



Forskning och
Utveckling

FOU 2001:57

SKARVTÄTNING BASERAD PÅ SVÄLLANDE MATERIAL

Henrik Bjurström, Pal Kalbantner och Lars-Åke Cronholm
ÅF-Energikonsult AB



SKARVTÄTNING BASERAD PÅ SVÄLLANDE MATERIAL

Henrik Bjurström, Pal Kalbantner och Lars-Åke Cronholm
ÅF-Energikonsult AB

I rapportserien publicerar projektledaren resultaten från sitt projekt. Publiceringen innebär inte att Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB tagit ställning till slutsatserna och resultaten.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	3
SUMMARY	4
1 INLEDNING	5
2 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH MÅLFÖRMULERING.....	6
2.1 TÄTNING MED SVÄLLANDE MATERIAL.....	6
2.2 MÅLFÖRMULERING I DETTA UPPDRAG.....	8
3 KONSTRUKTIONSVILLKOR FÖR VATTENSPÄRREN	9
3.1 VATTNETS VANDRINGSVÄG.....	9
3.2 VILLKOR FÖR PLACERING INNAFÖR SKARVEN	11
3.3 KRAV OCH KONSEKVENSER.....	12
4 MATERIALFRÅGOR	14
4.1 ISOLERINGSMATERIALET, PUR-SKUM.....	14
4.2 MANTEL RÖRET	15
4.3 BENTONIT	15
4.4 SUPERABSORBENTER	18
4.5 DIMENSIONERING AV EN VATTENSPÄRR	18
5 MONTAGE	20
5.1 DEN AXIELLA VATTENSPÄRREN.....	20
5.2 MONTERING AV DEN AXIELLA SPÄRREN.....	21
5.2.1 Inplacering efter inskumning av fjärrvärmeröret.....	21
5.2.2 Inplacering före inskumning av fjärrvärmeröret.....	23
5.3 DEN RADIELLA VATTENSPÄRREN	25
5.4 MONTERING AV DEN RADIELLA SPÄRREN.....	26
6 FÖRSÖKSMATERIAL	29
6.1 DET BENTONITBASERADE MATERIALET	29
6.2 DET SUPERABSORBENTBASERADE MATERIALET	30
7 FÖRSÖKSUPPSTÄLLNINGAR	31
7.1 UPPSTÄLLNING FÖR TEST AV DEN AXIELLA SPÄRREN	32
7.2 UPPSTÄLLNING FÖR TEST AV DEN RADIELLA SPÄRREN	33
8 LOGGBOK ÖVER FÖRSÖKEN OCH RESULTAT.....	35
8.1 KONTROLL AV TÄTNINGSMATERIALENS EGENSKAPER.....	35
8.2 KOMPATIBILITET MED PUR-MONOMERERNA VID SKUMBILDNINGEN.....	37
8.3 TEST AV DEN AXIELLA SPÄRRFUNKTIONEN.....	39
8.4 TEST AV DEN RADIELLA SPÄRRFUNKTIONEN	42
9 ANALYS AV RESULTATEN	46

9.1	ERFARENHETER FRÅN FÖRSÖKEN	46
9.2	DEN AXIELLA SPÄRRKOMONENTEN	47
9.3	DEN RADIELLA SPÄRRKOMONENTEN	49
9.4	VAL AV MATERIAL	50
9.5	FUNKTION OCH KRAV	51
9.6	ANDRA TYPER AV TÄTNINGAR	51
10	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER.....	52
10.1	SLUTSATSER	52
10.2	REKOMMENDATIONER.....	53
10.3	VATTENSPÄRR, LARM OCH LARMFUNKTION	54
11	REFERENSER.....	55

SAMMANFATTNING

Vissa skarvar mellan fjärrvärmerör blir av olika anledningar inte täta, bl a på grund av materialfel, felaktig montage och svagheter i konstruktionen. Genom att introducera ytterligare en tätningsnivå integrerad i fjärrvärmeskarven, baserade på material som sväller när de tar upp vatten och tätar, skulle skador på fjärrvärmeledningar vid inläckage begränsas eller undvikas. Slutsatsen från en förstudie (Sjöblom m fl, 1999) var att flera tekniska utföranden var möjliga och att en god prognos föreligger för utveckling av en/ett tätande komponent eller system integrerad i skarven.

Kravet att tätningen skall kunna användas i alla typer av skarvar, d v s såväl system med inpassningshylsor som system med skjuthylsor, gör att det måste placeras innanför fjärrvärmerörets PEH-mantel. Detta innebär att system snarare har rollen av en spärr mot vattenvandring i en fjärrvärmeledning än av en tätning mot inläckande vatten. Med hänsyn till de villkor som kan ställas måste det bestå av två komponenter: en axiell spärr mot vattenvandring i gränsytan mellan mantel och isolering och en radiell spärr i gränsytan mellan platsgjuten isolering i skarven och fabriksgjuten isolering i fjärrvärmerör. Möjliga utföranden och montagemetoder presenteras i denna rapport.

Försök har utförts med prototyper för axiella såväl som radiella vattenspärrar med fjärrvärmerör DN150. De material som provades är en tätlist baserad på bentonit och vattenblockerande tejp baserad på superabsorbenter. De slutsatser som dras efter utvärderingen av försöken är:

- De provmaterial som använts har förutsättningar att kunna användas som spärrskikt.
- Den axiella spärrfunktionen har verifierats med båda material.
- Det finns goda förutsättningar att utveckla en axiell vattenspärr.
- Resultaten är inte lika tillfredsställande för den radiella spärrfunktionen.

Rekommendationen är att i första hand den axiella spärrfunktionen utvecklas. Denna föreslås kombineras med distanshållarna i ett fjärrvärmerör vilket erbjuder väsentliga fördelar vad gäller genomförandet och funktionens säkerhet. Den radiella spärren kan ges olika utföranden. Prognosen för utvecklingen av denna är också god, men konstruktionsfrågorna är svårare än för den axiella spärren.

Önskan att uppnå maximala nyttan, d v s ett enda system med de önskade funktionerna, låt vara med två komponenter, som kan användas i alla typer av skarvar, bör inte förhindra en utveckling av dellösningar. Användningen av svällande och tätande material för att täta system med skjuthylsa leder till en tätning av denna typ av skarv, i stället för att bara hindra att vattnet sprids vidare i fjärrvärmeledningen

SUMMARY

For several reasons, a.o. material defects, erroneous jointing procedures and weaknesses in the design, some joints between district heating pipes are not leak-proof. By introducing yet another level of sealing integrated in the joint, which is based on materials that swell when they absorb water and seal leaks, one could contain or avoid damages following from leakage into the assembly. The conclusions from a prestudy (Sjöblom et al, 1999) is that several technical solutions may be found and that a positive prognosis exists for the development of a sealing component or system integrated into the joint.

The consequence of the requirement that the seal be used in all types of joints, i.e. both joints with a casing that is butt-welded to the casing of the pipe and joints with a casing that is slid on top the casing of the pipe, is that the seal must be placed on the inside of the casing. That implies that the system rather is a water block preventing water from spreading than a seal for leaking water. Taking into account requirements that can be placed, the system must consist of two components: an axial water block in the boundary between insulation and casing and a radial water block in the boundary between the insulation of the pipe and the in situ blown insulation in the joint. Feasible designs and methods of assembly are presented in this report.

Experiments have been performed using prototypes of axial as well as radial water blocks in a DN 150 district heating pipe. The materials that were tested are a sealing strip based on bentonite and a water blocking tape based on superabsorbents. After evaluating the results obtained, the following conclusions are drawn:

- It is feasible to use the present materials as water blocks
- The axial water block function could be demonstrated with both materials
- There exists a positive prognosis for the development of an axial water block
- The results are not as satisfactory for the radial water block

It is recommended that the axial water block be developed as a first step. It is proposed that the water block be combined with the distance elements in the district heating pipe, which solution offers significant advantages regarding execution and safety. Several designs may be considered for the radial water block. The prognosis for development is also positive, but design problems may be harder to solve.

The wish to obtain maximal return, i.e. a single system with all desired functions, using one or two components and that may be used in any kind of joint, should not hinder the development of designs with a partial set of functions. The use of swelling and sealing material to seal system with joint casings that are slid on top of the pipe casing may provide a seal for these joints rather than preventing water from spreading in the line.

1 Inledning

När fjärrvärmerör skarvas är två arbetsmoment avgörande för ledningens livslängd: dels svetsningen eller lödningen av mediaröret, dels montage av skarvhylsan som tätar mot omgivande mark. I det senare momentet ingår också appliceringen av PUR-isolering mellan skarvhylsa och mediarör.

Vissa av skarvarna blir av olika anledningar inte täta, bl a på grund av materialfel, felaktig montage och svagheter i konstruktionen. För svetsning eller lödning av mediaröret finns noggranna kontrollmetoder medan sådana saknas för manteln. Merparten av skadorna på fjärrvärmeledningar beror på att skarven mellan mantelrör skadats. Ett sätt att reducera skadefrekvensen är att förbättra utförandet av skarvar, vilket också Svenska Fjärrvärmeföreningens program för auktorisation av företag som utför montage av skarvar och licensiering av skarvmontörer tar sikte på. Ett annat sätt är att vidareutveckla detaljer och material i konstruktionen av kulvertskarvar.

När den fysiska barriären som skarven utgör, dvs svetsen eller skarvningen av skarvhylsan mot mantelrören, genombrutits finns i dagens konstruktioner ingen reservtätning. I en förstudie (Sjöblom m fl, 1999) har utretts möjligheterna att använda svällande material som bentonit eller superabsorbenter i detta syfte. Dessa material förmår ta upp vatten, svälla och bilda en tillräckligt tät fog som kunde användas som ett andra försvarsled. Dessa material förmår svälla till volymer som kan vara flera eller många gånger större än ursprungsvolymen. Under vissa förhållanden kan ämnena i fråga vara fasta men deformerbara och vattentäta. Bentonit är en lera som används t ex som tätskikt för deponier. Dess k superabsorbenterna används bl a i menstruationsskydd, barnblöjor och kablar med optiska fibrer. Slutsatsen är att det föreligger en god prognos för utveckling av tätningar som innehåller dessa material. Några möjliga realiseringar av tätningar av fjärrvärmerör presenterades i förstudien.

Arbetet, som presenteras i föreliggande rapport, är en fortsättning på denna förstudie, med en utredning om förutsättningarna för att anordna en tätning baserad på dessa material, integrerad i konstruktionen av en skarv. I utredningen har ingått även att genomföra prov där konstruktioners tätförmåga kontrolleras samt att föreslå ett testprogram där funktionen hos tätningen verifieras.

Det övergripande syftet med arbetet är att utveckla kompletterande tätsystem i skarvutrymmet i fjärrvärmerör.

Uppdragsansvarig har varit Henrik Bjurström, ÅF-Energikonsult AB. Övriga medverkande har varit Pal Kalbantner och Lars-Åke Cronholm, också ÅF-Energikonsult AB. Försöken har utförts i Stockholms Byggnadsmaterial AB:s lokaler, med praktisk hjälp från Lars Wallner och Lars Thunman.

Referensgruppen för detta uppdrag har bestått av Lars Filipsson, Norrenergi, Lars-Erik Hägerstedt, Birka Teknik och Miljö samt Göran Johansson, Powerpipe Systems.

2 Föresättningar och målformulering

Målet för arbetet är att förhindra följdsador på fjärrvärmeröret med hjälp av ett kompletterande tätsystem som förhindrar vatten från att tränga in i skarvutrymmet och påverka materialen i skarven. Det ersätter inte skarvsystemen utan kompletterar dem, varför det måste konstrueras efter de föresättningar som skarvsystemen utgör. Ytterligare föresättningar för arbetet är varifrån vatten tränger in i skarven, hur tätsystemet önskas utnyttjas m m.

Föreliggande rapport är ett led i utvecklingen av idén, som granskades i förstudien, till något som kan bli en produkt. Frågeställningar klarnar och tekniska mål ändras under det att tankegångar utvecklas. En kort redogörelse lämnas därför nedan över hur föresättningar förändrats när målen preciserats under arbetets gång.

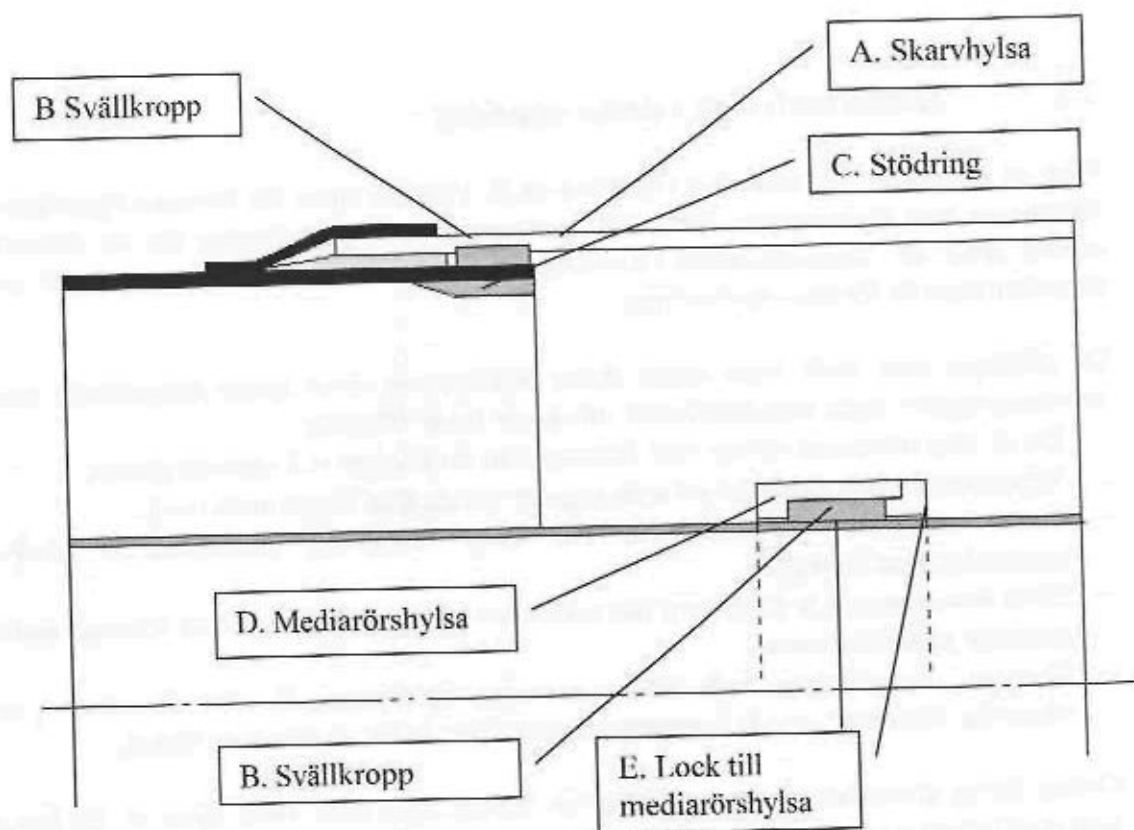
2.1 Tätning med svällande material

En tätning eller försegling är en fullständig fysisk barriär i en möjlig läckageväg där den appliceras eller placeras. Denna läckageväg är t ex en skarv, eller ett förband, mellan två delar av samma material eller av olika material. Tätningen åstadkoms genom att placera ett tredje, mjukt material mellan dessa. Tätning erhålls när materialet deformeras tillräckligt mycket för att flyta in i de oregelbundenheter som finns i de ytor som skall förseglas. Materialet får samtidigt inte vara så mjukt att det extruderas ut ur mellanrummet när hela trycket har lagts på.

Egenskaperna hos ett material att absorbera vatten och svälla kan utnyttjas i en sådan mekanisk tätning för att, utöver det tryck som byggs in i förbandets konstruktion, åstadkomma ett ytterligare tryck som deformerar materialet. Vid konstruktionen av ett tätförband för en fjärrvärmeskarv måste det omvända förhållandet tas i beaktande: tätningen fyller inte sin funktion om materialens expansion inte begränsas av mothåll i skarven mellan fjärrvärmerören.

Förmågan att ta upp vatten står i ett visst motsatsförhållande till kravet att materialet skall utesluta vatten. Ett ämne som tar upp vatten måste också ha föresättningar för att släppa igenom det. Å andra sidan kan ett långsamt upptag av vatten och en låg diffusivitet, d v s en låg transporthastighet genom materialet, innebära att vatten stängs ute även om materialet inte mättats och svällt i hela tätningen.

Utgångspunkten för förstudien (Sjöbom m fl, 1999) var att skarvutrymmet med isolerskum skulle tätas såväl för ett utflöde av fjärrvärmevatten från mediaröret som för ett inflöde av vatten från omgivande mark genom otätheter i skarven mellan mantelrör. Det är två olika läckagevägar vilka kräver var sin tätning. I förstudien gjordes en ansats till förbättrad skarv som innehöll en principiell lösning för båda tätningar, se Figur 2-1.



Figur 2-1. Principskiss - Skarvsystem enligt förstudien (Sjöblom m fl, 1999) med svällande material som tätande komponent.

Figure 2-1. A sketch of the principle for sealing a joint with a component that swells when it absorbs water, as proposed in the prestudy (Sjöblom et al, 1999).

För mediaröret svetsskarv stängs det svällande materialet in mellan mediaröret och en stålhylsa med gavlar, enligt D och E i Figur 2-1.

Mellan skarvhylsan A (en skjuthylsa) och mantelrör hindras expansionen av det tätande, svällande materialet i radiell riktning av två metallringar, varav den ena visas i figuren. Denna är en krage som slagits in eller trängts in i den frilagda änden av ett rör, mellan mantelrör och PUR-isoleringen. Den andra ringen, som inte ritats in i figuren, läggs in i ett spår i skarvhylsan och det svällande materialet B placeras inåt, så att det ligger an mot mantelröret ovanpå vilket skarvhylsan skjutits på plats. Bakom svällkroppen B har den ordinarie fogen (mastik eller lim) mellan skjuthylsa och mantelrör antytts i figuren.

2.2 Målformulering i detta uppdrag

Efter att rapporten för förstudien (Sjöblom m fl, 1999) lämnats till Svenska Fjärrvärme-föreningen har diskussioner förts om inriktningen och principerna för det fortsatta arbetet med ett kompletterande tätsystem baserat på dessa svällande material och förutsättningarna för dess användning.

De riktlinjer som vuxit fram under dessa diskussioner samt under diskussioner med referensgruppen under projektarbetets inledande fas är följande:

- Det är inte intressant att tätta mot läckage från mediaröret in i skarvutrymmet.
- Tätsystemet skall förhindra ett inläckage av vatten från omgivande mark.
- Detta kompletterande tätsystem bör kunna användas oberoende av skarv-konstruktionen i övrigt.
- Detta kompletterande tätsystem bör helst vara fabriksmonterat för att felgrepp under montage skall minimeras.
- Skarvens isolerförmåga och dess mekaniska egenskaper får inte försämrats i en väsentlig omfattning av de komponenter som förs in för att tätta mot läckor.

Om en läcka utvecklats på ett mediarör bör läckan lagas eller röret bytas ut. En läcka från mediaröret skall alltså kunna uppmärksammas så tidigt som möjligt varför läckande vattnet skall ha fri passage till larmtrådarna. En tätning som fördröjer upptäckten av läckan ger den tid att växa. En blöt tätning innebär också ett klimat som gynnar fortsatt korrosion av mediaröret och därmed ökade skador. Tätning enligt B-D-E i Figur 2-1 utvecklas därför inte inom det uppdrag som denna rapport avser.

