



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

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



Rapport

R19:1987

**Långtidsegenskaper hos
syretätade plaströr och isolering
för GRUDIS-kulvertar**

Mats Ifwarson

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

Ser

Byggforskningsrådet

R19:1987

LÅNGTIDSEGENSKAPER HOS SYRETÄTADE PLASTRÖR
OCH ISOLERING FÖR GRUDIS-KULVERTAR

Mats Ifwarson



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811849-4
från Statens råd för byggnadsforskning till Studsvik
Energiteknik AB, Nyköping.

REFERAT

I rapporten redovisas resultat från åldringsförsök på syretätade plaströr samt isolermaterial för GRUDIS-system. Rapporten ger också preliminära rekommendationer för typprovning av syretätade plaströr och termisk isolering.

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

R19:1987

ISBN 91-540-4685-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

		<u>Sid</u>
1	INLEDNING	1
2	PROBLEMSTÄLLNING	2
3	MÅLSÄTTNING	4
4	ARBETSUPPLÄGGNING	5
	4.1 Materialkvaliteter	5
	4.1.1 Syretätade plaströr	5
	4.1.2 Isolermaterial	6
5	EXPERIMENTELLT	7
	5.1 Syretätade plaströr	7
	5.1.1 Tryckprovning vid förhöjd temperatur	7
	5.1.2 Temperaturcykling - Tryckcykling	7
	5.1.3 Syremätning	8
	5.2 Isolermaterial	8
	5.2.1 Exponeringstest vid förhöjd temperatur	8
	5.2.2 Kryp försök	10
	5.2.3 Sättningsförsök	10
	5.2.4 Systemtest	11
	5.2.5 Vattenpermeabilitet	11
	5.2.6 Värmeförlustmätning	12
6	RESULTAT	14
	6.1 Syretätade rör	14
	6.1.1 Tryckprovning vid förhöjd temperatur	16
	6.1.2 Temperaturcykling - Tryckcykling	18
	6.1.3 Syremätning	22
	6.2 Isolermaterial	24
	6.2.1 Exponeringstest vid förhöjd temperatur	25
	6.2.2 Kryp försök	29
	6.2.3 Sättningsförsök	31
	6.2.4 Systemtest	33
	6.2.5 Vattenpermeabilitet	36
	6.2.6 Värmeförlustmätning	40

INNEHÅLLSFÖRTECKNING forts

	<u>Sid</u>	
7	REKOMMENDATIONER FÖR TYPPROVNING	43
7.1	Syretätade plaströr	43
7.1.1	Termisk beständighet	44
7.1.2	Tryckcykling	46
7.1.3	Temperaturcykling	48
7.1.4	Systemavstängning	50
7.2	Isolermaterial	51
7.2.1	Termisk beständighet - luft	52
7.2.2	Termisk beständighet - fuktig miljö	53
7.2.3	Kryp	55
7.2.4	Sättning	57
7.2.5	Vattenpermeabilitet	57
7.2.6	Övriga typprovnings- förslag för isoler- material	60
8	DISKUSSION	61
8.1	Slutsatser - syretätade plaströr	64
8.2	Slutsatser - isolermaterial	65
	REFERENSFÖRTECKNING	67
	BILAGOR	
A	Tabeller	
B	Figurer	

FÖRORD

Bakgrund till GRUDIS-projektet är att konkurrens-situationen för de centrala distributionssystemen försämrats de senaste åren.

Det beror på en ökad konkurrenskraft från de individuella systemen där alternativ med lägre värmekostnader än oljeeldning börjar introduceras, dels medför det ökande energisparandet att värmetätheten i potentiella fjärrvärmeområden sjunker.

Vidare sker fjärrvärmeutbyggnaden i områden med succesivt lägre värmetäthet. De mest lönsamma områdena har byggts ut först. Vill man fortsätta utbyggnaden tvingas man exploatera områden med avsevärt lägre värmetäthet. Det innebär att distributionskostnaden (investerings- och värmeförlustkostnaden) står för en relativt sett ökande del av den totala värmeproduktionskostnaden.

I ett längre tidsperspektiv är det emellertid angeläget att hushålla bättre med energin genom att utnyttja spillvärme, inhemska bränslen och stora värmepumpar. Samtliga dessa system fordrar ett ledningsbundet värmedistributionssystem. GRUDIS (GRUppcentraler och DIStribution) syftar till att fylla behovet av ett effektivt värmedistributionssystem med lägre installations- och driftkostnader än de system som används idag. Projektet har pågått under en treårsperiod med en målsättning enligt följande:

UTVECKLA	initiera utvecklingen av komponenter och system.
STUDERA	komponenter och system i laboratorie- och fältförsök.
VÄRDERA	teknik och ekonomi
DEMONSTRERA	fullständiga lösningar för en ekonomisk anslutning av gruppcentraler.

En genomgång av möjligheterna visar att det främst är med nya material i kombination med effektivare läggning och bättre system som kostnadsbesparingar kan göras.

Arbetet inom delprojektet "Undersökninga av långtidsegenskaper hos syretätade plaströr" och isolering för GRUDIS-kulvertar" har främst inriktats på att säkra livslängden på de material som bör ingå i en flexibel kulvert.

1986-04-10

Sören Persson
Projektledare "GRUDIS"

1 INLEDNING

Inför kommande bristsituation på energiområden framstår en effektivare energivanvändning som ett av de viktigaste medlen att hålla tillbaka energiförbrukningen. Inom lokalkomfortsektorn utgörs förbrukningen främst av lågtemperaturvärme. Lågtemperaturvärme uppstår normalt som restprodukt vid processindustrin eller kraftvärmeverk. Ett mycket angeläget område för en effektivare distributionsteknik är att skapa underlag för mottrycksproduktion inför en kärnkraftavveckling. I ett sådant scenario kommer även perifera bostadsområden att bli intressanta om tillräckligt billig teknik kan utvecklas. Även i samband med fastbränsleeldning kommer det att bli nödvändigt att utnyttja centrala förbränningsanläggningar och mindre fjärrvärmenät i större omfattning än idag.

Behoven av bättre teknik finns således och genom att utnyttja moderna plaströr kan transporten och fördelningen av varmvatten ske till en betydligt lägre kostnad än den teknik som används idag (1 - 2). En annan stor fördel med plast i stället för stål i ledningsnäten är dessutom att rören är korrosionsbeständiga och tål syresatt vatten, vilket bland annat möjliggör lagring av varmvatten i öppna system. Intresset för plast i energiförsörjningssystem växer för närvarande mycket starkt över hela världen och Sverige har idag en ledande position på detta område.

Den materialtekniska delen inom GRUDIS-projektet (GRUppcentral - DIstribution) syftar till att få fram rekommendationer för typprovning av ingående materialkomponenter.

2 PROBLEMSTÄLLNING

En helplastkulvert för GRUDIS består i princip av ett mediarör i plast, isolering och en mantel. Vad gäller mediaröret så finns idag tillgängliga material, typ tvärbunden polyeten (PEX) och polybuten (PB), som klarar de livslängdskrav som ställs för ett GRUDIS-system (3). Rekommendationer för typprovning och tillverkningskontroll för dessa mediarör har tidigare tagits fram inom GRUDIS-projektet (4).

Alla plaströr är mer eller mindre permeabla för syre och vatten. Indiffunderat syre kan ge upphov till korrosionsskador på stålkomponenter i systemen. Olika tekniska metoder för att syretäta plaströr har tidigare undersökts inom GRUDIS-projektet (5, 6). Resultaten visar att det är fullt möjligt att reducera syrediffusionen långt under de värden som krävs för att några korrosionsskador skall uppträda. Långtidsegenskaperna hos dessa syretätade plaströr är dock okända.

Vad gäller isolermaterial till GRUDIS-system så har en inventering av tänkbara material genomförts inom ett tidigare GRUDIS-projekt (3). Vad gäller långtidsegenskaperna hos flera av dessa isolermaterial så är de till stora delar okända.

Flexibla mantelrör för GRUDIS-kulvertar utgörs vanligen av polyeten (PEH, PEM, PEL). Det vanligaste polyetenmaterialet utgörs av PEH (högdensitetspolyeten). För styva konstruktioner typ hållrörssystem kan även polyvinylklorid (PVC) användas. Långtidsegenskaperna för dessa mantelrörsmaterial är relativt välkända. Långtidsdokumentation finns bland annat framme

för dräneringsrör, tryckvattenrör och markavlopps-
rör.

I föreliggande projekt har huvudsakligen lång-
tidsegenskaperna hos syrespärrade plaströr och
termisk isolering undersökts.

3 MÅLSÄTTNING

Målsättningen med projektet har varit att visa på minst ett syretätat plaströr och minst ett isolermaterial som uppvisar tillräckligt goda långtidsegenskaper för att användas i ett GRUDIS-system. Om detta inte är möjligt skall ett testprogram för utvärdering av långtidsegenskaperna hos syretätade rör samt isolermaterial kunna presenteras.

Målsättningen med projektet kan vidare konkretiseras i följande frågeställning:

- Klarar plaströr med plast/metallfoliebarriär de tryck- och temperaturkrav, som kommer att ställas i ett GRUDIS-system, med bibehållna barriärsegenskaper?
- Kommer de intressantaste isolermaterialen att klara kraven i en GRUDIS-kulvert?
- Kommer vattenpermeabilitet hos mediarröret att medföra problem?

4 ARBETSUPPLÄGGNING

Projektet har huvudsakligen inriktats på experimentella försök. Arbetet har omfattat följande tre moment.

- 1 Tryck- och temperaturcykling samt termisk åldring av intressanta syretätade plaströr.
- 2 Fortsatt vattenpermeabilitetsmätning på kompletta kulvertar.
- 3 Långtidsprovning av isolering med hjälp av krypförsök, sättningsförsök och termisk åldring.

Projektet har utförts under tiden 1984-07-01 till 1986-01-31.

4.1 Materialkvaliteter

4.1.1 Syretätade plaströr

Totalt har åtta stycken olika syretätade rör undersökts. I Tabell A.1 redovisas en kodning och karaktärisering av de olika rörtyperna. Totalt har fyra rör med metallspärr och fyra rör med plastspärr undersökts. För rörmaterial 197 ligger ett tjockt (0.5 mm) ihopvalsat Al-skikt i mitten av rörväggen. Spänningsmässigt tar Al-skiktet i detta fall upp all last varför röret närmast kan betraktas som ett plastlinat metallrör. De flesta undersökta rören utgörs av kommersiella golvvärmerörskvaliteter (max 60°C och max 6 bar). Rörmaterial 197 används också till radiatorrör. Det bör påpekas att rörmaterial 197 anger tillåtet tryck på 10 bar vid max 95°C. Vidare är rörkvalitet 227 och 228 försedda med text som rekommenderar rören för 6 bar och 95°C.

4.1.2 Isolermaterial

Aldringsförsök har utförts på totalt sju olika skumkvaliteter. I Tabell A.2 redovisas en kodning och karaktärisering av de olika materialen. Från de i Tabell A.2 upptagna isolermaterialen har provbitar uttagits för åldring i torr luft och fuktig luft. Vidare har sättningsförsök och krypförsök utförts. Undersökningen har koncentrerats till skum av polyeten (PE), tvärbunden polyeten (PEX) samt polyuretan (PUR).

För att studera vattenpermeabiliteten genom plaströr och dess effekt på isolermaterialen har fem olika kulverttyper undersökts. I Tabell A.3 återfinns en kodning och beskrivning av de olika kulverttyperna.

Vidare har en systemtest utförts på tre olika kulverttyper för att undersöka hur isoleringen motstår den termiska utvidgning av mediaröret. De olika undersökta kulverttyperna framgår av Tabell A.4.

5 EXPERIMENTELLT

5.1 Syretätade plaströr

5.1.1 Tryckprovning vid förhöjd temperatur

För att undersöka långtidsegenskaperna hos syrespärrade rör har tryckprovning vid förhöjd temperatur genomförts. Tryckprovningstrustningen är av egen konstruktion och principen visas i Figur B.1. Trycknoggrannheten vid de aktuella trycken uppgår till $\pm 5 \cdot 10^{-3}$ MPa. Rören belastas med invändigt statistiskt tryck vid olika temperaturer. Temperaturnoggrannheten är bättre än $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Provningsen sker med rören fyllda med vatten invändigt. På utsidan har endast luft använts. Det använda vattnet är avjoniserat.

Tryckprovningen har utförts vid 110°C och 95°C . Efter varierande tider har rören visuellt inspekterats. Vid inspektion har rören hela tiden varit trycksatta. Rörlängden hos de undersökta rören uppgår till 300 mm. De framräknade spänningsvärdena (σ) är baserade på hela rörtjockleken inklusive syrespärr och eventuellt skyddsskikt.

5.1.2 Temperaturcykling - Tryckcykling

För att undersöka inverkan av långsamma temperaturcyklingar för ett GRUDIS-system har olika syrespärrade rörslingor exponerats mellan 80°C och 50°C . Rören har hela tiden varit utsatta för ett konstant inre övertryck. Cykeltiden uppgår till 3.4 h och rören exponeras vid ca 80°C 1 h därefter sker en långsam nedgång till 50°C . Temperaturnedgången från 80°C till 50°C uppgår till ca 2.2 h. När 50°C uppnåtts höjs temperaturen åter till 80°C . Stigtiden från 50°C till 75°C är ca 0.3 h. Figur B.2 visar grafiskt temperaturcyklingen. Samtliga tempera-

turer är relaterade till vattentemperaturen inuti rören. Temperaturregleringen är kopplad till ett kapslat termoelement som befinner sig inuti ett vattenfyllt plaströr.

Rörlängden för de olika proverna varierar mellan 3 - 11 m. Böjradien hos slingorna uppgår till 0.25 - 0.35 m. Efter varierande tider har rørslingorna inspekterats visuellt. Vid inspektion har rören hela tiden varit trycksatta.

För att simulera avstängningar av ett GRUDIS-system har syretätade rørslingor tryckprovats vid 80°C i 13 dygn. Därefter har rören gjorts trycklösa vid rumstemperatur (ca 23°C) under 1 dygn. Visuell inspektion av rören har utförts under det dygn då rören varit trycklösa. Rörlängden för proverna varierar mellan 3 - 10 m och böjradien uppgår till 0.3 - 0.4 m.

5.1.3 Syremätning

För att studera hur syrepermeabiliteten förändras efter åldringsförsök har ett antal syremätningar genomförts. Försöksuppställningen för syremätning beskrivs utförligt i ett tidigare avrapporterat GRUDIS-projekt (6). Syrepermeabilitetsmätningarna har utförts vid 60°C.

5.2 Isolermaterial

5.2.1 Exponeringstest vid förhöjd temperatur

Från samtliga isolermaterial i Tabell A.2 har provbitar skurits ut med hjälp av skalpell i en särskild provprepareringsutrustning. Provbitarnas dimension är 25 mm x 25 mm x 10 mm. Samtliga provmaterial utom PEX-skummen (PEX-G1, PEX-G2) har renskurits på alla sidor. De ursprungliga

PEX-skummen var endast 10 mm tjocka. De båda största begränsningsytorna har därför i dessa fall utgjorts av den skumstruktur som erhållits vid skumframställningen. De uttagna skumbitarna har exponerats i luft vid 105, 95, 80 samt vid 70°C.

För att undersöka långtidsegenskaperna i fuktig miljö har ett begränsat antal skumkvaliteter exponerats i autoklaver innehållande vatten. Vid försöken har en vattenbehållare med en öppning på \varnothing 1 mm placerats i botten på en autoklav (\varnothing 75 mm). Isolermaterialen har sedan placerats i en behållare av rostfritt nät över vattenbehållaren. Någon direktkontakt mellan vattnet i behållaren och isolermaterialen har alltså inte skett. Autoklaverna har sedan tillslutits och ställts i värmeskåp vid 95°C och 80°C.

Efter olika exponeringstider har 2 - 3 stycken provbitar tagits ut. Provbitarnas dimension har uppmätts och för prover exponerade i autoklaver har även viktsmätningar utförts. Vidare har visuell inspektion av provbitarna genomförts. För att mekaniskt kunna karaktärisera materialen har kompressionsprovning utförts på de olika skumproverna. Provningen har utförts i en JJ Lloyd Instruments T5002. Provningen har genomförts vid rumstemperatur (23°C). Vid försöken har kompressionskraften bestämts vid en kompression på 50 %. Vid försöken har en kompressionshastighet på 2.5 mm/min använts.

5.2.2 Kryp-försök

Isoleringen måste vid förhöjd temperatur motstå den belastning som utgörs av det vattenfyllda mediaröret. Denna belastning är dock relativt liten jämfört med den belastning som erhålls vid den termiska utvidgningen av mediaröret. För att undersöka hur isoleringen deformeras med tiden, under belastning, har ett större antal krypförsök genomförts vid förhöjd temperatur. Försöksapparaturen visas i Figur B.3. Provbitar med en dimension 25 mm x 25 mm x 20 mm respektive 25 mm x 25 mm x 30 mm har skurits ut och belastats med olika vikter. Efter olika belastningstider har avståndet mellan belastningsplattorna uppmätts med skjutmått.

Provningen har utförts vid 70°C och 35°C. Totalt har tre PE-skum och ett PEX-skum undersökts. Belastningen på isoleringen har varierats så att den motsvarar mellan 1.7 till 40 gånger den belastning som utgörs av ett vattenfyllt mediarör.

5.2.3 Sättningsförsök

Den termiska längdutvidgningen av mediaröret kan förorsaka en deformation av isolermaterialet. Detta gäller främst för mjuka isolermaterial med begränsad tryckhållfasthet. För att undersöka vad som händer med skummaterialet efter avlastning har ett antal sättningsförsök genomförts vid 70°C och 35°C i luft. Totalt har tre PE-skum och ett PEX-skum undersökts. Provbitar av dimension 25 mm x 25 mm x 20 mm respektive 25 mm x 25 mm x 30 mm har komprimerats till 20 % respektive 40 % i en speciell provfixtur. Försöksfixturen visas i Figur B.4. Efter olika tider har isolerproven avlastats vid provningstemperaturen.

Aterhämtningen hos provet har registrerats upp till ca 330 h. Uppmätningen av skummen har skett med skjutmått. Efter avlastning i ca 330 h har proven åter komprimerats.

5.2.4 Systemtest

För att undersöka hur den termiska utvidgningen av mediaröret påverkar isoleringen har ett mindre systemtest genomförts. Tre olika kulvertar har kopplats samman i ett system. Försöksuppställningen framgår av Figur B.5. De ingående kulverttyperna redovisas i Tabell A.4. Samtliga mediarör har fixerats före provningen. Mediarörets placering i kulverten har bestämts genom att en mätsticka stuckits in genom kulverten på ett antal mätställen. Systemet har sedan temperaturcyklats mellan 60°C och 80°C med hjälp av cirkulerande vatten från två förrådstankar med tempererat vatten. Trycket i systemet uppgår maximalt till 0.2 bar (cirkulationspumpen). Systemets temperaturcyklingstid är 14 dagar med en uppehållstid av 7 dygn vid varje temperatur. Efter olika tider har mediarörens läge i kulvertarna bestämts med hjälp av en mätsticka. Innan provet avslutats har försökskretsen undersökts med värmekamera (AGA Termovision System 750) för att studera om en ökad värmeavgång kan konstateras där mediarören bockats ut. Avslutningsvis har en visuell avsyning av isolering genomförts.

5.2.5 Vattenpermeabilitet

På de i Tabell A.3 angivna kulverttyperna har vattenpermeabilitetsundersökningar genomförts. Kulvertproverna har monterats i en vattencirkulationskrets, vars utseende visas i Figur B.6. Vatten av 95°C cirkuleras genom mediarören. Trycket i systemet uppgår till 4.5 bar.

Efter olika exponeringstider har kulvertproverna tagits ut och rengjorts noggrant på insidan av mediarören. Proverna har sedan vägts på en våg med en noggrannhet på 0.1 g.

Från vissa kulvertprover har efter nedkylning sågats ut prover från isoleringens insida mot dess utsida. Därefter har fuktinnehållet bestämts på de olika provbitarna. Detta för att undersöka hur fuktgradienten varierar genom isolerväggen. Proverna har efter nedkylning och sågning vägts fuktiga. Proverna har sedan torkats till konstant vikt vid 70°C i 3 dygn. Kontroll vid 105°C i 2 dygn har genomförts för att studera om ytterligare fuktavgång sker. Efter dessa kontrollvägningar har endast torkning skett för prover vid 70°C i värmeskåp i 3 dygn. Efter torkning i värmeskåp har provbitarna förvarats i excikator före vägning. Provbitarnas volym har bestämts efter torkning och vägning genom att proverna sänkts ner i en 100 cm³ byrett med en volymnoggrannhet av 0.1 cm³.

5.2.6 Värmeförlustmätning

För kulverttypen K1 under 5.2.5 har värmeförlustmätningar genomförts. Värmeförlustmätningarna har utförts på oexponerade och exponerade prover med fuktig isolering.

Kulvertens längd har varit densamma (945 mm) och samma typ av ändtätning och kopplingar har använts. Kulvertarna har anslutits med 6 mm teflonledning och isolerats upp i båda ändar. Genom kulvertrören har sedan cirkulerats vatten av 90°C under 24 h med en yttemperatur utanför manteln av 23°C. Manteltemperaturen uppmättes under isolerat termoelement och erhåll konstant värde efter ca 1 h. Termoelement har placerats

inuti rören dels 20 mm från ena änden och dels i mitten av kulverten (420 mm från ena änden). Efter 24 h har cirkulationen avstängts med hjälp av två små ventiler placerade på 6 mm rören ca 250 mm från kulvertarnas ändar. Temperaturredgången på det instängda vattnet har registrerats på skrivare. Tilläggsisoleringen vid ändarna har avpassats så att avsvälningstemperaturen vid kulvertens ena ände och i mitten av kulverten givit samma värden. Efter kalibreringsförsök har sedan prov genomförts för oexponerad och exponerad kulvert. Det bör påpekas att detta avsvälningförsök inte är tillräckligt utprovat för att användas som en standardtestmetod. Ytterligare provning och dokumentation av metoden är därför nödvändig.

6 RESULTAT

6.1 Syretätade rör

Totalt har över 40 rörprover tryckprovats i luft vid 110°C och 95°C. De rör som vid visuell inspektion uppvisat defekta spärrskikt typ sprickor och delaminering har avbrutits. Totalt löper idag 13 prover vidare med en längsta löptid av 6 700 h.

