
| Ingående driveffekt Ånga kW..... | 264 | 396 | 581 | 791 | 1055 | 1218 | 1635 | 2163 | 2690 | 3270 | 3695 | 4219 | 5274 | 5508 |
| Flöde kg/h..... | 425 | 638 | 935 | 1275 | 1700 | 2125 | 2635 | 3405 | 4335 | 5269 | 5954 | 6798 | 8498 | 9100 |
| Elförbrukning, kW... | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 5,6 | 5,6 | 5,6 | 7,8 | 7,8 | 10 | 10 | 11,5 | 11,5 | 11,5 |
| Alternativ drivkälla olja 12,09 kW/(kg/h) | 27 | 40 | 59 | 80 | 107 | 133 | 165 | 218 | 271 | 329 | 378 | 424 | 530 | |
| Alternativ drivkälla gas 12,79 kW/(Nm ³ /h) | 27 | 40 | 59 | 80 | 107 | 133 | 165 | 218 | 271 | 329 | 378 | 424 | 530 | |
| Längd i mm Ångtyp gas/olja | 3140 3085 | 3140 3085 | 4390 4335 | 4410 4335 | 5630 5520 | 5730 6900 | 7000 6900 | 5700 5900 | 5900 7100 | 7100 7200 | 7300 7300 | 7300 7400 | 8900 9000 | 8900 |
| Bredd i mm Ångtyp gas/olja | 1710 2275 | 1710 2275 | 1710 2275 | 1810 2635 | 1810 2635 | 1900 3150 | 2010 3150 | 2500 3400 | 2500 3500 | 2800 4100 | 3200 5000 | 3200 5600 | 3300 5700 | |
| Höjd i mm Ångtyp gas/olja | 2650 2650 | 2650 2650 | 2650 2650 | 2800 2800 | 2800 2800 | 3050 3050 | 3050 3050 | 3700 3700 | 3700 3700 | 4000 4000 | 4500 4500 | 4700 4700 | 4700 4700 | |

Tabell 6 Data för Sanyo absorptionsvärmepumpar för värmeproduktion

9.2 Bedömning av energibesparing och driftförhållanden

Spillvärmeeffekten som kan utvinnas från rökgasen beror av följande faktorer:

- Bränslets fukthalt (hög fukthalt ger mycket spillvärme)
- Røkgastemperatur efter panna och efter røkgaskylare
- Andel av røkgasen som leds genom røkgaskylaren

För det fortsatta beräkningsexemplet har ovanstående parametrar valts enligt följande:

- Bränslets fukthalt har satts till 40 % (maskintorv) + naturlig torkning
- Pannans effekt har satts till 15 MW.
- Røkgastemperaturen efter pannan har satts till 180°C.
- Røkgastemperaturen efter røkgaskylaren har satts till 40°C (denna kylning är möjlig med absorptionsvärmepump).
- Andelen røkgas som leds genom røkgaskylaren har satts till 85 %. Detta innebär att utgående blandgas från skorstenen har en temperatur av ca 60°C.

Med de ansatta parametervärdena kan ca 2,8 MW spillvärmeeffekt utvinnas vid full drift hos pannan. Detta höjer pannans verkningsgrad från ca 90 % till ca 110 % (räknat på effektivt värmevärde).

Den erhållna energibesparingen framräknas med ledning av ett konsekutivt belastningsdiagram för fjärrvärmenätet. För Härnösand har ett dylikt ej varit tillgängligt varför beräkningen måste bli något approximativ. Vidare gäller att återvunnet spillvärme vid fulldrift av torvpannan ersätter olja i spetslastpannan och bör tillgodoräknas oljepris (ca 20 öre/kWh). Under tider med dellast av torvpannan sparar man istället torv varför återvunnet värme bör tillgodoräknas torvpris (ca 12 öre/kWh). Sammanställning av energi- och kostnadsbesparing ges i tabell 7 nedan.

| Drifttid h/år | Återvunnen effekt | Ersättning för återvun- nen energi | Återvunnen energimängd | |
|------------------|----------------------|--|------------------------|------------|
| | MW | kr/MWh | MWh/år | kkr/år |
| 5 500 | 2,8 | 200 (olja) | 15 400 | 3 080 |
| 1 800 | 1,4 | 120 (torv) | 2 520 | 300 |
| 1 500 | 0,9 | 120 (torv) | <u>1 350</u> | <u>160</u> |
| | | | 19 270 | 3 540 |

Tabell 7 Sammanställning av energi- och kostnadsbesparing (Kostnadsläge dec 82, dvs efter devalvering av kronan)

9.3 Bedömning av investeringsbehov

På basis av flödesschema (ritning nr 2) och preliminär lay-out samt vissa kostnadsdata från leverantörer har investeringsbehovet för en driftfärdig anläggning beräknats till ca 9,4 milj kronor enligt tabell 8 nedan.