För skarven mellan mantelrören finns två principiella system: skjuthylsa med dess varianter samt inpassningshylsa. I ett system med skjuthylsa läggs hylsan med ett visst överlapp över mantelröret. I detta överlapp skulle en tätning kunna läggas mellan hylsans inneryta och mantelrörets ytteryta, t ex som i Figur 2-1. I ett system med en inpassningshylsa fogas emellertid skarvhylsan kant i kant med mantelröret genom att hylsa och mantelrör smälts samman till ett svetsförband. I denna tekniska lösning finns det inte utrymme för något tätningsmaterial mellan två överlappande ytor.

Om ett kompletterande tätsystem skall kunna användas oberoende av om skjuthylsa eller inpassningshylsa utnyttjas bör det placeras innanför mantelrör och skarvhylsa, inne i skarvutrymmet, i anslutning till läckagevägen. Målformuleringen i uppdraget har anpassats med hänsyn till ovan och konsekvensen av denna riktlinje är att tätsystemet inte längre är någon egentlig tätning, dvs en komponent som bidrar till en fullständig fysisk barriär mot inträngning av vatten. Tätsystemet är snarare en spärr som hindrar det vatten, som trängt igenom den fysiska barriär som mantelrör och skarvhylsa utgör, att spridas vidare i skarvutrymmet och i fjärrvärmeröret. En liknande tanke om spärrskikt har i och för sig framförts i förstudien (Sjöblom m fl, 1999).

Följaktligen ändras målformuleringen för tätsystemet från *"att hindra att vatten kommer in i skarvutrymmet"*, vilket var utgångspunkten för förstudien, till *"att hindra att vatten sprids vidare i fjärrvärmeröret då det kommer in i skarvutrymmet"* för det uppdrag som redovisas i föreliggande rapport.

3 Konstruktionsvillkor för vattenspärren

Målsättningen för utvecklingsarbetet är *en enda tätande komponent* som kan användas i alla typer av skarvar och som tätar eller spärrar vandrigen av vatten i utrymmet mellan mantel- och mediarör i ett fjärrvärmerör. Till förutsättningar och villkor för konstruktionen av denna komponent hör:

- vattnets vandringsväg i en skarv eller i ett fjärrvärmerör, vilken är konstruktionsberoende,
- geometrin för en skarv,
- yttre förhållanden såsom tryck, temperatur, fuktighet,
- avvikelser från idealitet.

3.1 Vattnets vandringsväg

Inträngningsvägen beror på var skadan inträffar och skarvens konstruktion. Erfarenhetsmässigt sker fortsatt vandring från inträngningspunkten via de inhomogeneiteter som hör till kontaktytorna mellan olika material, se Figur 3-1:

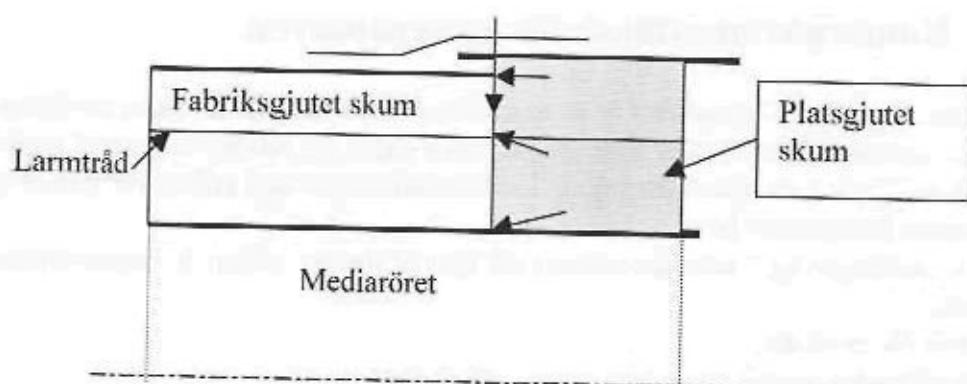
- kontaktytan mellan mantelrör och PUR-isolering,
- kontaktytan mellan fabriksgjutna isoleringen i fjärrvärmerören och den platsgjutna isoleringen som fyller utrymmet mellan mediarörsvetsen och mantelskarven,
- kontaktytan mellan skum och larmtråd,
- kontaktytan mellan mediaröret och skummet.

De erfarenheter som erhållits vid reparationer av fjärrvärme läckor är att vattnet kan vandra långa vägar från den punkt där det tränger in i fjärrvärmeledningen. Spridningsvägen är oftast kontaktytan mellan PUR-isoleringen och PEII-manteln, men även längs larmtrådar.

När en spalt bildas i kontaktytan mellan fabriksgjutna isolerskummet och platsgjutna skummet kommer det inträngande vattnet i kontakt med mediaröret. Betydelse av denna spalt och av läckans läge på omkretsen har nyligen undersökts (Bergström och Nilsson, 2001).

Det kan inte uteslutas att vattnet diffunderar genom PUR-skummet men i jämförelse med vattenvandringen genom inhomogeneiteterna ovan är vandrigen genom diffusion försumbar. För denna utredning kan PUR-skummet anses vara tätt och ogenomträngligt.

En vattenspärr som tätar mot fortsatt vandring bör alltså helst spärra samtliga vandringsvägar med ett undantag. Detta är vandrigen av vatten i ytan mellan stålröret och PUR-skummet av de skäl som nämnts ovan i avsnittet Målformulering.



Figur 3-1. Schematisk framställning av de olika spridningsvägarna för vatten i en skarv och vidare från skarven till det prefabricerade fjärrvärmeröret. Pilarna anger de fyra spridningsvägarna. I bilden har en skjuthylsa skissats, men spridningsvägarna är desamma för en inpassningshylsa.

Figure 3-1. A sketch of part of a joint between district heating pipes representing the four paths (arrows in the drawing) along which water spreads in a joint and further from the joint into the pipe. A joint casing that is slid on top of the pipe casing has been drawn in the Figure. The paths for water are the same for a joint casing that is butt-welded to the pipe casing.

Tätningen eller spärren måste alltså placeras i:

- kontaktytan mellan platsgjutna skummet och fabriksgjutna skummet för att undvika vandrings av vatten ner till mediaröret,
- kontaktytan mellan larmtråden och fabriksgjutna skummet, för att undvika vandrings längs larmtråden,
- kontaktytan mellan fabriksgjutna skummet och mantelns insida, för att undvika vandrings mellan skum och mantel.

Ett utförande som blockerar vattnets vandrings i två av dessa tre riktningar är en placering av vattenspärren i kontaktlinjen mellan fabriksgjutna skummet, platsgjutna skummet och mantelns insida. Vattnets vandrings ner till mediaröret och vandrings längs manteln spärras på samma gång. Vattnets vandrings längs larmtrådarna spärras dock inte, men det kanske inte är nödvändigt om vattnet utifrån hindras att överhuvudtaget komma till larmtråden.

Det är inte alldeles lätt att placera ett särskilt mothåll för det tätande materialets expansion i dessa gränssytor. Exempelvis skapar en stålring ytterligare gränssytor som skall avspärras för vatten. Skummet och mantelröret är de enda mothåll som kan användas. För denna spärrfunktion måste alltså det material som används kunna svälla med ett sådant tryck att det flyter in i ojämnheter i PUR-skummet men samtidigt får det inte trycka sönder skummets celler.

3.2 Villkor för placering innanför skarven

De villkor som gäller för utformningen av vattenspärren och för dess placering i skarvutrymmet ges av bl a geometrin för utrymmet. Villkoren kan tänkas utesluta ett antal konstruktioner. Det kan dock vara svårt att entydigt avgöra vad som är "tillåtet" och vad som inte är "tillåtet".

Skarvutrymmet har en viss längd i axiell riktning, ca 30 cm mellan de två frilagda ändarna. Isoleringens tjocklek varierar med mediarörets dimension och med isoleringsklass, vilket ger en uppsättning av mediarördiametrar, isolertjocklekar och mantelrörsdiameter.

Kravet på att skarvens isolerförmåga och dess mekaniska egenskaper inte skall påverkas i väsentlig omfattning innebär begränsningar. Det skulle inte vara tillåtet att ersätta det platsgjutna isolerskummet med prefabricerade rörsålar av tätningsmaterial. Isoleringens förmåga skulle troligen försämrats väsentligt. Spärrkomponenten måste alltså vara en liten komponent i förhållande till skarvutrymmets storlek.

Vissa utföranden av fjärrvärmerör har en ändgavel (Bergström och Nilsson, 1999, Johansson, 2000) i t ex polyeten varför skummets yta inte är tillgänglig. I vissa andra utföranden ligger skummet fritt exponerat. Likaså när ett rör kapas för att passas in i ett utrymme avlägsnas isoleringen ca 20 cm så att mediaröret kan svetsas. Detta innebär alltid att det fabriksgjutna skummets yta exponeras. Innan en inpassningshylsa svetsas in friläggs skummet så att hylsan får ett stöd under svetsningen. I samtliga utföranden skall det finnas två larmtrådar placerade som löper i axiell riktning.

När en inpassningshylsa används, skalas en liten bit mantelrör av och PUR-skummet blottläggs så att det ger ett visst mekaniskt stöd till hylsan fram till dess att isolerskum applicerats i skarvutrymmet. I denna operation kan skum bitvis följa med mantelröret varför skumytan inte är slät.

Man bör även räkna med ett antal avvikelser från ideala geometrier och förhållanden:

- Toleranser eller "fel" som gör att axiella måttet inte alltid är detsamma från skarv till skarv.
- Variationer i radiella mått som till exempel ovalitet, bristande koncentricitet mellan mediaröret och manteln.
- Ytskiktet på skum som exponerats för vädret kan ha varierande kvalitet.
- Kapas ett rör erhålls definitivt en rå yta när isoleringen avlägsnas.
- Skummet fäster inte alltid på mantelrör eller på mediaröret. Man kan ofta observera att mantelröret, mer sällan mediaröret, har släppt från skummet.

I detta uppdrag har antagits att geometrin är ideal och att endast hela längder av fjärrvärmerör skall skarvas. Komplikationer som skarvning av kaprör och ovannämnda möjliga avvikelser från ideala geometriska förhållanden har inte utgjort grundvillkor för arbetet. De har enbart noterats i denna rapport och i den mån de skulle utgöra något problem får dessa lösas i en senare etapp. Deras konsekvenser för tätsystemet har dock övervägts.

3.3 Krav och konsekvenser

I tabellen nedan sammanfattas målformulering, riktlinjer för utvecklingen samt villkor som dikteras av skarvkonstruktionen och deras konsekvenser för den tänkta vattenspärrens utformning.

Tabell 3.1. Konsekvenser av de krav eller villkor som ställs på konstruktionen av en spärr mot vattnets vandring i ett fjärrvärmerör.

Table 3-1. The consequences of requirements or conditions placed on the design of a water block in a district heating pipe.

Krav, villkor eller företeelse	Konsekvens
Tätningen skall vara generell, och gälla för både inpassningshylsa och skjuthylsa	Tätningen skall ligga under mantelrörets yta. Detta innebär att tätningen snarare är en vattenspärr. ¹
Vid läcka från mediaröret måste rörvattnet ha fri tillgång till larmtråden	Spärren bör sitta mellan mantel och larmtråd.
Vattenspärren skall täta vandringsvägarna ² : – Axiellt längs mantelröret – Radiellt mot mediaröret i gränsskiktet mellan fabriksgjutet och platsgjutet skum – Axiellt längs larmtråden	De två första vandringsvägarna spärras om en enda spärr placeras i kontaktlinjen mantelrör-platsgjutet skum-fabriksgjutet skum. I så fall behöver inte spärras längs larmtråden.
Spärren skall blockera vandringsvägens hela tvärsnitt	Spärren måste täcka hela omkretsen, ungefär som en O-ring.
Spärren skall vara helt skyddad från mekaniska skador	Helst bör spärren inte finnas på någon fri yta
Reducera till ett minimum påverkan av miljön vid skarvmontagen	En prefabricerad vattenspärr
Reducera till ett minimum skarvmontörens inverkan på montagets kvalitet	Den prefabricerade spärren skall vara inbyggd i röränden
Reducera till ett minimum inverkan av miljön fram till skarvmontage (t ex väder och vind, hantering)	Spärren skall vara försedd med en skyddskåpa som dras av innan skarven försluts. Det kan dock ändå bli svårt att undvika mekaniska skador på en spärr som placerats på fria skumytan i en rörände.
Dra av skyddsremsan/kåpan vid lämpligt tillfälle, så sent som möjligt under montaget.	Innan hylsan fogas ihop med manteln, dock finns alltid en risk för att kåpan glöms kvar.
När man använder en inpassningshylsa skalas en	Spärren kan då inte sitta enbart i fria skumytan i

¹ En vidare konsekvens är att vi inte skyddar skarven i egentlig mening, utan begränsar konsekvenserna av att vatten tränger in i skarven från omgivningen.

² Vi antar att fjärrvärmerörets mantelrör och hylsa skadas företrädesvis i skarvstället mellan mantel och hylsa.

bit av isoleringen av så att hylsan får ett visst stöd under stumsvetsningen	röränden. För att spärra för vandringen längs mantelröret måste en spärr sitta under svetsfogen eller bortanför denna
När mantelröret skalas av för en inpassningshylsa skär man mantelröret och bänder bort det från underliggande skum	Risk för mekanisk skada på vattenspärren om den sitter under den blivande svetsfogen, varför spärren bör sitta bortanför fogen. Risk för mekanisk påverkan på en spärr som sitter mellan fogen och den fria skumytan ⁱⁱⁱ
Vatten läcker in i anslutning till svetsfogen mellan mantelrör och inpassningshylsa	Spärren för den radiella vandringen skulle kunna sättas mellan fogen och fria skumänden.
Vatten läcker in någon annanstans i skarven, eller genom glappet mellan skjuthylsa och mantelrör. Mediaröret skall skyddas.	Om gränsytan mellan fabriksgjutet och platsgjutet skum skall spärras i radiell riktning för alla skarvtyper kan inte denna spärr läggas mellan svetsfogen på mantelröret och den fria röränden. Spärren måste sitta i denna gränsyta, alternativt i kontaktlinjen.
Vattenspärren bör inte kunna skadas när röränden förbereds för en inpassningshylsa	Denna radiella spärr bör inte sitta i kontaktlinjen fabriksgjutet skum - platsgjutet skum - mantelrör utan en bit nedanför mantelröret
Värme tillförs svetsfogen i mantelröret.	Förmodligen inget problem för torra vattenspärrear om svetsningen är tämligen kortvarig och temperaturen inte överskrider ca 200°C. För säkerhets skull, undvik dock att lägga spärren rakt under svetsen.

Det visar det sig alltså vara svårt att uppfylla alla villkor med en enda vattenspärr som kan användas i alla typer av skarvar.

Lösningen har varit att dela upp tätsystemet i två delsystem:

- Den första spärren hindrar vandringen av vatten i axiell riktning längs gränsen mellan PUR-isolering och PEH-manteln. Den bör placeras bortanför en eventuell svetsfog mellan mantelrör och inpassningshylsa. Denna spärr är prefabricerad och är skyddad för väder, vind och mekaniska skador av PEH-manteln. Inga manuella grepp behövs under montage. I fortsättningen kallas den för *axiell* spärr.
- Den andra spärren placeras i kontaktytan mellan fabriksgjuten isolering och platsgjuten isolering, alltså på rörändens fria skumyta. Den kan prefabriceras, men den har ett utsatt läge och åtminstone ett manuellt grepp krävs (ta bort skyddsremsan eller skyddskåpan). I fortsättningen kallas den för *radiell* spärr.

ⁱⁱⁱ ...om avskalningen inte underlättats med hjälp av släppmedel eller folie.

De krav och villkor som ställts upp innebär att målet att ha endast en tätande komponent i en skarv inte kan uppnås. Däremot borde målet att ett tätsystem med två komponenter som kan användas i alla skarvsystem kunna uppnås.

4 Materialfrågor

För att en axiell eller radiell spärr skall kunna uppfylla sin funktion måste den dimensioneras, med hänsyn till egenskaperna hos de vattenabsorberande och svällande materialen (samt eventuella bärmaterial) och till egenskaperna hos omgivande material (PUR-isolering, PEH-mantel). Nedan redovisas de mest väsentliga egenskaperna hos dessa material och de krav som ställs. I ett fjärrvärmerör ingår dessutom ett mediarör av stål och larmtrådar men dessa bortses ifrån i denna utredning.

4.1 Isoleringsmaterialet, PUR-skum

Isoleringen mellan mediaröret och mantelröret består av uretancellplast (PUR-skum). Detta skum framställs och appliceras i en integrerad process av fjärrvärmerörets tillverkare. Råmaterialets sammansättning samt tillverkningsbetingelserna skall vara sådana att skummets homogenitet, cellstruktur, densitet och hållfasthet motsvarar standarden SS-EN 253.

De geometriska dimensionerna för det färdiga isoleringsmaterialet bestäms av utrymmet mellan medie- respektive mantelrör. De varierar inom ett mycket brett intervall beroende på isoleringsklassen, mediarörets dimensioner osv.

Följande parametrar beskriver det framställda PUR-skummets hållfasthet:

- Tryckhållfasthet^{iv}: $\sigma_{\text{tryck}} \geq 0,3 \text{ MPa}$
- Deformation (ϵ) vid σ_{tryck} : 10 %
- Skjuvhållfasthet: $\tau_{\text{ax}} \geq 0,12 \text{ MPa}$ (vid 23 C°)
- Skjuvhållfasthet: $\tau_{\text{ax}} \geq 0,08 \text{ MPa}$ (vid 140 C°)
- Skjuvhållfasthet: $\tau_{\text{tan}} \geq 0,20 \text{ MPa}$ (vid 23 C°)

^{iv} SS-EN 253 gör distinktionen i detta sammanhang att σ_{tryck} gäller i radiell riktning dvs för en enaxlig påkänning (i angiven riktning). Vid dimensioneringen av en spärrkomponent antas detta σ_{tryck} gälla även för en treaxlig påkänning (isostatiskt tryck).

4.2 Mantelröret

Mantelröret tillverkas av polyeten (svart HDPE). Råmaterialets sammansättning samt tillverkningsbetingelserna skall vara sådana att rörets kvalitet uttryckt med hjälp av densitet, smältindex, termisk stabilitet och hållfasthet motsvarar standarden SS-EN 253.

Dimensionsområdet innesluter diametrar (Φ = nominell ytterdiameter) från 75 mm till 1200 mm och godstjocklekar från 2,2 mm till 18,7 mm. Koaxialiteten med mediaröret styrs av standarden SS-EN 253.

Mantelrören tryckprovas med inre övertryck enligt ISO 1167.