Undersökningen syftar till att genom accelererad provning fastställa livslängden för hela rörprodukten. Av speciellt intresse är att bestämma livslängden för syrespärren inklusive adhesivskikt. Några belastningsklasser för olika GRUDIS-system med avseende på temperatur och tryck har ännu inte bestämts. Men vad gäller temperaturbelastningen har man tidigare (4) räknat med en "högtemperaturvariant" och en "lågtemperaturvariant". De olika varaktigheterna visas i Tabell 1.

Tabell 1

Förslag till temperaturvaraktighetskurvor för ett GRUDIS-system.

A. "Högtemperaturvariant"

Brukstemperatur	90°C	80°C	70°C	60°C
Brukstid	1 år	2 år	12 år	35 år

B. "Lågtemperaturvariant"

Brukstemperatur	70°C	60°C	50°C
Brukstid	3 år	12 år	35 år

När det gäller trycknivån i olika GRUDIS-system är den föreslagna till 6 bar respektive 10 bar. Vare sig man i ett GRUDIS-system bestämmer sig

för ett maximalt drifttryck av 10 bar eller 6 bar så ger de på marknaden förekomna rördimensionerna en väggspänning på 3 - 3.4 MPa. För att i fortsättningen tolka de framtagna resultaten kan man alltså som riktmärke använda sig av en väggspänning på 3 - 3.4 MPa samt en temperaturbelastning på mellan 90°C och 50°C.

För att ställa upp en accelererad tryckprovningssmetod behövs en flerårig testning för att bestämma så kallade accelerationsfaktorer. Detta har gjorts för själva mediarören (4) men saknas för syretätade rör. För att tolka de nu framtagna resultaten kan man som en första, mycket grov, approximation använda sig av samma accelerationsfaktorer som för mediarören. I verkligheten skiljer sig naturligtvis de olika accelerationsfaktorerna åt. Detta beroende främst på att belastningsfall typ temperatur- och tryckcyklningar är mer kritiska för livslängden hos ett syretätat plaströr än för ett ospärrat plaströr.

I det följande kommer ett antal testresultat att presenteras med utgångspunkt från visuella bedömningar. Målsättningen med ett syretätat rör är att det efter 50 år i ett GRUDIS-system har en syrepermeabilitet som är så pass låg att något korrosionsangrepp inte kan ske på kolstålskomponenter. Detta kan från accelererade provningar endast bestämmas genom mätning av syrepermeabiliteten. Men i flera fall kan man utan att genomföra syremätningar fastställa att spärrskiktet inte förhindrar syrediffusion. Detta beroende på att spärrskiktet blivit så kraftigt påverkat att skiktet delaminerat.

6.1.1 Tryckprovning vid förhöjd temperatur

Samtliga resultat från de visuella observationerna finns redovisade i Tabellerna A.5 - A.9. Vidare finns i Figurerna B.7 - B.10 en fotobilaga som visar alla rörprover som avbrutits.

Resultaten för den EVAL-spärrade rörkvaliteten 226 visas i Tabell A.5 och Figur B.7. Resultaten vid 110°C visar att livslängden är under 1 700 - 2 400 h. Samtliga rör uppvisar sprickbildning och olika stadier av delaminering av spärrskiktet. Sprickbildningen är huvudsakligen koncentrerad till ett stråk längs rören. Sprickbildningen har troligen startat där godstjockleken är tunnast. Vid 95°C erhöles vid den högre spänningsnivån, 4.08 MPa, en kraftig delaminering efter endast 1 000 h. I övrigt löper tre prover vidare vid 95°C utan några synliga defekter på syrespärren. Samtliga rör uppvisar dock en brunfärgning av spärrskiktet, se Figur B.7. Löptiden uppgår idag till 6 700 h. De nu framtagna tryckprovningensresultaten indikerar att rören inte kan rekommenderas för GRUDIS-system. Livslängdskravet vid 110°C är för ospärrade rör 1 200 h respektive 4 500 h. Detta är baserat på framtagna accelerationsfaktorer för ospärrade mediatorer och relaterade till de två temperatursystemen i Tabell 1 (4). De nu framtagna resultaten visar att kvalitet 226 inte klarar dessa krav. Däremot kan det vara av intresse att fortsätta provningen vid 95°C för att bestämma accelerationsfaktorn mellan 110°C och 95°C. Delaminering och sprickbildning har inträffat vid $\sigma = 2$ MPa och 110°C efter 1 700 - 2 400 h. Vid 95°C kan ingen visuell delaminering eller sprickbildning upptäckas efter 5 200 h. Baserat på dessa ytterst preliminära data är accelerationsfaktorn mellan 110°C och 95°C för när-

varande större än 2.2 - 3. För ospärrade rör är motsvarande accelerationsfaktor 4.4.

Resultaten för den andra EVAL-spärrade kvaliteten, 227, visas i Tabell A.6. Resultaten hittills är mycket uppmuntrande. Vid 110°C har endast en mindre delamineringsfläck upptäckts vid $\sigma = 3.02$ MPa. Någon tillväxt av delamineringsfläcken kan inte konstateras. Vid 95°C har ingen delaminering upptäckts efter provning i mer än 5 200 h. Baserat på dessa resultat skulle materialet kunna rekommenderas till en demonstrationsanläggning för GRUDIS. Men resultaten under 6.2 och 6.3 har givit sådana indikationer att man bör avvakta den fortsatta provningen innan rörmaterialet används för en demonstrationsanläggning.

Resultaten för PEX-kvaliteten 231 med nylonbarriär (PA) redovisas i Tabell A.7 och Figur B.8. Resultaten visar entydigt att rörmaterialet är klart olämpligt för användning i GRUDIS-system. Sprickbildning i spärrskiktet uppträder redan efter 120 h vid 95°C och vid spänningsnivåer som är under de som erhålls vid fältmässiga installationer.

Resultaten för rörmaterial 228 visas i Tabell A.8 och Figur B.9. Livslängden vid 110°C är mindre än 850 till 1 500 h. Även vid 95°C och en så pass låg spänningsnivå som 2.96 MPa erhålls begynnande delaminering i Al-skiktet. De nu framtagna resultaten visar att materialet inte kan rekommenderas för GRUDIS-system. Observera att rör 228 enligt märkningen skall klara 6 bar - 95°C, se Tabell A.1.

Rörmaterial 229 innehåller en metallfoliebarriär av tenn och bly (Sn, Pb). Resultaten för kvali-

tet 229 framgår av Tabell A.9 och Figur B.10. Samtliga resultat är mycket dåliga. Sprickbildning vid låga spänningsnivåer inträffar redan efter 120 h vid 110°C och 500 till 1 150 h vid 95°C.

Baserat på de nu genomförda tryckprovningarna kan endast en kvalitet, 227, komma i fråga för fortsatta studier när det gäller syretätade rör för GRUDIS.

6.1.2 Temperaturcykling - Tryckcykling

När det gäller antalet temperaturcyklingar mindre än 15 - 20°C i ett GRUDIS-system finns ingen dokumentation framtagen. Det är därför för närvarande svårt att simulera dessa temperaturcyklingar i ett accelererat prov. Vad man vet är att antalet mycket små temperaturcyklingar (< 5°C) är mycket stora. När det gäller större temperaturskillnader upp mot 15 - 20°C så är dessa naturligtvis mindre till antalet. Man vet också att ju större temperaturskillnaderna är desto svårare belastning erhålls på syrespärren. För att erhålla ett bättre bedömningsunderlag från verkliga förhållanden har fem olika värmeverk kontaktas. Resultaten visar att man uppskattar antalet stora temperaturcyklingar (15 - 20°C) till mellan 8 och 50 per år. I medeltal erhålls 32 cyklingar per år med en temperaturvariation på 16°C. Uppgiften om temperaturvariationen låg i intervallet 11°C - 20°C. Dessa stora temperaturskillnader erhöles framförallt vid höst- och vårsäsong. De aktuella temperaturändringarna genomförs under 1 h till 4 h. I vår accelererade test genomförs 7 cyklingar mellan 80°C och 50°C under ett dygn. För att erhålla de uppskattade antalet temperaturcyklingar i ett verkligt system under

50 år skulle man därför behöva prova i medeltal 229 dygn (5 500 h) och för att klara det högsta antalet cyklingar (50 per år) skulle provtiden vara 360 dygn (8 600).

Resultaten från temperaturcyklingsstesten redovisas i Tabell A.10. Totalt har åtta olika syrespärade rörkvaliteter undersökts. De längsta provtiderna uppgår idag till ca 13 200 h (3 850 cykler).

När det gäller rörkvaliteter med plastbarriär så har en kvalitet, 199, avslutats efter 7 700 h. Materialet uppvisade begynnande delaminering redan efter 4 800 h (1 400 cykler). Spänningsnivån i detta fall var dock relativt hög, 4.4 MPa, mot i ett GRUDIS-system 3 - 3.4 MPa. Men inledande tryckprovningar som genomförts vid 95°C och $\sigma = 3$ MPa visar att materialet inte klarar de uppställda kraven.

De båda rörmaterialen 226 och 227 med EVAL-skikt uppvisar inga synbara effekter efter provning i mer än 3 800 h (> 1 100 cykler). Provningen fortsätter.

För rörmaterial 231 med nylonspärr erhålls en missfärgning av röret intill kopplingarna efter 1 600 h men röret är förhållandevis intakt efter 3 800 h.

När det gäller rör med olika metallbarriärer så uppvisar rörkvalitet 197 det bästa resultatet. Detta rör är dock mer att betrakta som ett plastlinat Al-rör då hela belastningen tas upp av Al-skiktet.

För rörmaterial 172 lossade kopplingarna efter 300 respektive 500 h. Sedan nya klämringskopp-

lingar av annan typ satts på har inga problem inträffat. Förklaringen till det inträffade beror på att spärrskiktet saknar vidhäftning mot mediaröret. Al-skiktet hålls på plats enbart genom glasfiberarmeringen. Skulle Al-skiktet lokalt gå sönder innebär detta troligen att hela utrymmet mellan Al-skiktet och mediaröret luftfylls och därmed skulle barriäregenskaperna gå förlorade. Detta innebär att ett koncept liknande det för material 172 troligen ej kan användas i ett GRUDIS-system. Syremätning på exponerade rör av 172 borde dock först genomföras.

Rörmaterial 228 med Al-skikt uppvisar inga synliga defekter efter provning i mer än 3 800 h. Rörmaterial 229 med ett spärrskikt av Pb och Sn uppvisar sprickbildning i spärrskiktet redan efter 3 800 h. Både rörmaterial 228 och 229 har tidigare visat sig vara olämpliga för användning i GRUDIS-system.

När det gäller det totala antalet stora temperaturcyklningar ($> 50 - 60^{\circ}\text{C}$) för ett GRUDIS-system så är dessa lättare att uppskatta. Man kan räkna med att ett GRUDIS-system stängs av maximalt 1 - 2 gånger per år. Detta skulle maximalt innebära ca 50 - 100 avstängningar på en livstid av 50 år. För att simulera detta har tryckprovning genomförts på rörslingor vid 80°C i 13 dygn följt av trycklös exponering i rumstemperatur (23°C) i 1 dygn. Resultaten framgår av Tabell A.11. För att erhålla de uppställda 50 - 100 cyklerna måste rören testas i ca 16 800 h till 33 600 h.

För den PVAL-spärrade kvaliteten 199 erhöles delaminering längs hela röret efter 7 200 h.

De båda EVAL-spärrade kvaliteterna 226 och 229 uppvisade lokal blåsbildning av spärrskiktet redan efter 600 h. Även om den yta som upptas av blåsbildningen är mycket liten i förhållande till den totala ytan ($< 1 \%$) så är resultaten överraskande. Detta gäller speciellt för kvalitet 227 som klarat de övriga testerna utan någon större anmärkning. Det bör påpekas att röret även med blåsor fortfarande kan uppvisa acceptabla värden på syrepermeabiliteten, se 6.1.3. De uppkomna blåsorna beror troligen på variationer i produktionsprocessen av röret som lokalt kan leda till dålig vidhäftning. Fortsatt provning av rör 227 är dock nödvändig innan några säkrare bedömningar kan göras.

Rörmaterial 231 med nylonspärr uppvisade tangentiella sprickor i spärrskiktet redan efter 3 800 h och har avslutats.

För rörprov 197-2 inträffade brott i Al-skiktets svetsfog omedelbart vid trycksättningen. Brottet är allvarligt då funktionen hos röret helt beror på hållfastheten hos Al-skiktet. PEX-materialet som omger Al-röret har ingen möjlighet att endast ta upp det inre övertrycket. Det nya rörprovet, 197-3, gick också det överraskande till brott efter 12 240 h.

För rörprov 172-2 misstänktes delaminering efter 7 200 h. En provbit av röret togs ut efter 8 200 h. Mellan Al-skiktet och mediaröret fanns vatten ansamlat. Detta vatten hänförs sig till vattendiffusion genom mediaröret. Om syre tillförs denna spalt genom exempelvis ett hål i Al-skiktet kan man eventuellt befara korrosion av Al-skiktet.

Rörmaterial 228 med ett yttre Al-skikt uppvisar misstänkt delaminering efter 1 600 h. Rörkvalitet 229 erhö11 sprickbildning i spärrskiktet redan efter 3 800 h och har avslutats.

Sammanfattningsvis visar de nu framtagna resultaten från temperatur- och tryckcyklingen att ingen av de undersökta rörkvaliteterna helt klarar de krav som ställs på ett syrespärrat plaströr för GRUDIS. Två av de undersökta materialen, 197 och 227, uppvisar dock sådana resultat att de bör bli föremål för fortsatta undersökningar. Detta gäller då främst för kvaliteten 227. För kvalitet 197 måste hållfastheten på metallfogen undersökas närmare innan man kan rekommendera denna rörkvalitet.

6.1.3-----Syremätning

Som framgår av resultaten under 6.1.1 och 6.1.2 så finns inte så många rörprover som efter visuell inspektion kan bli föremål för syremätning. I de flesta fall är resultaten så entydiga att någon ytterligare syremätning inte behövs för att verifiera att syrespärren blivit helt verkningslös. I princip är endast de två metallspärrade kvaliteterna 197 och 172 samt den EVALspärrade kvaliteten 227 som är intressant för syremätning. Av dessa tre är kvalitet 227 den mest intressanta. Detta beroende på att kvalitet 197 blir mycket styv i dimensioner över 32 mm samt att två mycket allvarliga rörbrott inträffat. Kvalitet 197 tillverkas dessutom inte för närvarande i större dimension än \emptyset 25 mm. Kvalitet 172 misstänks uppvisa sämre resultat på grund av att någon vidhäftning inte finns mellan Al-skikt och mediarör. Dessutom har ingen utvärdering av 172 skett vid 110°C och 95°C.

Syrepermeabilitetsmätning har genomförts dels på oexponerat 227-material och dels på exponerat material. Som exponerat material har använts den slinga som cyklats vid 80°C och rumstemperatur, se Tabell A.11. Den totala exponeringstiden uppgår för slingan till 4 200 h. En karaktärisering av röret och bilder på de uppkomna blåsorna visas i Figur B.11. Resultaten av syremätningarna framgår av Tabell 2.

Tabell 2

Syremätning av oexponerat och exponerat rörmaterial av kvalitet 227. Det exponerade röret har cykliskt provats i 4 200 h. Varje cykel omfattar 13 dygn vid 80°C och 8 bar samt 1 dygn vid 23°C och 0 bar. Provlängden var i båda fallen ca 10 m.

Provmaterial	Temp °C	Kondition- eringstid h	P _{O₂} g·cm/cm ² ·s·bar	Exponerings- tid h
Oexp 227	60	48	$3.2 \cdot 10^{-13}$	69
	60	120	$4.5 \cdot 10^{-13}$	6
Exp 227-9	60	96	$13.3 \cdot 10^{-13}$	6
	60	120	$10.3 \cdot 10^{-13}$	19
	60	144	$10.9 \cdot 10^{-13}$	17

Resultaten visar att oexponerat 227-material är ca 160 gånger tätare än ospärrat PEX-material. Efter exponering försämras syrepermeabiliteten och röret är ca 50 gånger tätare än ett ospärrat PEX-rör. Även om de uppkomna blåsorna för 227-9 endast svarar mot 1 % av den totala ytan hos röret så ökar syrepermeabiliteten med 200 %. Som framgår av Figur B.11 så är huvuddelen av de uppkomna blåsorna sönder. Om man antar att alla blåsorna är sönder skulle 1 % av röret ha en syrepermeabilitet som motsvarar ett ospärrat PEX-rör medans 99 % av ytan motsvarar ett oexponerat 227-material. Detta är en grov approximation då man erhåller randeffekter vid blåsorna

som ger en högre permeabilitet. Genomförs dock denna approximativa beräkning erhålls teoretiskt att syrepermeabiliteten för det exponerade röret skulle vara 56 gånger tätare än ett ospärrat PEX-rör. Detta är samma värde som uppmätts! Detta innebär att själva EVAL-skiktet inte förändrats nämnvärt under exponeringen. Vidare kan man slå fast att om blåsbildning inträffar så är det mycket viktigt att blåsorna inte går sönder. I annat fall kan ett skadat område på endast 2 - 3 % kraftigt öka syrepermeabiliteten.

Enligt resultat från korrosionsstudier (7) behövs en sänkning av syrepermeabiliteten med en faktor 20 - 100 gånger. Detta gäller för typiska GRUDIS-system. Ju högre temperatur systemet utsätts för och ju mer plaströr per kolstålsyta som finns tillgänglig desto högre faktor måste användas. Resultatet för 227-9 ligger således inom intervallet. Men röret har endast åldrats ca 4 200 h varför ytterligare provning är nödvändig innan materialet kan rekommenderas för ett GRUDIS-system.

6.2 Isolermaterial

Utvärderingen av isolermaterial har huvudsakligen inriktats på undersökning av materialens långtidsegenskaper vad gäller termisk beständighet, inverkan av fukt, kryp- och sättningsegenskaper, samt systemtest och värmeförlustmätningar.

Av primärt intresse är att bestämma den termiska livslängden. För att extrapolera de framtagna resultaten från accelererade tester av isolermaterial behövs kunskap om accelerationsfaktorer (4). Provtiderna för de olika isolermaterialen

är alltför kortvariga för att dessa accelerationsfaktorer skall kunna bestämmas inom detta projekt. Som en första ansats har därför de tidigare framtagna accelerationsfaktorerna för mediarören (4) använts. Med tanke på att flera av isolermaterialen är polyetenbaserade är detta antagande någorlunda realistiskt. Fortsatta undersökningar av de specifika accelerationsfaktorerna för isolermaterial är dock nödvändiga.

6.2.1 Exponeringstest vid förhöjd temperatur

Resultaten för de olika exponerade isolermaterialen visas i Tabellerna A.12 - A.18. Dessutom återfinns en fotobilaga på åldrade provbitar efter olika exponeringstider i Figurerna B.12 - B.18.

Totalt har tre olika PE-skum undersökts. Resultaten för PE-G1 visas i Tabell A.12 och Figur B.12. Vad gäller exponeringarna i luft vid 70, 80, 95 och 105°C så är resultaten mycket goda. Någon påtaglig förändring vad gäller tryckhållfasthet, dimension eller färg kan inte konstateras. Provtiden vid 105°C motsvarar en provtid vid 110°C av ca 2 100 h om de tidigare accelerationsfaktorerna för mediarör användes (4). Detta skulle då motsvara kraven för ett "lågtemperatursystem" enligt den tidigare Tabellen 1. För att på motsvarande sätt bevisa livslängden för "högtemperaturvarianten" behövs en testtid vid 105°C på över - 7 300 h. Beroende på att flera PE-skum har en relativt låg smältpunkt kan man troligen inte prova vid temperaturer över 105°C utan att materialet till stora delar smälter.

Vad gäller utvärderingen av PE-G1 i fuktig miljö vid 80°C och 95°C så erhåll en viss påverkan. Detta gäller främst vid 95°C och för exponeringstider över 7 000 h. I dessa fall kan en betydande nedbrytning av materialet konstateras i kanterna av provet. Samtidigt uppvisar proven en viss märkfärgning som framgår av Figur B.12. Man kan alltså konstatera att nedbrytningen av materialet accelereras i fuktig miljö jämfört med torr miljö. Fortsatt provning i fuktig miljö är nödvändig för att främst studera förändringar i tryckhållfastheten.

Resultaten för PE-G2 redovisas i Tabell A.13 och Figur B.13. Materialet har endast exponerats i luft. Vid 70°C kan ingen påverkan konstateras efter 11 100 h. Vid 80°C uppträder en svag missfärgning efter 11 100 h, se Figur B.13. Vid 95°C uppträder den första missfärgningen redan efter 7 250 h. Men hållfasthetsmässigt sker ingen påverkan. Vid 105°C kan konstateras att materialets tryckhållfasthet reducerats till 80 % av ursprungsvärdet efter 3 480 h. Vidare har en påtaglig guldfärgning av provet skett. Dessutom har en volymminskning inträffat med 20 % redan efter 1 825 h. Även om ingen drastisk hållfasthetssänkning inträffat är det tveksamt om materialet kan rekommenderas för olika CRUDIS-system.

PE-G3 är baserad på samma framställningsmetod som PE-G2 men har en högre densitet. Resultaten för PE-G3 framgår av Tabell A.14 och Figur B.14. Vad gäller missfärgningen av proven så inträffar dessa tidigare för PE-G3 än för PE-G2. Vad gäller reduktionen i hållfasthet så är resultaten jämförbara mellan PE-G3 och PE-G2. Densiteten för PE-G3 varierar mellan proven varför viktsförändringarna inte kan betraktas som absoluta värden. Möjligen kan de förhöjda viktsvärden vid 95°C

och 105°C indikera att en kemisk förändring skett av skummaterialet. För att säkra detta samband borde experiment utföras på prover med kända utgångsvikter på samma sätt som skett vid fuktexponeringarna. Vad gäller slutsatserna för PE-G3 så överensstämmer dessa med motsvarande för PE-G2.

Resultaten för PEX-skummet, PEX-G1, återfinns i Tabell A.15 och Figur B.15. Någon påtaglig förändring i tryckhållfasthet har inte skett vid någon temperatur. Däremot har en dimensionsändring inträffat vid samtliga temperaturer, se Figur B.15. Vid 105°C har en signifikant volymminskning skett. Vid 105°C har även en påtaglig brunfärgning av proven kunnat konstateras. Dimensionsförändringen och speciellt volymminskningen är av central betydelse för skummet då detta direkt påverkar den färdiga kulvertens värmeförlustegenskaper.