| | |
|--|---------------|
| <u>Byggnad</u> | kkr |
| Överbyggnad | 500 |
| Grundläggning, pålning | 150 |
| Projektering, upphandling, kontroll | <u>150</u> |
| | 800 |
| <u>Maskinell utrustning</u> | |
| Absorptionsvärmepump (2,8 MW kyleffekt) | 3 000 |
| Värmeväxlare, pumpar | 400 |
| Instrument, automatik | 350 |
| Rörinstallationer inkl montage | 400 |
| Process- och elmontage, idrifttagning, upplärning av driftpersonal | 500 |
| Projektering | 600 |
| Oförutsett m m 5 % | 300 |
| Rökgaskylare inkl fyllning | <u>500</u> |
| | 6 050 |
| <u>Yttre ledningar</u> | |
| Ledningar för rökgas, primärkretsavatten och fjärrvärmevatten mellan värmecentral och spillvärmeåtervinningsanläggning | 150 |
| Projektering av yttre ledningar | <u>50</u> |
| | 200 |
| <u>Övrigt</u> | |
| Beställarens kontrollorganisation | 100 |
| Räntekostnader under byggtid (7 Mkr x 1 år x 15 %) | 1 050 |
| Entreprenadarvode (ca 15 %) | <u>1 200</u> |
| | 2 350 |
| TOTALT INVESTERINGSBEHOV | 9 400 Mkr |

Tabell 8 Bedömning av investeringsbehov (kostnadsläge december 1982)

9.4 Bedömning av kapitalkostnader, driftkostnader och lönsamhet

För beräkning av kapitalkostnader, driftkostnader och lönsamhet har följande bedömningar gjorts:

- Räntefoten har satts till 11 %. Avskrivningstiden har satts till 15 år för hela anläggningen. Detta medför en annuitet av 14 % per år.
- Underhållskostnaden har satts till 1 % för byggnader och yttre ledningar samt till 3 % för maskinell utrustning.
- Kostnaden för övervakning och styrning har ansetts försumbar eftersom driften sköts från samma kontrollrum som övriga delar av värmeverket.
- Intäkten av energibesparingen har beräknats ur inbesparingen av torv och olja vid värmeverket. Kostnaden för olja har satts till 200 kr/MWh och för torv till 120 kr/MWh. De givna kostnaderna inkluderar ej kapitalkostnader men däremot pannförluster.

Som framgår av tabell 9 nedan ger spillvärmeåtervinningen en vinst av ca 1,9 milj kr/år. Pay-off-tiden är under 3 år.

Ett alternativt sätt att redovisa ekonomin för spillvärmeåtervinning är att jämföra en konventionell torvförbränningsanläggning med en torvförbränningsanläggning med spillvärmeåtervinning. Anläggningen med spillvärmeåtervinning kommer att producera värme till ca 2 öre/kWh lägre pris än en konventionell förbränningsanläggning för torv.

| | |
|--|--------------|
| <u>Utgifter</u> | kr/år |
| Kapitalkostnad (14 % annuitet) | 1 360 |
| Underhållskostnad för maskinell utrustning (3 % per år) | 180 |
| Underhållskostnad för övriga anläggningsdelar (1 % per år) | 10 |
| Försäkringar (1 % per år) | <u>100</u> |
| | 1 650 |
| <u>Inkomster</u> | |
| Oljebesparing 15 400 MWh/år à 200 kr/MWh | 3 080 |
| Torvbesparing 3 900 MWh/år à 120 kr/MWh | <u>460</u> |
| | 3 540 |
| <u>Årlig vinst</u> | 1 890 kkr/år |
| Produktionskostnad för återvunnen energi | 85 kr/MWh |
| Besparing per MWh levererad pannenergi | 20 kr/MWh |
| Pay-off-tid för spillvärmeåtervinning (investering/vinst före ränta och amortering) | 2,9 år |

Tabell 9 Lönsamhetsbedömning

9.5 Jämförelse med andra alternativ

Följande alternativ är intressanta som ekonomisk jämförelse till det föreslagna absorptionsvärmepumpsalternativet (Alt 1):

- Alternativ 2: Värmeproduktion med olja i stället för spillvärmeutvinning
- Alternativ 3: Spillvärmeutvinning med mekanisk värmepump i stället för absorptionsvärmepump

De ovanstående alternativen diskuteras kortfattat nedan:

- Vid jämförelse med olja framstår spillvärmeutvinning som klart billigare. Vinsten uppgår till ca 1,9 milj kr/år enligt kapitel 9.4. Vidare erhåller man mindre svavelutsläpp om man låter spillvärmets ersätta olja. Minskningen är ca 40 ton SO_2 /år vid 1 % svavel i olja.
- Vid jämförelse med mekanisk värmepump gäller att investeringskostnaden kan bedömas lika höga som för absorptionsvärmepumpen. Emellertid ger mekaniska värmepumpar en högre kostnad för drift och underhåll.