Följande parametrar beskriver mantelrörets hållfasthet:

- Ringspänning: $\sigma_{ring} \geq 4,6$ MPa (minsta tid till brott är 165 timmar vid 80 C°)
- Ringspänning: $\sigma_{ring} \geq 4,0$ MPa (minsta tid till brott är 1000 timmar vid 80 C°)
- Draghållfasthet: $\sigma_{drag} \geq 4,0$ MPa (minsta tid till brott är 1500 timmar vid 80 C°)
- Töjning vid brott: $\epsilon > 350$ %

4.3 Bentonit

Bentonit är ett fint pulverformigt material: förvittrad vulkanisk aska vars väsentligaste beståndsdel är lermineralet *montmorillonit* (ca 90 % för bentonit av god beskaffenhet, resten utgörs av kvarts, glimmer, fältspat, m m). Montmorillonit hör till mineralgruppen smektit. Bentoniten har förmågan att absorbera vatten flera gånger sin egen vikt varvid leran sväller starkt. Svällningen är reversibel och kan upprepas många gånger utan att bentoniten förändras. Den naturliga bentoniten sorteras i två huvudgrupper med avseende på de katjoner (natrium respektive kalcium) som är adsorberade av bentonitens *montmorillonit*. De tixotropa och kolloidala egenskaper är mera framträdande hos natriumbentonit än hos kalciumbentonit.

Sammansättningen och egenskaperna hos bentonit varierar med fyndigheten. I det följande används informationen för en kvalitet från Nordamerika, med beteckningen MX-80 hos leverantören Volclay. Denna natriumbentonit har en specificerad halt av mineralet montmorillonit. Kvalitet MX-80 har undersökts i detalj av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) i det svenska programmet för slutförvar av använt kärnbränsle.

Ett bentonitbaserat material i en vattenspärr kan utöver bentonit innehålla andra material:

- en ballast, som inte tar upp vatten och inte sväller, och som används för att reglera materialets densitet och svällningsegenskaper
- ett bärmaterial som används för att ge bentoniten en utformning som kan hanteras men som en sekundär effekt påverkar densiteten och svällningsegenskaperna.

Bentonitens låga genomsläpplighet för vatten beror dels på den (låga) hydrauliska konduktiviteten hos bentonit i vattenmättat tillstånd, dels på bentonitens förmåga att tätas mot omgivande material genom att svälla och fylla ut ojämnheter i gränsskiktet. Den hydrauliska konduktiviteten är en funktion av densiteten för bentonitmaterialet, se Tabell 4-1 och 4-2. Den hydrauliska konduktiviteten är ca en 10-potens lägre då vattnet är saltfattigt (t ex avjoniserat eller destillerat vatten).

Tabell 4-1. Hydraulisk konduktivitet (enhet: m/s) hos vattenmättat MX-80 bentonit för olika saltlösningar. (Data: SKB).

Table 4-1. The hydraulic conductivity (unit m/s) of saturated MX-80 bentonite as a function of salt content in the saturation water. Data from SKB.

Saltlösning (koncentration i viktsprocent)	Densitet vid vattenmättnad (kg/m ³)		
	1800	2000	2050
0,5 % NaCl	$2,4 \cdot 10^{-12}$	$1,6 \cdot 10^{-13}$	$9,4 \cdot 10^{-14}$
3,5 % NaCl	$1,0 \cdot 10^{-11}$	$1,3 \cdot 10^{-12}$	$1,2 \cdot 10^{-13}$

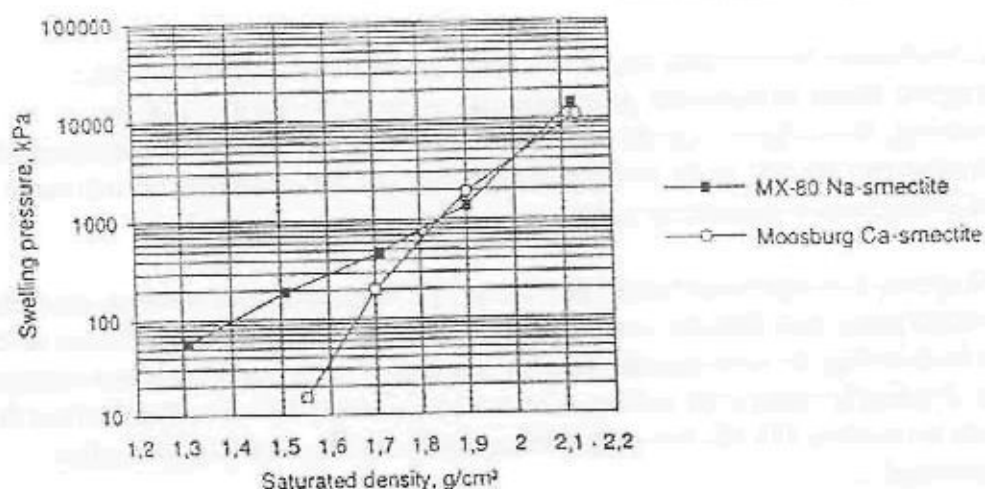
Tabell 4-2. Hydraulisk konduktivitet (enhet: m/s) för destillerat vatten hos en blandning som innehåller 10 % vattenmättad bentonit MX-80 och ett icke specificerat ballastmaterial (Data: SKB).

Table 4-2. The hydraulic conductivity (unit: m/s) for distilled water in a mixture consisting of 10 % saturated bentonite MX-80 and an unspecified ballast. (Data SKB).

Densitet (kg/m ³)	2180	2100	2010	1970	1870
Konduktivitet (m/s)	$2 \cdot 10^{-11}$	$6 \cdot 10^{-11}$	10^{-11}	$9 \cdot 10^{-10}$	10^{-8}

Om bentonit placeras i ett öppet utrymme kommer det att ta upp obegränsat med vatten, svälla och flyta ut. Densiteten minskar och den hydrauliska konduktiviteten ökar. Bentonitens förmåga att blockera vattenflödet beror på det mottryck som en omslutning förmår skapa till svälltrycket och begränsa bentonitens expansion till en given densitet. Ju högre densiteten är, desto lägre är den hydrauliska konduktiviteten. Tryckutvecklingen påverkas givetvis även av andra storheter som halten av bentonit, temperaturen, salthalten i vattnet (se Tabell 4-1) och kemiska faktorer som bentonitens sammansättning och vilka salter som är i lösning.

Svälltrycket, som kan varieras genom att reglera densiteten, sträcker sig från 0 MPa (svällning utan mothåll) upp till flera MPa (en densitet på $1,3 \cdot 10^3$ kg/m³ ger ett svälltryck på ca 50 kPa medan en densitet på $2,1 \cdot 10^3$ kg/m³ ger ett svälltryck på ca 10 MPa). I figur 4-1 återges ett diagram med data framtagna av SKB för två leror.



Figur 4-1. Svälltrycket för två bentonitprover som funktion av densiteten i mättat tillstånd. Data: SKB.

Figure 4-1. The swelling pressure for two bentonite samples as a function of density in the saturated state. Data from the Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.

Förutsättningarna för att ett bentonitbaserat material skall kunna skapa ett tätt skikt i gränsen till omgivande material är:

- att bentonitpartiklarna i materialet har en lämplig storleksfördelning
- att ett tillräckligt stort tryck appliceras av bentoniten mot omgivande material och att dessa kan stå emot detta tryck.

De omgivande materialen är mantelröret och isoleringsmaterialet. De inhomogeniteter eller ojämnheter som förekommer i gränsskiktet utgörs dels av det påverkade skalet på mantelrörets insida som en s k coronabehandling kan medföra, dels av de hålrum, blåsor och celler som kan vara öppna i skummets gränsskikt. Förhållandet mellan den geometriska storleken hos alla dessa möjliga inhomogeniteter/ojämnheter och storleken hos kornen och partiklarna i bentoniten är avgörande för tätningen i denna gränssyta. Tillgängliga data för storleksfördelningar med en väsentlig andel finfraktion ($<0,1$ mm) ger vid handen att bentonitbaserade material borde kunna täta ojämnheter i gränssytor.

Krav på hållfasthet hos en bentonitbaserad vattenspärr, oberoende av fjärrvärmeröret, förväntas inte därför att vattenspärren är helt inplacerad i ett fjärrvärmerör.

4.4 Superabsorbenter

Superabsorbenter är syntetiska organiska polymera material. Till sin kemiska uppbyggnad liknar de organiska jonbytare som sedan årtionden används för vattenrening. De skiljer sig emellertid från dessa genom en lägre tvärbindningsgrad. Tvärbindningen innebär att ett rymdnät erhålls som ger formstabilitet åt polymeren men samtidigt motverkar upptaget av vatten.

Egenskaperna hos superabsorbenter motsvarar i grova drag de hos bentonit, med en vattenupptagning som funktion av svälltrycket. Data för olika superabsorbenter är dock mer svåråtkomliga än motsvarande data för bentonit. Ur den begränsade information som är tillgänglig framgår att svälltrycken är några tiondels MPa i stället för flera MPa som hos bentoniten MX-80. En vattenmättad superabsorbent har låg hydraulisk konduktivitet.

Även superabsorbenter är ett finfördelat pulver, varför en vattenspärr bör vara ett kompositmaterial bestående av superabsorbenter samt ett bärmaterial.

4.5 Dimensionering av en vattenspärr

Dimensionering kan endast göras för bentonitbaserade materialet. För superabsorbentbaserade material saknas de nödvändiga data.

Förutsättningen för en tät vattenspärr är en låg hydraulisk konduktivitet och att spärren håller tätt mot omgivande material. Densiteten i mättat tillstånd bör därför vara så högt som möjligt, dock inte så högt att hållfastheten hos omgivande material överskrids. Det svagaste materialet är PUR-skummet som därmed får vara dimensionerande.

En ringformad komponent kommer att med sitt svälltryck åstadkomma en närmast isostatiskt tryckpåkänning d v s ett treaxligt spänningstillstånd. En vattenmättad vattenspärr, inplacerad i sin driftposition, får inte utveckla större svälltryck än isoleringsmaterialet kan hålla emot d v s: $p_s \leq \sigma_{\text{tryck}}$. Lägsta tryckhållfasthetsvärdet för isoleringsmaterialet^v är: $\sigma_{\text{tryck}} = 0,3 \text{ MPa}$. Utgående från informationen i avsnitt 4.3 kan lämpliga densiteter hos det vattenmättade bentonitbaserade materialet uppskattas, se Tabell 4-3. I uppgifterna ingår en viss säkerhetsmarginal.

^v Samma värde antas vara giltig även för det platsgjutna isoleringsmaterialet.

Tabell 4-3. Möjliga former för konstruktionsmaterial med tillhörande densitet.

Table 4-3. Compositions that may be considered for the water blocking material and resulting densities.

Nr	Möjliga former för konstruktionsmaterialet	Densitet (kg/m ³)
1	"Ren" natriumbentonit	1 600*
2a	Blandning av natriumbentonit (halt 10%) och en fyllning som inte sväller	Ca 2 150
2b	Blandning av natriumbentonit (halt 20%) och en fyllning som inte sväller	Ca 1 600
3	Natriumbentonit tillsammans med en bärande struktur	1)
4	Blandning enligt 2 med en bärande struktur	1)

Fotnot:

* i vattenmättat tillstånd

1) beroende på den bärande strukturens densitet

Dimensionerna hos bentonitbaserade spärrar kan väljas fritt med ett undantag: tjockleken, vilken definieras som utbredningen i vattenvandringens riktning. Vatten hindras inte av en stel vägg utan det vandrar sakta igenom spärren. Spärrarna måste vara tillräckligt tjocka för att deras livslängd, när de tagit upp vatten och svällt, skall motsvara den livslängd som förväntas av ett fjärrvärmerör. Den längsta livslängd som förutses i SS-EN 253 är minst 50 år.

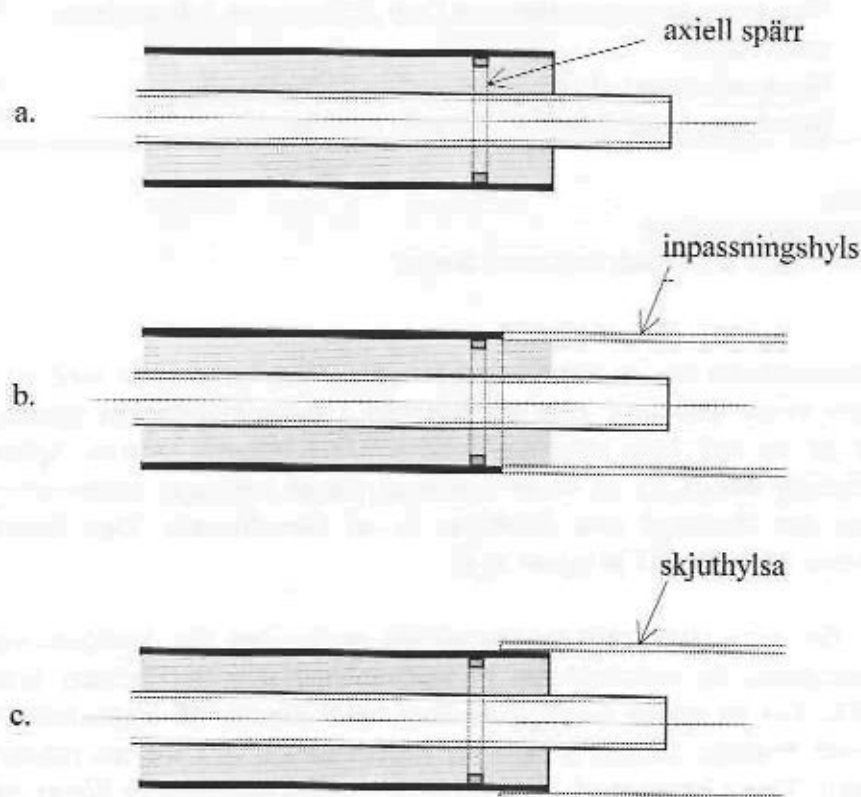
Om det antas att vattnet har en salthalt mellan den för destillerat vatten och den för brackvatten, att vattenspärren är vattenmättad samt att vattnets temperatur är högst 100°C kan en minsta tjocklek beräknas med hänsyn till hydrauliska konduktiviteten i mättad bentonit. Denna tjocklek är mellan ca 0,1 mm för ren natriumbentonit och ca 10 mm för en kropp med 20% bentonit. I praktiken innebär kravet på hanterbarhet att vattenspärren blir betydligt tjockare.

Motsvarande beräkningsgång kan utföras för superabsorbentbaserade material. Eftersom svälltrycken är betydligt lägre än för bentonit förväntas inte PUR-skummets hållfasthet ställa krav på en högsta densitet. Genomsläppligheten för vatten är låg och även för dessa material torde krav på hanterbarhet orsaka tjockare utförningar än hänsyn till vattengenomsläpplighet kan leda till.

5 Montage

5.1 Den axiella vattenspärren

Värderingen av de olika kraven gav att den axiella spärren mot vandring av vatten i gränsskiktet mellan PUR-isolering och mantelrör bör placeras en bit innanför den fria skumytan i rörändan, se principskissen i Figur 5-1. De krav som ställs av skarvningen med inpassningshylsa har avgörande betydelse för detta val av placering.



Figur 5-1. Principskiss över den axiella spärrens placering i en skarv. Diagram a. axiella spärrens placering, b. axiell spärr med inpassningshylsa, c. axiell spärr med skjuthylsa.

Figure 5-1. A sketch showing the position of an axial water block in a joint. Diagram a: the position of the block, b, axial block with a joint casing that is butt-welded to the pipe casing and c, axial block with a joint casing slid on top of the pipe casing.

Som noterats i avsnitt 3 för denna placering med sig att:

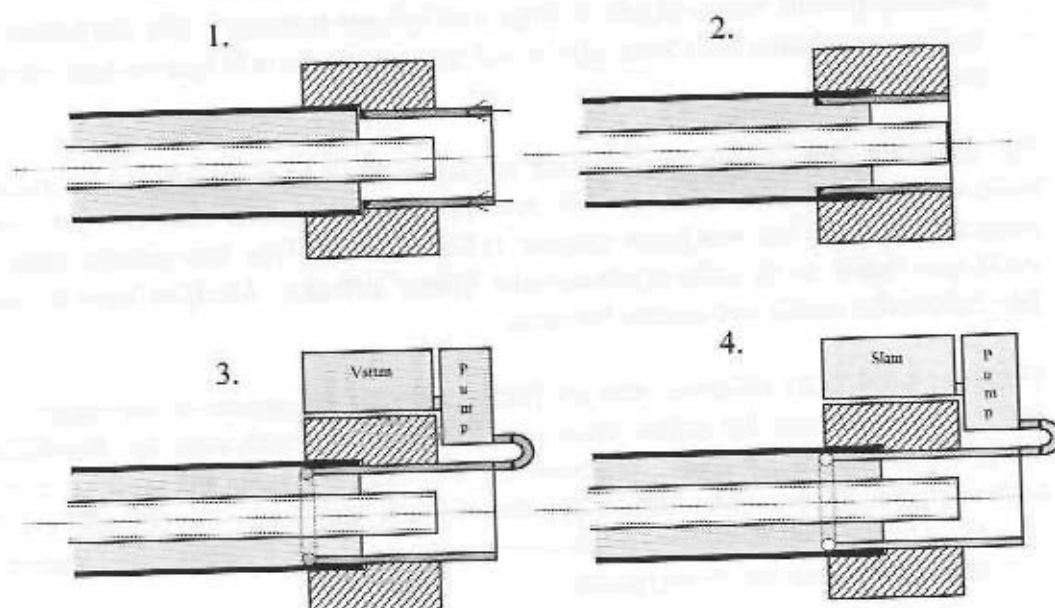
- Den axiella spärren är alltid skyddad mot väder och vind och mot eventuell mekanisk påverkan
- Den axiella spärren placeras in under produktionen av fjärrvärmerör i fabriken, vilket innebär en högre kvalitet än det som är möjligt i fält
- Spärren berörs inte då mantelröret skalas av eller under svetsningen

5.2 Montering av den axiella spärren

5.2.1 Inplacering efter inskumning av fjärrvärmeröret

En bentonit utan ballastmaterial och utan bärrmaterial med densitet ca $1,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ i vattenmättat tillstånd (rad 1 i tabell 4-1) är inte längre fast utan det är ett mycket trögflytande slam, med 35-40 volymprocent bentonit. En blandning av bentonit och ett ballastmaterial som inte sväller (rad 2 i tabell 4-1) är ännu mer trögflytande. Det kan tänkas att vattenspärren kan pumpas in på plats. Vill man hellre använda en utformning där ett bärrmaterial ingår är det ett fast föremål som skall placeras in.

En principritning för hur ett flytande material kan placeras in ges i Figur 5-2. I denna utnyttjas deformationen av PUR-skummet under ett tryck.



Figur 5-2. Inplacering av en axiell spärr som kan pumpas in som slam (rad 1 i tabell 4-1).

Figure 5-2. Inserting an axial water block by pumping it as a slurry (row 1 in Table 4-1).

Vattenspärren monteras i fyra steg:

- Ett verktyg med inskjutningsbar dubbelväggig hylsa riggas upp på mantelröret.
- Den dubbelväggiga hylsan skjuts in längs mantelrörets insida tills framkanten når rätt läge för den axiella spärren.
- Vatten pumpas in i dubbelhylsan varmed en expanderande bälg på hylsans framkant tränger undan isoleringsmaterialet och bildar en O-ringformad kavitet.
- Den dubbelväggiga hylsan byts mot en annan utan bälg på framkanten och slam pumpas in i det fria utrymmet i isoleringsmaterialet.