Resultaten för PEX-G2 visas i Tabell A.16 och Figur B.16. Vad gäller samtliga exponeringar i luft vid 70, 80, 95 och 105°C så är resultaten mycket goda. Den mest påtagliga förändringen gäller tryckhållfastheten. Denna ökar med ökande exponeringstid och temperatur. Vid 105°C har tryckhållfastheten ökat med 30 % efter 1 825 h och med 35 % efter 3 480 h. Även resultaten vid exponering i fuktig miljö vid 80°C och 95°C är positiva. Vid 95°C kan dock en ökande vattenabsorption konstateras. Omräknat i volymsprocent är dock vattenabsorptionerna efter 11 000 h endast 0.9 %.

Resultaten för PUR-kvaliteten, PUR-G1, visas i Tabell A.17 och Figur B.17. Vad gäller exponeringen i luft så ökar missfärgningen med ökande temperatur- och exponeringstid. Vidare sker en

relativt stor volymökning av proven med ökande exponeringstid. Däremot kan ingen påtaglig försämring av tryckhållfastheten konstateras.

Betydligt sämre resultat har erhållits vid exponeringen i fuktig miljö. Tryckhållfastheten reduceras med ökande exponeringstid. Efter 11 000 h vid 95°C är tryckhållfastheten endast 50 % av ursprungsvärdet. Vid 95°C kan man också konstatera en kraftigt ökande vattenabsorption. Efter 11 000 h är vattenabsorptionen hela 105 viktsprocent (> 10 volymsprocent). Den ökande vattenabsorptionen leder troligen till kraftig hydrolys av PUR-skummet. Detta är den troligaste förklaringen till den mycket kraftiga volymminskning som inträffar efter 7 000 h vid 95°C. Efter 11 000 h är volymminskningen hela 41 %.

Resultaten för det andra PUR-skummet, PUR-G2, visas i Tabell A.18 och Figur B.18. Exponering har endast skett i luft. Hittills kan ingen hållfasthetssänkning konstateras vid någon temperatur. I stället ökar hållfastheten något vid högre temperaturer och ökande exponeringstid. En viss dimensionsförändring kan också konstateras. Annars utgörs den största förändringen av att proven kraftigt brunfärgas vid högre temperatur och efter ökande exponeringstid.

Om man sammanfattar de hittills genomförda provningar med utgångspunkt från olika parameterförändringar så kan man slå fast följande: Någon drastisk hållfasthetsminskning vid exponering i luft har inte inträffat för någon kvalitet. PE-G2 och PE-G3 uppvisar dock en viss hållfasthetssänkning. Den sämre kvaliteten hos PE-G2 och PE-G3 framgår också av att en begynnande nedbrytning av materialet kan konstateras. En viss

påverkan på PEX-G1 i detta avseende har också fastställts vid högre temperatur. Ser man till dimensionsförändringar och då framför allt till den mera kritiska volymminskningen som sker så är resultaten dåliga för PE-G2 och PEX-G1. Vad gäller resultaten i fuktig miljö så är resultaten entydiga vad gäller PUR-kvaliteterna. Resultaten pekar på att dessa är klart olämpliga att använda om man riskerar kraftig fuktpåverkan under tider som överstiger 5 000 h. Av de nu undersökta materialen är det endast PEX-G2 som givit entydigt goda resultat. Men även PE-G1 har uppvisat bra resultat.

6.2.2 Kryp försök

Resultaten från krypförsöken visas i Tabell A.19. Totalt har tre PE-skum och ett PEX-skum undersökts vid två olika belastningsnivåer. Belastningsnivån 0.001 MPa motsvarar 1.7 (Ø 110 mm) respektive 8 (Ø 25 mm) gånger det tryck som erhålls med ett vattenfyllt mediarör. På samma sätt motsvarar 0.005 MPa 8 (Ø 110 mm) respektive 40 (Ø 25 mm) gånger det tryck som gäller för ett vattenfyllt mediarör.

Resultaten visar att kryptet vid 0.001 MPa är försumbart för samtliga skumkvaliteter. Ökas belastningen däremot till 0.005 MPa så leder detta till en kraftig kryptdeformation för PE-G1 och PE-G2 vid 70°C. Resultaten för dessa skumkvaliteter vid 70°C visas i Diagram 1.

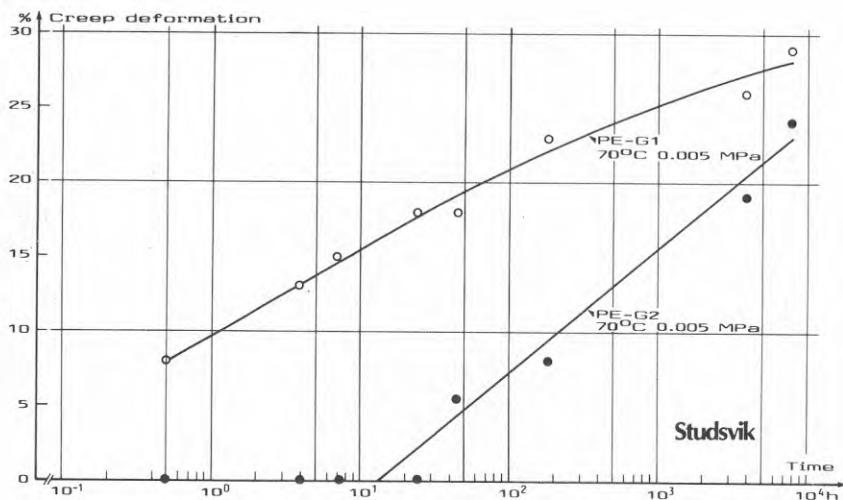


Diagram 1

Krypdeformation på PE-skum av typ PE-G1 och PE-G2 vid 70°C och en belastning av 0.005 MPa. Resultat från Tabell A.19.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att vikten av ett vattenfyllt mediarör under driftmässiga förhållanden inte leder till någon krypdeformation hos de undersökta skummen. Detta är naturligtvis ett grundläggande krav för all isolering. Ökas däremot belastningen exempelvis genom termisk utvidgning erhålls för de mjukare skumkvaliteterna en kraftig krypdeformation. De nu genomförda utvärderingarna tar inte hänsyn till att temperaturen på mediaröret i vissa fall kan överstiga 90°C. Krav på att isolermaterialet under en kort tid klarar en hög temperatur under belastning bör därför också införas, se kapitel 7.2.3

6.2.3 Sättningsförsök

Totalt har tre olika PE-skum och ett PEX-skum undersökts. Materialen har deformerats till 80 % respektive 60 % av sin ursprungstjocklek. Exponering har utförts vid 70°C och 35°C. Isolermaterialen har exponerats vid konstant deformation och efter varierande tider har materialen avlastats och återhämtningen av materialet har studerats, se Figurerna B.19 - B.22.

Avlastningen av materialen har skett vid exponeringstemperaturen. Inledande försök vid 70°C där avlastningen skett efter det att försöksriggen svalnat till rumstemperatur erhöles ingen återhämtning efter 6 dygn (144 h). Man erhöles alltså en kvarvarande sättning av materialen (PE-G1 och PEX-G2). Resultaten är något överraskande. Ytterligare dokumentation är dock nödvändig innan några säkrare slutsatser kan göras.

Resultaten för PE-G1 redovisas i Figur B.19. Vid 70°C hölls materialet vid konstant deformation i 450 h varefter materialet avlastades. Observera att återhämtningen av materialet går relativt långsamt. Efter avlastning i 300 h deformerades isolermaterialen igen i cirka 3 000 h, varefter ny avlastning skedde. Totalt har tre avlastningar skett under en försöksperiod av ca 9 000 h. Som framgår av resultaten så ökar sättningen av materialet med ökande belastningstid. Vid 35°C är återhämtningen större än vid 70°C. Efter konstant deformation vid 35°C i 450 h återhämtar materialet sig till 100 %. Detta gäller både vid en deformation av 20 % respektive 40 %. Efter längre tids exponering erhöles dock en sättning av materialet.

Resultaten för PE-G2 och PE-G3 återfinns i Figur B.20 och B.21. Resultaten för de båda kvaliteterna är snarlika. Båda materialen uppvisar större sättning än PE-G1.

Figur B.22 visar resultaten för PEX-G2. Resultaten för PEX-G2 är betydligt sämre än för PE-skummen vid 20 % deformation. Vid 40 % deformation är resultaten jämförbara med PE-G2 och PE-G3.

Risken för att isoleringen skall deformeras är störst vid den termiska utvidgningen av mediarröret. Den största deformationen av isoleringen sker därför vid hög mediarrörstemperatur. Samtidigt är varaktigheten vid hög temperatur relativt begränsad varför deformationstiden kan anses som liten. Att utböjningen inträffar på samma ställe vid varje temperaturhöjning är relativt osannolikt. Detta gäller dock inte vid böjar och fixpunkter typ avstick och fixerade kopplingar. För att uppskatta risken för sättning av isoleringen kan man kombinera de genomförda försöken och erhåller då en medeltemperatur av 52.5°C . Detta motsvarar medeltemperaturen i isoleringen om man håller en mediarrörstemperatur på $90 - 95^{\circ}\text{C}$. I Tabell 3 redovisas medelvärdet av sättningsförsöken vid 70°C och 35°C .

Tabell 3

Kvarvarande isolertjocklek vid sättningsförsök till 80 respektive 60 % av ursprungliga isolertjocklek. Värden är medelvärden vid 70°C och 35°C från Figurerna B.19 - B.22.

Material	Kvarvarande isolertjocklek (%)					
	Deformation - 80 %			Deformation - 60 %		
	450 h	3 700 h	8 400 h	450 h	3 700 h	8 400 h
PE-G1	98	91	91	93	84	81
PE-G2	94	90	89	84	77	74
PE-G3	95	92	90	83	76	73
PEX-G2	90	88	86	82	76	74

Resultaten visar att man grovt kan räkna med att en kortvarig deformation av PE-G1 inte leder till någon nämnvärd reduktion av isolertjockleken. För de övriga materialen erhålls framför allt vid en deformation till 60 % av ursprungstjockleken en kvarstående sättnings. När det gäller långtidsdeformation så erhålls en betydande kvarvarande sättnings för samtliga material.

Deformationen hos isoleringen beror också kraftigt av tryckhållfastheten. De största sättningsproblemen är därför att vänta hos mjuka skumkvaliteter. Fortsatta insatser på sättningsproblematiken är nödvändig för att erhålla bättre underlag för typprovning. Av särskild vikt är att korrelera de nu genomförda sättningsförsöken med systemtester, se kapitel 6.2.4

6.2.4 Systemtest

Provningsen av kompletta kulvertar vid temperaturcyklings har undersökts för att studera har den termiska utvidgningen av mediarören påverkar isoleringen. Av speciellt intresse är att under-

söka om någon sättning av isoleringen inträffar. Samtliga kulvertar har temperaturcyklats mellan 60°C och 80°C i totalt 8 100 h. Totalt har 24 cykler genomförts.

Innan de olika kulverttyperna skars upp genomfördes en undersökning med värmekamera. De olika kulvertproverna fotograferades i laboratoriet med en omgivningstemperatur av 23°C och en mediarrörstemperatur av 80°C . Någon variation i temperatur längs kulvertarna kunde inte konstateras. Om mediarröret lokalt deformerat isoleringen kraftigt borde en högre temperatur erhållas vid denna punkt. Någon sådan erhöles alltså inte.

Kulverttyp 1 är en så kallad TWIN-kulvert. Kulverten består av två mediarrör, 25 mm x 2.3 mm, som är separerade från varandra med ett distanselement av typ "hundben". Det ingående materialet utgörs av PE-G1. Exempel på ett oexponerat och exponerat hundben visas i Figur B.23. Den största påverkan har erhållits på hundbenet. Som framgår av Figur B.23 har mellanväggen mellan mediarrören reducerats kraftigt. Tjockleken på skiljeväggen var efter exponeringen mellan 5 och 7 mm tjock mot 10 mm för oexponerat kulvert. Minskningen i tjocklek var minst i mitten av kulverten och störst ut mot de fixerade kopplingarna.

Vad gäller den ca 25 mm tjocka isoleringen av typ PE-G1 som omger mediarrören och "hundbenet" kunde ingen mätbar sättning konstateras. Däremot var den yttre isoleringen sammanfogad i en svets som på hela sträckan öppnat sig till 50 % av tjockleken. Om denna öppning är placerad direkt mot mediarrören kan detta leda till att mantelröret erhåller en alltför hög temperatur.

Kulverttyp 2 utgörs av 4 lager PEX-skum med en individuell tjocklek av 10 mm. Isoleringen är av typ PEX-G2. Isoleringen omsluter ett PEX-rör av dimension 32 mm x 3 mm. De tre yttre isolerskikten är helt intakta. Det inre isolerlagret uppvisar en tjocklek på 5 - 9 mm. Den största delen av denna deformation erhålls redan vid tillverkningen. Oexponerade kulvertar uppvisar en tjockleksvariation på det inre isolerlagret på mellan 6 - 10 mm. Sammanfattningsvis kan man konstatera att temperaturcyklingen av kulverttyp 2 inte påvisat någon sättning av isoleringen.

Kulverttyp 3 består av ett PEX-rör, 25 mm x 2.3 mm, som omges av två lager PE-skum av typ PE-G1. Någon mätbar sättning av isoleringen kan inte konstateras.

För kulverttyperna 2 och 3 har lägesbestämning av mediaröret bestämts vid fem mätställen. Mätningen har genomförts efter varje veckas exponering innan temperaturen ändrats till nästa temperaturnivå. Mätningen av mediarörets placering har utförts i såväl höjd- och sidled.

Det bör påpekas att om mediarörets läge förändras alltför drastiskt blir lägesbestämningen med den använda metoden mycket osäker. Med den använda metoden kan därför endast kvalitativa bedömningar göras. Resultaten för kulverttyp 2 visar att mediarörets läge varierar mycket litet. I de flesta fall erhöles en förändring av läget med högst 2.5 - 5 % från begynnelsevärdet. Den maximala avvikelser från begynnelsevärdet var 13 %. För kulverttyp 3 erhöles större variationer av mediarörets placering. Detta gällde främst under de första 3 - 4 temperaturcyklarna. Under denna försökstid erhöles av-

vikelse på upp mot 20 - 25 % av begynnelsevärdet. Därefter var avvikelser mindre och efter 7 cykler uppgick avvikelserna till 4 - 10 %. Att kulverttyp 3 uppvisar en större variation av mediarets placering jämfört med kulverttyp 2 är väntad. Tryckhållfastheten för isoleringen i kulverttyp 2 är betydligt större än motsvarande för kulverttyp 3.

Sammanfattningsvis har den genomförda systemprovnings vid temperaturcykling mellan 80°C och 60°C inte visat på några dramatiska sättningsproblem för isoleringen beroende på termisk utvidgning av mediarets. Den största sättnings-effekten har erhållits för distanselementet till TWIN-kulverten. Baserat på resultaten från den genomförda systemtesten samt de undersökningar som genomförts under 6.2.3 föreligger ingen påtaglig risk för sättningsproblem av isoleringen under normala driftsbetingelser.

6.2.5 Vattenpermeabilitet

Diagram 2 visar hur fuktuppbbyggnaden varierar för två helt olika kulverttyper. För kulvert K1 som är uppbyggd med ett relativt tunt lager PUR-isolering och en kraftig mantel erhålls en hög fukthalt. Kulverttyp K2 saknar mantel och för denna kulvert är fuktuppbbyggnaden mycket låg. I Diagram 2 är också inlagt den teoretiska fuktuppbbyggnaden för K2 om denna haft en 2 mm tjock PE-mantel. Avsaknaden av mantel för K2 medför alltså att det vatten som diffunderar igenom mediarets fortsätter igenom isoleringen och ut i omgivningen.

För kulverttyp K1 erhålls ca 60 % av den teoretiska fuktuppbbyggnaden.

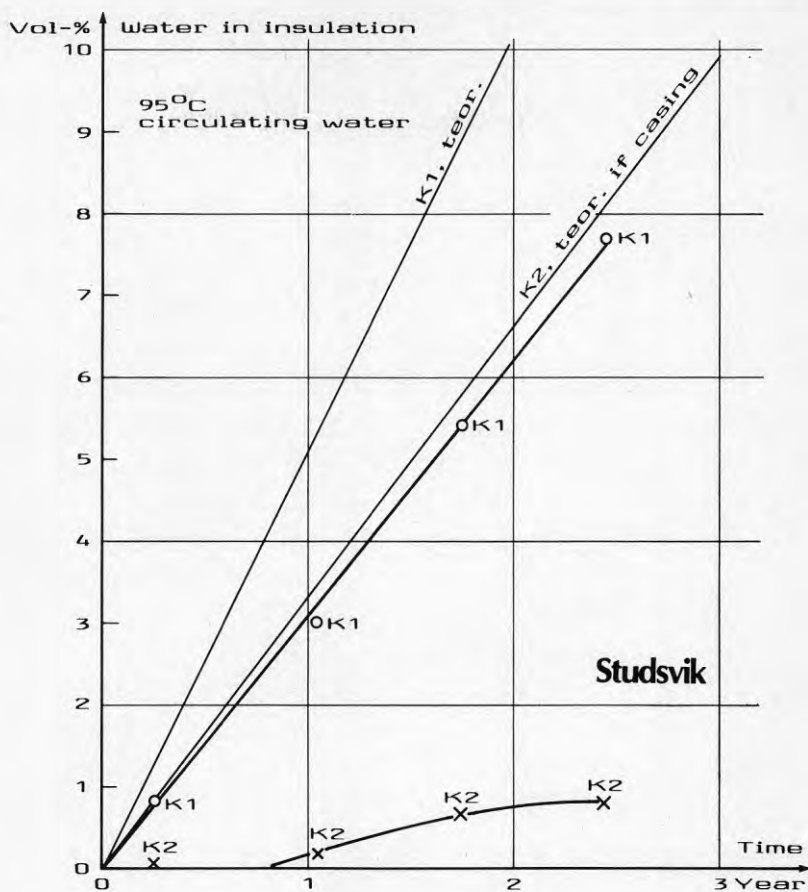


Diagram 2

Teoretisk och experimentell fuktupptagning för kulverttyp K1 och K2 som exponerats för cirkulerande vatten av 95°C genom mediarören. Kulverttyp K2 saknar mantelrör.

Hänsyn har då tagits till att en viss del (< 5 %) av det genom mediaröret utdiffunderade vattnet även diffunderar ut genom mantelröret. Förklaringen till avvikelserna mot det teoretiska värdet kan dels bero på att ändförslutningarna inte varit helt täta eller att partialtrycket av vatten utanför mediaröret är så pass högt att en maximal partialtrycksskillnad inte erhålls. Den

teoretiskt beräknade fuktupptagningen är baserad på maximal partialtryckskillnad. Detta innebär att man antagit vattnets partialtryck till 0 utanför mediaröret.

Resultaten för de övriga kulverttyperna visas i Diagram 3. Även i detta fall erhålls en avvikelse från de teoretiska värden.

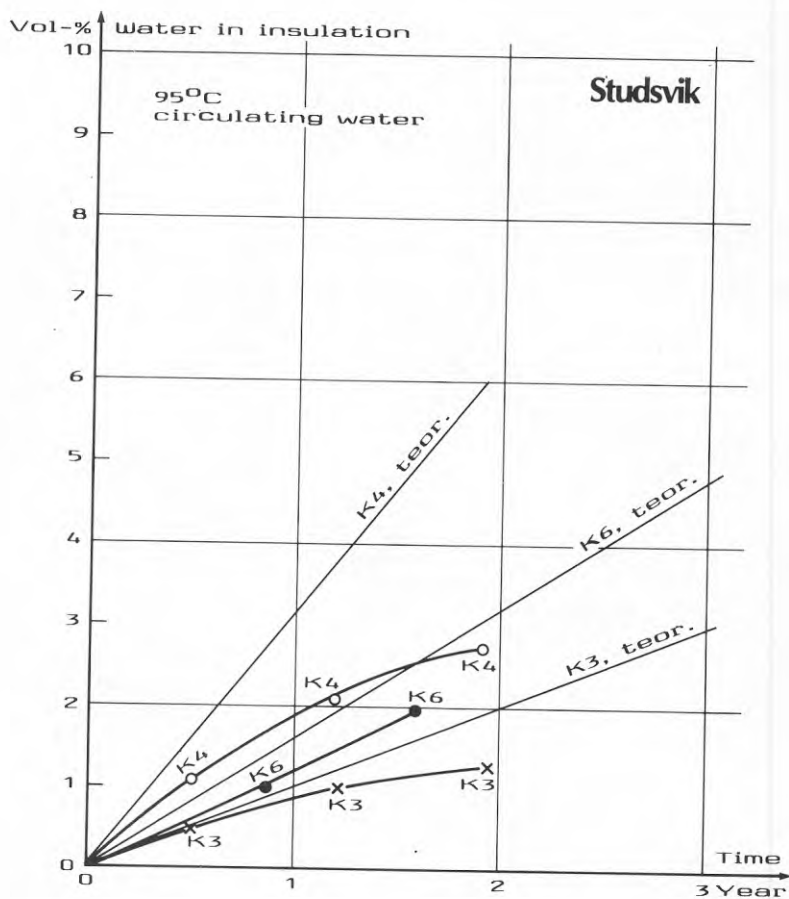


Diagram 3

Teoretisk och experimentell fuktupptagning för kulverttyp K3, K4 och K6 som exponerats för cirkulerande vatten av 95°C genom mediarören.

Man kan även för K3 och K4 se att fuktuppbbyggnadshastigheten avtar efter ca 1.2 års exponering. I Tabell 4 redovisas de fukthalter som kan förväntas för de olika kulverttyperna om dessa används i de två GRUDIS-systemen enligt Tabell 1.

Tabell 4

Förväntade medelfukthalter efter 30 år respektive 50 år för olika kulverttyper som utsatts för två olika driftsfall, se Tabell 1.