Normalt bör även driftsäkerheten vara sämre än för en absorptionsvärmepump på grund av mekaniskt slitage.

Beträffande driftkostnad för mekanisk värmepump får man räkna med ett eleffektbehov av storleksordningen 1 000 kW vilket vid ca 7 000 fulldrifttimmar och ett elpris av 22 öre/kWh motsvarar 1,5 milj kr/år. Den tillförda elenergin (ca 7 000 MWh) ersätter dock motsvarande mängd olje- och torvproducerad värme, vilket innebär en bränslebesparing av storleksordningen 1,2 milj kr/år. Eldriften skulle i detta exempel belasta den mekaniska värmepumpen med en merkostnad av ca 300 kkr/år. Beträffande framtida prisändringar gäller att en relativ höjning av elpriset (i jämförelse med oljepris och torvpris) gynnar absorptionsvärmepumpen.

9.6 Variationsanalys

De variabler som mest påverkar teknik och ekonomi är fukthalten i bränslet, anläggningsstorleken, andel rökgas till kylare samt samoptimering av pannor och spillvärmeåtervinning. Dessa faktorer diskuteras kortfattat nedan. I de tidigare redovisade beräkningarna har torvens fukthalt satts till 40 vikt% och pannans verningsgrad till ca 90 %. Vidare antas en panneffekt av 15 MW och att 85 % av rökgasen uttas till kylaren. Under dessa förhållanden kan 2,8 MW spillvärme utvinnas.

Fukthalt i bränsle

Hög fukthalt i bränslet ger mer spillvärme i rökgasen och därmed bättre ekonomi och högre energibesparing för värmepumpen. Inhemsk fuktiga bränslen (torv, flis, avfall) ger ungefär dubbelt så hög andel spillvärme som kol och olja. Spillvärmeutvinning gynnar sålunda mest de inhemska bränsleslagen och gör dessa ekonomiskt konkurrenskraftigare.

Fukthalten i t ex torv och flis kan variera kraftigt beroende på väderförhållandena. Om man antar att fukthalten i torven stiger till 50 %, medan övriga variabler hålls konstanta, kan ca 3,7 MW spillvärme utvinnas (jämfört med 2,8 MW för 40 % fukt). Fukthalten påverkar sålunda kraftigt dimensioneringen av värmeåtervinningsanläggningen (samt naturligtvis även dimensioneringen av pannan). Med en spillvärmeåtervinning från rökgaserna bör man kunna göra sig mindre beroende av torrheten hos bränslet.

Anläggningsstorlek

Med kommersiellt tillgängliga absorptionsvärmepumpar kan kyleffekter upp till ca 3,8 MW fabrikstillverkas för systemet LiBr/H₂O. Större aggregat måste platsbyggas på grund av att delarna blir för stora att transportera. I praktiken torde anläggningar över 3,8 MW kyleffekt byggas upp med ett antal parallella enheter, eftersom platsbygge knappast är lönsamt. Investeringen per MW kyleffekt torde vara nära nog konstant för anläggningar över 3 MW kyleffekt, ty maskininvesteringen dominerar kostnadsbilden.

Andel rökgas till kylare

I det genomräknade fallet har antagits att 15 % av rökgasen leds förbi rökgaskylaren. Detta antagande innebär att 15 % av den utvinningsbara spillvärmen uppoffras för att erhålla en varm rökgas ut från skorstenen. Fördelarna med en varm rökgas är bl a bättre plymlyft och mindre dagguttfällning i skorstenen och i rökgasplymen. I det genomräknade fallet är rökgastemperaturen ca 35-40 °C efter kylaren och ca 55-60 °C efter inblandning av den varma rökgasen. Vid inblandningen minskar den relativa fuktigheten från ca 100 % till ca 40 %.

Vår bedömning är att den antagna rökgasandelen 85 % till kylare är nödvändig under vintern när utfällningen av dagg från rökgasen är ett problem. Däremot bör mindre förbiledning av rökgaser kunna tolereras under dagar med plusgrader.

Ur ekonomisk synpunkt är det viktigt att den kylda andelen hålls så hög som möjligt. I den undersökta anläggningen skulle en väsentligt ökad grad av förbiledning kunna leda till att spillvärmeåtervinningsanläggningen blir för liten för att ge lönsamhet.

Samoptimering av fastbränslepanna och spillvärmeåtervinning

En intressant frågeställning är hur spillvärmeåtervinningen påverkar dimensioneringen av fastbränsleanläggningen. Man kan fråga sig om fastbränslepannans effekt skall väljas lägre på grund av att spillvärme tillkommer. Emellertid tyder våra beräkningar på att marginalkostnaden för utvunnet spillvärme är lägre än både fastbränslepriset och oljepriset. Den optimala dimensioneringsstrategin torde oftast vara att bibehålla effekten hos fastbränslepannan och att i huvudsak utnyttja spillvärmen som oljebesparing i spetslastpannorna. I våra kalkyler har ingen intäkt tagits upp för minskad investering i baslastpannor eller spetslastpannor.