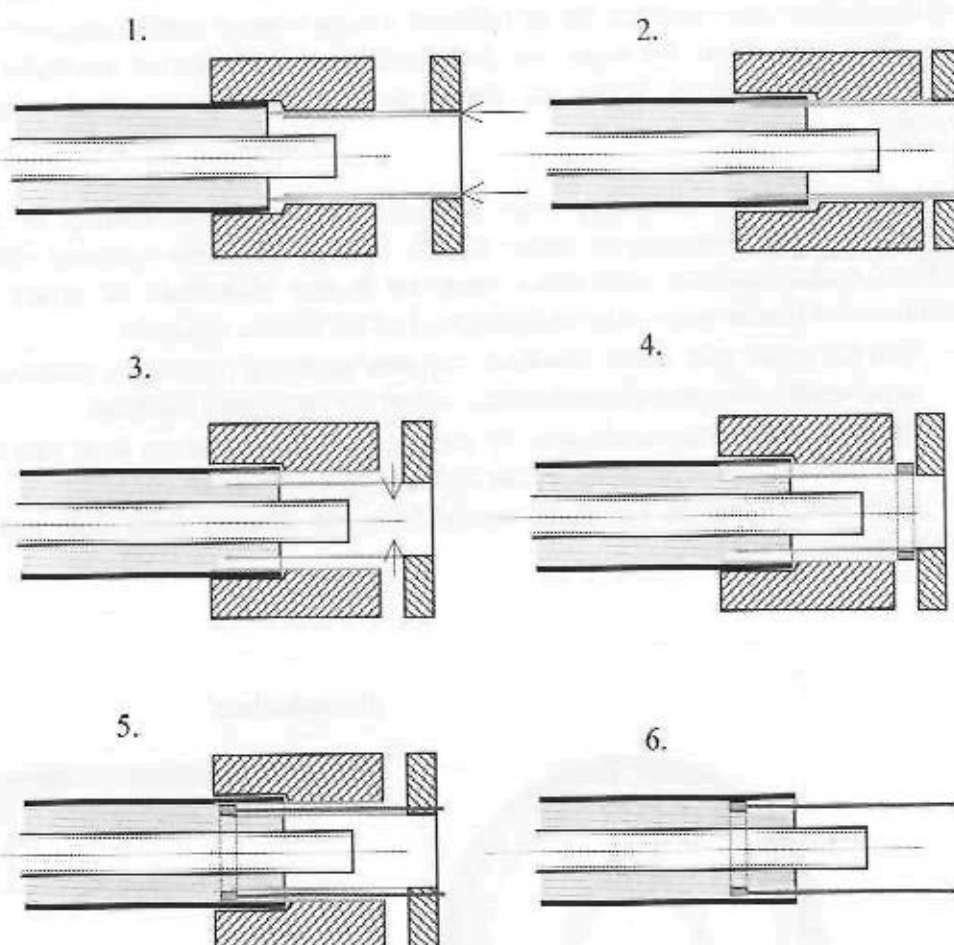
Den ringformade spalten från isoleringsmaterialets ändplan in till den inplacerade axiella spärren, som uppstår efter de olika hylsornas användning, behöver inte vara bredare i radiell riktning än max 5 mm. Spalten bör tätas efter avslutad inpumpning av slam.

Om denna axiella spärr inte kan pumpas kan den placeras in med ett förfarande enligt Figur 5-3 i sex steg:

- Ett verktyg, med två koaxiala och inskjutningsbara hylsor, riggas upp på mantelröret.
- Hylsorna skjuts in längs mantelrörets insida tills framkanten når rätt läge för den axiella spärren.
- Den inre hylsan gör en radiell rörelse (krymprörelse) mot mediaröret, varmed skapas ett radiellt gap dels mellan hylsorna dels i isoleringsmaterialet.
- En ring av prefabricerat material bereds på inre hylsans mantelyta.
- Den preparerade ringen skjuts in längs inre hylsans mantelyta tills den bottnar.
- Inskjutningsdornet hålls kvar tills de två inskjutningsbara hylsor tas bort, därefter tas även dornet ut.

Det radiella måttet på den ringformade spalten som uppstår efter hylsorna, räknat från isoleringsmaterialets ändplan in till den inplacerade axiella spärren, har nominellt samma mått som den inskjutna ringens radiella bredd. Den kan minska efter det att verktygets tagits ut då isoleringsmaterialet fjädrar tillbaka. Återfjädringen är sannolikt inte fullständig varför restspalten bör tätas.

Skall en axiell spärr placeras efter att fjärrvärmeröret skummats in bör något av dessa förfaranden användas. De ställer vissa krav på precision i utförande och flexibilitet (för att kunna användas för olika rördiametrar) som kanske leder till jämförelsevis höga kostnader. Att tränga undan isoleringen kan leda till svagheter i fjärrvärmeröret. Vidare kan det vara svårt att få acceptans för användningen av ett flytande, vattenmättat material. Förslagen känns inte övertygande.



Figur 5-3. En fast axiell spär placeras in efter det att isoleringsmaterialet har skummats på plats.

Figure 5-3. Insertion of a solid water block after having foamed the insulation in place.

5.2.2 Inplacering före inskumning av fjärrvärmeröret

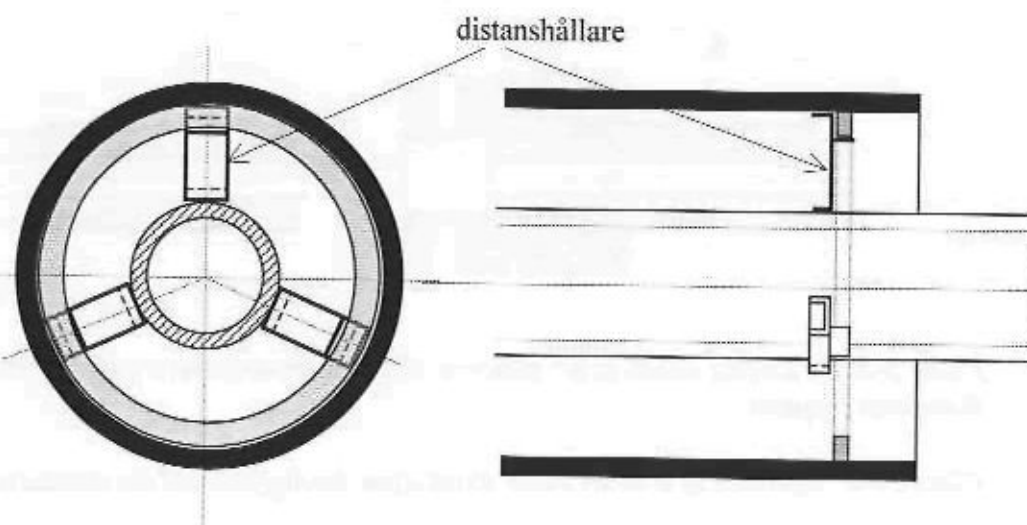
I detta fall kan inte flytande spärrar användas utan inneslutning. Det är mer rationellt att använda fasta utformningar av den axiella spärren. Dessa är en "komposit" bestående av bentonit och en bärande struktur som kan bestå av en textil eller annat med fiberbaserad sammansättning i vävd eller komprimerad form.

Handelsformen för sådana material är antingen "remsa" i löpmeter med en viss form och dimension för tvärsnittet (exempelvis kvadratisk; 20 x 20 mm) eller "ark" med en viss area och tjocklek.

I en första ansats bör den axiella spärren häftas fast vid mantelrörets insida. Det är emellertid inte alltid lätt att genomföra därför att HDPE har en yta som det är svårt att få något att fästa på. En alternativ metod är att kombinera denna axiella vattenspärr med de distanshållare som används för att hålla ett minsta avstånd mellan mediarör och mantelrör. Skissen i Figur 5-4 visar hur distanshållarna skulle kunna användas. En ring av prefabricerat material lindas på dessa och tillverkningsprocessen genomförs som vanligt.

I jämförelse med inplacering efter skumning kräver denna lösning en mycket liten insats. Den har dessutom en annan fördel. Man skulle kunna använda sådana distanshållare endast närmast rörändarna, men det är mer välbetänkt att utföra alla distanshållare med denna spärr- eller tätfunktion. I så fall erhålls följande:

- Om en spärr inte skulle blockera vattnets vandring (av någon anledning) finns en reservspärr vid nästa distanshållare, vilket ger ytterligare säkerhet.
- Spärren mot vattenvandringen är inbyggd i fjärrvärmerören som kan kapas i godtyckliga längder utan att särskilda åtgärder behöver vidtas.
- Man har endast en typ av distanshållare, och därmed finns inga möjligheter till felmontage i fabriken.



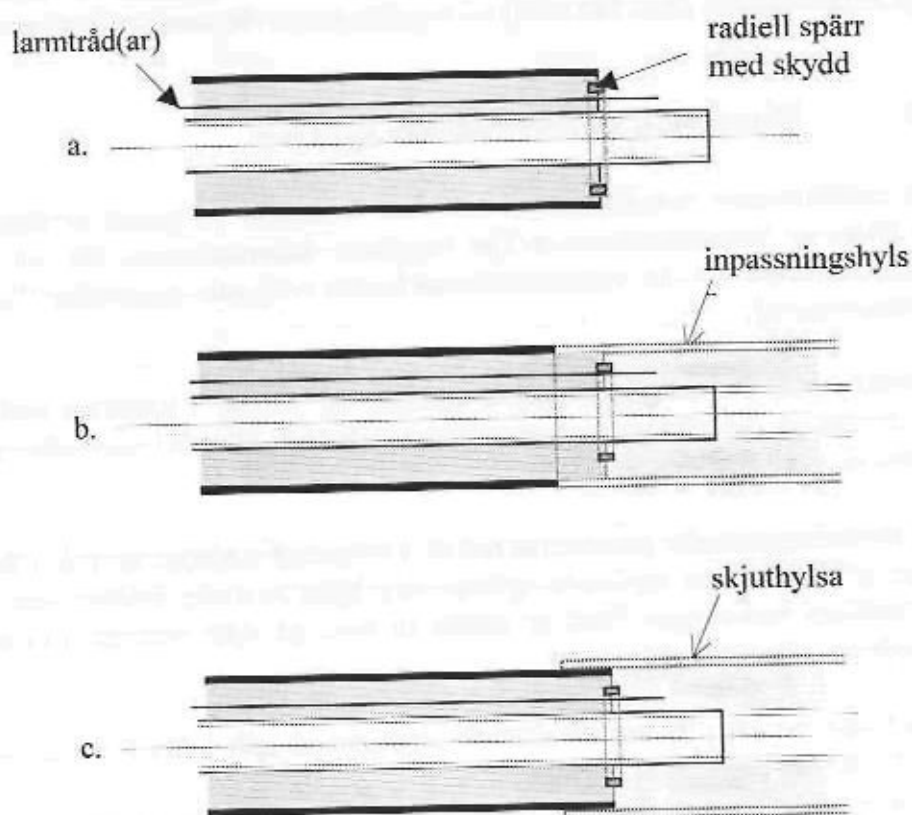
Figur 5.4. Inplaceringen av den axiella spärren görs innan isoleringsmaterialet är på plats. Distanshållarna har skissats - i verkligheten har de ett annat utseende.

Figure 5-4. Insertion of the axial water block before foaming the insulation in place. The distance elements have been sketched - in reality, their design is different.

5.3 Den radiella vattenspärren

För att den radiella spärren skall blockera vattnets vandring in mot mediaröret bör den vara placerad i gränsytan mellan det fabriksstillverkade och det platsgjutna isoleringsmaterialet. Den radiella spärrens plats är entydig.

Den radiella spärren bör vara försänkt i både den fabriksgjutna och den platsgjutna isoleringen, förslagsvis till hälften i varje. Det ger en större mekanisk stabilitet under perioden fram till insjunkningen av skarvutrymmet. En utbredning i axiell led ger också en större möjlighet att möta dimensionsändringar än en platt skiva i gränsytan om det platsgjutna skummet skulle krympa och en spalt uppstå i kontaktytan.



Figur 5-5. a. radiella spärrens placering, b. radiell spär med inpassningshylsa, c. radiell spär med skjuthylsa.

Figure 5-5. The position of the radial water block (diagram a). Diagram b, in a joint with a joint casing butt-welded to the pipe casing and c, with a joint casing slid on top of the pipe casing.

I radiell led placeras spärren mellan larmtrådarna och mantelröret. Vatten som läcker ut från mediaröret skall ha fri väg till larmtrådarna. En fabriksmonterad spärr bör inte placeras direkt mot mantelrörets insida (eller skarvhylsans insida) utan på ett litet avstånd från mantelröret. Anledningarna till detta är följande:

- Om spärren placeras i direkt anslutning till mantelröret i det fabrikstillverkade fjärrvärmerörets ände är den mer utsatt vid hanteringen, och man löper en förhöjd risk för nedsatt funktion. När en rörände förbereds för en inpassningshylsa kan spärren skadas när mantelröret skalas av, med nedsatt lokal funktion som följd. Även vid hanteringen av skjuthylsa kan liknande risker för skador finnas.
- En placeringen av spärren i närheten till larmtrådarna innebär att spärren är mer eller mindre likformigt omsluten av PUR-skum.

En principskiss över placeringen visas i Figur 5-5. Ena halvan av spärren är inbäddad i det fabriksgjutna skummet. Den del som är utanför isoleringen bör skyddas mot fukt, regn eller mekanisk påverkan med t ex en kåpa som avlägsnas under skarvarbetet.

5.4 Montering av den radiella spärren

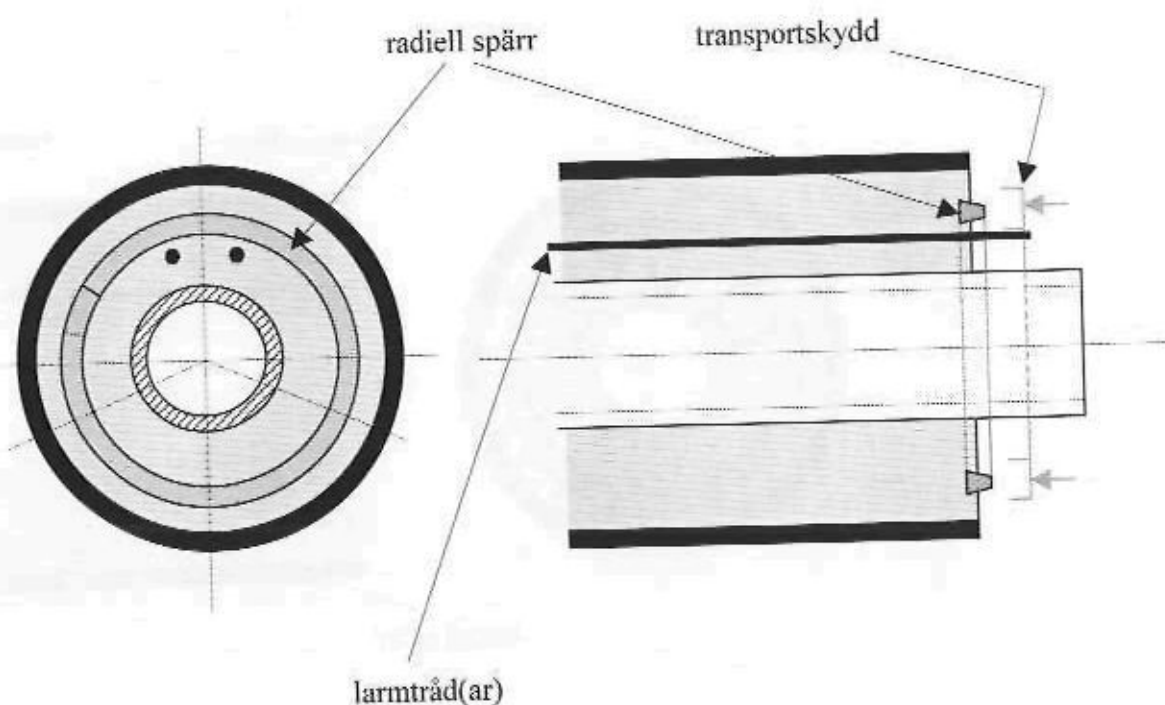
Den prefabricerade radiella spärren bör vara formstabil på grund av placeringen i den fria änden av isoleringsskummet. Det begränsar utformningarna till rad 3 (eller eventuellt 4) i Tabell 4-3: det vattenabsorberande och svällande materialet tillsammans med ett bärmaterial.

Handelsformen för sådana material är antingen en "remsa" i löpmeter med en viss form och dimension för tvärsnittet (exempelvis kvadratisk; 20 x 20 mm) eller ett "ark" med en viss area och tjocklek.

Två monteringsmetoder presenteras nedan. I en metod utnyttjas ett spår i den fria skumänden och i den andra appliceras spärren med hjälp av distanshållare som fixeras i den fabriksgjutna isoleringen. Båda är tänkta att vara ett sista moment i produktionen av förisolerade fjärrvärmerör.

I den första metoden fixeras den radiella spärren i ett spår i den fria skumytan, se Figur 5-6. Momenten i arbetet är följande:

- Ett cirkulärt laxspår anordnas i fabriksgjutna skummet (antingen genom att fräsa ut spåret eller genom att tränga undan isoleringsmaterialet som i Figur 5-2 eller 5-3). Spåret är avpassat till det prefabricerade spärrmaterialet.
- Därefter förs in en måttklippt "remsa" i spåret. Remsan är avfasad i båda ändarna för att läggas omlopp).

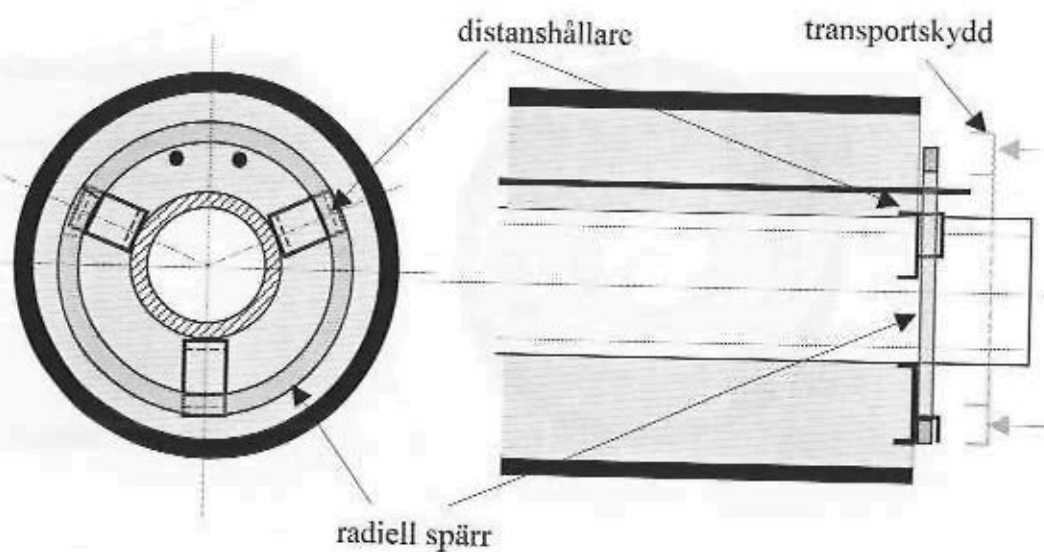


Figur 5-6. Placering av en radiell spärr i ett spår i fria skumytan.