Kulverttyp	"Högtemperaturvariant"		"Lågtemperaturvariant"	
	30 år	50 år	30 år	50 år
K1	12 vol-%	20 vol-%	5.5 vol-%	9.1 vol-%
K2	< 1 vol-%	< 1 vol-%	< 1 vol-%	< 1 vol-%
K3	2.7 vol-%	4.4 vol-%	1.2 vol-%	2.0 vol-%
K4	5.6 vol-%	9.3 vol-%	2.6 vol-%	4.4 vol-%
K6	5.0 vol-%	8.0 vol-%	2.2 vol-%	3.6 vol-%

Resultaten visar att en tunn isolering leder till en mycket hög fuktuppbbyggnad redan efter 30 år. Det bör påpekas att de kulverttyper som testats utgör de mest kritiska dimensionerna. Fuktuppbbyggnaden i grövre dimensioner blir mindre på grund av större isolervolym (5).

För att studera fuktgradienten i isoleringen har kulverttyp K1 undersökts efter exponering med cirkulerande vatten av 95°C i 21 400 h (2.5 år). Provbitar har tagits ut från olika djup i isoleringen och fukthalten har bestämts. En detaljerad beskrivning av resultaten visas i Tabell A.20. Resultaten visar entydigt att huvuddelen av fukten är koncentrerad till isoleringens utsida. Diagram 4 visar hur medelfuktgradienten ser ut i kulverttyp K1. Värdena utgör medelvärden av försöken A - F i Tabell A.20.

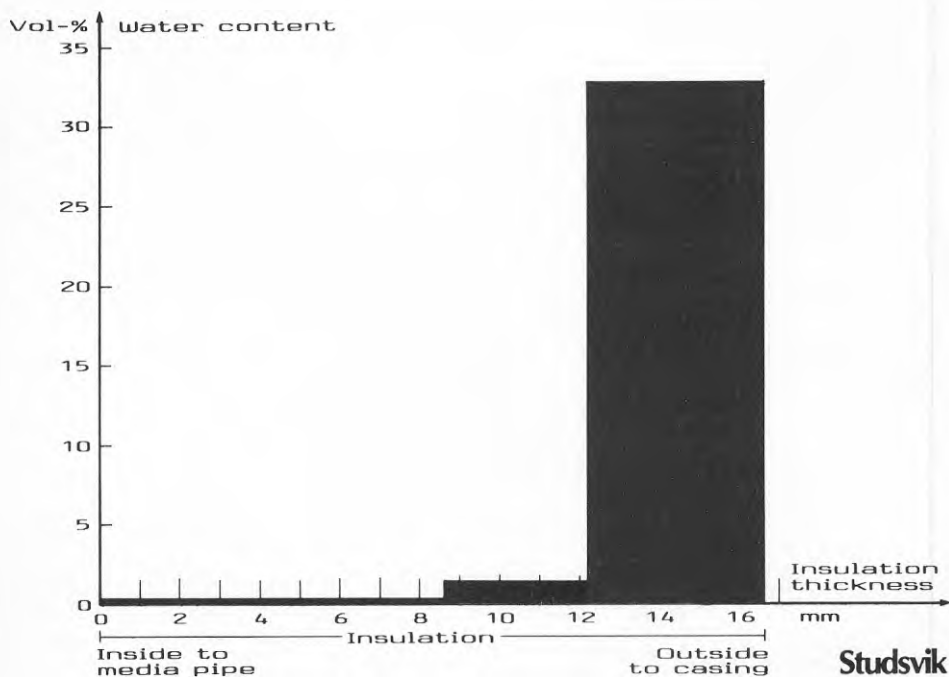


Diagram 4

Fuktfördelningen i isoleringen hos kulverttyp K1 som exponerats med cirkulerande vatten av 95°C genom mediaröret under 21 400 h. Medelfukthalten är 7.7 vol-%, se vidare Tabell A.20.

Värdena har också korrigerats för den fuktmängd som finns i oexponerat isolermaterial. Att den mesta fukten är placerad mot utsida kan vara en fördel ur värmeförlustsynpunkt, se vidare kapitel 6.2.6.

6.2.6 Värmeförlustmätning

För att undersöka hur fukthalten i isoleringen påverkar värmeförlusten har en första preliminär undersökning utförts på kulverttyp 1. Undersökningen har utförts på såväl oexponerad som exponerad kulvert. Den exponerade kulverten hade utsatts för cirkulerande vatten vid 95°C i

21 400 h. Medelfukthalten var 7.7 vol-% och fuktgradienten hos isoleringen framgår av Diagram 4 (kapitel 6.2.5).

Exempel på avsvlningsförlopp för oexponerad och exponerad kulvert visas i Diagram 5. Vi har valt att dra tangenten för temperatursänkningen vid 85°C, se Diagram 5. Tabell A.21 visar resultaten från de olika mätningarna. I medeltal blir avsvlningshastigheten för den exponerade kulverten 45 % högre än för den oexponerade kulverten.

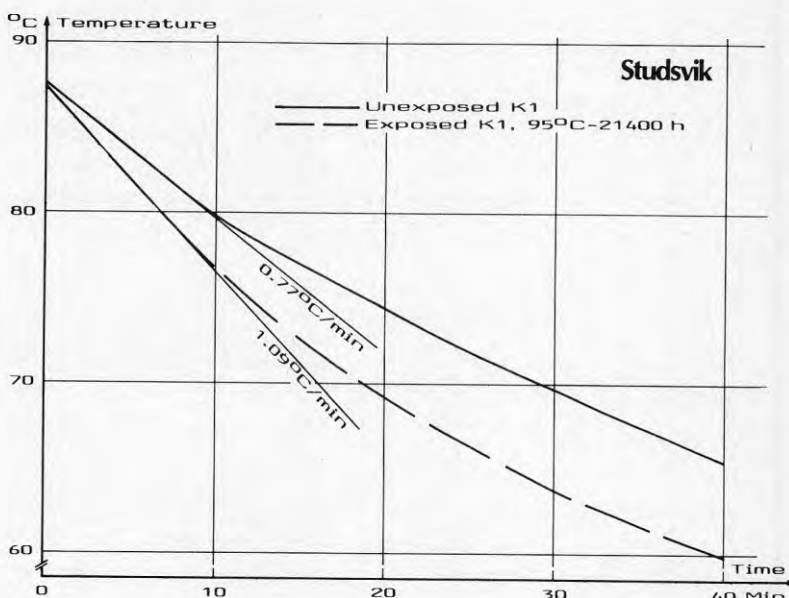


Diagram 5

Exempel på avsvlningskurva för oexponerad och exponerad kulvert av typ K1. Den exponerade kulverten innehåller en medelfukthalt av 7.7 Vol-%.

Som framgår av Diagram 4 så har utsidan av isoleringen en mycket hög fukthalt. Om man överlagsmässigt reducerar isolertjockleken till den tjocklek som har en låg fukthalt erhålls en reduktion av isolertjockleken på ca 26 %. Om man

antar att λ -värdet och övriga parametrar är konstanta skulle detta ge en ökad värmeförlust för den exponerade kulverten på ca 22 %. Det experimentella värdet är alltså dubbelt så stort. Den troligaste förklaringen ligger i att λ -värdet för isoleringen i den exponerade kulverten som innehåller en viss mängd fukt är högre än för oexponerat isolermaterial. Detta gäller främst de områden som innehåller ca 1.2 vol-% fukt, se Diagram 4.

Just det förhållandet att den mesta fukten hamnar mot isoleringens utsida kan gynna kulverttyper med relativt tjock isolering. Värmeförlustökningen vid en medelfukthalt på 7.7 vol-% för kulverttyp K3 eller K4 behöver därför inte vara lika hög som för K1. Detta måste dock närmare undersökas. Dessutom bör värmeförlustmätningar genomföras vid olika medelfukthalter för att fastställa sambandet mellan värmeförlust och medelfukthalt. De nu framtagna resultaten visar dock att man mycket överslagsmässigt får räkna med en ökad värmeförlust på ≤ 6 % per volymprocent medelfukt. Om man överför dessa resultat på Tabell 4 och studerar de olika kulverttyperna för "högtemperaturvarianten" erhålls en ökad värmeförlust för den sämsta kulverttypen K1 på över 72 % efter 30 år. Motsvarande för den bästa mantlade kulverttypen K3 blir endast 16 %. Det bör påpekas att dessa slutsatser är högst preliminära och kan komma att ändras efter fortsatta undersökningar.

7 REKOMMENDATIONER FÖR TYPPROVNING

7.1 Syretätade plaströr

Som framgår av resultaten under 6.1 är kunskapsnivån vad gäller långtidsegenskaper för syrespärrade plaströr begränsad. Detta gäller framförallt vid en jämförelse med kunskapsnivån för ospärrade mediarör. Detta faktum innebär att de i det följande presenterade förslagen till typprovning måste betraktas som ytterst preliminära. Rekommendationerna kan därför komma att ändras då ytterligare erfarenhet vunnits genom fortsatt utvärdering av syrespärrade plaströr.

De nu framtagna förslagen har inriktats på att kontrollera de syrespärrade rörens beständighet mot följande påverkan:

- Termisk nedbrytning
- Tryckcykling
- Temperaturcykling
- Systemavstängning

Vi har i det följande utgått från två olika tryckklasser, 10 bar respektive 6 bar. Vidare har kraven och provningsbetingelserna anpassats till de två temperaturvaraktigheterna i Tabell 1 under kapitel 6.1. Det gemensamma kravet på de syrespärrade rören efter avslutad provning är att syrepermeabiliteten skall vara så låg att några korrosionsproblem inte uppträder i systemet. Baserat på de korrosionsförsök som utförts i Studsvik (7) har man kunnat fastställa att det behövs en reduktion av syrepermeabiliteten med en faktor 20 - 100 gånger jämfört med ett ospärrat mediarör av PEX eller PB. Högre drifttemperatur och högre syreinläckage per

kolstålsyta leder till behov av en högre reduktionsfaktor. Reduktionsfaktorn 20 gäller för ett GRUDIS-system där andelen plaströr (syreinläckage) är mycket litet i förhållande till kolstålsytan och där driftstemperaturen är ca 55°C. Reduktionsfaktorn 100 gäller för en driftstemperatur av 80°C och där förhållandet plaströr (syreinläckage) per kolstålsyta är hög. För att undvika alltför många olika kravnivåer har vi fastlagt att syrepermeabiliteten inte vid någon temperatur får överstiga den som motsvarar en reduktion med en faktor 40 vid 80°C. Detta innebär att efter avslutad provning av syretätade rör för "högtemperaturvarianten" enligt Tabell 1 så måste syrepermeabiliteten vid 80°C inte vara högre än $3 \cdot 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \text{ bar}$. På samma sätt får inte syrepermeabiliteten vid 60°C överstiga detta värde för rör som provats för "lågtemperaturvarianten" enligt Tabell 1. När ytterligare dokumentation finns framme om långtidsegenskaperna hos syrespärrade rör kan kravnivåerna för tillåten syrepermeabilitet komma att närmare preciseras. Denna föreslagna nivå på tillåten syrepermeabilitet efter provning är att betrakta som förhållandevis konservativ om man också bedömer utformningen av de accelererade testerna.

7.1.1. Termisk beständighet

Som tidigare redogjorts för så saknas kunskap om accelerationsfaktorer för syrespärrade rör. Detta leder till stora svårigheter att konstruera en accelererad provmetod för att bevisa en 50-årig livslängd. I brist på kunskap om accelerationsfaktorerna har vi valt att som en första approximation arbeta med de i (4) framtagna accelerationsfaktorerna för mediarör av plast.

Tabell 5 sammanfattar provningsförslagen för att bevisa en 50-årig livslängd för syrespärrade plaströr under två olika driftsförhållanden. Observera att om ett visst rörmaterial inte kan utvärderas vid 110°C kan en lägre provningstemperatur användas men då förlängs provtiden. Provnigen utförs endast vid en temperatur.

Tabell 5

Hydrostatisk tryckprovning av syrespärrade plaströr.

Allmänna provningsbetingelser

Antal rörprover: 1 prov för $\varnothing \geq 50$ mm och 1 prov för $\varnothing < 32$ mm.
 Provlängd: ≥ 6 m
 Provningsmiljö: Invändigt - vatten, Utvändigt - luft.
 Böjradie: ≤ 1.5 m

"Högtemperaturvariant", enligt Tabell 1

Alternativ	Temp (°C)	Provtid (h)	Hydrostatiskt tryck	
			10-bars rör (bar)	6-bars rör (bar)
1	110	4 500	6.4	3.8
2	105	7 300	7.6	4.5
3	100	12 000	8.8	5.2
4	95	20 000	10.0	6.0

Krav: Efter avslutad provning får syrepermeabiliteten inte överstiga $3 \cdot 10^{-12}$ g · cm/cm² · s · bar vid 80°C. Beräkning av syrepermeabiliteten skall baseras på hela rörtjockleken, inklusive alla närvarande skikt.

"Lågtemperaturvariant", enligt Tabell 1

Alternativ	Temp (°C)	Provtid (h)	Hydrostatiskt tryck 10-bars rör (bar)	tryck 6-bars rör (bar)
1	95	5 400	6.4	3.8
2	90	9 400	7.6	4.5
3	85	16 500	8.8	5.2
4	80	29 000	10.0	6.0

Krav: Efter avslutad provning får syrepermeabiliteten inte överstiga $3 \cdot 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{bar}$ vid 60°C. Beräkningen av syrepermeabiliteten skall baseras på hela rörtjockleken inklusive alla närvarande skikt.

7.1.2 Tryckcykling

För att erhålla en viss bakgrundsinformation om antalet tryckcyklingar i ett verkligt system har kontakt tagits med fyra olika värmeverk. I princip kan man räkna med 2 tryckcyklingar per dygn. De uppkomna tryckvariationerna varierade mellan 1 bar och 7 bar. I medeltal erhöles en tryckvariation på 4.5 bar. På ett 16 bars system innebär detta en variation på ca 30 %. Överfört till plaströrsystemens 6 respektive 10 bars system erhålls en tryckvariation på 2 bar respektive 3 bar. De olika tryckvariationerna utförs approximativt under 1 h. I vissa fall kan man dock erhålla kortare tider ner till 5 - 15 minuter.

Med utgångspunkt från dessa bakgrundsdata har ett första förslag till tryckcyklingstest satts upp i Tabell 6. Minimikravet på antalet cykler har satts till 17 500 vilket motsvarar en driftstid av 25 år. Vidare har stigtiden och reduceringstiden för tryckförändringen satts till 15 minuter. Temperaturnivån har fastställts till den högsta tillåtna driftsnivån.

Tabell 6

Tryckcyklingsstest av syrespärrade plaströr.

Allmänna provningsbetingelser

Antal rörprover: 1 prov för $\emptyset \geq 50$ mm och 1 prov för $\emptyset \leq 32$ mm.
 Provlängd: ≥ 6 m
 Provningsmiljö: Invändigt - vatten, Utvändigt - luft.
 Böjradie: ≤ 1.5 m
 Antal tryckcykler: 2 st/h
 Tryckstegringsstid: ≤ 15 minuter
 Tryckreduceringsstid: ≤ 15 minuter

"Högtemperaturvariant", enligt Tabell 1

Temp (°C)	Trycknivåer 10-bars rör (bar)	6-bars rör (bar)	Provtid (h)	Antal cykler
90 alt 95	7 - 10	4 - 6	8 700	> 17 500

Krav: Efter avslutad provning får syrepermeabiliteten inte överstiga $3 \cdot 10^{-12}$ g · cm/cm² · s · bar vid 80°C. Beräkning av syrepermeabiliteten skall baseras på hela rörtjockleken, inklusive alla närvarande skikt.

"Lågtemperaturvariant", enligt Tabell 1

Temp (°C)	Trycknivåer 10-bars rör (bar)	6-bars rör (bar)	Provtid (h)	Antal cykler
70 alt 75	7 - 10	4 - 6	8 700	> 17 500

Krav: Efter avslutad provning får syrepermeabiliteten inte överstiga $3 \cdot 10^{-12}$ g · cm/cm² · s · bar vid 60°C. Beräkningen av syrepermeabiliteten skall baseras på hela rörtjockleken inklusive alla närvarande skikt.

7.1.3-----Temperaturcykling

Med utgångspunkt från de bakgrundsfakta som redogjorts för under kapitel 6.1.2 har ett första förslag till typtest satts upp i Tabell 7. Temperaturintervallet är fastlagt till 20°C mot i medeltal 16°C som erhållits från bakgrundinformationen. Vidare har ett krav på minst 1 600 cykler fastlagts vilket motsvarar det antal stora temperaturcykler som i medeltal kan förväntas under en 50 årsperiod.

Tabell 7

Temperaturcyklingsstest av syrespärrade plaströr.

Allmänna provningsbetingelser

Antal rörprover: 1 prov för $\varnothing \geq 50$ mm och 1 prov för $\varnothing \leq 32$ mm.

Provlängd: ≥ 6 m

Provningsmiljö: Invändigt - vatten, Utvändigt - luft.

Böjradie: ≤ 1.5 m

Antal temperaturcykler: ca 7 st/dygn

Temperaturändring: Temperaturen styrs efter vattentemperaturen inuti röret. Vid temperatursänkning stängs värmeskåpet av och när den nedre temperaturnivån uppnåtts startas värmeskåpet. Den övre temperaturnivån minus 5°C skall vara uppnådd inom minst 30 minuter. Tiden vid den högre temperaturnivån avpassas så att ca 7 cykler/dygn erhålles.

"Högtemperaturvariant", enligt Tabell 1

Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Trycknivåer 10-bars rör (bar)	6-bars rör (bar)	Provtid (h)	Antal cykler
60 - 80	10	6	> 5 500	> 1 600

Krav: Efter avslutad provning får syrepermeabiliteten inte överstiga $3 \cdot 10^{-12}$ g \cdot cm/cm² \cdot s \cdot bar. Beräkning av syrepermeabiliteten skall baseras på hela rörtjockleken, inklusive alla närvarande skikt.

"Lågtemperaturvariant", enligt Tabell 1

Temp (°C)	Trycknivåer 10-bars rör (bar)	6-bars rör (bar)	Provtid (h)	Antal cykler
40 - 70	10	6	> 5 500	> 1 600

Krav: Efter avslutad provning får syrepermeabiliteten inte överstiga $3 \cdot 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{bar}$. Beräkningen av syrepermeabiliteten skall baseras på hela rörtjockleken inklusive alla närvarande skikt.

Provningen enligt 7.1.2 och 7.1.3 kan eventuellt kombineras till en test men då måste provtiden uppgå till minst 8 700 h.

7.1.4 Systemavstängning

Förslag till provprogram visas i Tabell 8.

Tabell 8

Provmethod för simulering av systemavstängning.

Allmänna provningsbetingelser

Antal rörprover: 1 prov för $\varnothing \geq 50 \text{ mm}$ och 1 prov för $\varnothing < 32 \text{ mm}$.

Provlängd: $\geq 6 \text{ m}$

Provningsmiljö: Provningen bör helst utföras på en komplett kulvert med isolering och eventuell mantel. Trycksatt vatten cirkuleras genom mediarören och omgivningstemperaturen utanför manteln hålls vid $20 - 25^\circ\text{C}$. Alternativt får provning ske av endast mediarören i värmeskåp.

Temperatur - och tryckcykling: Rören exponeras för den högre provningstemperaturen under 4 dygn därefter görs rören trycklösa och rören får svalna till rumstemperatur under 1 dygn.

Forts Tabell 8

"Högtemperaturvariant", enligt Tabell 1

Temp (°C)	Trycknivåer 10-bars rör (bar)	6-bars rör (bar)	Provtid (h)	Antal cykler
80 - 23	10 - 0	6 - 0	8 700	> 70

Krav: Efter avslutad provning får syrepermeabiliteten inte överstiga $3 \cdot 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{bar}$. Beräkning av syrepermeabiliteten skall baseras på hela rörtjockleken, inklusive alla närvarande skikt.

"Lågtemperaturvariant" enligt Tabell 1

Temp (°C)	Trycknivåer 10-bars rör (bar)	6-bars rör (bar)	Provtid (h)	Antal cykler
60 - 23	10 - 0	6 - 0	8 700	> 70

Krav: Efter avslutad provning får syrepermeabiliteten inte överstiga $3 \cdot 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{bar}$. Beräkning av syrepermeabiliteten skall baseras på hela rörtjockleken, inklusive alla närvarande skikt.

7.2 Isolermaterial

Även för isolermaterialen är kunskapsnivån vad gäller långtidsegenskaper vid förhöjd temperatur mycket bristfälliga. Liksom för de syretätade plaströren måste därför de i det följande presenterade typprovningsförslagen betraktas som ytterst preliminära. De krav som nu ställs på isoleringen är utformade så att man skall undvika isolermaterial av allt för låg kvalitet till GRUDIS-systemen.

Typprovningsförslagen har inriktats på att kontrollera beständigheten hos isolermaterialen mot följande påverkan:

- Termisk nedbrytning i luft
- Termisk nedbrytning i fukt
- Kryp
- Sättning
- Vattenpermeabilitet från mediarör

7.2.1 Termisk beständighet - luft

Av central betydelse är att isolermaterialen inte påverkas kemiskt under långtidsbelastning vid normala driftstemperaturen. Mekaniska egenskaper som tryckhållfasthet och dimensionsegenskaper typ volymminskning får alltså inte dramatiskt ändras under livstiden. Dessutom måste krav ställas på att isolerförmågan inte drastiskt ändras under livstiden.

Som tidigare nämnts saknas kunskap om accelerationsfaktorer för de olika isolermaterialen. Vi har därför som en första ansats antagit samma accelerationsfaktorer som gäller för mediarör av plast (4). Med tanke på att de flesta flexibla isolermaterial är polyetenbaserade är detta antagande någorlunda realistiskt.

Typprovningsförslagen framgår av Tabell 9. Liksom tidigare är förslagen uppdelade på de två temperaturvarianterna som givits för GRUDIS-systemen enligt Tabell 1. Isolermaterialen kan utvärderas vid olika temperaturer men om en lägre provtemperatur används förlängs provtiden. Provning utförs endast vid en temperatur.

Tabell 9

Exponeringsprovning av isolermaterial i luft.

Allmänna provningsbetingelser

Antal prov:	5 prov för exponering och 5 oexponerade prov.
Provdimensioner:	25 mm x 25 mm x 10 mm som skärs ut från färdig kulvert. Mått för varje prov noteras.
Provning:	Utföres i värmeskåp.
Kompressionsprovning:	Utföres vid rumstemperatur med en hastighet av 2.5 mm/min.