10 FÖRSLAG TILL FORTSATT HANTERING AV PROJEKTET I ÅDALEN

På basis av redovisade tekniska och ekonomiska förutsättningar bedömer vi preliminärt att Härnösand är en ort där installation av en absorptionsvärmepump för spillvärmeåtervinning ur rökgaser från torveldning är motiverad. Beräkningarna visar en nettovinst av ca 1,9 milj kr i nuvarande prisnivå. Jämfört med en konventionell torveldad förbränningsanläggning erhålls en minskning av värmepriset med ca 2 öre/kWh.

Eftersom absorptionsvärmepumpar tillhör de processer som skall introduceras i svensk energiteknik finns goda möjligheter att bygga demonstrationsanläggningar med medel från BFR. Detta innebär också att eventuella risker ej belastar kommunen.

10.1 Villkor för BFR-stöd till demonstrationsanläggningar

Ändamålet med BFR-stöd är att stimulera utveckling och utprovning av nya energitekniker inom bostadsuppvärmningssektorn. Kravet för att få stöd är i princip följande:

- Projektet skall bedömas tekniskt utförbart.
- Projektet skall bedömas ekonomiskt attraktivt jämfört med konkurrerande tekniker.
- Projektet skall bedömas ha demonstrationsvärde (äga viss allmännyttighet; ge avsevärd energibesparing; demonstrera nya applikationer etc).

För de projekt som erhåller BFR-medel gäller normalt följande villkor:

- BFR finansierar med lånemedel den andel av projektering och investering som är att hänföra till ny energiteknik. I det aktuella projektet i Ådalen kan BFR väntas finansiera spillvärmeåtervinningen (9,4 milj kr) medan kommunerna får finansiera den konventionella förbränningsanläggningen.
- För BFR-medlen gäller ränte- och amorteringsfrihet i 3-5 år.
- Bidrag (ej återbetalningspliktigt) fås från BFR för mätning och utvärdering under 1 - 2 säsonger.
- Efter 2 - 3 års drift görs ekonomisk utvärdering av projektet. Vid "lyckade" projekt sker därefter amortering av lånen efter de lånebestämmelser som tillämpas för bostadslån (max 15 års avskrivningstid, paritetslån). Vid "misslyckade" projekt tar BFR den ekonomiska förlusten.

10.2 Förslag till handläggning

För den fortsatta handläggningen fram till upphandling förutser vi följande viktiga skeden:

- Granskning och presentation av denna rapport hos Härnösands kommun samt övriga intressenter i Ådalenprojektet.
- Ansökan till BFR om medel för projektering.
- Rapportering till BFR och Ådalenkommunerna.
- Anbudsinfordran, offertgranskning och avtalsförhandlingar med leverantör.
- Ansökan till BFR om tilldelning av demonstrationsmedel för utförandeskedet.
- Beslut om upphandling.