Figure 5-6. Insertion of a radial water block in a groove in the surface of the insulation that is exposed at the end of the pipe.

I den andra metoden monteras spärren med hjälp av distanshållare som fixeras i den fabriksgjutna isoleringen. Metoden innebär att man inte behöver fräsa något spår i den fria ytan av den fabriksgjutna isoleringen. Momenten i arbetet är följande:

- En O-ringformad radiell spärr med lämplig radie formas ur en måttklippt "remsa" avfasad i båda ändarna på samma sätt som ovan. Remsan monteras på ett lämpligt antal distanshållare. Dessa distanshållare är inte identiska med distanshållarna mellan medie- och mantelrören. Dels är deras diameter mindre, se Figur 5-7 nedan, dels är de utformade så att det prefabricerade spärrmaterialet får ett mekaniskt stöd. Distanshållarna bör utformas så att de kan fixeras i den fabriksgjutna isoleringen.
- Den färdigmonterade spärren skjuts upp på mediaröret och trycks in mot den fabriksgjutna isoleringen.



Figur 5-7. Fixering av en radiell spärr på den fria skumytan utan att något spår tas ur i skummet.

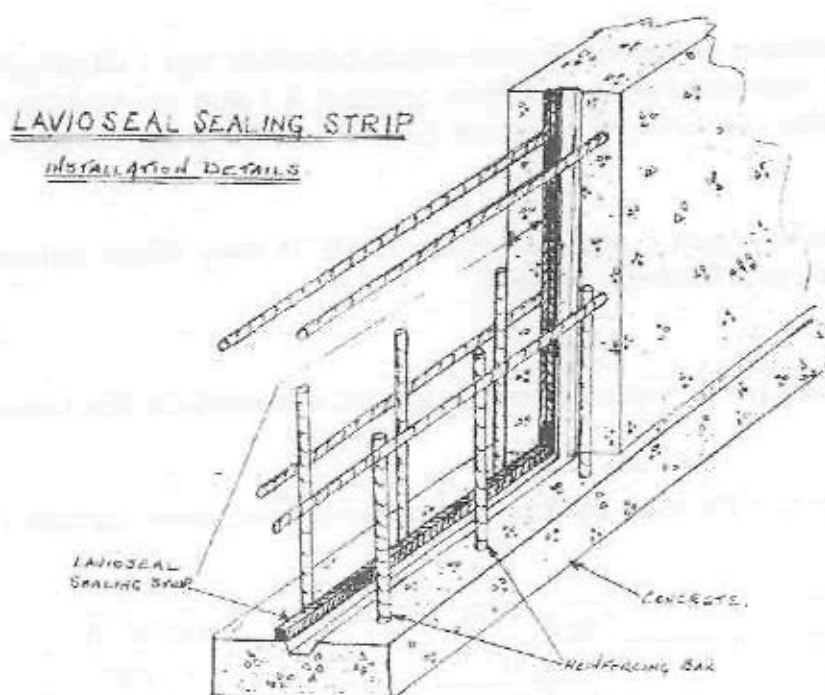
Figure 5-7. Fixing a radial water block on the free surface of the insulation without any groove in the foam.

6 Försöksmaterial

Under förstudien identifierades några utföranden av svällande material som skulle kunna användas som tätningsmaterial. Inom detta uppdrag har förnyad kontakt tagits med tillverkare, både tidigare kontaktade företag och nya. Även tillverkare av andra lämpliga utföranden har sökts. Några tillverkare har avböjt att delta i de planerade försöken. Två tillverkare har välvilligt levererat försöksmaterial.

6.1 Det bentonitbaserade materialet

Det materialprov som erhållits från Scandinavian TerraTec, agent för Laviosa Chimica SpA, är en tätningsremsa som används för betongplattor, "Lavioseal Sealing Strip". Det är avsett att placeras i skarven mellan två platsgjutna betongplattor, enligt Figur 6-1 nedan, innan den andra betongplattan gjuts. Eftersom remsan är ingjuten i betong ges den inte något utrymme att svälla. Tillverkaren rekommenderar att remsan placeras ca 5 cm från betongplattans ytteryta.



Figur 6-1. Placeringsanvisningar för Lavioseal sealing strip i skarven mellan två platsgjutna betongplattor.

Figure 6-1. Recommendations for the insertion of a Lavioseal sealing strip in the joint between two concrete elements.

Det är en elastisk remsa, som kan töjas 250 % till 350 %. Enligt tillverkaren är dess specifika densitet 1,6 - 1,7 ASTM, vilket motsvarar ca $1,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Densiteten är sannolikt tillräckligt låg för att PUR-skummet inte skall tryckas sönder när remsan tar upp vatten och sväller. Vid ingjutningen av remsan bör temperaturen inte vara lägre än -15°C och inte vara högre än 55°C. Under drift är motsvarande gränser -40°C och 100°C.

Det prov som vi fick var ca 20 mm bred och 10 mm tjock. Vid behov kan remsan tillverkas i andra dimensioner. Med ett tvärsnitt på 30 gånger 15 mm är dess vikt 0,750 kg/m.

6.2 Det superabsorbentbaserade materialet

En s k vattenblockerande tejp (WBT, Water Blocking Tape) består av ett bärmaterial, oftast ett pressat tyg, och det pulverförmiga superabsorbentpulvret. För försöken erhöles från Lantor BV två prover med något skilda egenskaper. Båda består av en polyester- och polyakrylatbas, ett s k non-woven eller pressat ark, i vilket svällande superabsorbentpulver arbetats in på ena sidan av tejp. Tejpen skärs till efter önskemål från kunden.

Den normala användningen av tejporna är som vattenblockerande tejp i elkraftkablar. Tejporna spärrar mot vattenvandring längs kabeln. Systemet är i stort sett trycklöst och superabsorbenten sväller i kontakt med vatten och fyller ut de tillgängliga tomrummen i kabeln.

Till försöken levererades tejp i rullar med en bredd på 35 mm, vilken motsvarar distanshållarnas bredd i ett DN150-fjärrvärmerör.

Tabell 6-1. Egenskaperna hos de vattenblockerande tejporna som mottagits från Lantor, enligt datablad.

Table 6-1. The properties of the water-blocking tapes received from Lantor, according to data sheet

Egenskap vid 23°C	Tejp 3E1151	Tejp 3E1160
Ytvikt vid leverans	95 g/m ²	173 g/m ²
Tjocklek vid leverans	0,35 mm	0,66 mm
Tjocklek efter 1 min ⁱ	9,5 mm	-
Tjocklek efter 2 min (slut) ⁱ	12 mm	-
Tjocklek efter 3 min ⁱ	-	10,5 mm
Tjocklek efter 10 min ⁱ	-	20 mm

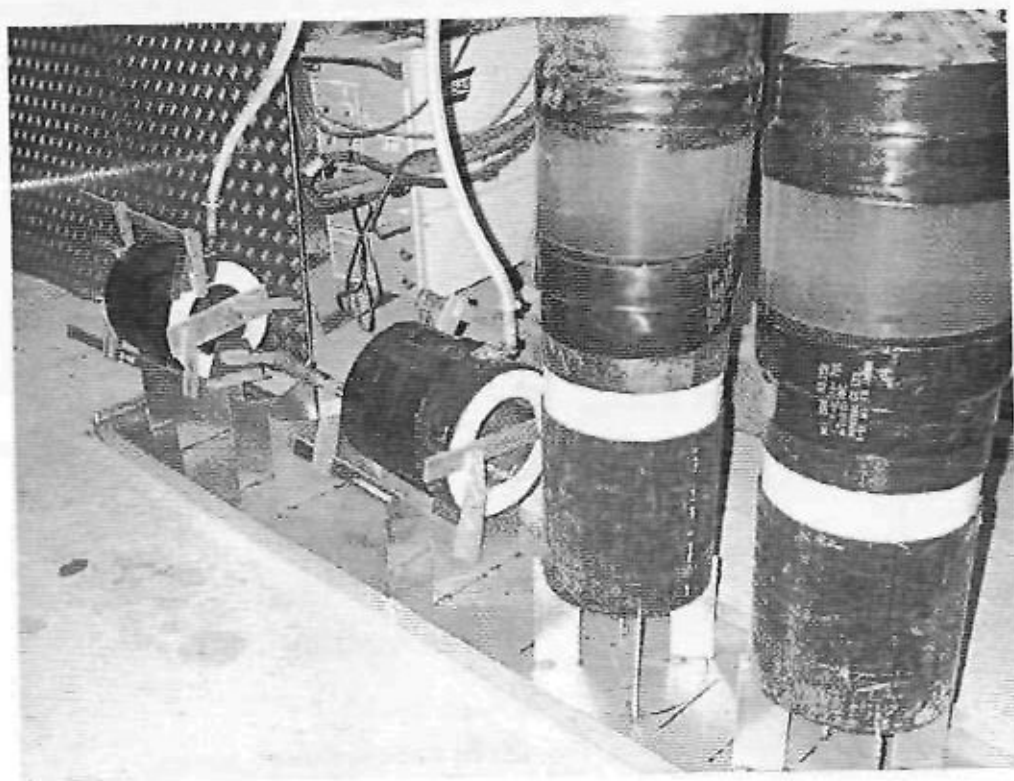
Not: i) tjocklek vid angivet antal minuter efter att tejp kommit i kontakt med avjoniserat vatten. Tejpen får svälla fritt.

7 Försöksuppställningar

Syftet med de försök som utförts inom uppdraget har varit att demonstrera och verifiera funktionen hos några av de konstruktionsförslag som tagits fram i uppdraget och beskrivits i föregående avsnitt. Försöken har genomförts med prototyper som tillverkats i laboratoriet och ej med produkter avsedda för serietillverkning. I Figur 7-1 visas ett foto över försöksuppställningen med två prover där den radiella vattenspärren testas (de liggande proven till vänster i bilden) och två prover där den axiella vattenspärren testas (de stående proven).

De genomgående principerna för testerna har varit följande: i ett fjärrvärmerör placeras tätningmaterialet på lämplig plats i isoleringsmaterialet och systemet utsätts för ett simulerat inläckage av vatten med ett tryck på 0,03 MPa, d v s 3 m vattenpelare. Efter en vecka öppnas uppställningarna och tillstånd hos skum och vattenspärr undersöks.

Frågeställningarna har bl a varit: rinner vatten igenom? Hur snabbt upphör vattnet att rinna igenom? Är systemet tätt, d v s fungerar vattenspärren, också efter ca en vecka?



Figur 7-1. Foto över försöksuppställningen med två radiella prover (till vänster i bilden) och två axiella prover (till höger i bilden).

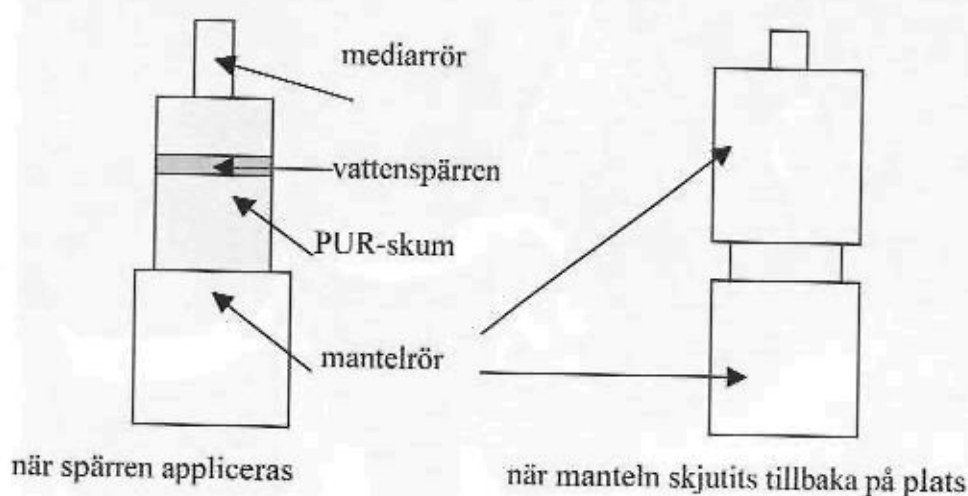
Figure 7-1. A photograph of the experimental set-up with two radial samples (to the left in the picture) and two axial samples (to the right in the picture).

7.1 Uppställning för test av den axiella spärren

För detta försök tillverkades ett DN150 fjärrvärmerör med en plastfolie mellan isolering och mantelrör för att undvika att PUR-isoleringen skulle fastna på mantelrörets insida. På detta sätt kunde mantelröret lätt dras av från isoleringen.

I Figur 7-2 visas en principskiss för testet av spärren mot axiell vattenvandring. En längd preparerat fjärrvärmerör på ca 60 cm kapades. Ungefär mitt på gjordes ett snitt runt omkretsen och mantelröret drogs upp ca 15 cm. Plastfolien mellan skum och mantel avlägsnades och ett spår med lämplig djup och bredd, 20 mm för bentonitremsan och 35 mm för tejperna, frästes eller hyvlades ut i skummet. Vattenspärren placerades i spåret varefter mantelröret sköts ner över spärren. En glipa på ca 50 mm lämnades mellan båda mantelrörhalvorna.

Ett vattenutrymme ovanför provet skapades med ett stycke polykarbonatrör som siktglas och en omvänd tratt, se fotot i Figur 7-1, till vilken en slang anslöts. I andra änden anslöts slangens till en vattenbehållare under taket, ca 3 m ovanför försöksuppställningen. Tätning mellan mantelrör och polykarbonatrör samt mellan polykarbonatrör och tratt åstadkoms med en krympmuff. Mediaröret stängdes med hjälp av en bälg.



Figur 7-2. Principskiss för placeringen av den axiella vattenspärren i proven.

Figure 7-2. A sketch illustrating how the axial water block is placed in the sample

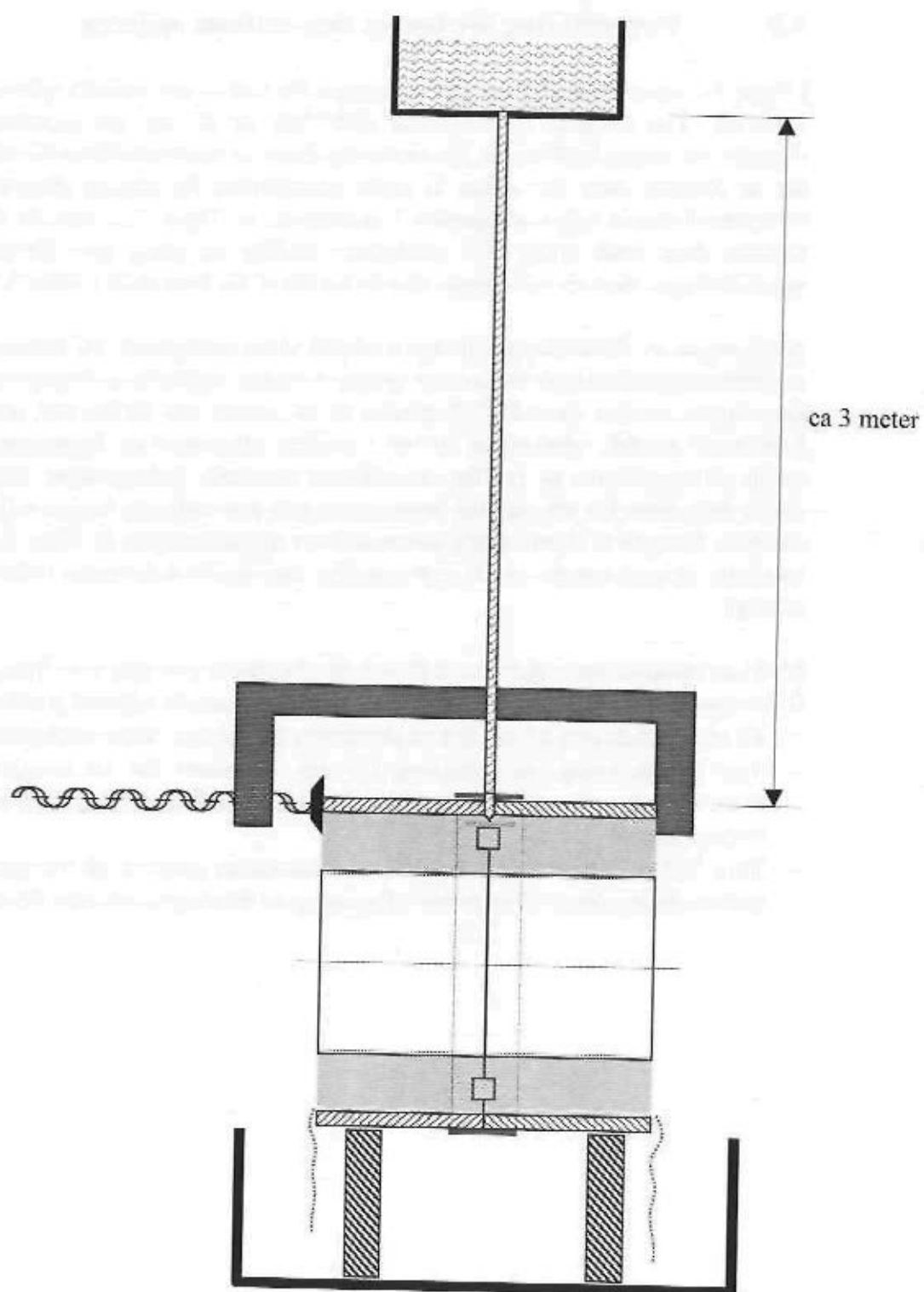
7.2 Uppställning för test av den radiella spärren

I Figur 7-3 visas en skiss över uppställningen för test av den radiella spärren mot vattenvandring. Två längder fjärrvärmerör (DN150) på 20 cm var kapades. Mediaröret slipades ner någon millimeter. En anvisning skars ur ena mantelröret för ett litet utrymme för en rörstuds som för vatten in under mantelröret. En tätning (bentonitremsa eller vattenblockerande tejp) placerades i skumytan, se Figur 7-3, och de två längderna trycktes ihop med tving. Till rörstudsen anslöts en slang som förbinder försöksuppställningen med en vattenreservoar under taket. Se även fotot i Figur 7-1.

Avtätningen av försöksuppställningen erbjöd vissa svårigheter. På samma sätt som för de försöksuppställningar där axiella spärrar testades användes en krypmuff för att tätat kontaktytan mellan de två rörlängderna så att vatten inte läcker utåt under försöken. Emellertid innebär rörstudsen ett hål i muffen alternativt ett brytmoment eller stora lokala deformationer av muffen och därmed oönskade läckagevägar. Rörstudsen gavs därför en S-form för att undvika brytmoment och den mellersta horisontella delen låg på manteln. Slangen är därmed inte centrerad över uppställningen, se Figur 7-1. Rörstudsen bäddades in med mastic så att krypmuffen inte skulle deformeras lokalt mer än nödvändigt.

Med Lavioseal-remsan gjordes ett försök där den las in i ett spår som frästs ur skummets fria ändyta på båda rörlängder. För superabsorbentbaserade tejperna gjordes flera försök:

- En tejp veckas och häftas fast på skummets fria ändyta, innan rördelarna trycks ihop
- Tejp lindas kring en plastslang (5 mm diameter) för att simulera en vattenabsorberande och svällande yta på en fast kärna. Tätningen läggs i frästa spår i isoleringens ändyta
- Tejp lindad kring en plastslang (5 mm diameter) placeras på fria ytan och pressas mellan skumytorna, dvs samma utformning av tätningen men utan frästa spår



Figur 7-3. Uppställningen för test av den radiella spärren mot vattenvandring.