Alternativ	"Högtemperaturvariant"		"Lågtemperaturvariant"	
	Temp (°C)	Provtid (h)	Temp (°C)	Provtid (h)
1	105	7 300	95	5 400
2	100	12 000	90	9 400
3	95	20 000	85	16 500
4	90	35 000	80	29 000

Krav: Efter avslutad provning får kompressionskraften vid 50 % alternativt 10 % kompression inte understiga motsvarande värde för oexponerat material med mer än 30 %. Volymminskningen efter provningen får inte vara större än 20 %.

När det gäller kravet på tillåten förändring av värmeledningstalet kan några kravnivåer inte fastläggas. I detta fall måste ytterligare bakgrundsdata tas fram.

7.2.2 Termisk beständighet - fuktig miljö

Vad gäller isolermaterialens beständighet mot fukt så måste man skilja mellan två olika kulvertsystem. För kulvertsystem som saknar mantel eller där vatten och fukt vid olika tillfällen kan tränga in i kulverten måste isolermaterialen klara en kortvarig exponering för fukt. Under

exempelvis vårperioden riskerar man att stora delar av kulvertsystemet utsätts för vattendränkning. Fukt som kommer in i isoleringen torkar sedan ut. Hur denna fuktupptagning- och torkningsprocess sker i detalj och hur den påverkar isolermaterialen är okända och behöver närmare studeras. Om man mycket överslagsmässigt antar att kulvertsystemet befinner sig under yttre vattenpåverkan under 30 dygn vid varje driftsår så erhålls en sammanlagd fuktpåverkan på 4 år under en 50 års-period. Vidare antages att driftstemperaturen under denna tid är 80°C för "högtemperaturvarianten" och 60°C för "lågtemperaturvarianten". Förslag till provning av isolermaterialen under dessa antaganden och med utnyttjande av accelerationsfaktorer visas i Tabell 10. Provingen utförs endast vid en temperatur.

Tabell 10

Exponeringsprovning av isolermaterial i fuktig miljö.

Allmänna provningsbetingelser

Antal prov:	5 prov för exponering och 5 oexponerade prov.
Provdimension:	25 mm x 25 mm x 10 mm som skärs ut från färdig kulvert. Mått för varje prov noteras.
Provning:	Provning utföres i en autoklav som innehåller en vattenbehållare med en öppning på \varnothing 1 - 3 mm. Proven placeras ovanför behållaren. Autoklaven placeras i värmeskåp.
Kompressionsprovning:	Utföres vid rumstemperatur med en hastighet av 2.5 mm/min.

Forts

Forts Tabell 10

Alternativ	"Högtemperaturvariant"		"Lågtemperaturvariant"	
	Temp (°C)	Provtid (h)	Temp (°C)	Provtid (h)
1	100	3 800	90	3 500
2	95	6 500	85	6 300
3	90	11 300	80	11 000
4	85	20 000	75	20 000

Krav: Efter avslutad provning får kompressionskraften vid 50 % alternativt 10 % kompression inte understiga motsvarande värde för oexponerat material med mer än 30 %. Volymminskningen efter provningen får inte vara större än 20 %.

Vid vattendränkning bör inte heller isolermaterialet ta upp fukt. Krav på isoleringen vad gäller vattenabsorption har tidigare framställts (8). Detta förslag samt övriga provförslag enligt (8) behandlas under punkt 7.2.6.

För isolermaterial som genom kulvertkonstruktionen inte bedöms utsättas för någon vattenpåverkan behövs inga krav uppställas. Det är dock önskvärt att även denna typ av isolering genomgår provning enligt Tabell 10. Detta beroende på att man inte helt kan utesluta möjliga inläckage av vatten. Dessutom erhålls en viss fuktpåverkan om vattenpermeabiliteten genom mediarören är hög, se kapitel 7.2.5.

7.2.3-----Kryp

Krypegenskaperna hos isolermaterialen är väsentliga vad gäller egenvikten av vattenfyllt mediarör och den belastning som isolermaterialen utsätts för vid termisk utvidgning av mediarören. Inverkan av dessa två belastningsfall är mest kritisk för mjuka isolermaterial med låg tryckhållfasthet. Vad gäller inverkan av termisk

utvidgning behövs ytterligare data från systemtester innan några krav på provning kan utformas.

Tabell 11 upptar därför endast förslag till kryptest vad avser egenvikten av mediarör. Belastningen är vald så att den motsvarar 1 - 5 gånger det tryck som erhålls med ett vattenfyllt mediarör i dimensionserien 110 mm - 25 mm. Vidare är provtemperaturen avpassad till den högsta driftstemperaturen samt till medeldriftstemperaturen för de två GRUDIS-varianterna. Test enligt A skall utföras för alla isolermaterial. Test B behöver endast utföras för nya material som saknar dokumentation.

Tabell 11

Krypförsök av isolermaterial:

Allmänna provningsbetingelser

Antal prov: 3 prov för varje serie.

Provdimensioner: 25 mm x 25 mm x 20 - 30 mm som skärs ut från färdig kulvert.

Provning: Kryptest sker i värmeskåp. För serie B görs avläsningar av krypdeformation en efter 1 h, 5 h, 10 h, 100 h, 500 h, 1 000 h, 5 000 h samt 8 600 h. För övrigt information se kapitel 5.2.2.

Prov serie	σ (MPa)	"Högtemperaturvariant"		"Lågtemperaturvariant"	
		Temp (°C)	Provtid (h)	Temp (°C)	Provtid (h)
A	$6 \cdot 10^{-4}$	90	8 600	70	8 600
B	$6 \cdot 10^{-4}$	70/75	8 600	60	8 600

Krav: Efter avslutad provning enligt A får isolermaterialet inte uppvisa en krypdeformation som är större än 10 %. Krypningarna enligt B extrapoleras till 50 år och får inte överstiga 10 %.

7.2.4 Sättning

Det genomförda systemtestet enligt 6.2.4 har visat att under normala driftsbetingelser (80 - 60°C) erhålls ingen sättning av isoleringen på grund av termisk utvidgning av mediäröret. Detta gäller utom i ett fall där distanselementet till en TWIN-kulvert utgjordes av ett mjukt PE-skum. I detta fall erhöles en sättning som var större än 30 %. Distanselementet bör därför utformas i ett material med högre tryckhållfasthet.

Den ur sättningssynpunkt mest kritiska driftbetingelsen utgörs av systemavstängning. I detta fall erhålls den största termiska utvidgningen av mediäröret. Ytterligare bakgrundsdata behövs därför innan några förslag på typprovningmetoder kan tas fram vad gäller sättning av isolermaterial till GRUDIS-system.

7.2.5 Vattenpermeabilitet

De nu framtagna resultaten enligt 6.2.5 visar entydigt att om mediärören inte avtätas mot vattenpermeabilitet så erhålls en ansamling av fukt i isoleringen. Denna fuktansamling sker endast om kulverten är försedd med en yttre mantel som förhindrar vidare utdiffusion av vatten. Hur denna fukt påverkar värmeförlusterna samt nedbrytningen av materialet är under utredning.

Det primära är att bestämma hur värmeförlusterna ökar med ökande fuktmängd i isoleringen. De försök som utförts hittills begränsas till mätning av en enda fukthalt. Mer data är nödvändiga innan några slutliga rekommendationer för typprovning kan ställas upp. Resultaten har dock

visat att man för vissa kulverttyper erhåller en sådan kraftig fuktansamling att vissa preliminära begränsningar vad gäller vattenpermeabiliteten måste införas. Vi har som en första ansats lagt fram att medelfukthalten efter 30 år inte får överstiga 5 vol-%. I Tabell 12 sammanfattas de formler som överslagsmässigt kan användas för att räkna ut medelfukthalten i isoleringen efter 30 år för de två GRUDIS-driftsfällen. Formlerna är baserade på den medelpermeabilitet som experimentellt erhållits för de olika kulvertarna under 6.2.5.

Tabell 12

Beräkning av medelfukthalten hos plaströrskulvertar efter 30 års exponering. Värdena gäller för mantlade kulvertar med manteltjocklekar > 1 mm.

Enkelrörskulvert

- X: Medelfukthalt efter 30 år (vol-%)
 d: Mediarörets ytterdiameter (cm)
 t: Mediarörets tjocklek (cm)
 D: Mantelrörets innerdiameter (cm)

Högtemperaturvariant

Lågtemperaturvariant

$$X = \frac{48 \cdot d}{t (D^2 - d^2)} (\text{Vol-\%})_{30 \text{ år}} \quad X = \frac{22 \cdot d}{t (D^2 - d^2)} (\text{Vol-\%})_{30 \text{ år}}$$

Krav: X måste vara ≤ 5 vol-%

Twin-kulvert

Antagande: Returtemperaturen är antagen till konstant 40°C.

- X: Medelfukthalt efter 30 år (Vol-%)
 d_1 : Ytterdiameter hos mediaröret för framledning (cm)
 d_2 : Ytterdiamter hos mediaröret för returledning (cm)
 t_1 : Väggtjocklek hos mediaröret för framledning (cm)
 t_2 : Väggtjocklek hos mediaröret för returledning (cm)
D: Mantelrörets innerdiameter (cm)

Högtemperaturvariant

$$X = \frac{48 \cdot d_1}{t_1} + \frac{7 \cdot d_2}{t_2} \text{ (vol-\%)}_{30 \text{ år}} \frac{1}{(D^2 - d_1^2 - d_2^2)}$$

Lågtemperaturvariant

$$X = \frac{22 \cdot d_1}{t_1} + \frac{7 \cdot d_2}{t_2} \text{ (vol-\%)}_{30 \text{ år}} \frac{1}{(D^2 - d_1^2 - d_2^2)}$$

Krav: X måste vara ≤ 5 vol-%

Som framgår av kapitel 6.2.6 så visar mycket preliminära data att 5 vol-% medelfukt leder till ca 30 % ökade värmeförluster. Det bör än en gång poängteras att kravet på 5 vol-% medelfukt kan komma att ändras när ytterligare data finns tillgängligt. Kravet skall idag uppfattas som en rekommendation att öka isolertjockleken om man erhåller mycket höga fukthalter för en speciell kulvertutformning.

7.2.6 Övriga typprovningsförslag för isoler- material

Följande förslag har tidigare presenterats i (8). Vad gäller rekommendationskrav för värmeför-luster samt specifika systemkrav för isolering så behandlas dess i (9).

Homogenitet (DS 2180)

Krav: Håligheter får inte ha ett djup > 10 mm eller $\geq 2/3$ nominell isolertjocklek. Om håligheter har ett djup < 10 mm får arean av håligheten inte överstiga 500 mm^2 .

Vattenabsorption

En provbit med måtten $25 \times 25 \times 25$ mm får under 20 timmar ligga i vatten med temperaturen 80°C . Metoden för beräkning av vattenupptagning är hämtad ur Dansk Standard, DS 2180, där provbitens vikt och volym bestäms före provet. Efter provet vägs provbiten och vattenupptagningen anges i volymprocent med avseende på ursprunglig volym.

Krav: Efter provning får vattenabsorptionen inte överstiga 10 vol-%.

8 DISKUSSION

Målsättningen med det genomförda projektet har tidigare konkretiserats i följande frågeställningar.

- Klarar plaströr med plast/metallfoliebarriär de tryck- och temperaturkrav, som kommer att ställas i ett GRUDIS-system, med bibehållna barriärsegenskaper?
- Kommer de intressantaste isoler-materialen att klara kraven i en GRUDIS-kulvert.
- Kommer vattenpermeabilitet hos media-röret att medföra problem?

Inom projektet har åtta olika syrespärrade rör undersökts. Hittills framtagna resultat visar att ingen av de undersökta rörkvaliteterna helt klarar de krav som ställs på ett syrespärrat plaströr för GRUDIS. Fem av rörkvaliteterna är klart olämpliga för användning i GRUDIS-system. För två av rörkvaliteterna behövs omfattande fortsatt utvärdering för att säkra dess användning. En rörkvalitet har givit mycket uppmuntrande resultat. Denna EVAL-spärrade kvalitet (227) bör efter vissa mindre kompletterande tester kunna rekommenderas för GRUDIS-system med låg temperaturbelastning. För att säkra användningen av denna rörkvalitet för samtliga GRUDIS-system behövs dock ytterligare dokumentation.

Inom projektet har också ett första förslag till typprovning av syrespärrade rör tagits fram. Kunskapsnivån vad gäller långtidsegenskaper för syrespärrade plaströr är mycket begränsad. Detta faktum innebär att förslagen till typprovning måste betraktas som ytterst preliminära. Den fortsatta utvärderingen måste inriktas på att bestämma accelerationsfaktorer för syrespärrade

rör under olika driftsbetingelser typ hydrostatiskt tryck, tryckcykling och temperaturcykling.

Totalt har sju olika isolermaterial undersökts. Inom projektet har ännu inte tillräckligt långa provtider erhållits för att helt säkra användningen av materialen för olika GRUDIS-system. Vad gäller den termiska beständigheten i luft så bedöms dock minst fyra av de undersökta materialen klara de uppställda kraven. Om isoleringen utsätts för yttre fuktpåverkan så reduceras antalet tänkbara isolermaterial till två stycken. PUR-skum som utsätts för fuktig miljö har en begränsad livslängd och rekommenderas ej för användning i sådana GRUDIS-system där yttre fuktpåverkan kan tänkas ske. När det gäller fuktpåverkan vid högre temperatur har tillfredsställande resultat uppnåtts med vissa PE-skum och PEX-skum. Vidare kan man slå fast att under normala driftsförhållanden så erhålls ingen krypdeformation eller sättning av isoleringen. En viss sättning hos distanselement till TWIN-kulvert har dock konstaterats.

Inom projektet har rekommendationer för typprovning av isolering föreslagits. Kunskapsnivån vad gäller långtidsegenskaper hos isolermaterial är fortfarande mycket bristfällig. De kravnivåer som presenterats för isolermaterialen är utformade så att man inledningsvis skall undvika att material av alltför låg kvalitet används för GRUDIS-system. Det är väsentligt att fortsatta insatser genomförs för att bestämma accelerationsfaktorer för isolermaterial. Vidare bör inverkan av tillfälliga vattendränkingar av kulvertsystem utredas vad gäller påverkan på isolermaterialen. Ytterligare dokumentation på mediarörets termiska utvidgning vid avstängning och

rör under olika driftsbetingelser typ hydrostatiskt tryck, tryckcykling och temperaturcykling.

Totalt har sju olika isolermaterial undersökts. Inom projektet har ännu inte tillräckligt långa provtider erhållits för att helt säkra användningen av materialen för olika GRUDIS-system. Vad gäller den termiska beständigheten i luft så bedöms dock minst fyra av de undersökta materialen klara de uppställda kraven. Om isoleringen utsätts för yttre fuktpåverkan så reduceras antalet tänkbara isolermaterial till två stycken. PUR-skum som utsätts för fuktig miljö har en begränsad livslängd och rekommenderas ej för användning i sådana GRUDIS-system där yttre fuktpåverkan kan tänkas ske. När det gäller fuktpåverkan vid högre temperatur har tillfredsställande resultat uppnåtts med vissa PE-skum och PEX-skum. Vidare kan man slå fast att under normala driftsförhållanden så erhålls ingen krypdeformation eller sättning av isoleringen. En viss sättning hos distanselement till TWIN-kulvert har dock konstaterats.

Inom projektet har rekommendationer för typprovning av isolering föreslagits. Kunskapsnivån vad gäller långtidsegenskaper hos isolermaterial är fortfarande mycket bristfällig. De kravnivåer som presenterats för isolermaterialen är utformade så att man inledningsvis skall undvika att material av alltför låg kvalitet används för GRUDIS-system. Det är väsentligt att fortsätta insatser genomförs för att bestämma accelerationsfaktorer för isolermaterial. Vidare bör inverkan av tillfälliga vattendränkningar av kulvertsystem utredas vad gäller påverkan på isolermaterialen. Ytterligare dokumentation på mediärörets termiska utvidgning vid avstängning och

uppstartning av kulvertsystem är nödvändig för att säkra isoleringens sättningsegenskaper. Detsamma gäller krypegenskaper vid förhöjd temperatur.

Vattenpermeabiliteten hos mediaröret ut i isoleringen medför ingen fuktuppbyggnad hos omantlade kulvertar. För mantlade kulvertar erhålls däremot en fuktuppbyggnad. Fuktuppbyggnaden är kritisk för kulverttyper med tunn isolering d v s med liten isolervolym. För den mest extrema kulverttypen som undersökts kan man förvänta sig en ökning av värmeförlusterna på 25 % efter 10 år och över 70 % efter 20 år. För kulverttyper med stor isolervolym förväntas inga problem uppstå vad gäller värmeförlustökningar. För den kulverttyp med den största isolervolymer som undersökts bedöms fuktuppbyggnaden leda till ökande värmeförluster på mindre än 5 % efter 10 år och på mindre än 16 % efter 30 år. De framtagna värmeförlustökningarna är baserade på enstaka mätningar varför ytterligare undersökningar bör genomföras för att säkra sambanden.

Inom projektet har inga undersökningar genomförts för mantelmaterial. I en tidigare GRUDIS-rapport (8) har systemkrav på mantlar specificerats. Dessa krav bör eventuellt kompletteras med en test som bevisar att mantelrören klarar en konstant långtidsdeformation. Med utgångspunkt från de erfarenheter som erhållits i fältmässiga installationer borde även en test på mantelrörets känslighet för yttre mekanisk påverkan utformas.

8.1 Slutsatser - syretätade plaströr

- Plaströr som enbart syretätats med vidhäftad metallfolie uppvisar dåliga

långtidsegenskaper vad gäller syrespärren.

- För rör där syrespärren utgörs av en metallspärr som är lastupptagande har två rörbrott inträffat.
- Plaströr som syretätats med en metallfolie utan vidhäftning till mediaröret men med en yttre armering uppvisar inga visuella defekter efter åldring. Effekten på syrepermeabiliteten vid begränsad sprickbildning i syrespärren är okänd.
- Långtidsegenskaperna hos syrespärren för plaströr som syretätats med plastbeläggning är varierande.
- Av totalt åtta undersökta syretätade rör bedöms endast en kvalitet ha förutsättningar för att klara driftförhållanden i ett GRUDIS-system.
- Den mest kritiska testmetoden för syrespärrade plaströr utgörs av temperaturcykling mellan 80°C och rumstemperatur.
- För syrespärrar med god vidhäftning till mediaröret leder mycket små ytdefekter typ punkterade blåsor till en kraftigt ökande syrepermeabilitet.
- Preliminära typprovningsförslag för syretätade plaströr är framtagna.

8.2 Slutsatser - isolermaterial

- Provtiden för de undersökta isolermaterialen vid termisk åldring i luft uppgår till över 3 500 h vid 105°C och över 11 000 h vid 95°C. De hittills bästa uppnådda resultaten för PE-skum, PEX-skum och PUR-skum indikerar på en 25-årig livslängd i ett GRUDIS-system.
- Nedbrytning av samtliga isolermaterialtyper accelereras i fuktig miljö jämfört med torr miljö. PUR-skum som åldrats i fuktig miljö vid 95°C har en livslängd som är mindre än 11 000 h.
- Krypdeformation eller sättning av isoleringen under normala driftsförhållanden bedöms som liten. För distanselement till TWIN-kulvertar har en viss sättning kunnat konstateras.

- Krypdeformationen hos isolermaterial vid maximal driftstemperatur behövs vidare dokumenteras. Detta gäller även sättningsegenskaperna hos isolermaterialen vid avstängning och uppstartning av GRUDIS-system.
- För omantlade kulvertar med mediarör av plast sker ingen fuktuppbyggnad i isoleringen.
- För mantlade kulvertar med mediarör av plast sker en fuktuppbyggnad i isoleringen. Den experimentellt bestämda fuktuppbyggnaden motsvarar 50 - 80 % av den teoretiskt beräknade. Huvuddelen av den utdiffunderade fukten är koncentrerad till isoleringens utsida.
- Mantlade kulvertar med liten isolervolym erhåller höga fukthalter i isoleringen på grund av utdiffunderat vatten från mediaröret.
- För vissa undersökta kulverttyper med liten isolertjocklek kan vattenpermeabiliteten leda till en kraftig ökning av värmeförlusterna. För kulverttyper med större isolervolymer väntas inga dramatiskt ökade värmeförluster ske under systemets livslängd.
- Preliminära typprovningsförslag för isolermaterial är framtagna.

REFERENSFÖRTECKNING

- 1 ROSEEN, R
Spillvärmeutnyttjande - ett material-
problem?
Studsvik Energiteknik AB, Sweden,
1976.
(Intern rapport AR-ET-1).
- 2 ROSEEN, R
Utveckling av nya ledningstyper för
varmvattentransport.
Studsvik Energiteknik AB, Sweden,
1976.
- 3 BERGLUND, G, IFWARSON, M
Inventering av plastmaterial i värme-
distributionssystem.
Byggforskningsrådet, R154:1984
- 4 IFWARSON, M
Metoder för accelererad provning av
värmerör av plast.
Studsvik Energiteknik AB, Sweden,
1984.
GRUDIS M2 - BFR - Etapp 2. Delrapport
EI-84/123.
- 5 BERGLUND, G
Inventering av metoder att sänka syre-
och vattenpermeabiliteten hos plaströr.
Byggforskningsrådet, R155:1984.
- 6 BERGLUND, G
Utvärdering av syretätade plaströr
samt undersökning av vattenpermea-
bilitet hos plaströr.
Studsvik Energiteknik AB, 1984.
GRUDIS M3 fas II. Delrapport
EI-84/109.
- 7 Uppgift från Anders Molander, ansvarig
för korrosionsavsnittet inom GRUDIS.
Studsvik Energiteknik AB, 1986.
- 8 LJUNGQVIST, J
Flexibla kulvertar - Kulvertuppbyggnad.
Studsvik Energiteknik AB, Sweden,
1984.
GRUDIS K1 - BFR - etapp 2. Delrapport
EI-84/117.
- 9 BLOMQVIST P-A, PERSSON S, LJUNGVIST J,
IFWARSON M, ODDVING B
GRUDIS-Handbok
Studsvik Arbetsrapport ED-86/21
Studsvik Energiteknik AB, Sweden,
1986.

Tabell A.1

Kodning och karaktärisering av olika syretätade plaströr.