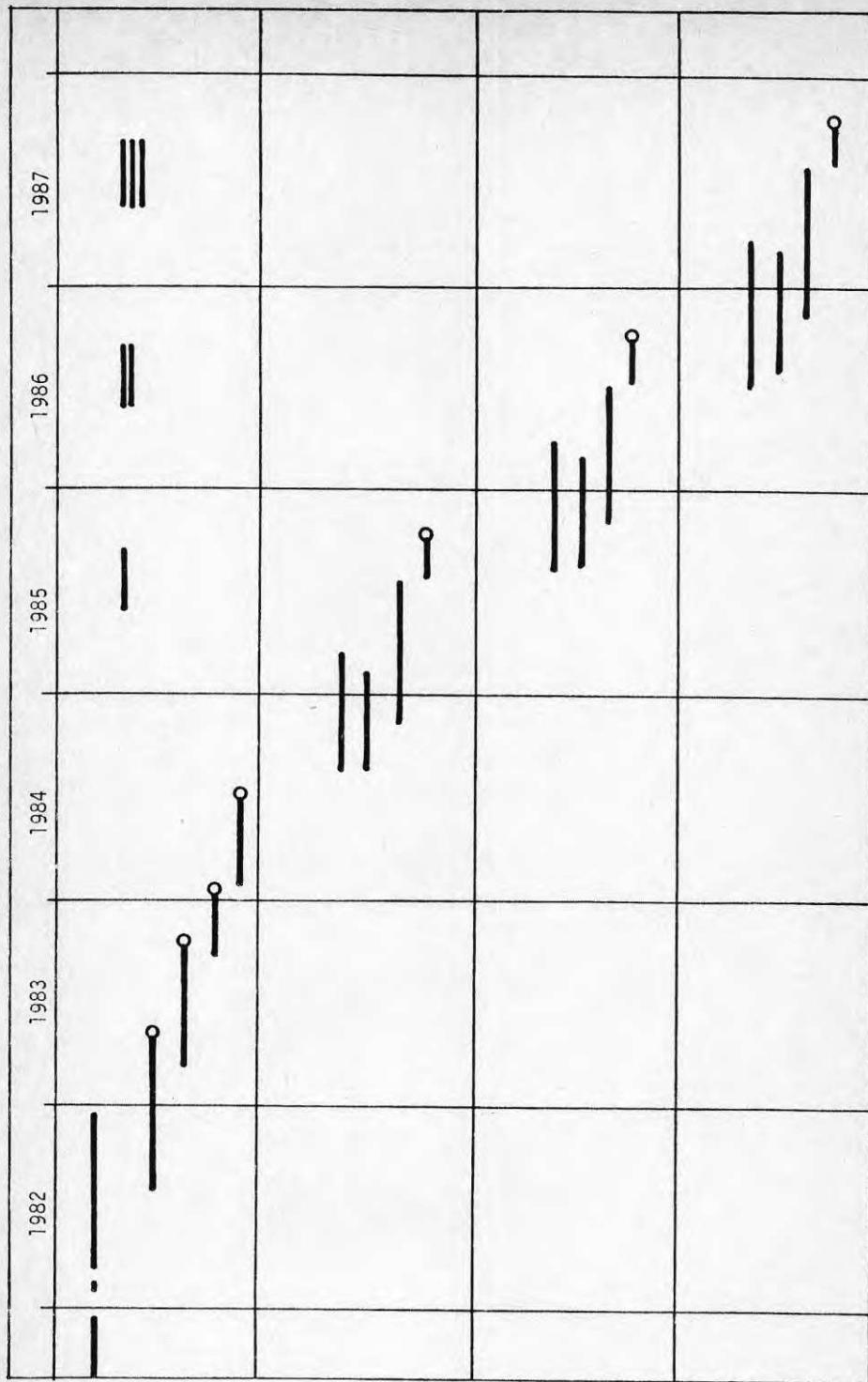
10.3 Tidplan

Tidplanen bör anpassas till driftstart av torvpanna i Härnösand vilket preliminärt beräknas ske hösten 1985. Eventuellt kan tidigare upphandling bli aktuell p g a statliga stödåtgärder.

Tidplan framgår av figur på nästa sida.

Detaljprojekteringen av spillvärmeåtervinningen bör ske samtidigt som projekteringen av förbränningsanläggningen samt samordnas med denna.

HUVUDDIPLAN



11 SLUTSATSER OCH DISKUSSION

De intressantaste resultaten av denna studie kan sammanfattas i nedanstående punkter:

1. Absorptionsvärmepumpar med nuvarande kommersiellt tillgängliga mediapar (LiBr/H₂O) kan användas för utvinning av spillvärme. På grund av den begränsade temperaturhöjningen hos detta mediapar måste spillvärmets ha en temperatur av 30-40°C för att distribution i konventionella värmenät skall kunna tillämpas.
2. Potentialen för ovanstående applikation är stor. Spillvärme vid 30-40°C kan erhållas t ex från industriella processer eller från kylning av rökgaser. Enbart från kylning av rökgaser vid värmeverk beräknar vi att ca 10-15 TWh/år spillvärme skall kunna nyttiggöras vid den utbyggnad som planeras inom de närmaste 10-15 åren. Vid ett energipris av 15 öre/kWh motsvarar detta 1,5 - 2,2 miljarder kr/år.
3. Nya mediapar med förbättrade egenskaper håller på att utvecklas. Dessa är mera lämpliga för värmeproduktion än nuvarande mediapar som utvecklats för produktion av kyla. Vi på Scandiaconsult undersöker t ex ett nytt mediapar med avsevärt bättre data än LiBr/H₂O. Dels är värmefaktorn högre, dels är den temperaturförhöjande förmågan bättre. Sälunda bör lågtemperaturkällor med 0-10°C kunna utnyttjas med en värmefaktor av ca 1,75 (dvs bränslebesparing med 43 %).
4. Med nuvarande svenska prisrelationer mellan värmeenergi och elenergi är absorptionsvärmepumpar ekonomiskt överlägsna mekaniska värmepumpar vid sådana applikationer där lågtemperaturkällans effekt är begränsande för värmepumpens effekt. Sådana fall är t ex spillvärmeutvinning från rökgaser (se punkt 2). I länder med "normala" elpriser (elpris/värmepris > 2) är absorptionsvärmepump alltid lönsammare än eldriven mekanisk värmepump.

Den aktuella konkurrenten är istället drift av mekaniska värmepumpar med t ex dieselaggregat, eller gasmotor. Emellertid blir då värmefaktorn ca 1,6 - 1,7 dvs av samma storleksordning som för absorptionsvärmepumpar. Vidare kan knappast torv, kol, avfall och flis nyttiggöras på detta sätt.