Figure 7-3. A sketch of the experimental set-up for a test of the radial water block.

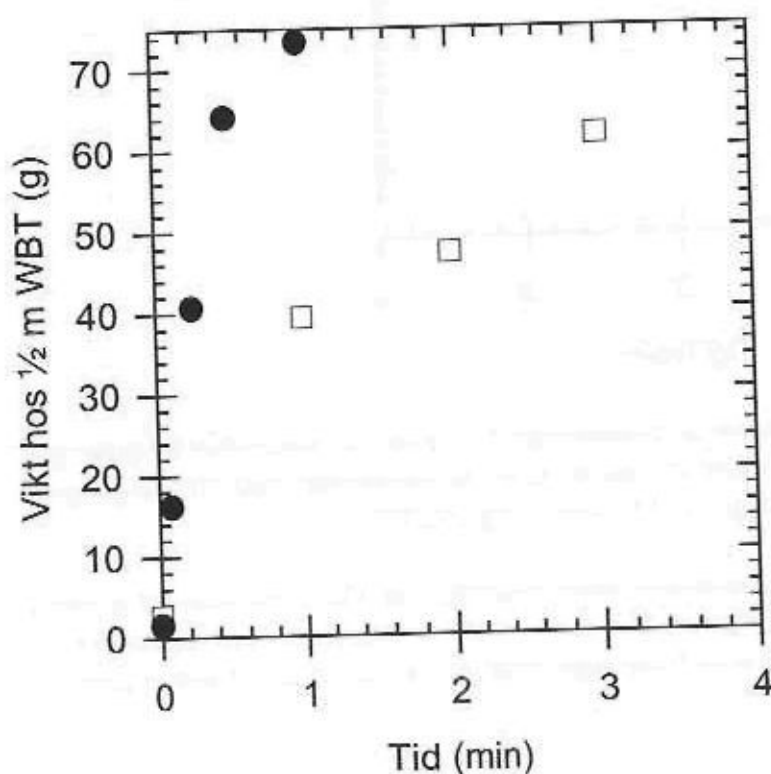
8 Loggbok över försöken och resultat

8.1 Kontroll av tätningsmaterialens egenskaper

Mottagningskontrollen bestod av en undersökning av vattenupptagning och sväll-egenskaper. Detta utfördes genom att klippa en tejpplängd, vika den på ett lämpligt sätt, väga den, bestämma tjockleken för den vikta tejpens samt lägga den i vatten (stadsvatten Stockholm) under ett bestämt antal minuter. Därefter togs den upp. Vikt och tjocklek på den vikta tejpens bestämdes. Provet torkades sedan vid 105°C i torkskåp till konstant vikt. I försöken användes en tejpplängd på 0,5 m som veks åtta gånger.

Resultaten sammanfattas i Figur 8-1 och 8-2 för båda tejpqualiteter, 3E1151 och 3E1160.

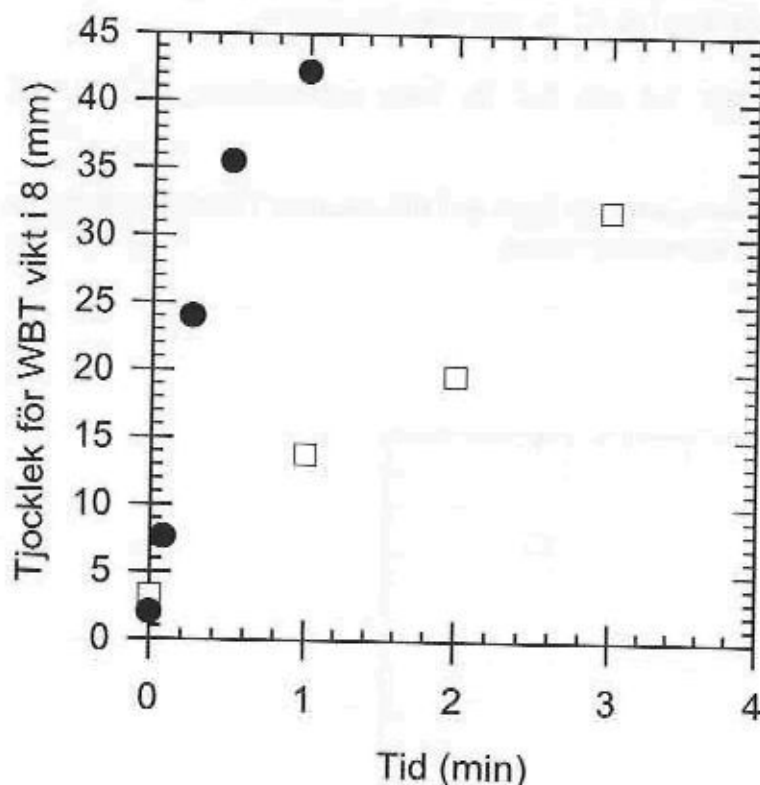
Svällhöjden, och därmed svällhastigheten, är lägre än i tillverkarens Tabell 6-1 därför att stadsvatten används i stället för avjoniserat vatten.



Figur 8-1. Vattenupptagningen som funktion av kontaktiden hos prover av vattenblockerande tejp (WBT). Symboler: ●, tejp 3E1151 och □, tejp 3E1160.

Figure 8-1. The water absorption by samples of the water blocking tape as a function of time. Symbols: ●, tape 3E1151 och □, tape 3E1160.

En bit av den snabbsvällande tejp (3E1151) hängdes upp i ett stativ med den nedre änden i en vattenbägare med en metylenblålösning. Vatten sögs upp kapillärt av tejpens och fronten mellan svälld tejp och torr tejp låg på: 30 mm efter någon minut, 50 mm efter 5-10 minuter och 90 mm efter 80 minuter. Metylenblå togs upp inledningsvis men färgfronten förflyttades inte märkbart under någon timma. Vid försökets slut konstaterades att den nedre änden som doppade i vattnet hade förlorat en stor del av sitt superabsorbentpulver.



Figur 8-2. Tjocklek som funktion av kontakttiden hos prover av vattenblockerande tejp (WBT) som får svälla fritt i vatten. Proverna på en halvmeter har vikts till åtta gånger deras tjocklek. Symboler: ●, tejp 3E1151 och □, tejp 3E1160.

Figure 8-2. The thickness of samples of water blocking tape that were allowed to swell freely in water, as a function of time. The samples, 0.5 m long have been folded to a thickness eight times the thickness of the tape. Symbols: ●, tape 3E1151 och □, tape 3E1160.

Denna kapillära diffusion skedde när tejpens fick svälla fritt. Nästa försök genomfördes med tejp som placerats a) fritt på en metallyta b) mellan metallytan och en linjal på en horisontell tejp (3E1151) med eller utan en ytterligare vikt. Vatten tillfördes med pipett i ena änden av tejpens. Resultaten är följande:

- Utan linjal tog tejpens upp allt vatten som tillfördes. Superabsorbentpulvret svällde till maximal höjd, ca 10 mm, i närheten av pipettens mynning. Fortsatt tillförsel av vatten ledde inte till någon märkbar förflyttning av svällfronten, utan vattnet spreds vidare som vätska och sögs kapillärt i gränsen mellan tejp och metalliska underlaget, vilket orsakade svällning.
- När en linjal las på tejpens begränsades svällningen till ca 5 mm. Vattnet spreds betydligt mindre än när tejpens var obelastad. Trycket som linjalen utövar är ca 0,6 kPa.
- När ytterligare vikt las på linjalen svällde tejpens ca 5 mm och svällningen spreds ännu mindre. Överskottet av vatten rann vid sidan av tejpens ut från uppställningen. Gel under linjalen trycktes ut på tejpens sidor. Trycket som linjal plus vikt utövade var ca 2 kPa.

Försöket upprepades med den andra tejpens (3E1160) som har en långsammare svällningshastighet. Vattnet spreds i den fritt svällande tejpens snabbare och längre än i den första tejpens. Spridningen begränsas om ett tryck läggs på tejpens.

I ett tredje försök placerades 10-20 mm stora Laviosealbitar i en bägare med vatten för fri svällning. Efter 1 min tog materialet upp vatten till en vattenkvot på 9%, efter 3 min till 17% och efter 5 min till ca 26%. Dimensionerna (25 mm x 6 mm) hade då ökat med någon millimeter åt båda hållen. När ett prov lämnades över natt i en bägare hade det svällt till dubbla storleken nästa morgon och dess yta hade spruckit. I sprickorna syntes trådar av ett gummiliknande material.

Mottagningskontrollen bekräftade alltså de vattenupptagande och svällande egenskaperna hos båda tejpens och bentonitremsan.

8.2 Kompatibilitet med PUR-monomererna vid skumbildningen

För att undersöka hur de vattenabsorberande och svällande materialutformningarna påverkas av kemikalierna under skumningsfasen placerades ett prov av båda tejpens och ett prov av bentonitremsan i en påse och skummades in. Några veckor senare frilades de ur skummet, se fotot i Figur 8-3 nedan.

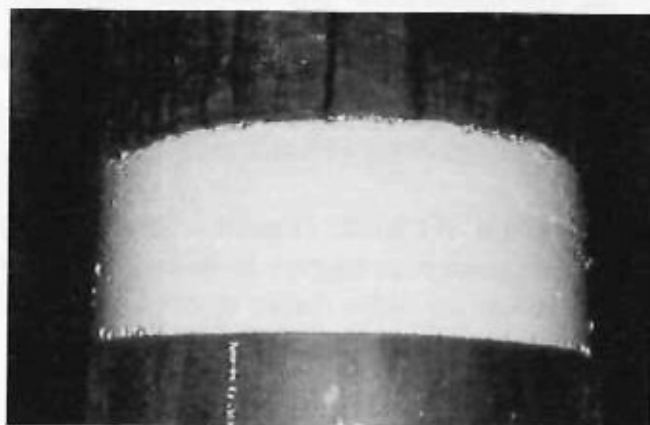
De vattenblockerande tejpens har blivit stela och gulnat, vilket tyder på att bärarmaterialet tagit upp kemikalier och att PUR bildats i detta. Skummet häftar vid ytorna men kan skrapas av relativt lätt. När bitar på ca 60 mm läggs i vatten tar de upp vatten och sväller i viss utsträckning. Efter ca 2-3 min har vatten tagits upp till en vattenkvot på ca 200 % och efter 5 min till en vattenkvot på 340 %. Svällningen är dock begränsad till 2-3 mm.

Fysiskt sett förefaller inte bentonitremsan ha förändrats: den har behållit sin elasticitet och böjlighet. Skummet har häflat vid ytan och är svår att avlägsna helt. När bitar läggs i vatten tar de upp vatten, upp till en vattenkvot på 10% under 5 till 10 minuter. Vattnet tas upp genom de rena ytor som skapats när en provbit skars av, vilket gör att ytan känns slipprig, men inte genom den ytan som exponerats för skumkemikalierna.



Figur 8-3. Foto på ett block PUR-skum med prov av vattenblockerande tejp som delvis frilagts.

Figure 8-3. A photograph of a block of PUR insulating foam with samples of the water blocking tapes that have been partially freed.



Figur 8-4. Vattnet sprids i gränsytan mellan PUR-skum och mantelrör. Det uppträder som droppar i nedre kanten av mantelröret. Ingen axiell spärr är på plats.

Figure 8-4. Water spreads in the boundary between PUR insulating foam and the casing, and appears as drops on the lower edge of the casing. There is no axial water block in this case.

8.3 Test av den axiella spärrfunktionen

I ett förförsök placerades ett provobjekt enligt Figur 7-2 med ca 10 cm vatten över den fria skumänden. Vattendroppar bildades i glipan, i nedre kanten av det uppskjutna mantelröret, se fotot i Figur 8-4. Därmed har det bekräftats att spalten mellan skum och mantelrör utgör en väg för spridning av vattnet.

I första försöket hyvlades ett ca 1 mm djupt spår i isoleringen. Den snabbsvällande tejen 3E1151 las i två varv i spåret, med den pulverbelagda sidan utåt, mot mantelröret. Mantelröret sköts ner över den vattenblockerande tejen enligt Figur 7-2. Uppställningen anslöts till vattenreservoaren och vatten släpptes på. Vid första försöket höll inte tätningen av mediaröret utan vattnet rann ut den vägen och vattenpelaren kunde inte ges den avsedda tryckhöjden. Tätningen höll dock tillräckligt länge för att det skulle konstateras att inget vatten läckte genom spalten mellan mantelrör och skum. Utrustning anskaffades för att kunna utföra nya försök med en förbättrad tätning för mediaröret. Under tiden upprätthölls en vattennivå på ett par centimetrar ovanför fria skumytan vilket motsvarar en ca 10 cm hög vattenpelare ovanför tejen. När en ny tätning av mediaröret installerats satts hela uppställningen under tre meter vattenpelare igen. Inget läckage kunde konstateras under de närmaste timmarna. Uppställningen lämnades under vattentryck under något mer än en vecka.

I det andra försöket frästes ett ca 10 mm djupt och 20 mm brett spår i skummet, i vilket bentonitremsan pressades ner. Mantelröret sköts ner över tätningen. Det bör noteras i detta sammanhang att passningen mellan bentonitremsan och mantelröret var snäv och att detta gav upphov till en betydande friktion. När vatten släpptes in i uppställningen konstaterades att vatten kom förbi tätningen i spalten mellan mantelröret och skummet. Efter 20 minuter övergick strilarna i glipan till droppar. Efter en timme var det enstaka droppar och vatten släpptes på till fullt tryck (0,3 kPa). Vid dagens slut hade läckaget upphört. Uppställningen lämnades under vattentryck i ca en vecka.

Efter en vecka var uppställningarna fortfarande täta. Försöken avbröts och mantelrören avlägsnades. Superabsorbenttejen var blöt på de övre 25 mm och torr de nedre 10 mm av den 35 mm breda tejen. I bentonitremsans fall konstaterades att remsan häftade vid mantelröret, se Figur 8-7. Hela remsan var fuktig och någon torr sektion kunde inte iakttas.



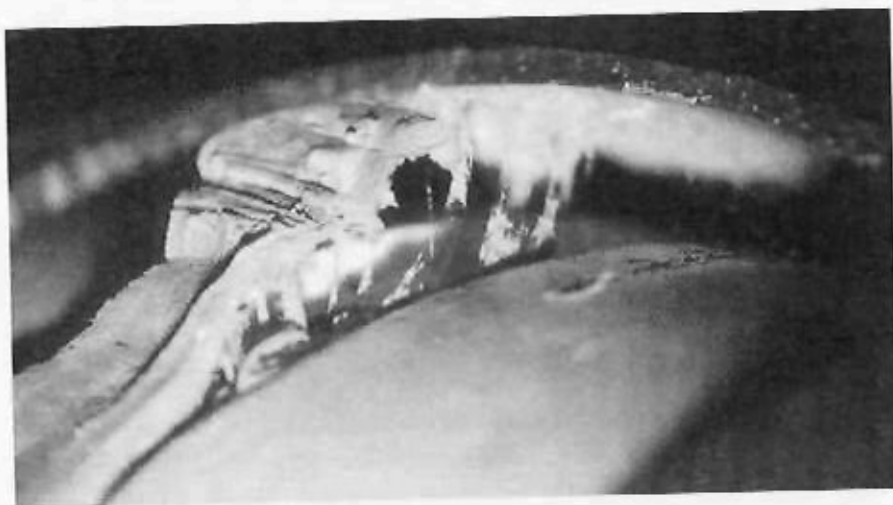
Figur 8-5. Foto över en testuppställning under tillverkning. Den vattenblockerande tejen syns som en ljusare rand vid nedre kanten av det mantelrör som bankas ner.

Figure 8-5. A photograph of a test set-up being manufactured. The water blocking tape may be seen as a light strip below the edge of the casing being knocked into position.



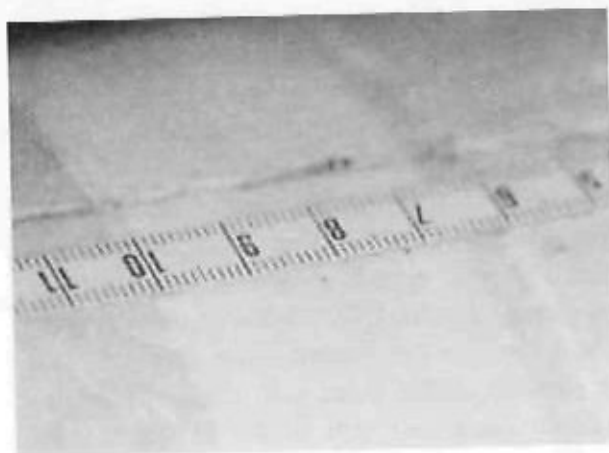
Figur 8-6. Bentonitremsan placeras på plats innan mantelröret skjuts på

Figure 8-6. The bentonite seal in place before the casing is slid back in position.



Figur 8-7. Den fuktiga bentonitremsan vidhäftar vid mantelröret.

Figure 8-7. The moist bentonite strip adheres to the casing.



Figur 8-8. Den vattenblockerande tejpens efter något mer än en vecka under vatten. Gränsen mellan fuktig och torr tejp går vid ca 8,8 cm märket.

Figure 8-8. The water blocking tape after somewhat more than a week under water. The boundary between moist and dry tape is approximately at the 8.8 cm mark.

I ett tredje försök testades den långsamtsvällande tejen (3E1160). Ett 1-2 mm djupt och 35 mm brett spår frästes i skummet. De större ihåligheter som iaktogs tätades med mastic och två varv av tejen las in i spåret innan mantelröret sköts tillbaka på plats. När vatten släpptes på gled mantelröret uppåt och tejprensan blottades. Friktionen mellan mantelröret och isoleringen (inkl tejen) var inte tillräcklig för att motstå kraften som en 3 m hög vattenpelare på tvärsnittsarean ($\Phi=280$ mm) innebär. Den frilagda tejen tog dock upp det vatten som läckt igenom spalten mellan mantelrör och isolering. Tejen svällde ett tiotal millimetrar över skummets yta inom någon minut.

Provobjektet monterades ner och ny tejp las in. I nästa försök släpptes vattnet på långsammare, men inte långsamt nog: även i detta fall drogs mantelröret upp. Det beslutades att avbryta försöket därför att tejpens funktion hade demonstrerats i första försöket och därför att problemet bedömdes vara specifik för laboratorieuppställningen. I en tillämpning är det verkliga problemet snarare läckaget förbi spärren.

8.4 Test av den radiella spärrfunktionen

Liksom för den axiella spärrfunktionen bestod förförsöken för de radiella testerna av en bekräftelse att vatten kan läcka i radiell riktning i frånvaro av vattenspär. Då ett moderat tryck las på fogen med tvingarna, se Figur 7-1, rann vatten i stort sett obehindrat i spalten mellan båda rörstycken. Läckaget minskade väsentligt när trycket ökades, men blev aldrig mindre än en vattenstråle från mediarörets hjässa ner i mediaröret.