Studsvik kod	Mediarör	Dimension ¹⁾ (mm x mm)	Barriärstyp	Anmärkning
172	PB	18 x 2.5	Al-folie	Skyddsskikt av glasfiber-armering och PE- utanför barriären.
197*	PEX	25 x 2.5	Al-folie	Skyddsskikt av PEX utanför barriären.
199**	PEX	20 x 2	PVAL	Skyddsskikt av PEX utanför barriären.
226	PEX	20 x 2	EVAL	
227**	PEX	20 x 2	EVAL	
228**	PEX	19 x 2.5	Al-folie	Skyddsskikt av PE utanför barriären.
229	PEX	19.5 x 2.7	Pb-Sn-folie	Skyddsskikt av PE utanför barriären.
231	PEX	17 x 2 ²⁾	PA (nylon)	

1) Ytterdiameter x rörtjocklek inklusive syrespärr.

2) Ytterdiameter x rörtjocklek exklusive syrespärr.

* Text på rör anger 10 bar - 95°C.

** Text på rör anger 6 bar - 60°C.

*** Test på rör anger 6 bar - 95°C.

Tabell A.2

Kodning och karaktärisering av isolermaterial.

Studsvik kod	Material typ	Densitet* kg/m ³	Anmärkning
PE-G1	PE-skum	30 - 34	Från rörform
PE-G2	PE-skum	30 - 32	Från block
PE-G3	PE-skum	59 - 70	Från block
PEX-G1	PEX-skum	64 - 73	Från kulvert
PEX-G2	PEX-skum	80 - 87	Från kulvert
PUR-G1	PUR-skum	58 - 73	Från kulvert
PUR-G2	PUR-skum	71 - 80	Från kulvert

* Bestämd från provbitar 25 x 25 x 10 mm.

Tabell A.3

Kodning och karakterisering av plaströrskulvertar för vattenpermeabilitetsstudier.

Studs- vik kod	Mediarör Dy x t mm x mm	Isolering tjocklek mm	Isolerings- volym per meter cm ³ /m	Mantel Dy x t mm x mm	Kulvert- längd mm	Anmärkning
K1	PEX 22 x 3	PUR 18	2 000	PEL 63 x 3	945	Slät mantel
K2	PEX 32 x 3	PEX 26	4 900	-	890	Saknar mantel
K3	PEX 28 x 4	PE 44	9 800	PEH 128 x 1.5	780	Korrugerad mantel 128/115
K4	PB 32 x 3.5	PEX 24	4 100	PE 90 x 5.5	810	Slät mantel
K6	PEX 32 x 3	PE 42	9 600	PEH 128 x 1.5	860	Korrugerad mantel 128/115.

Tabell A.4

Kodning och karaktärisering av plaströrskulvertar för systemtest.

Studs- svik kod	Mediarör Dy x t mm x mm	Isolering tjocklek mm	Mantel Dy x t mm x mm	Kulvert- längd mm
1	TWIN-PEX 2 x (25 x 2.3)	PE-G1*	saknas	1 750
2	PEX 32 x 3	PEX-G2, 38, (4 skikt)	115 x 0.4 (slät)	1 730
3	PEX 25 x 2.3	PE-G1, 47 (2 skikt)	PEH 128 x 1.5 (korrugerad)	1 760

* Rören är åtskilda med ett distanelement av typ "hundben", se Figur B.23. Utanför rören och "hundbenet" finns en 25 mm tjock PE-isolering.

Tabell A.5

Visuell inspektion av tryckprovade rör av kvalitet 226 (PEX 20 x 2 med EVAL-foolie). Rören är tryckprovade i luft.

Prov nr	Temp °C	σ MPa	Start	650 h	1 000 h	1 700 h	OBSERVATIONER			
							2 400 h	3 700 h	4 400 h	5 200 h
226-1	110	3.03	850603	-	-	-	-	-	-	-
				Spärrskikt sprucket längs hela röret. Delaminerat. Avslutat.						
226-2	110	2.99	850603	-	-	-	-	-	-	-
				Begynnande delamine-ring längs hela röret. Avslutat.						
226-3	110	2.02	850606	I.F	-	Ytterligare delaminering.	-	Spärrskikt sprucket på fyra ställen. Avslutat.	-	-
				Liten delamine-ring.						
226-4	110	2.02	850606	I.F	-	Delaminering.	-	Kraftig delaminering. Spricka - 80 mm. Avslutat.	-	-
				Två tvärgående veckbildningar.						
226-5	95	4.09	850606	*	*	*	*	*	*	*
				(Brunfärgat).						
226-6	95	4.08	850606	*	Spärrskikt helt delaminerat. Avslutat.	-	-	-	-	-
				(svagt brun)						
226-7	95	2.97	850606	*	*	*	*	*	*	*
				(svagt brun)						
226-8	95	2.97	850606	*	*	*	*	*	*	*
				(svagt brun)						

- Provet avslutat på grund av havererat spärrskikt

* Intakt spärrskikt. Viss missfärgning kan dock ha inträffat.

I.F Ingen ny förändring sedan sista observationen.

Tabell A.6

Visuell inspektion av tryckprovade rör av kvaliteten 227 (PEX 20 x 2 med EVAL-folie). Rören är tryckprovade i luft.

Prov nr	Temp °C	σ MPa	Start	OBSERVATIONER									
				650 h	1 000 h	1 700 h	2 400 h	3 050 h	3 700 h	4 400 h	5 200 h		
227-1	110	3.02	850606	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
				(Mörk-färgat)									
227-2	110	3.02	850606	Två delamineringsfläckar - \varnothing 15 mm. Spricka i en.	I.F	I.F	I.F	I.F	I.F (Brunflammigt)	I.F	I.F	I.F	Spricka i övre delamineringsfläck.
227-3	110	1.99	850603	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
227-4	110	1.99	850603	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
227-5	95	4.01	850603	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
													(matt zon \varnothing 5 mm mitt på prov)
227-6	95	4.00	850606	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
227-7	95	3.05	850606	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
									(svagt brun-färgat)				
227-8	95	3.03	850606	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

- Provet avslutat på grund av havererat spärrskikt.

* Intakt spärrskikt. Viss missfärgning kan dock ha inträffat.

I.F Ingen förändring sedan sista observationen.

Tabell A.7

Visuell inspektion av tryckprovade rör av kvalitét 231 (PEX 17 x 2 med PA-folie). Rören är tryckprovade i luft.

Prov nr	Temp °C	σ MPa	Start	OBSERVATIONER													
				120 h	500 h	650 h	1 000 h	1 150 h	1 700 h	2 400 h	3 650 h	5 200 h					
231-1	110	3.05	850607					Spärrskikt sprucket längs hela provet. Avslutat.									
231-2	110	3.05	850607					Spärrskikt sprucket. Delaminering. Avslutat.									
231-3	110	2.13	850628	Halva provet - delaminerat. Avslutat.													
231-4	110	2.10	850628	Halva provet - delaminerat. Avslutat.													
231-5	95	4.08	850625	Axiella sprickor i spärrskikt.	I.F			I.F									
231-6	95	4.08	850625	Axiella sprickor i spärrskikt.	I.F			I.F									
231-7	95	3.06	850607	Tangenti- ella sprickor i spärrskikt.	I.F			I.F									
231-8	95	3.05	850607	Tangenti- ella sprickor i spärrskikt.	I.F			I.F									

- Provet avslutat på grund av havererat spärrskikt.

* Intakt spärrskikt. Viss missfärgning kan dock ha inträffat.

I.F Ingen ny förändring sedan sista observationen.

Tabell A. 8

Visuell inspektion av tryckprovade rör av kvalitet 228 (PEX 19 x 2.5 med Al-folie och yttre skyddsskikt av PE). Rören är tryckprovade i luft.

Prov nr	Temp °C	σ MPa	Start	120 h	500 h	850 h	OBSERVATIONER					
							1 525 h	2 200 h	3 100 h	3 500 h	4 200-4 700 h	5 050 h
228-1	110	3.01	850610		Skyddsskikt I.F sprucket		Al-folien sprucken. Avslutat.	-	-	-	-	-
228-2	110	2.96	850610		Al-folien veckat sig. sprucket.		Skyddsskikt Al-folien sprucken. Avslutat.	-	-	-	-	-
228-3	110	2.04	850614	*	*	Spricka i Al-fogen. Skyddsskikt sprucket.	Al-skiktet delaminerat. Avslutat.	-	-	-	-	-
228-4	110	1.99	850614	*	Skyddsskikt veckat.		Begynnande delamine- ring av Al-skikt.	Skydds- skikt sprucket.	I.F	I.F	Hela skydds- skiktet sprucket.	I.F
228-5	95	4.01	850628	Hanterings- skada.	50 mm spricka i skyddsskikt.		Al-skikt vid skada - delaminerat.	I.F	Spricka i skyddsskikt - 100 mm. Begynnande delaminering av Al-skikt.	I.F	I.F	I.F
228-6	95	3.97	850628	*	Skyddsskikt sprucket.		Delaminering av Al-skikt. Avslutat - i 150 h.	-	-	-	-	-
228-7	95	2.96	850628	*	*	Uppläst skyddsskikt. Delaminering i Al-skikt. Avslutat - i 150 h.	-	-	-	-	-	-
228-8	95	2.94	850628	*	100 mm spricka i skydds- skikt.		Al-skikt buckligt vid spricka.	I.F	Ny spricka i skydds- skikt.	I.F	I.F	I.F

- Provet avslutat på grund av havererat spärrskikt.

* Intakt spärrskikt. Viss missfärgning kan dock ha inträffat.

I.F Ingen ny förändring sedan sista observationen.

Tabell A.9

Visuell inspektion av tryckprovade rör av kvalitet 229 (PEX 19.5 x 2.7 med Pb-Sn-folie och yttre skyddsskikt av PE). Rören är tryckprovade i luft.

Prov nr	Temp °C	σ MPa	Start	OBSERVATIONER												
				120 h	500 h	850 h	1 150 h	1 525 h	2 200 h	2 875 h	3 500 h	4 200 h				
229-1	110	3.07	850610	Segbrott efter 125 h.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
229-2	110	3.07	850610	Segbrott efter 110 h.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
229-3	110	2.04	850614	2 st 10 mm sprickor i spårskikt.	I.F	Sprickorna är 20 mm.	I.F	Totalt 5 sprickor i språrskikt.	Adhesiv-tränger ut.	Språrskikt sprucket i en linje. 5 sprickor. Avslutat.	-	-	-	-	-	-
229-4	110	2.03	850614	2 st sprickor i spårskikt.	I.F	En tredje spricka i spårskikt.	I.F	Sprickorna lokall-serade till tränger ut.	Adhesiv-medel	Avslutat.	-	-	-	-	-	-
229-5	95	4.05	850628	Begynnande sprickbildning.	Axiell spricka i hela rörets längd. Delaminering. Avslutat.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
229-6	95	4.03	850628	*	Axiella sprickor i spårskiktet längs hela provet. Delaminerat. Avslutat.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
229-7	95	3.02	850628	*	*	*	Spricka i spårskikt - 110 mm. Delaminerat. Avslutat.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
229-8	95	3.01	850628	*	Spricka i spårskikt 70 mm.	I.F	Delaminering. Avslutat.	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Provet avslutat på grund av havererat spårskikt. Intakt spårskikt. Viss missfärgning kan dock ha inträffat. I.F Ingen ny förändring sedan sista observationen.

Tabell A.10

Visuell inspektion av olika syrespärade rör som temperaturcyklats mellan 80°C och 50°C. Cykeltiden uppgår till 7 cykler/h. Samtliga rör har varit trycksatta under hela provningen med 8 bar respektive 10 bar. Provningen utförd med luft som yttre miljö.

Prov nr	Spärrskikt	σ MPa	P bar	Start	600 h	1 600-1 800 h	3 800 h	4 800 h	OBSERVATIONER			
									6 300 h	7 700 h	9 200 h	12 400 h
172-1	Al-folie	3.04	10	840905	Kopp- lingsbyte 300 h och 500 h.	*	*	*	*	*	Misstänkt delaminering "knackljud" vid ihop- tryckning.	*
197-1	Al-folie	4.41	10	840905	*	*	*	*	*	*		*
199-1	PVAL	4.41	10	841105	*	*	o	4 mm spricka PVAL-skarv Delaminering i 150 mm lång spricka.	o	Hela slingan delaminerad. Avslutad.	-	-
226-10	EVAL	3.53	8	850829	*	*	*					
227-11	EVAL	3.53	8	850829	*	*	*					
228-10	Al-folie	3.14	8	850829	*	*	*					
229-10	Pb-Sn	3.14	8	850829	*	*	13 st sprickor i spärrskikt. Längd 30 - 50 mm. Avslutat.	-	-	-	-	-
231-10	PA	2.94	8	850829	*	(Missfärgning vid kopplingen)	I.F					

* Intakt spärrskikt. Viss missfärgning kan dock ha inträffat.

o Ingen observation.

I.F Ingen ny förändring sedan sista observationen.

- Avslutat.

Tabell A.11

Visuell inspektion av olika svretätade rör som cyklistiskt tryckprovats vid 8 respektive 10 bar i 13 dygn vid 80°C. Därefter har rören gjorts trycklösa i dygn vid rumstemperatur (23°C), se kapitel 5.1.2.

Prov nr	Spärr- °C	σ MPa	P bar	Start	OBSERVATIONER								
					600 h	1 600 h	3 800 h	4 300 h	7 200 h	8 200 h	10 400 h	12 240 h	
172-2	Al-folie	0-3.04	0-10	841126	*	*	o	*	*	Misstänkt delaminering.	Fukt mellan I.F rör och spärrskikt i kapad bit.	-	-
197-2	Al-folie	0-4.41	0-10	841126	Omedelbart rörbrott.	-	-	-	-	-	-	-	-
197-3	Al-folie	0-4.41	0-10	841128	*	*	*	*	*	*	*	*	Rörbrott Avslutat.
199-2	PVAL	0-4.41	0-10	841126	*	*	*	*	*	Delaminerat i skarven längs hela slingan. Avslutat.	-	-	-
226-9	EVAL	0-3.53	0-8	850829	På ett 10-kalt område rådde ett blåsor. 14 st blåsor.	Tidigare område var ett blåsområde.	Blåsomområde var rådet 200 mm lång. Vissa blåsor punkterade.	-	-	-	-	-	-
227-9	EVAL	0-3.53	0-8	850829	6 st blåsor i ett område.	Tidigare blåsor nu 3 st. Diameter 40-100 mm.	6 st blåsor. En blåsa halvvägs runt röret.	-	-	-	-	-	-
228-9	Al-folie	0-3.14	0-8	850829	Tangentiella veck längd hela röret.	Misstänkt delaminering.	I.F	-	-	-	-	-	-
229-9	Pb-Sn	0-3.14	0-8	850829	*	*	3 st sprickor i spärrskikt. Avslutat.	-	-	-	-	-	-
231-9	PA	0-2.94	0-8	850829	*	(Missfärgning vid kopp-ling)	Tangentiella sprickor i spärrskikt på två ställen. Avslutat.	-	-	-	-	-	-

* Intakt spärrskikt. Viss missfärgning kan dock ha inträffat.
o Ingen observation.
I.F Ingen ny förändring sedan sista observationen.
- Avslutat.

Tabell A.12

Resultat från exponeringsprovning av isolermaterial PE-GI.

Temp	Miljö	Löptid	F ₅₀ %	Dimension	Vikt ¹⁾ förändring	Visuell förändring
°C		h	N	mm x mm x mm	%	
-	Oexp	-	39 ₋₂	25 x 25 x 10	(0.1988 g)	-
70	Luft	7 250	45 ₊₁	I.F	+ 4	Opåverkade
70	Luft	11 100	41 ₊₁	I.F	+ 3	Opåverkade
80	Luft	7 250	38 ₊₄	24 x 25 x 10	- 3	Opåverkade
80	Luft	11 100	39 ₋₂	I.F	+ 0	Opåverkade
95	Luft	1 060	47 ₊₂	I.F	+ 2	Opåverkade
95	Luft	7 250	45 ₊₁	I.F	- 3	Opåverkade
95	Luft	11 100	46 ₊₂	I.F	+ 1	Opåverkade
105	Luft	1 825	44 ₊₁	24 x 25 x 10	-	Opåverkade
105	Luft	3 480	42 ₊₂	I.F	+ 4	Opåverkade

forts

Tabell A.12 forts

Temp °C	Miljö	Löptid h	F ₅₀ % N	Dimension mm x mm x mm	Vikt ¹⁾ förändring %	Visuell förändring
80	Fukt	1 100	45 ₊₂	I.F	+ 2	Opåverkade
80	Fukt	3 550	40 ₊₄	I.F	+ 2	Opåverkade
80	Fukt	7 130	37 _{+0.5}	I.F	+ 1	Opåverkade
80	Fukt	11 000	39 ₊₂	24x25x10	+ 0	Viss mindre missfärgning i kanten.
95	Fukt	1 100	45 _{+0.5}	26x25x10	+ 1	Opåverkade
95	Fukt	7 130	37 ₊₁	I.F	+ 0	Mörkfärgning. Begynnande angrepp i kanten.
95	Fukt	11 000	47 ₊₁	I.F	+ 10	Mörkfärgning. Visst an- grepp på kanten.

1) Prover som exponerats i luft har ej vägts före exponering. Viktförändringsvärdena skall därför i detta fall endast betraktas som kvalitativa. Proverna i fuktig miljö är samtliga vägda före exponering. Viktavvikelsen före exponering är för PE-G1 max ± 2 %.

Tabell A.13

Resultat från exponeringsprovning av isolermaterial PE-G2

Temp	Miljö	Löptid	F ₅₀ %	Dimension	Vikt ¹⁾ förändring	Visuell förändring
°C	h	h	N	mm x mm x mm	%	
-	Oexp	-	72±5	25x25x10	(0.1959 g)	-
70	Luft	7 250	75±1	I.F	+ 5	Opåverkade
70	Luft	11 100	74±1	I.F	+ 0	Opåverkade
80	Luft	7 250	73±2	I.F	+ 2	Svag missfärgning
80	Luft	11 100	75±1	I.F	+ 1	Svag gulfärgning speciellt i kanten.
95	Luft	1 060	80±8	I.F	- 3	Opåverkade
95	Luft	7 250	78±2	I.F	+ 3	Gulfärgning speciellt i kanten.
95	Luft	11 100	75±1	24x26x10	+ 5	Kraftig gulfärgning speciellt i kanten.
105	Luft	1 825	63±12	23x24x9	-	Kraftig gulfärgning.
105	Luft	3 480	57±0.5	23x24x9	- 3	Mycket kraftig gulfärgning

1) Prover som exponerats i luft har ej vägts före exponering. Viktförändringsvärdena skall därför i detta fall endast betraktas som kvalitativa.

Tabell A.14

Resultat från exponeringsprovning av isolermaterial PE-G3

Temp	Miljö	Löptid	F ₅₀ %	Dimension	Vikt ¹⁾ förändring	Visuell förändring
-	Oexp	-	98 ₊₄	25x25x10	(0.3685 g)	-
70	Luft	7 250	86 ₊₃	I.F	+ 0	Opåverkade
70	Luft	11 100	98 ₊₁	I.F	- 1	Opåverkade
80	Luft	7 250	82 ₊₁	I.F	+ 2	Svag gulfärgade i kanten.
80	Luft	11 100	82 ₊₆	I.F	- 1	Gulfärgade
95	Luft	1 060	108 ₊₅	I.F	+ 13	Opåverkade
95	Luft	7 250	82 ₊₂	I.F	+ 6	Kraftigt gulfärgade.
95	Luft	11 100	103 ₊₂	25x26x10	(+ 22)	Mycket kraftigt gulfärgning
105	Luft	1 825	73 ₊₂₀	24x25x9	-	Kraftigt gulfärgning.
105	Luft	3 480	82 ₊₂	24x25x10	+ 12	Mycket kraftigt gulfärgning

1) Prover som exponerats i luft har ej vägts före exponering. Viktförändringsvärdena skall därför i detta fall endast betraktas som kvalitativa.

Tabell A.15

Resultat från exponeringsprovning av isolermaterial PEX-G1

Temp	Miljö	Löptid	F ₅₀ %	Dimension	Vikt ¹⁾ förändring	Visuell förändring
°C		h	N	mm x mm x mm %		
-	Oexp	-	119 ₊₇	25x25x10	(0.4361 g)	-
70	Luft	7 250	114 ₊₇	23x27x10	- 1	Dimensionsändring
70	Luft	11 100	117 ₊₁	22x27x10	- 1.5	Dimensionsändring
80	Luft	7 250	101 ₊₁	22x26x10	- 9	Dimensionsändring
80	Luft	11 100	120 ₊₃	22x28x10	+ 0	Dimensionsändring
95	Luft	1 060	140 ₊₇	21x28x10	- 1	Dimensionsändring
95	Luft	7 250	125 ₊₂	22x27x10	+ 0	Dimensionsändring
95	Luft	11 100	131 ₊₆	21x27x10	- 3	Dimensionsändring. Något brunfärgade kanter.
105	Luft	1 825	115 ₊₅	20x26x10	-	Dimensionsförändring.
105	Luft	3 480	139 ₊₂	20x26x10	- 6	Något brunfärgade kanter. Kraftig dimensionsförändring. Brunfärgade.

1) Prover som exponerats i luft har ej vägts före exponering. Viktförändringsvärdena skall därför i detta fall endast betraktas som kvalitativa.

Tabell A.16

Resultat från exponeringsprovning av isolermaterial PEX-G2

Temp	Miljö	Löptid	F ₅₀ %	Dimension	Vikt ¹⁾	Visuell förändring
°C		h	N	mm x mm x mm	förändring	
				%		
-	Oexp	-	172 ₊₄	25x25x10	(0.5022 g)	-
70	Luft	7 250	175 ₊₃	24x25x10	+ 1	Opåverkade
70	Luft	11 100	187 ₊₅	I.F	+ 7	Opåverkade
80	Luft	7 250	170 ₊₀	24x25x10	- 1	Opåverkade
80	Luft	11 100	212 ₊₄	I.F	+ 6	Opåverkade
95	Luft	1 060	196 ₊₄	I.F	+ 2	Opåverkade
95	Luft	7 250	206 ₊₄	24x26x10	+ 4	Opåverkade
95	Luft	11 100	201 ₊₅	24x25x10	-	Opåverkade
105	Luft	1 825	226 ₊₂₀	24x25x10	-	Opåverkade
105	Luft	3 480	232 ₊₃₆	24x25x10	+ 4	Opåverkade

Tabell A.16 (forts)

Resultat från exponeringsprovning av isolermaterial PEX-G2

Temp	Miljö	Löptid	F ₅₀ %	Dimension	Vikt ¹⁾	Visuell förändring
°C	h	h	N	mm x mm x mm	%	förändring
80	Fukt	1 100	203+3	I.F	+ 4	Opåverkade
80	Fukt	7 130	192+0	25x26x10	+ 3	Opåverkade
80	Fukt	11 000	216+2	26x26x10	+ 3	Opåverkade
95	Fukt	1 100	208+2	I.F	+ 1	Opåverkade
95	Fukt	3 550	203+1	26x25x10	+ 2	Opåverkade
95	Fukt	7 130	193+1	I.F	+ 9	Opåverkade
95	Fukt	11 000	220+12	I.F	+ 11	Opåverkade

1) Prover som exponerats i luft har ej vägts före exponering. Viktförändringsvärdena skall därför i detta fall endast betraktas som kvalitativa. Proverna i fuktig miljö är samtliga vägda före exponering. Viktavvikelsen före exponering är för PEX-G2 max + 1.5 %.