I avsikt att åstadkomma en viss känslighetsanalys av erhållna resultat görs nedan en kort genomgång av antagna indata.

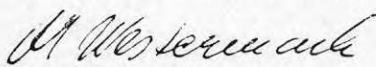
| Parameter | Antaget värde | Påverkan av slutresultat |
|------------------|---|---|
| Elpris/värmepris | 20 öre/kWh resp 12 öre/kWh (räknat som årsmedelvärde) | Högt elpris gynnar absorptionsvärmepump i förhållande till mekanisk värmepump. Utvinning av värme från begränsade källor är billigare med absorptionsvärmepump så länge elpriset överstiger värmepriset (se punkt 4 ovan). |

| | | |
|--------------------------|---|--|
| Distributions-temperatur | Distributionstemp 80-120°C. Retur-temperatur 50°C | Låga temperaturer gynnar såväl absorptionsvärmepumpar som mekaniska värmepumpar. |
| Värmefaktor | 1,75 absorptions v.p. 3,5 mekanisk v.p. | Ingen påverkan i det intressanta fallet med spillvärmeutvinning från begränsade källor. |
| Bränsleslag | Tjockolja resp el Torv eller flis resp el | Om värme produceras med billigare bränsle (kol, flis, torv) gynnar detta absorptionsvärmepump. |
| Investeringsbehov | Lika för abs. v.p. och mek v.p. | Relativt ringa påverkan eftersom driftkostnaderna dominerar. |
| Lågtemperaturkälla | Spillvärme 30-40°C Avloppsvatten, sjövattnen etc +5 till +10°C | Spillvärme vid 30-40°C kan utnyttjas med LiBr/H ₂ O. För lägre temperaturer är nya mediapar nödvändiga. |

Som synes av tabellen ovan påverkas slutsatserna främst av drivenergi-kostnaden (elpris resp värmepris) och av lågtemperaturkällans temperatur. Vid nuvarande prisrelationer och mediasystem är spillvärmeutnyttjande en energimässigt betydelsefull nisch där absorptionsvärmepumpar är lönsammare än mekaniska värmepumpar i de applikationer där effekten hos lågtemperturkällan är begränsande för storleken hos värmepumpen. Om man i framtiden kan utveckla bättre mediapar för värmeproduktion innebär detta att absorptionsvärmepumpen kan utnyttjas även för naturliga lågtemperaturkällor såsom havsvatten, avloppsvatten, uteluft etc. Denna utveckling skulle innebära en mycket stor potential för värmeproduktion med absorptionsvärmepumpar för applikationen bostadsuppvärmning. För närvarande planeras enligt Värmeverksföreningens prognos 1981 en betydande utbyggnad av centralvärmeproduktionen från 32 TWh år 1980 till ca 55 TWh år 1990 och 68 TWh år 2000. Detta innebär att en mycket betydande energikälla för drift av absorptionsvärmepumpar kommer att finnas.

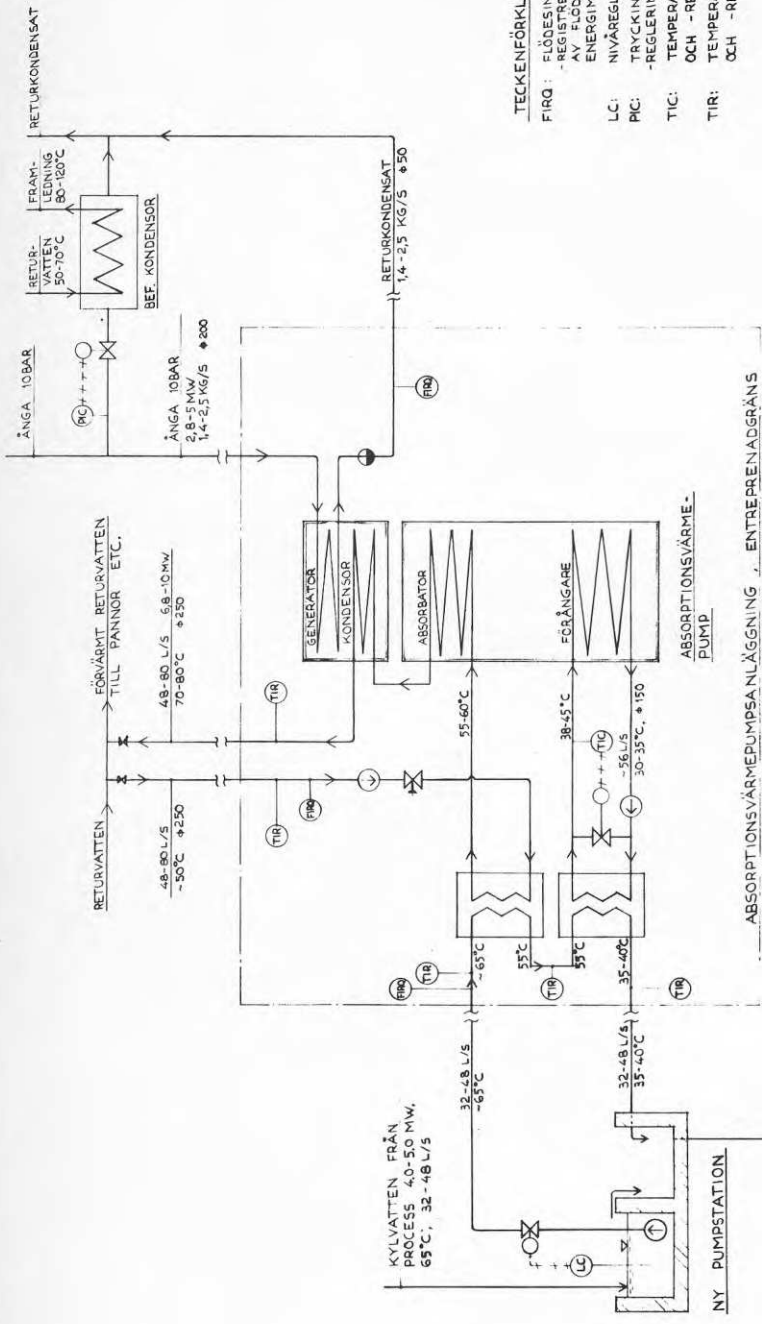
Absorptionsvärmepumpar kan tillvarata spillvärme från fuktiga bränslen (flis, torv, avfall) och förbättrar därmed avsevärt konkurrensförmågan hos våra inhemska bränslen. I det genomräknade exemplet med en torveldad förbränningsanläggning betyder spillvärmeutnyttjandet att ca 20 % mer energi utvinns ur torven och att priset för torvproducerad värme sänks med ca 2 öre/kWh. Absorptionsvärmepumpar bör därför vara en viktig teknik för att optimalt tillvarata våra inhemska energiresurser torv, flis, avfall och spillvärme.