I det första försöket frästes ett spår i båda rörstyckens isolering. En bentonitremsa las in i spåret på ena stycket, se Figur 8-9, och det andra stycket passades in så att bentonitremsan fyllde även dess spår. Styckena satts ihop med skruvtvingar och fogen försågs med ett krymphan. Provstycken anslöts till vatten. Inledningsvis läckte uppställningen, men läckageflödet minskade efter hand. När ventilen till vattentanken under tanken stängdes upphörde läckaget under ett par minuter. Efter detta par minuter trängdes emellertid vatten igenom mellan isolering och mantelrör och läckte ut denna väg. Läckaget i radiell riktning återupptod. Det konstaterades att skummet hade skjutits ut ca 2 mm på yttre änden av båda rörstycken. Slutsatsen som drogs var att denna radiella vattenspär hade uppfyllt sin funktion, men att vattnet hittat längs en lättare väg att spridas längs, d v s spalten mellan mantelrör och isolering. Det bedömdes även vara möjligt att vattentrycket varit så högt att det skjutit isär rörstyckena. Alternativt har den svällande bentonitremsan utövat ett sådant tryck att rörstyckena skjutits isär. Försöket avbröts. När uppställningen öppnades efter några dagar mättes bentonitremsan. Det hade svällt från 20 mm till 23 mm i bredd, d v s i axiell riktning, och från 5 till 10 mm i radiell riktning. Vattenkvoten bestämdes till 74% genom torkning vid 105°C i torkskåp.

I de fortsatta försöken testades den snabbsvällande tejen med de tre utformningarna som beskrevs i avsnitt 7.2 ovan.



Figur 8-9. Foto som visar placeringen av bentonitremsan i det spår som frästs ut i skumytan på det ena rörstycket.

Figure 8-9. A photograph showing the insertion of the bentonite sealing strip in the groove on the surface of the foam on one of the pipe pieces.



Figur 8-10. Bentonitremsans utseende efter att försöket genomförts.

Figure 8-10. The appearance of the bentonite strip after the experiment.



Figur 8-11. Den veckade vattenabsorberande tejpens placering på isoleringens ändyta. I bilden syns även den studs genom vilken vatten tillförs i gränsytan mellan mantelrör och skum innan den placerats i rätt läge.

Figure 8-11. The water-blocking tape has been folded and attached to the free surface. In the photograph is also shown the pipe releasing water in the boundary between casing and foam before it has been placed into position.

I det första försöket (veckad tejp som häftats på ytan) kunde endast ett litet läckage iaktas i radiell riktning. Däremot letade sig vatten igenom spalten mellan isolering och mantelrör, vilket gav upphov till ett minst lika stort, om inte större, läckageflöde. Efter några timmar var uppställningen blöt vilket försvårade vidare observationer. Vattentillförseln avbröts. När vatten tillfördes på nytt efter en vecka läckte vattnet även i radiell riktning. Gel efter den superabsorberande tejpens kunde då iaktas på röränden i gränsen mellan isoleringsskum och mantelrör.

I det andra och tredje försöket med tejp lindad på slang gick det inte att få tätt även med ett högre tryck med skruvtvingarna. Vatten läckte igenom även efter en vecka.



Figur 8-12. Tillverkning av en O-ring med superabsorbenttejp och slang.

Figure 8-12. Preparing a seal with water-blocking tape and a PVC hose.

9 Analys av resultaten

9.1 Erfarenheter från försöken

Syftet med försöken var att verifiera idén med en vattenabsorberande och svällande komponent integrerad i skarvens konstruktion. Denna komponent fungerar som en spärr för vattenvandringen i ett fjärrvärmerör.

Normalt läcker inte en korrekt monterad skarv förrän den skadats, vilket kan ta lång tid. Försöksobjekten har därför utformats så att spärrkomponenterna utsätts för vatten under kontrollerade förhållanden utan att vänta på att t ex skarven mellan mantelrör och skarvhylsa skall ha genombrutits. Det innebär att avsteg gjorts från de verkliga förhållanden, såväl under tillverkningen och inplaceringen av spärrkomponenterna som under driften.

För att den axiella spärrkomponenten skulle kunna placeras mellan mantelrör och PUR-skum har ett preparerat fjärrvärmerör beställts. Mantelröret har kunnat dras av, dock mödosamt, och skjutas tillbaka efter att spärren placerats på avsett ställe. En vandringsväg har skapats för vatten i det smala glappet. Försöken tillåter därmed en verifiering av funktionen. De säger däremot inget om hur spärrkomponenten påverkas av processerna under tillverkningen av fjärrvärmeröret.

På samma sätt förhåller det sig för den radiella spärrkomponenten. Genom att pressa två rörstycken mot varandra har efterliknats en spalt som möjliggör vattenvandring mot mediaröret. Försöken tillåter därmed en verifiering av funktionen men säger inget om hur spärrkomponenten påverkas av processerna vid montage. I verkligheten torde denna typ av spalt dessutom ha varierande bredd och geometri.

Det vattentryck som kan förväntas på en spärrkomponent beror på grundvattnets nivå. I standarder om provning av vattenblockerande tejp för elektriska kablar specificeras att trycket skall vara 1,5 m vattenpelare (IEC, 1999). En fjärrvärmeledning läggs sannolikt grundare. Ett normalt djup är snarare 0,6 m till 0,8 m från marknivå till fjärrvärmerörets hjässa. För försöken har dock valts ett tryck på 3 m vattenpelare i syfte att utsätta spärrkomponenterna för något mer krävande förhållanden. En medveten risk för ett negativt besked (idén fungerar inte) orsakad av orealistiska förhållanden har därmed tagits.

Vatten släpptes på spärrarna i snabb takt, vilket kan avvika från förhållanden i ett verkligt läckage där vattnet tränger in långsamt. Fullt vattentryck (3 m vattenpelare eller 0,03 MPa) applicerades också relativt tidigt.

Temperaturen på det vatten som användes i försöken var rumstempererat. Inför försöken fylldes förrådsbehållaren på från en varmvattenberedare därför att det var mest praktiskt. Inledningsvis kan vattnet i försöken ha varit något varmare. Några försök att efterlikna ett läckage av hetvatten från ett mediarör har dock inte gjorts.

Resultaten från försöken är kvalitativa snarare än kvantitativa - spärren fungerar eller fungerar ej. Att kvantifiera läckageflöden i ett försök var svår genomförbart i vissa uppställningar. Avsaknaden av kvantitativa uppgifter innebär att rangordning av olika konstruktioner inte låter sig göras.

9.2 Den axiella spärrkomponenten

Tre försök har genomförts med olika utformningar av axiella spärren. I två av försöken, bentonitremsa och den snabbsvällande vattenblockerande tejp, tätade spärren så som avsikten var. Funktionen hos ett spärrskikt torde därmed vara verifierad.

I bentonitremsans fall tog det någon tid innan flödet av vatten förbi skiktet upphörde. Förhållanden är också orealistiska, med ett vattentryck på 0,03 MPa (3 m vattenpelare) som appliceras i stort sett ögonblickligen. Om läckageflödet är långsammare och trycket mindre är det inte uteslutet att bentonitremsan kan svälla i takt med att vatten tillförs och tätar även initialt.

Den snabbsvällande tejp, tätade omedelbart, men det skall observeras att 0,03 MPa vattentryck inte las på förrän efter några dagar. När mantelröret avlägsnades konstaterades att endast en del av tejp, blivit fuktig. Med förbehåll för vad långtidsförsök kan utvisa förefaller det som om användningen av denna tejp, 3E1151, kan ge den avsedda funktionen.

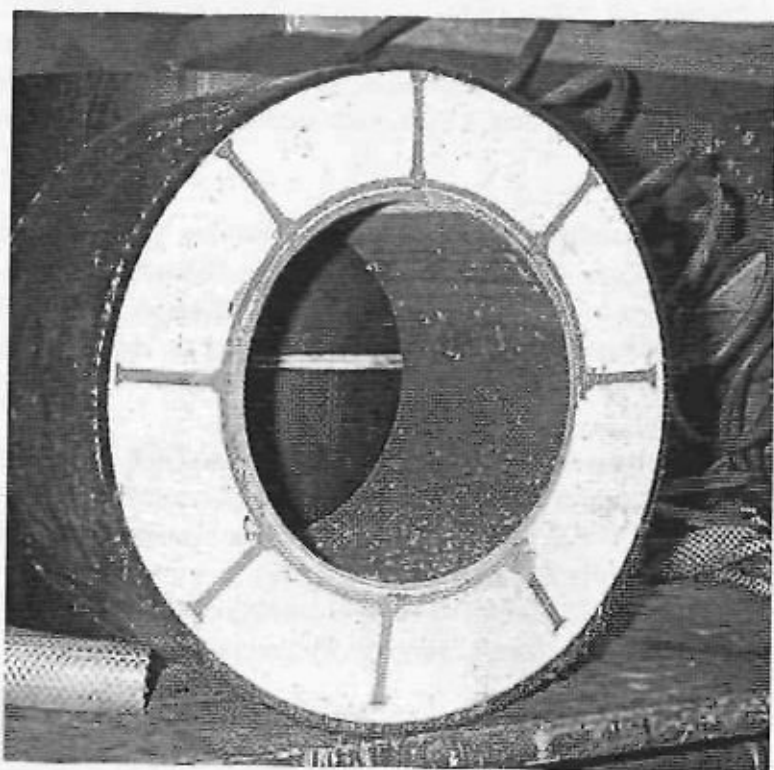
I den andra, mer långsamsvällande tejpens fall las det höga vattentrycket tidigt och vattnet drog av mantelröret. När mantelröret dragits av och vatten rann ut svällde tejp, märkbart. Att funktionen inte kunnat verifieras i detta försök beror snarare på andra faktorer än tejp, och spärren. Uppenbarligen var trycket, 0,03 MPa, och rörändens area tillräckligt stora för att kraften skulle räcka för att dra upp mantelröret. Tejp, svällde alltså för långsamt för att åstadkomma en motkraft i form av friktion mot mantelröret.

Utformningen av spärren i kontaktytan mellan isolering och mantelröret som en remsa av bentonit eller superabsorberande tejp är ändamålsenlig. Som påpekats ovan förefaller den bästa placeringen vara i kombination med distanshållarna. Spärren är prefabricerad och påverkas inte av förhållanden under montage. Det kan vara svårt att placera en spärr i ett godtyckligt läge på mantelrörets inre yta men distanshållarna kan användas för att ge ett stöd åt spärren. Funktionen erhålls på korta avstånd från en läcka genom mantelröret, oavsett om röret kapas eller ej, om varje distanshållare utrustas med en spärr.

Ett antal återstående frågor måste besvaras om konstruktion med distanshållare och applicering av distanshållare med vattenspärr. För att spärrkomponenten skall ge den avsedda funktionen får den inte omflytas av isoleringen när fjärrvärmeröret skummas. I så fall skulle spärren inte vara tillgänglig för det vatten som vandrar i gränsytan eftersom skummet i praktiken är ogenomträngligt för vatten. Det innebär att spärren måste limmas på ytan eller pressas fast av distanshållarna. Om den absorberande ytan på en tejp behandlas med något lim förloras en del av svällförmågan (de Boer, 2001). Idag ger distanshållarna ett stöd åt mantelröret när detta träs på mediaröret, se fotot i Figur 9-1.

Distanshållarnas anliggning mot mantelröret i detta skede är bättre än fotot ger sken av. När skummet bildas och expanderar utövar det ett tryck mot mantelröret, vilket leder till att detta töjs ut. Skall en remsa som sitter på distanshållarna kunna pressas fast mot mantelröret även efter skumning bör distanshållarna konstrueras om i viss utsträckning.

Ett resultat när bentonitremsa och vattenblockerande tejp dränktes i isolering var att absorptionsförmågan och svällförmågan minskade. Detta torde bero på att skummet blockerar vattnets väg till materialen. Detta är positivt då man inte behöver befara att någon läckageväg skall uppstå i gränsytan mellan skummet och spärrmaterialet. Emellertid innebär det att kontaktytan mellan spärrmaterialet och mantelröret måste hållas fri från skummet. Det borde inte vara omöjligt.



Figur 9-1. Ett tvärsnitt i ett fjärrvärmerör genom en distanshållare. Observera att mantelröret är i kontakt med distansen upptill men att avståndet mellan mantelröret och distansen är som mest ca 10 mm nertill. Mantelröret och mediaröret är inte perfekt koncentrisk.

Figure 9-1. A cross-section through a district heating pipe passing through a distance. Please note that the casing is in physical contact with the topmost branch, but that the distance to the casing is up to 10 mm on the bottom side. Media pipe and casing are not perfectly concentric.

Vidhäftningen av den vattenmättade och svällda bentonitremsan mot mantelröret, se fotot i Figur 8-7, är till fördel. Det innebär att någon läckageväg i gränsytan mellan bentonitremsa och mantelrör inte är aktuell när spärren träder i funktion.

I vissa konstruktioner av fjärrvärmerör placeras en ändgavel av polyeten. Dess skänklar ger en mekanisk tätning i skarven mellan gavel och mantelrör (Johansson, 2000). Eventuellt kunde den mekaniska tätningen förbättras med vattenblockerande tejp.

9.3 Den radiella spärrkomponenten

I samtliga försök med en radiell spärrkomponent läckte vatten igenom spärren. Eftersom funktionen hos den axiella spärren kunnat verifieras är det svårt att acceptera att radiella spärrfunktioner omöjligen skulle kunna erhållas. Troligen kräver utformningen av den radiella spärrkomponenten ytterligare konstruktionsarbete innan dess funktion kan verifieras.

Ett stöd för tanken att en radiell spärrfunktion kan erhållas finns i iakttagelserna under försöket med bentonitremsan. Under en kort period upphörde läckaget. När läckaget tog fart igen observerades att isoleringen förskjutits utåt. Vidare, läckageflödet genom ett veckat ark tejp på rörändens yta var betydligt mindre än om rörstycken pressats mot varandra med motsvarande eller något högre tryck.

Ett 0,03 MPa vattentryck är ett jämförelsevis högt tryck. Den radiella spärren fungerar inte perfekt men tillräckligt väl för att vattnet skall pressas ut genom andra tillgängliga vägar. I detta fall erbjuder spalten mellan mantelrör och isolering i det preparerade fjärrvärmeröret en jämförelsevis lätt väg. Tryck och area är också tillräckligt stora för att ge en kraft som pressar isär rörstyckena, motsvarande det som händer för den långsamt svällande tejpens i den axiella spärren.

I försöken provades enkla konstruktioner, O-ring i spår, ark och O-ring som pressas mellan två ytor. Bentonitremsa i spår är en lösning enligt Figur 5-6 med en del av spärren i fabriksgjutna isoleringen och en del i platsgjutna isoleringen. Användningen av bentonitremsan på detta sätt förefaller vara ändamålsenlig, eftersom läckaget kunde upphöra en stund i försöket. Det är däremot inte säkert att konstruktionerna med tejp ger en tillfredsställande effekt. I det fall som upplevdes som bäst, veckad tejp, kunde hela tejpbredden användas som stoppsträcka för vatten medan i de två fallen med O-ring var stoppsträckan jämförelsevis kort och uppenbarligen otillräcklig.

Konstruktionsfrågan förefaller vara mer komplicerad än i den axiella spärrens fall. Det var uppenbarligen svårt att i försöksuppställningarna åstadkomma ett sådant tryck på rörens ändtor att läckagevägen skulle tätas mekaniskt. Troligen ger ett verkligt fjärrvärmerör ett helt annat mottryck och det kan inte uteslutas att tätningen av läckagevägen i så fall skulle lyckas.

Som det konstaterats i avsnitt 5.3 bör den radiella spärren vara försänkt både i rörisoleringen och i skarvisoleringen. Denna utbredning i axiell riktning ger större möjlighet att klara spalter med olika bredd mellan rör- och skarvisoleringen, när spalterna uppstår. Det kan emellertid vara så att spåret behöver vara betydligt djupare än bentonitremsans bredd medgett i detta projekt. Man skulle kunna ge spärren ett kilformat eller ellipsformat utseende. Bildligt uttryckt slås kilen in i fjärrvärmerörets ände till t ex halva

dess bredd och kringgjøtes vid skarvskumningen på den andra halvan av dess bredd. När vattnet tränger in i fjärrvärmeröret och söker sig mot mediaröret genom spalten mellan fabriksskummet och skarvskummet blockeras den raka vägen i denna spalt fysiskt av spärrkomponenten. Vattnet letar sig då vidare, t ex i spalten mellan isoleringen och spärrkomponenten.

Den vidhäftning mellan isolering och bentonitremsa eller vattenblockerande tejp som iakttagits i skumbildningsförsöken i avsnitt 8.2 innebar sannolikt att bentoniten eller superabsorbenten inte haft möjlighet att ta upp vatten och svälla. Det är dock inte troligt att vattnet sprids denna väg. Omständigheter under skumningen kan emellertid innebära att isoleringen senare krymper och släpper kontakten med den fabriksgjutna isoleringen (eller ändgaveln) och även med en eventuell radiell spärr. Det är svårt att förutsäga vad som skulle hända, i ett sådant fall, med den vattenblockerande funktionen.

En lika god vidhäftning mellan kil och fabriksgjutna isoleringen kan sannolikt inte åstadkommas när en kil slås in i röränden. Om kilen består av, eller är belagd med ett tillräckligt tjockt lager av, vattenabsorberande material kommer detta att svälla och täta. Med en tillräckligt bred kil kan en stoppsträcka erhållas som är tillräckligt lång.

I avsnitt 5.4, Montering av den radiella spärren, beskrevs möjligheten att använda distanshållare för att fästa en radiell spärr på den fria röränden, se Figur 5-7. Själva spärren kan dock inte bara placeras på ytan av den fabriksgjutna isoleringen som i figuren. Den måste vara försänkt i båda isoleringar av de skäl som beskrivits ovan. I övrigt kunde en sådan konstruktionslösning med distanshållare tillåta en mer noggrann placering av radiella spärren.

9.4 Val av material

I en spärrkomponent med syftet att förhindra vandring av vatten kan såväl bentonitbaserade material som superabsorbentbaserade material användas. Inget har framkommit under försöken som skulle entydigt utesluta något av materialen.

De utformningar av materialen som provats fungerar väl för den axiella spärrkomponenten. Såväl bentonitremsa som vattenblockerande tejp kan utgöra stommen i konstruktionen av en spärrkomponent.

Det är däremot svårare att dra slutsatser om val av material för den radiella spärren eftersom inget av de enkla och lättgenomförbara konstruktionerna har uppvisat den funktion som efterfrågades. Möjligen kan bentonitremsan utgöra en mer framkomlig utvecklingsväg än tejp, som för övrigt inte är avsedd att användas i sådana situationer. En tänkbar teknisk lösning kunde vara att tillverka en kil med en beläggning av bentonit eller superabsorbent.

Materialen bör skyddas för vatten. Erfarenheten under denna studie är att de kan hanteras i luft och utan särskilda försiktighetsåtgärder mot normal luftfuktighet.

9.5 Funktion och krav

Inledningsvis var ambitionen att utveckla ett enda tätsystem som skulle kunna användas oberoende av om skjuthylsa eller inpassningshylsa utnyttjas. Som det konstaterades i avsnitt 2.2 måste systemet placeras innanför skarvhylsa och mantelrör, vilket gör det till en spärr mot vattenvandring när vatten trängt in i skarvutrymmet snarare än en tätning.

De olika krav som kan ställas på denna komponent, se avsnitt 3.3, är dock inte förenliga med varandra. Om spärrfunktionen delas på två komponenter eller delsystem, en radiell spärr och en axiell spärr, kan dessa krav emellertid uppfyllas.