Tabell A.17

Resultat från exponeringsprovning av isolermaterial PUR-G1

Temp °C	Miljö	Löptid h	F ₅₀ % N	Dimension mm x mm x mm	Vikt ¹⁾ förändring %	Visuell förändring
-	Oexp	-	471+48	25x25x10	(0.4450 g)	-
70	Luft	7 250	494+30	25x27x10	- 2	Gulfärgade. Dimensionsökn.
70	Luft	11 100	433+29	25x27x10	+ 6	Brunfärgade. Dimensionsökn.
80	Luft	7 250	438+16	26x28x10	- 13	Gulfärgade. Dimensionsökn.
80	Luft	11 100	444+4	25x29x10	- 16	Brunfärgade. Dimensionsökn.
95	Luft	1 060	532+32	26x28x10	- 8	Gulfärgade. Dimensionsökn.
95	Luft	7 250	493+11	26x28x10	- 14	Brunfärgade. Dimensionsökn.
95	Luft	11 100	490+10	25x28x10	- 2	Brunfärgade. Dimensionsökn.
105	Luft	1 825	363+59	26x28x10	-	Gulfärgade. Dimensionsökn.
105	Luft	3 480	436+8	25x27x10	- 16	Brunfärgade. Dimensionsökn.

Tabell A.17 (forts)

Resultat från exponeringsprovning av isolermaterial PUR-G1

Temp	Miljö	Löptid	F ₅₀ %	Dimension	Vikt ¹⁾	Visuell förändring
80	Fukt	1 100	428 ⁺⁴	26x30x10	- 2	Stor dimensionsökning
80	Fukt	7 130	394 ⁺²²	26x30x10	+ 0	Brunfärgade. Stor dimensionsökning.
80	Fukt	11 100	381 ⁺³⁵	26x28x10	- 2	Brunfärgade. Stor dimensionsökning.
95	Fukt	1 100	475 ⁺¹⁵	25x31x10	+ 1	Brunfärgade. Stor dimensionsökning.
95	Fukt	3 550	455 ⁺⁵⁰	24x27x10	+ 17	Mörkt bruna. Visst fuktupptag.
95	Fukt	7 130	406 ⁺¹⁸	24x26x9	+ 45	Svartfärgade. Fuktupptagning. Dimensionsminskning.
95	Fukt	11 000	254 ⁺³⁰	21x22x8	+ 105	Svartfärgade. Kraftig fuktupptagning. Kraftig dimensionsminskning.

1) Prover som exponerats i luft har ej vägts före exponering. Viktförändringsvärdena skall därför i detta fall endast betraktas som kvalitativa. Proverna i fuktig miljö är samtliga vägda före exponering. Viktavvikelsen före exponering är för PUR-G2 max + 2.5 %.

Tabell A.18

Resultat från exponeringsprovning av isolermaterial PUR-G2

Temp	Miljö	Löptid	F ₅₀ %	Dimension	Vikt ¹⁾ förändring	Visuell förändring
°C	h	N	mm x mm x mm	%		
-	Oexp	-	379+22	25x25x10	(0.4978)	-
70	Luft	7 250	397+1	24x25x10	-12	Gulfärgade
70	Luft	11 100	499+61	I,F	-	Ljusbrunfärgade
80	Luft	7 250	375+13	24x25x10	-9	Ljusbrunfärgade
80	Luft	11 100	435+5	24x25x10	-5	Ljusbrunfärgade
95	Luft	1 060	415+9	24x24x10	-16	Gulfärgade
95	Luft	7 250	419+9	24x25x10	-14	Brunfärgade
95	Luft	11 100	415+15	23x25x10	-16	Brunfärgade. Dimensions- minskning
105	Luft	1 825	435+15	24x25x10	-	Brunfärgade
105	Luft	3 480	434+6	24x24x10	-10	Brunfärgade

1) Prover som exponerats i luft har ej vägts före exponering. Viktförändringsvärdena skall därför i detta fall endast betraktas som kvalitativa.

Tabell A.20

Bestämning av fuktgradient hos PUR-skum som exponerats som kulvert (K1) med cirkulerande vatten av 95°C genom mediaröret och en omgivningstemperatur av 23°C utanför manteln. Provtiden uppgår till 21 400 h (2.5) år.

Prov ¹⁾	Provuttag ²⁾ mm	Volym cm ³	Vikt fuktig g	Mängd fukt g	Vikt %	Volym %	Densitet "torr" kg/m ³
Oexp-1	0 - 3.5	3.2	0.2254	0.0150	6.6	0.5	75
Oexp-2	3.5 - 7.5	2.5	0.2114	0.0160	7.6	0.6	78
Oexp-3	7.5 - 11	2.8	0.2333	0.0194	8.3	0.7	76
Oexp-4	11 - 17	2.6	0.4859	0.0228	4.7	0.9	178
A - 1	0 - 3.7	1.3	0.1743	0.0093	5.3	0.7	126
A - 2	3.7 - 8.3	1.6	0.1885	0.0120	6.4	0.8	108
A - 3	8.3 - 11.8	1.4	0.1506	0.0214	14.2	1.5	92
A - 4	11.8 - 16.8	1.9	1.3024	0.9190	70.6	48.4	201
B - 1	0 - 5	1.4	0.1892	0.0118	6.2	0.8	126
B - 2	5 - 9	1.2	0.1202	0.0084	7.0	0.7	93
B - 3	9 - 13	1.0	0.1232	0.0132	10.7	1.3	110
B - 4	13 - 17	1.2	0.3875	0.1301	33.6	10.8	214
C - 1	0 - 4	2.7	0.3506	0.0248	7.1	0.9	120
C - 2	4 - 8.5	2.2	0.2704	0.0196	7.2	0.9	114
C - 3	8.5 - 12	2.4	0.4468	0.0623	13.9	2.6	160
C - 4	12 - 16.5	2.1	1.6002	1.1166	69.8	53.2	230
D - 1	0 - 4.5	2.4	0.3127	0.0202	6.4	0.8	122
D - 2	4.5 - 9	2.8	0.2939	0.0236	8.0	0.8	97
D - 3	9 - 12	2.2	0.2590	0.0200	7.7	0.9	108
D - 4	12 - 17	3.0	1.1961	0.4790	40.0	16.0	239

Forts

Tabell A.20 forts

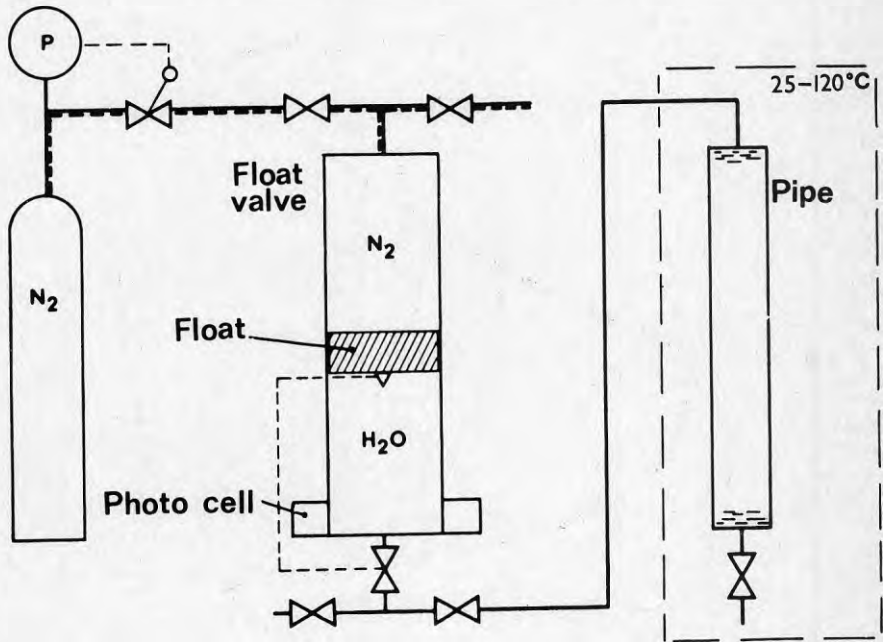
Prov ¹⁾	Provuttag ²⁾ mm	Volym cm ³	Vikt fuktig g	Mängd fukt g	Vikt %	Volym %	Densitet "torr" kg/m ³
E - 1	0 - 4	2.4	0.3226	0.0220	6.8	0.9	125
E - 2	4 - 8.5	2.3	0.2872	0.0329	11.5	1.4	111
E - 3	8.5 - 12.5	2.2	0.3773	0.0762	20.2	3.5	137
E - 4	12.5 - 16.5	2.2	1.3792	0.8680	62.9	39.5	232
F - 1	0 - 5	3.2	0.3942	0.0250	6.3	0.8	118
F - 2	5 - 8.5	1.9	0.2215	0.0191	8.6	1.0	107
F - 3	8.5 - 12	1.5	0.2858	0.0401	14.0	2.7	164
F - 4	12 - 16	2.4	1.3934	0.8183	58.7	34.1	240

- 1) Prov A och C är tagen från skum som varit belägget mot försöksutrustningen och därmed exponerats för en högre manteltemperatur. Prov B och D har varit placerade mot "luftsidan". Prov E och F är tagna vinkelrät A - B respektive C - D.
- 2) Räknat från mediarörets utsida mot mantelrörets insida.

Tabell A.21

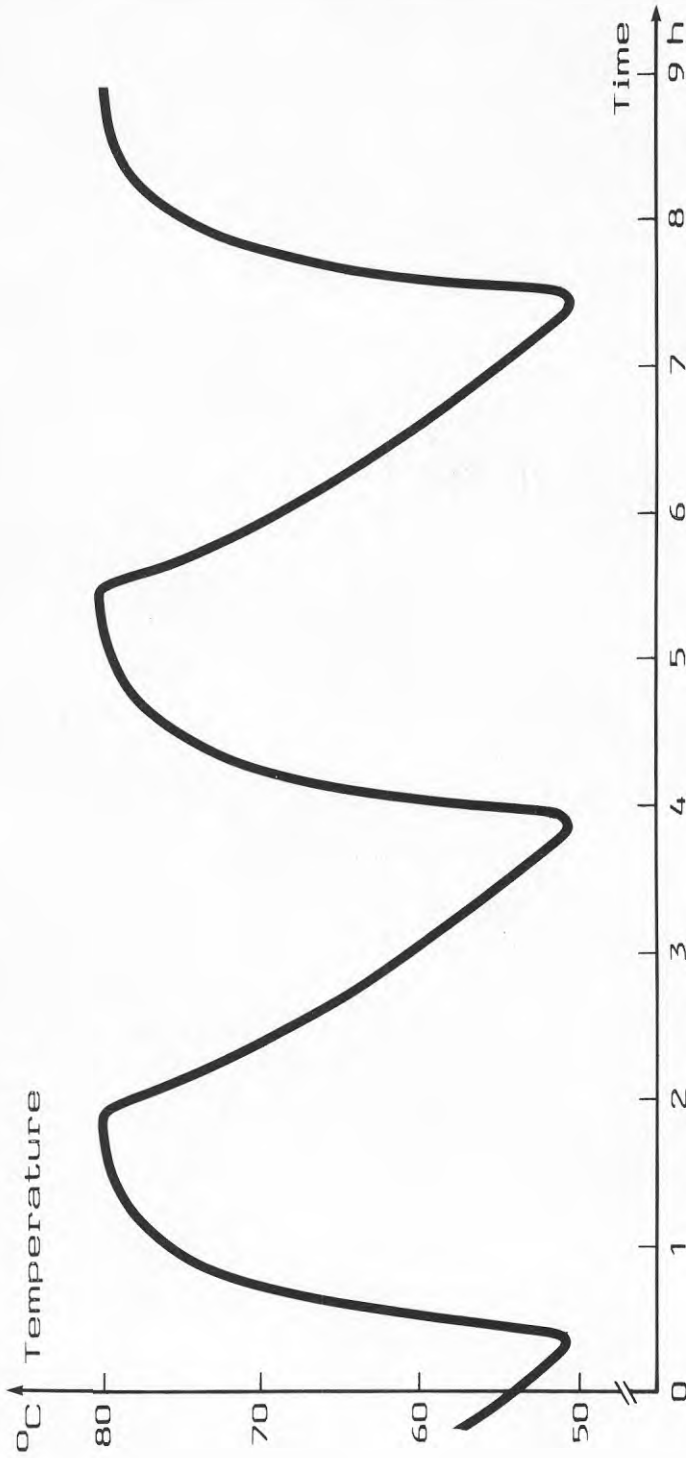
Beräknad temperatursänkningshastighet vid avsvlningsförsök för oexponerad och exponerad kulvert av typ K1. Den exponerade kulverten hade före mätningen belastats med cirkulerande vatten vid 95°C i 21 400 h.

Material	Medel- fukthalt vol-%	Termoelement placering	Temperatursänkning Tangent vid 85°C °C/min
Oexp K1 - A	< 0.5	Mitten	0.70
Oexp K1 - B	< 0.5	Mitten	0.77
Oexp K1 - C	< 0.5	Mitten	0.67
Oexp K1 - D	< 0.5	Mitten	0.82
Oexp K1 - E	< 0.5	Änden	0.69
Oexp K1 - F	< 0.5	Änden	0.77
Oexp K1 - G	< 0.5	Änden	0.69
Exp K1 - A	7.7	Mitten	1.09
Exp K1 - B	7.7	Mitten	1.06
Exp K1 - C	7.7	Änden	1.02
Exp K1 - D	7.7	Änden	1.07



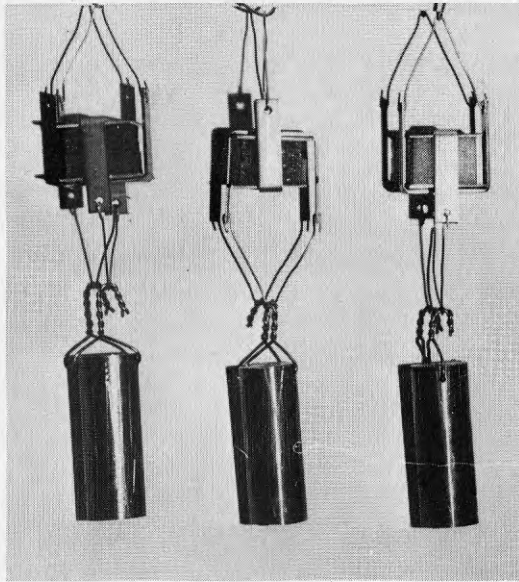
Figur B.1

Principskiss över tryckprovningsanläggningen. Kvävgas leds via en tryckregulator till en eller flera flottörventiler där en övergång sker till vatten som tryckmedium. Provet kan vara placerat i vattenbad eller ugnar.



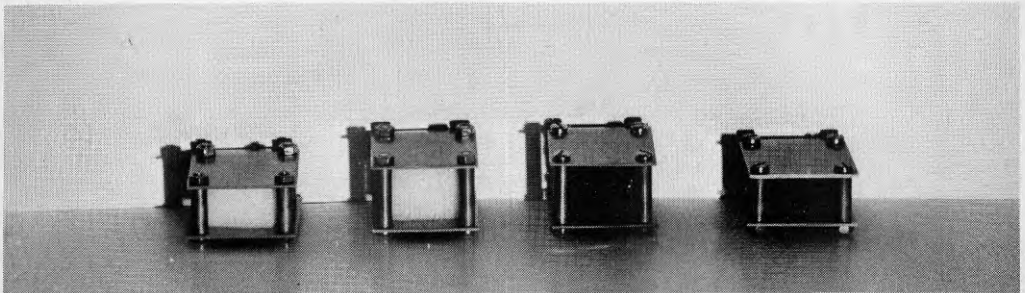
Figur B.2

Schematisk prgsentation av temperaturförloppet vid temperaturcykling av syretätade plast-rör mellan 50 C och 80 C, se kapitel 5.1.2. Temperaturen är relaterad till vattentempera-turen inuti rören.



Figur B.3

Försöksuppställning för undersökning av kryp-
egenskaperna hos olika isolermaterial.



Figur B.4

Exempel på försöksfixturer för bestämning av sättningsegen-
skaperna hos isolermaterial.

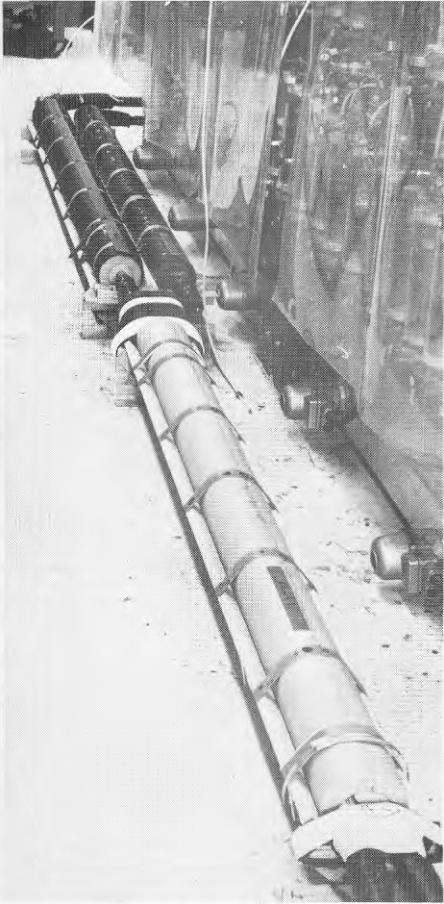


Bild A

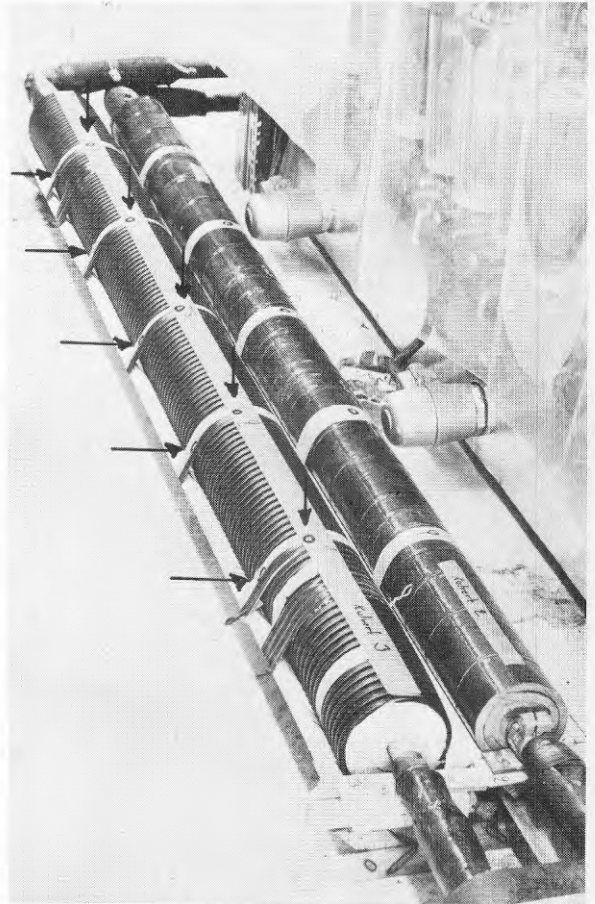


Bild B

Figur B.5

Försöksuppställning för systemtest av tre olika kulvertar (A). Bild B visar en detaljbild på två kulvertar där mätställena för den ena kulverten märkts ut med pilar.