Stockholm den 23 oktober 1982
SCANDIACONSULT AB
Division Process- och Miljöteknik


Mats Westermark

12 LITTERATURLISTA

1. Malewski W, Borsig GmbH, Berliner Strasse 27-33, D 1000 Berlin 27. Bereich VD1-Berichte Nr 289, 183-189 (1977), "Industrielle Wärmepumpen für Nutzttemperaturen bis über 100°C und Leistungseinheiten im MW-bereich".
2. Ibid, "Wärmepumpensystem nach dem Absorptionsprinzip zur Nutzleistungseinspeisung in Fernwärmeanlagen (Demonstrationsanlage im Rahmen "Fernwärmeschiene Saar")".
3. Perry R.H., Chilton C.H., Chemical Engineers Handbook, 5:th Ed (1973). Table 3-14 "Partial Pressures of H_2SO_4 and H_2O over Sulfuric Acid Solutions" Chapter 3, Page 65.
4. Clark E.C., International Seminar on Thermochemical Energy Storage, Stockholm Jan 7-9 1980. Swedish Council for Building Research, Stockholm Sweden D25:1980. "Sulfuric acid and water Chemical Heat Pump/Chemical Energy Storage System" 261-275 (1980).
5. Sandart Kaj, Scandiaconsult Stockholm. Personligt samtal om erfarenheter från projektering av mekaniska värmepumpar i Sala, Eskilstuna och Visby.
6. Freonkyl AB Stockholm (Agent för Carrier, USA) Ing. Johnsson. Telefonuppgift om katalogpriser för absorptionskylaggregat, (Mars 1981).
7. Oelert G. et. al. Swedish Council for Building Research D2:1982 "Thermochemical Heat Storage, State-of-the-art report" (1982).
8. Westermark Mats, Scandiaconsult AB, Stockholm. "Ekonomisk utvärdering av absorptionsvärmepump med nytt mediapar", STU projekt 81-4056B (ej offentlig).
9. Ingvar Ingrid AB, Ludvika (agent för Sanyo i Japan). Personligt samtal med Ingvar Ingrid.