Denna utredning visar att den axiella spärrfunktionen bör åstadkommas genom att modifiera fjärrvärmerören, snarare än genom att införa en särskild komponent i själva skarvutrymmet. Den radiella spärren mot vattenvandring måste dock appliceras i skarvutrymmet.

En slutsats som kan dras från försöken är att en radiell spärrkomponent inte bör användas ensam. Om ett vattentryck byggs upp i fjärrvärmeröret vid denna spärr kommer vattnet att söka andra vägar, bl a axiellt, längs fjärrvärmeröret. Detta innebär en risk för utsträckta vattenskador. Användningen av en axiell spärrkomponent är inte lika känslig: visserligen kan skarven och mediaröret i skarven fortfarande skadas av inträngande vatten, men den axiella spärren begränsar skadornas omfattning till inläckaget.

9.6 Andra typer av tätningar

I denna utredning har studerats spärrskikt för vandringen av vatten i en skarv och i fjärrvärmerör. Villkoret för studien var att funktionen skulle kunna upprätthållas oberoende av skarvkonstruktionen i övrigt.

Det bör dock inte glömmas att denna svällande och tätande funktion även skulle byggas in som en tätning i några skarvkonstruktioner, nämligen system med skjuthylsor, jämför ursprungliga förslaget, t ex del A-C i Figur 2-1. Utrymmet under en modern skjuthylsa som svetsas är visserligen begränsat, men åtminstone den vattenblockerande tejp som borde kunna användas där. Om inte annat kan en tejp ge en extra säkerhet under en krympslang.

10 Slutsatser och rekommendationer

10.1 Slutsatser

De slutsatser som erhållits vid utvärdering av försöken leder kan sammanfattas enligt följande:

- De provmaterial som användes har förutsättningar att kunna användas som spärrskikt.
- Den axiella spärrfunktionen har verifierats med både bentonit och superabsorbenter.
- Konstruktionsfrågorna torde inte utgöra något större problem för den axiella vattenspärren.
- Resultaten är inte lika tillfredsställande för den radiella spärrfunktionen. Troligen kan en spärr appliceras på fria skumytan och ge den eftersökta funktionen, men konstruktionsfrågan är svårare än för den axiella spärren. Den återstår att lösa.

Dessa slutsatser diskuteras mera ingående i det följande.

De mål och krav som formulerats i inledningen av studien innebär att det inte är en mekanisk tätning mot läckage och inträngning av vatten i en skarv som skall utvecklas, utan en spärrkomponent mot vattenvandring i skarven och i fjärrvärmerör när vattnet trängt in.

Efter en analys av förhållanden i en skarv och vattnets vandringsvägar drogs slutsatsen att spärren bör bestå av två komponenter:

- En axiell spärr som hindrar vattnets vandring längs fjärrvärmeröret, i gränsytan mellan PUR-skummet och mantelrörets insida. Det är en fördel om man kan utnyttja distanshållarna för att placera denna vattenspärr i rätt position. Denna spärr är prefabricerad i och med den monteras in i samband med att röret tillverkas och den är skyddad för den yttre miljön vid skarvmontaget. Utrustas varje distanshållare med en spärr kan funktionen erhållas även när rör kapas i fält.
- En radiell spärr som hindrar vattnets vandring i gränsytan mellan fabriksgjutna skummet och platsgjutna skummet, från mantelröret till mediaröret. Den bör appliceras både i platsgjutna isoleringen och i fabriksgjutna isoleringen för att systemet skall kunna ta upp variationer i spaltbredd, när en spalt uppträder i denna gränsyta. Den kan till stor del prefabriceras men manuella grepp i fält kan inte helt undvikas. Eftersom den skall sitta i rörändens fria skumyta är det svårare att helt skydda den mot miljön under transport och under skarvmontaget.

Prototyper eller modeller av den axiella spärren och av den radiella spärren har byggts och provats. Den axiella spärrs funktion har verifierats. Både bentonitremsa och vattenblockerande tejp uppvisade en förmåga att täta för vattnets inträngning mellan isolering och mantelrör. Försöken med en radiell spärr har inte varit lika framgångsrika. Konstruktionsfrågorna förefaller vara svårare att lösa. Mot bakgrunden av framgången med den axiella spärren är det dock svårt att tro att den radiella spärren inte skulle kunna realiseras.

Det konstaterades också, att med den axiella spärren begränsas följdskadorna på en fjärrvärmeledning. Detta kan vara gott nog och funktionen är inte beroende av att det finns någon radiell spärrfunktion. För den radiella spärren förhåller det sig på annat sätt. När radiella spärren träder i funktion hindrar den vandring av vatten till mediaröret och korrosion där. Det vatten som tränger in söker sig då andra vägar och kan tänkas spridas längs övriga vägar. Användningen av en radiell spärr förutsätter att det även finns en axiell spärr om man önska begränsa skadorna till endast en skarv.

Den huvudsakliga slutsatsen är alltså att det finns goda förutsättningar att utveckla en axiell vattenspärr. En del utvecklingsarbete återstår innan en sådan komponent kan integreras i ett fjärrvärmerör, bl a måste ytan mellan spärrmaterialet och mantelröret vara fri från isolering, men arbetet torde vara begränsat. Förutsättningarna för utvecklingen av en radiell spärr förefaller vara goda, men det utvecklingsarbete som behövs är nog mer omfattande än i den axiella spärrens fall.

10.2 Rekommendationer

Ur en allmän teknisk synpunkt är den axiella spärren mot vandring av vatten längs mantelrörets insida genomförbar. Utvecklingsarbetet är tämligen begränsat och skulle kunna redan nu utföras i nära samarbete med tillverkarna av fjärrvärmerör. Det är lämpligt att utnyttja distanshållarna för att placera en axiell spärrkomponent i fjärrvärmeröret. Vi rekommenderar att denna funktion utvecklas.

Den radiella spärren skulle behövas för att hindra skador på mediaröret. Emellertid är konstruktionsfrågorna svårare att lösa än i den axiella spärrens fall.

Resultatet från genomförda försök visar att fortsatta insatser bör inriktas på att bearbeta följande konstruktionsfrågor:

- Hur hindra att axiella spärren blir helt omfluten av skum vid inskumningen av ett fjärrvärmerör och därmed otillgänglig för spärrfunktionen i gränsytan mellan skum och mantelrör?
- Kanske kan distanshållarna utformas så att detta kan åstadkommas? Samma typ av fråga gäller för den radiella spärren.

Någon nyttoanalys eller analys av ekonomiska aspekter har dock inte gjorts. Det kan vara lämpligt att utföra dessa.

Önskan att uppnå maximala nyttan, d v s ett enda system med de önskade funktionerna, låt vara med två komponenter, som kan användas i alla typer av skarvar, bör inte förhindra en utveckling av dellösningar. Som påpekats i avsnitt 9.6 kan användningen av svällande och tätande material för att tät system med skjuthylsa leda till en tätning av denna typ av skarv, i stället för att bara hindra att vattnet sprids vidare i fjärrvärmeledningen.

10.3 Vattenspärr, larm och larmfunktion

I skissen i figur 3-1 visas två vägar för vattenvandring, i gränsytan mellan mediarör och isolering och i gränsytan mellan larmtråd och isolering, som inte behandlats i detta uppdrag.

Kravet att vattnet som läcker ut från mediaröret till isoleringen skall ha fri väg till larmtrådarna innebär att det är inte intressant att spärra för den första vägen, ej heller i radiell riktning ut från mediaröret till larmtrådarna. Närvaron av vatten där innebär en skada på mediaröret som måste upptäckas och lagas så tidigt som möjligt.

För att hindra att inträngande vatten utifrån diffunderar till mediaröret har den radiella spärren redning placerats mellan larmtrådarna och mantelröret. Emellertid innebär vatten som kommer från omgivande mark en risk för skador, men då på ledningens mantel och därmed följdskador på isoleringen. Skall man vara konsekvent bör inte heller detta vattens väg till larmtrådarna spärras.

Liknande resonemang kan också föras för den axiella spärrkomponenten. Önskemålet är att spärrfunktionen och larmfunktionen integreras så att, när spärren aktiveras av vatten och begränsar följdskadorna, den samtidigt tillåter larmsystemet att ge ett utslag för vattnet. Denna kombination av funktioner har inte studerats i denna utredning därför att målet var i första hand att verifiera spärrfunktionen. Detta önskemål som komplicerar konstruktionen av spärrarna bör ingå i uppsättningen av villkor i den fortsatta utvecklingen.

Gränsytan mellan larmtråd och isolering identifierades som en väg för vattenvandring i avsnitt 2.2 men den har därefter inte diskuterats i denna rapport. Eftersom en spridning av vatten längs larmtråden innebär svårigheter att lokalisera felet kan det vara intressant att placera en spärr (bentonitremsa eller superabsorbenttejp) kring larmtrådarna, inte över hela trådens längd, men på lämpliga ställen.

Frågan om lämplig utformning av en kombinerad spärr- och larmfunktion behöver utredas från två perspektiv: dels möjligheterna att åstadkomma en spärrkomponent med de material som är tillgängliga, dels villkoren för att larmsystemet skall ge utslag även om det kombineras med ett system som har rollen att hindra att vatten sprids. I detta uppdrag har inte ingått att behandla vattenspärr vid larmtrådar eller att kombinera vattenspärren eller tätningen med en larmfunktion.

En utvecklingsinsats som behandlar dessa funktioner för både radiell och axiell spärr kan inriktas mot att besvara följande frågor:

- Hur kombinera spärrfunktionen med en larmfunktion? För att ge larm måste vattnet ha fri tillgång till larmtrådarna, medan spärrkomponentens funktion är att förhindra att vattnet sprids.
- Kanske kan distanshållarna användas i en utformning av ett kombinerat system?

11 Referenser

- Sjöblom, R, Bjurström, H och Cronholm, L-Å, 1999, Tätning av skarvar i fjärrvärmerör med hjälp av material som sväller i kontakt med vatten, Svenska Fjärrvärmeföreningen, rapport FOU 1999:40
- Bergström, G och Nilsson, S, 1999, Ändgavlar på fjärrvärmerör, Svenska Fjärrvärmeföreningen, rapport FOU 1999:38
- Bergström, G och Nilsson, S, 2001, Vattenläckage genom otät mantelrörskarv, Svenska Fjärrvärmeföreningen, rapport FOU 2001:51
- De Boer, R S, Lantor BV, 2000, brevväxling och diskussioner per telefon
- Johansson, G, Powerpipe Systems AB, 2000, muntligt meddelande
- Möller, L, Scandinavian TerraTec AB, 2000, muntligt meddelande
- SS-EN 253:1995, Fjärrvärmesystem - Förisolerade rörsystem med fast förband mellan värmeisolering och medierör respektive mantelrör för markförlagd distribution av hetvatten - Rörenhet bestående av raka medierör av stål, värmeisolering av hård urtancellplast (PUR-skum) och mantelrör av etenplast (PE)
- IEC 60840, 1999-02, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to 150 kV ($U_m = 170$ kV) - Test methods and requirements
- Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB), 2001, information som återges med SKB:s tillstånd

Rapportförteckning

Samtliga rapporter kan beställas hos Fjärrvärmeföreningens Förlagsservice.
Telefon: 08 - 677 26 00, Telefax: 026 - 24 90 10

Nr	Titel	Författare	Publicerad
FORSKNING OCH UTVECKLING - RAPPORTER			
1	Inventering av skador på befintliga skarvar med CFC-blåsta respektive CFC-fria fogskum	Hans Torstensson	maj-96
2	Tryckväxlare - Status hösten 1995	Bror-Arne Gustafson Lena Olsson	maj-96
3	Bevakning av internationell fjärrvärmeforskning	Sture Andersson Gunnar Nilsson	maj-96
4	Epoxirelining av fjärrvärmerör	Jarl Nilsson	sep-96
5	Effektivisering av konventionella fjärrvärmecentraler (abonnentcentraler)	Lena Råberger Håkan Walltun	okt-96
6	Auktorisation av montörer för montage av skarvhylsor och isolering Former och utvärdering	Lars-Åke Cronholm	okt-96
7	Direkt markförlagda böjar i fjärrvärmeledningar	Jan Molin Gunnar Bergström	dec-96
8	Medierör av plast i fjärrvärmesystem	Håkan Walltun Heimo Zinko	dec-96
9	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisole- ring av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	dec-96
10	Dynamiska värmelaster från fiktiva värmebehov	Sven Werner	mars-97
11	Torkning av tvätt i fastighetstvättstugor med fjärrvärme	H. Andersson J. Ahlgren	maj-99
12	Omgivningsförhållandenas betydelse vid val av strategi för ombyggnad och underhåll av fjärrvärmenät. Insamlingsfasen	Sture Andersson Jan Molin Carmen Pletikos	dec-97
13	Svensk statlig fjärrvärmeforskning 1981-1996	Mikael Henriksson Sven Werner	dec-97
14	Korrosionsrisker vid användning av stål- och plaströr i fjärrvärmesy- stem - en litteraturstudie	Peter Tarkpea	dec-97
15	Värme- och masstransport i mantelrör till ledningar för fjärrkyla och fjärrvärme	Daniel Eriksson Bengt Sundén	dec-97
16	Utvärdering av fuktinträngning och gasdiffusion hos gamla kulvertör "Hisings-Backa"	Ulf Jarfelt	dec-97
17	Kulvertförläggning med befintliga massor	Jan Molin Gunnar Bergström Stefan Nilsson	dec-97
18	Värmeåtervinning och produktion av frikyla - två sätt att öka markna- den för fjärrvärmedrivna absorptionskylmaskiner	Peter Margen	dec-97
19	Projekt och Resultat 1994-1997	Anders Tvärne	mars-98

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
20	Analys av befintliga fjärrkylakunders kylbehov	Stefan Aronsson Per-Erik Nilsson	mars-98
21	Statusrapport Trycklösa Hetvattenackumulatorer	Mats Lindberg Leif Breitholtz	maj-98
22	Round Robin test av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ulf Jarfelt	maj-98
23	Mätvärdesinsamling från inspektionsbrunnar i fjärrvärmesystem	Håkan Walletun	juni-98
24	Fjärrvärmerörens isolertekniska långtidsegenskaper	Ulf Jarfelt Olle Ramnäs	juni-98
25	Termisk undersökning av koppling av köldbärarkretsar till fjärrkylanät	Erik Jonson	juni-98
26	Reparation utan uppgrävning av skarvar på fjärrvärmerör	Jarl Nilsson Tommy Gudmundson	juni-98
27	Effektivisering av fjärrvärmecentraler – metodik, nyckeltal och användning av driftövervakningssystem	Håkan Walletun	apr-99
28	Fjärrkyla. Teknik och kunskapsläge 1998	Paul Westin	juli-98
29	Fjärrkyla – systemstudie	Martin Forsén Per-Åke Franck Mari Gustafsson Per-Erik Nilsson	juli-98
30	Nya material för fjärrvärmerör. Förstudie/litteraturstudie	Jan Ahlgren Linda Berlin Morgan Fröling Magdalena Svanström	dec-98
31	Optimalt val av värmemätarens flödesgivare	Janusz Wollerstrand	maj-99
32	Miljöanpassning/återanvändning av polyuretanisolerade fjärrvärmerör	Morgan Fröling	dec-98
33	Övervakning av fjärrvärmenät med fiberoptik	Marja Englund	maj-99
34	Undersökning av golvvärmesystem med PEX-rör	Lars Ehrlén	apr-99
35	Undersökning av funktionen hos tillsatser för fjärrvärmevatten	Tuija Kaunisto Leena Carpen	maj-99
36	Kartläggning av utvecklingsläget för ultraljudsflödesmätare	Jerker Delsing	nov-99
37	Förbättring av fjärrvärmecentraler med sekundärnät	Lennart Eriksson Håkan Walletun	maj-99
38	Ändgavlar på fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	sept-99
39	Användning av lågtemperaturfjärrvärme	Lennart Eriksson Jochen Dahm Heimo Zinko	sept-99
40	Tätning av skarvar i fjärrvärmerör med hjälp av material som sväller i kontakt med vatten	Rolf Sjöblom Henrik Bjurström Lars-Åke Cronholm	nov-99

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
41	Underlag för riskbedömning och val av strategi för underhåll och förnyelse av fjärrvärmeledningar	Sture Andersson Jan Molin Carmen Pletikos	dec-99
42	Metoder att nå lägre returtemperatur med värmeväxlardimensionering och injusteringsmetoder. Tillämpning på två fastigheter i Borås.	Stefan Petersson	mars-00
43	Vidhäftning mellan PUR-isolering och medicrör. Har blåstring av medicröret någon effekt?	Ulf Jarfelt	juni-00
44	Mindre lokala produktionscentraler för kyla med optimal värmeåtervin-ningsgrad i fjärrvärmesystemen	Peter Margen	juni-00
45	Fullskalörsök med friktionsminskande additiv i Herning, Danmark	Flemming Hammer Martin Hellsten	feb-01
46	Nedbrytningen av syrereducerande medel i fjärrvärmenät	Henrik Bjurström	okt-00
47	Energimarknad i förändring Utveckling, aktörer och strategier	Fredrik Lagergren	nov-00
48	Strömförsörjning till värmemätare	Henrik Bjurström	nov-00
49	Tensider i fjärrkylennät - Förstudie	Marcus Lager	nov-00
50	Svensk sammanfattning av AGFWs slutrapport "Neuartige Wärmeverteilung"	Heimo Zinko	jan-01
51	Vattenläckage genom otät mantelrörsskarv	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01
52	Direktförlagda böjar i fjärrvärmeledningar Påkänningar och skadegränser	Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01
53	Korrosionsmätningar i PEX-system i Landskrona och Enköping	Anders Thorén	feb-01
54	Sammanlagring och värmeförluster i närvärmenät	Jochen Dahm	feb-01
55	Tryckväxlare för fjärrkyla	Jan-Olof Dalenbäck Lars Eliasson	mars-01
56	Beslutsunderlag i svenska energiföretag	Peter Svahn	sept-01
57	Skarvtätning baserad på svällande material	Henrik Bjurström Pal Kalbantner	okt-01
58	Täthet hos skarvar vid återfyllning med befintliga massor	Lars-Åke Crönholm Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	okt-01

FORSKNING OCH UTVECKLING – ORIENTERING

1	Fjärrkyla: Behov av forskning och utveckling	Sven Werner	jan-98
2	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för perioden 23/5 – 30/9 1996.	Lars Lindgren Conny Nikolaisen	jan-98

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
3	Symposium om Fjärrvärmeforskning på Ullinge Wärdshus i Eksjö kommun, 10-11 december 1996	Lennart Thörnqvist	jan-98
4	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för period 2. 1/1 - 31/12 1997.	Conny Nikolaisen	juli-98
5	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolerad av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	sept-99

Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB och Statens Energi-
myndighet bedriver forskningsprogram inom området fjärrvärme
hetvattenteknik och fjärrkyla.

SVENSKA FJÄRRVÄRMEOFÖRENINGENS SERVICE AB

101 53 STOCKHOLM

Besöksadress: Olof Palmes gata 31, 6 tr

Telefon 08 - 677 25 50, Telefax 08 - 677 25 55

Förlagsservice, beställning av trycksaker:

Telefon 026 - 24 90 00, Telefax 026 - 24 90 10