TECKENFÖRKLARING

FIC: FLODESINDIKERING, ÖPPNING AV FLODESMÅNGD OCH ENERGI MÅNGD

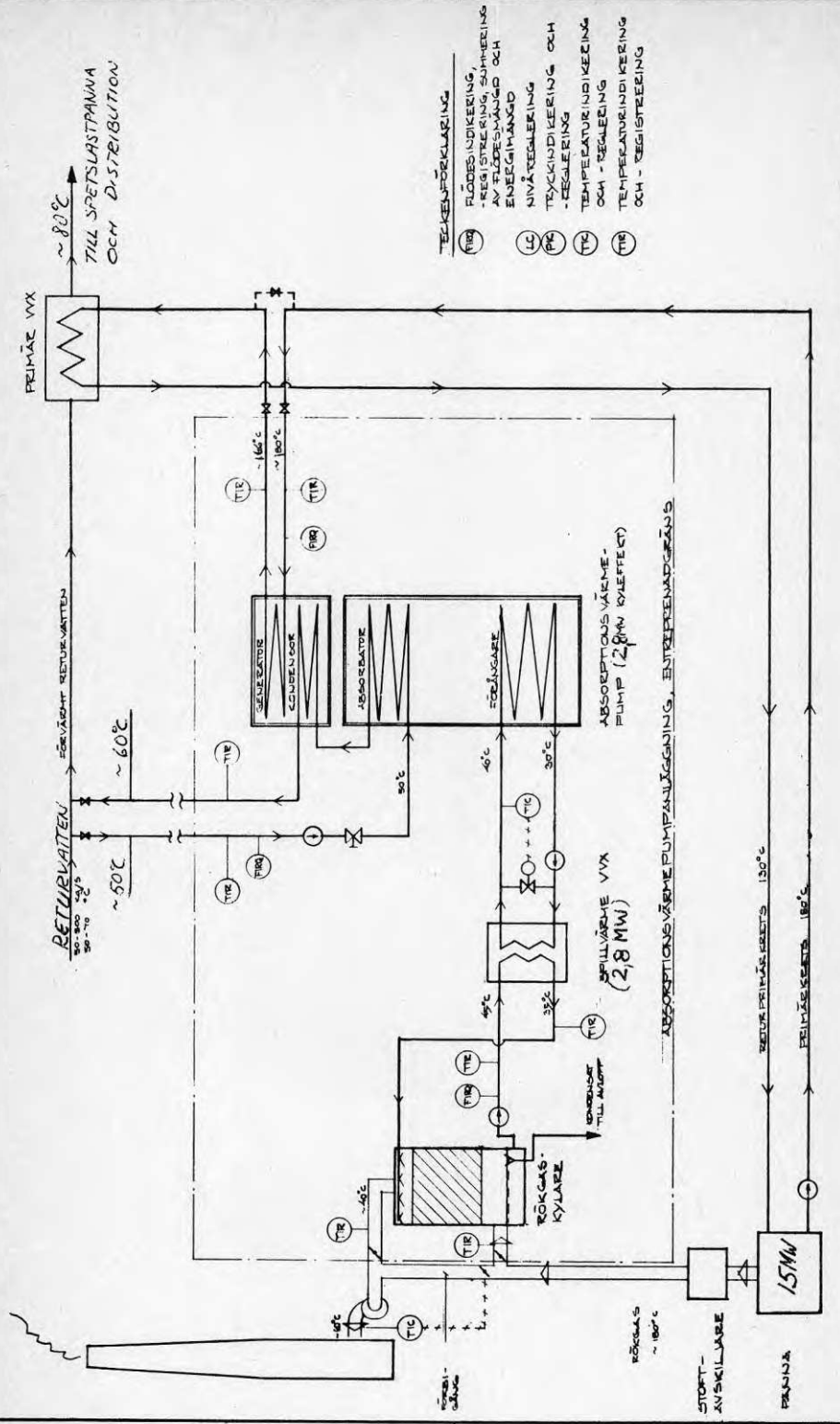
LC: NIVÅREGLERING

PIC: TRYCKINDIKERING OCH -REGLERING

TIC: TEMPERATURINDIKERING OCH -REGLERING

TIR: TEMPERATURINDIKERING OCH -REGISTRERING

| | | | |
|--------------------------|-------------|-----------------------------|---|
| SCANDIACONSULT | | ABSORPTIONSVÄRMEPUMP | |
| TRÖLLHATTAN FLODESSCHEMA | | 51 26 43-03 | |
| PROJEKTANT | UTFÖRARE | SKALA | 1 |
| 08-24-2010 | HWESTERMARK | | |
| 1:1 | | | |
| 1:1 | | | |
| 1:1 | | | |



- TELEFÖRKLARING**
- (TIR) FLODESINDIKERING, -REGISTRERING, SÄKERING AV FLORESMÄNGD OCH ENERGIINMÄNGD
 - (LC) NIVÅREGLERING
 - (PIV) TRYCKINDIKERING OCH -REGLERING
 - (TIC) TEMPERATURINDIKERING OCH -REGLERING
 - (TIR) TEMPERATURINDIKERING OCH -REGISTRERING

| | | | |
|-----------------------|--|-----------------------------|--|
| SCANDIACONSULT | | ABSORPTIONSVÄRMEPUMP | |
| ÅDALÉN | | ÅDALÉN | |
| S. SUNDHOLM | | FLÖDESKEMÅ | |
| M. WESTERMARK | | SKALA | |
| 920820 | | 51 26 43-03 | |





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
810452-7 från Statens råd för byggnadsforskning
till Scandiaconsult AB, Stockholm.**

R72: 1983

ISBN 91-540-3956-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700772

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 25 kr exkl moms