Figur B.6

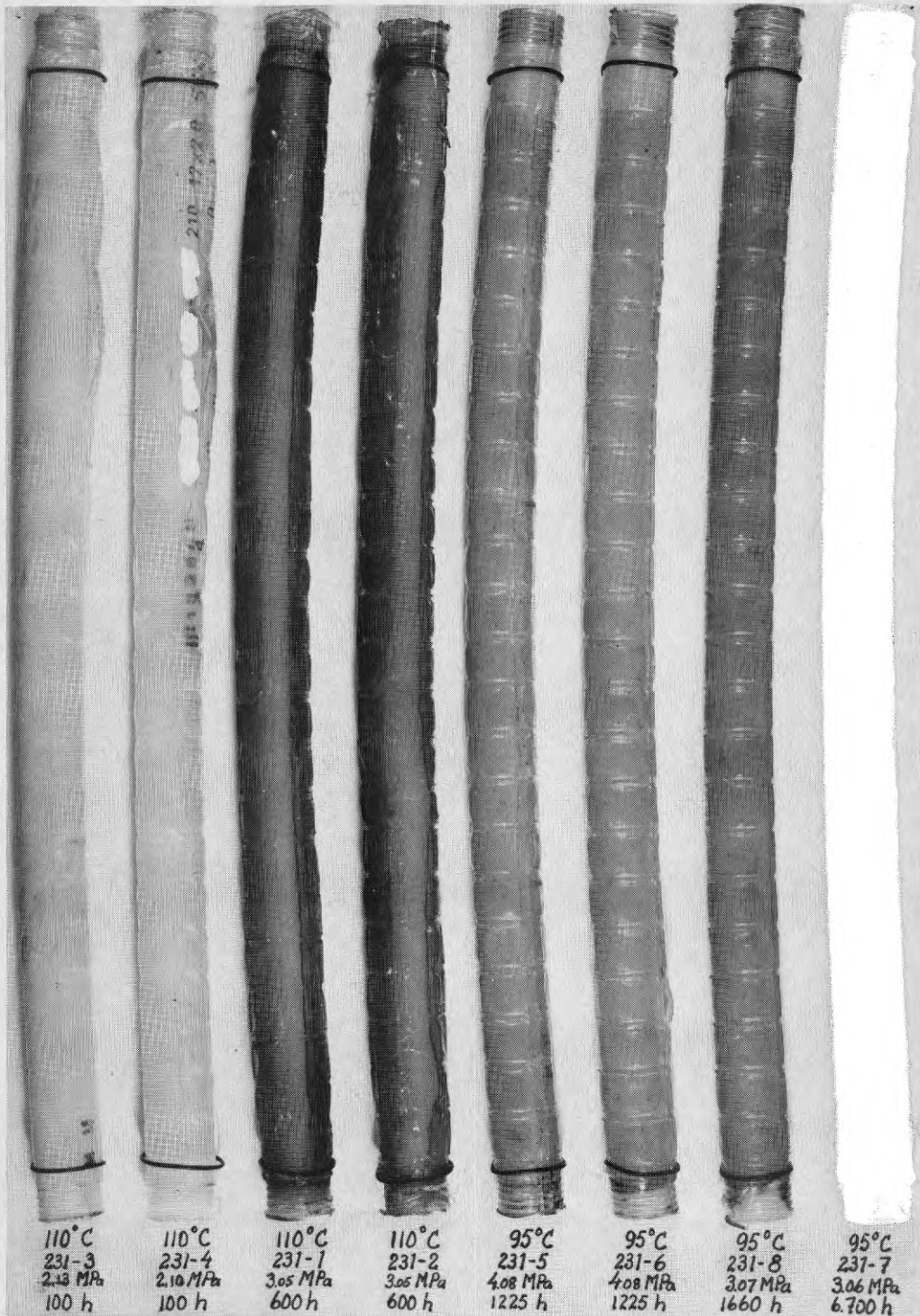
Cirkulationskrets för vattenpermeabilitets-
mätning

- | | |
|---|------------------|
| 1 | Kulvertprover |
| 2 | Cirkulationspump |
| 3 | Värmare |
| 4 | Temperaturmätare |



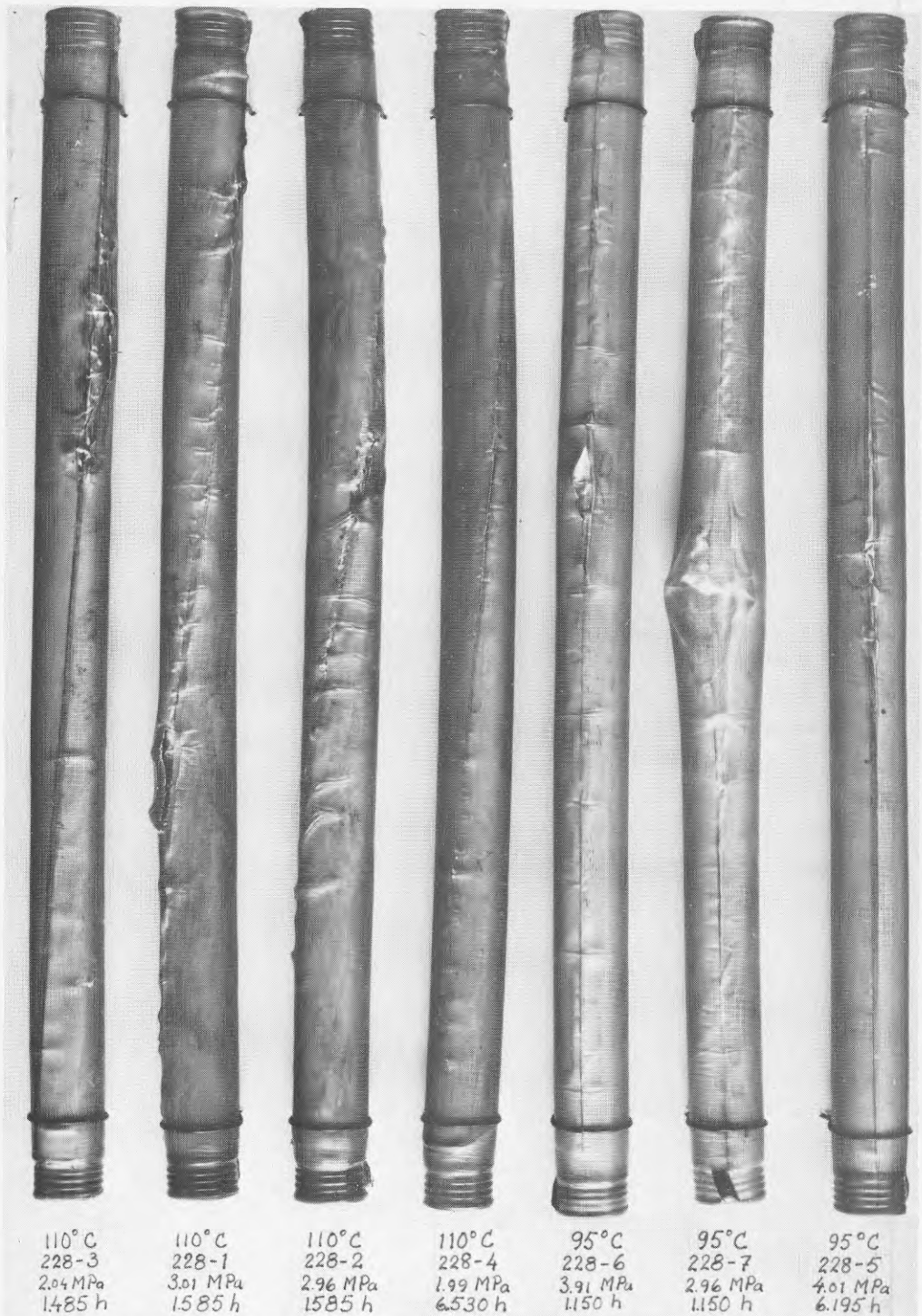
Figur B.7

Tryckprovade rörprover av kvalitet 226 som avslutats, se Tabell A.5.



Figur B.8

Tryckprovade rörprover av kvalitet 231 som avslutats, se Tabell A.8.



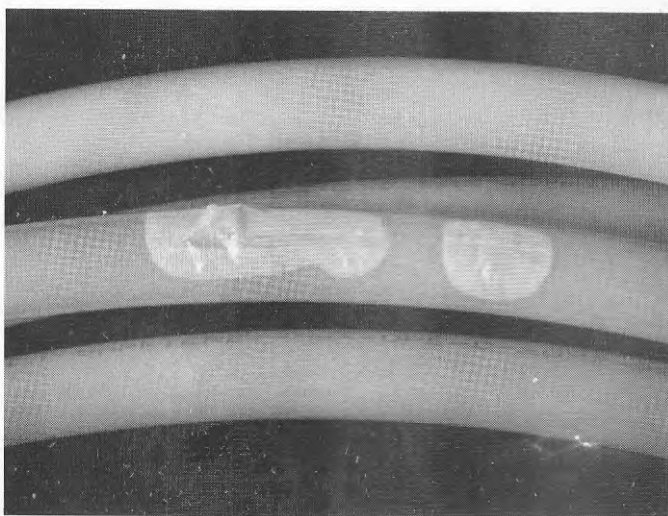
Figur B.9

Tryckprovade rörprover av kvalitet 228 som avslutats, se Tabell A.8.



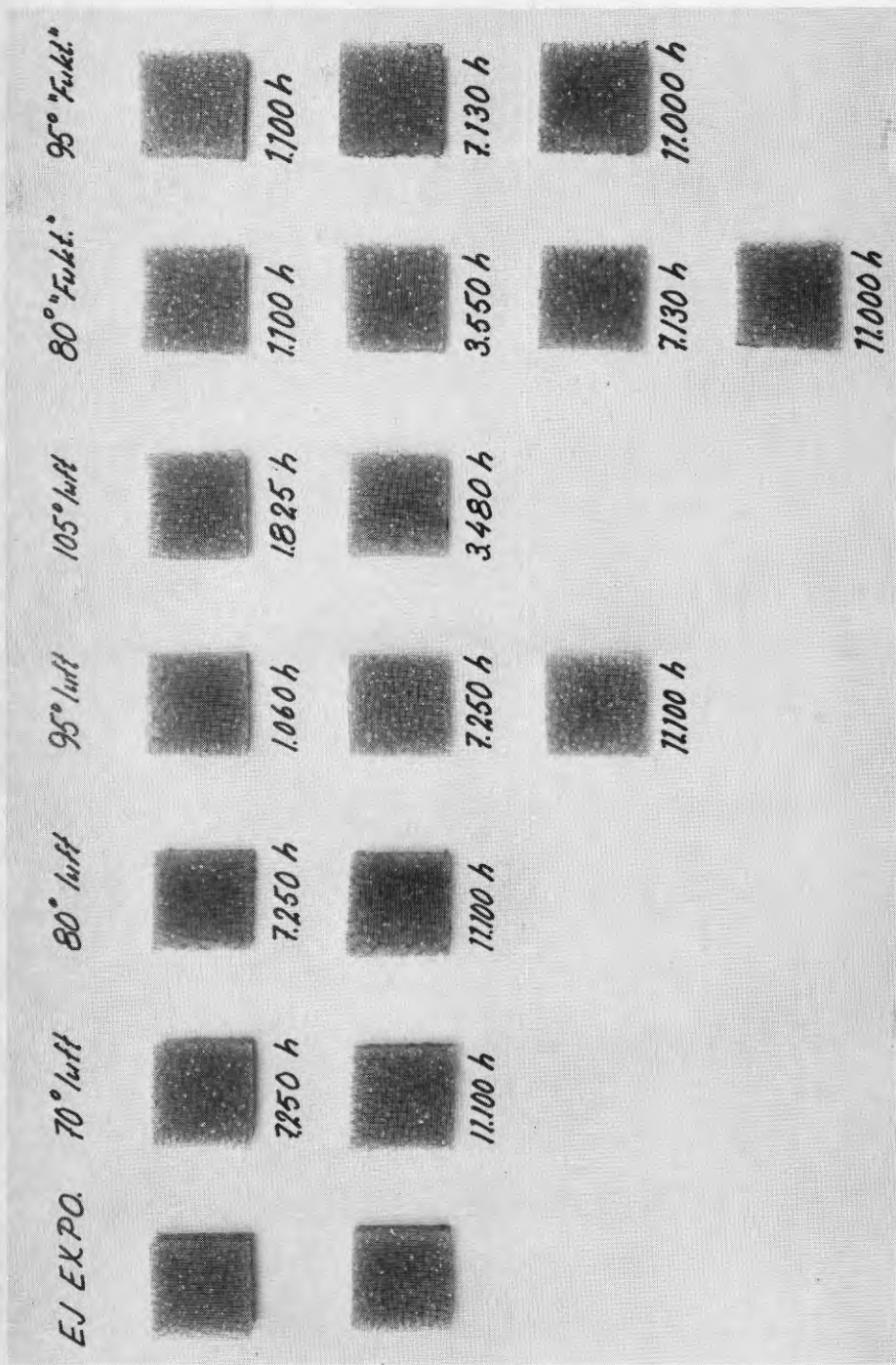
Figur B.10

Tryckprovade rörprover av kvalitet 229 som avslutats, se Tabell A.9.



Figur B.11

Exempel på blåsbildning hos rörprov 227-9 som tryckprovats vid 8 bar - 80°C i 13 dygn följt av trycklös exponering vid rumstemperatur i 1 dygn. Bilden visar två blåsor som båda blivit punkterade. Totalt finns blåsor över rörprovet som motsvarar 1 % av den totala arean.



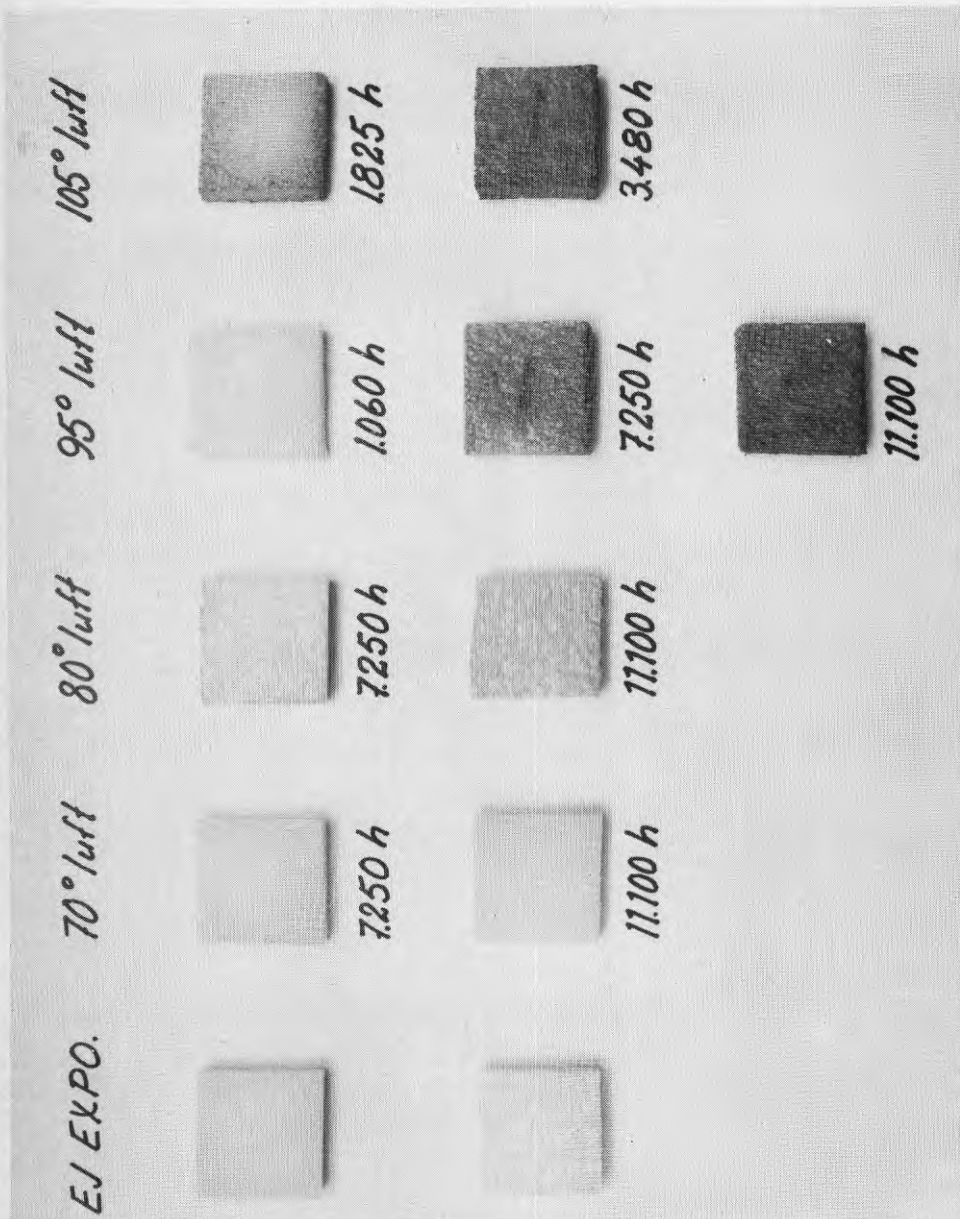
Figur B.12

Aldrat isolermaterial av typ PE-G1. Provbitarna är fotograferade efter kompressionsprovning.



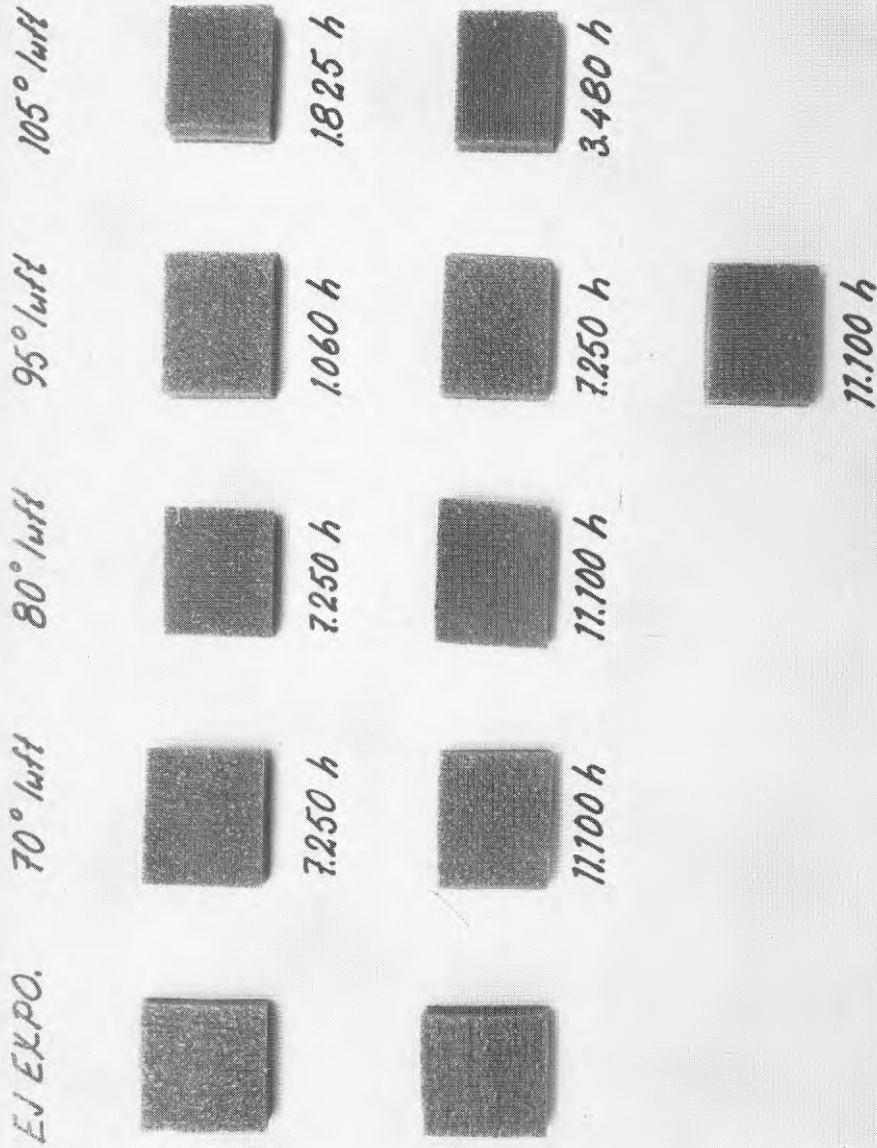
Figur B.13

Aldrat isolermaterial av typ PE-G2. Provbitarna är fotograferade efter kompressionsprovning.



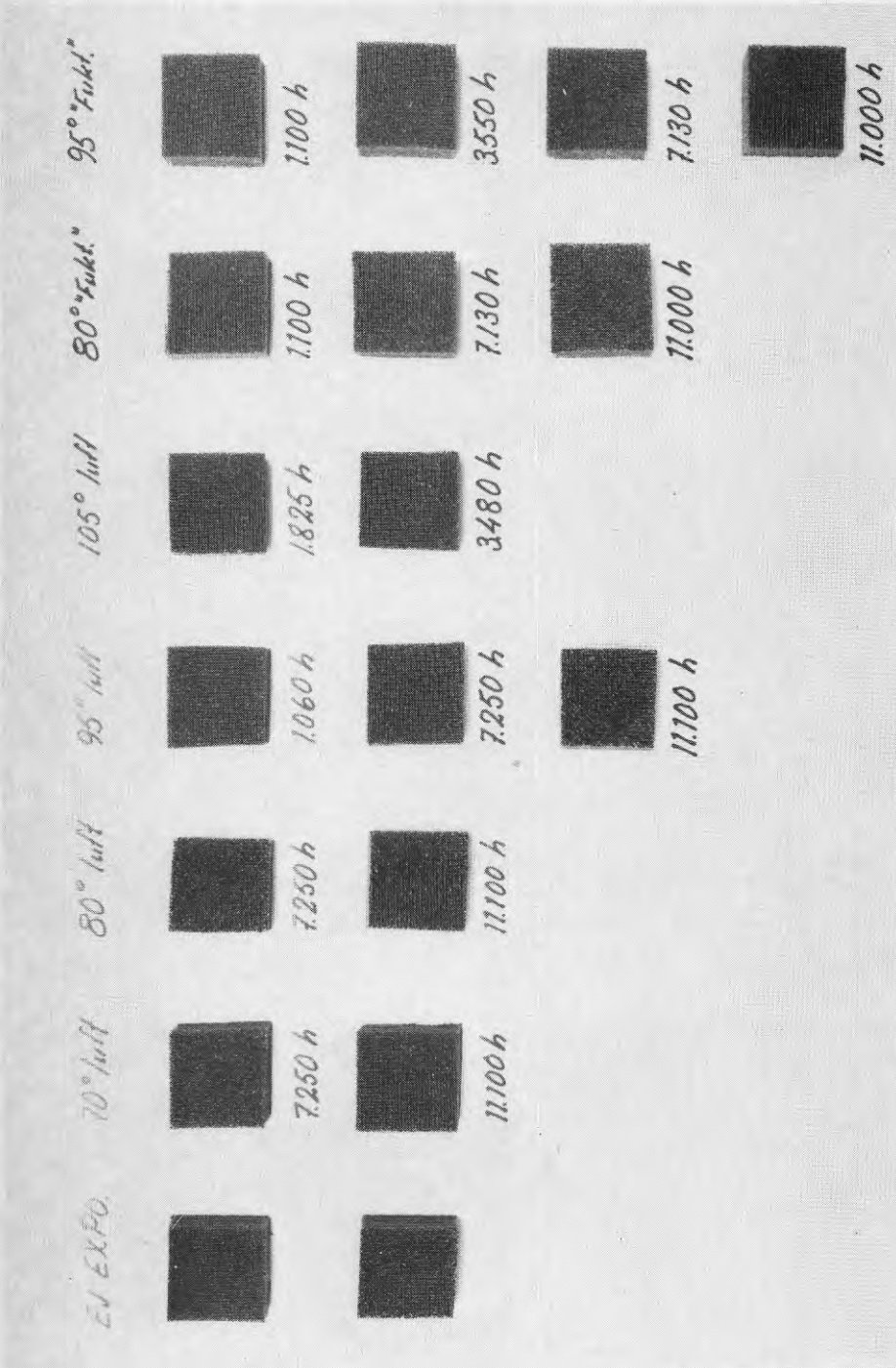
Figur B.14

Aldrat isolermaterial av typ PE-G3 . Provbitarna är fotograferade efter kompressionsprovning.



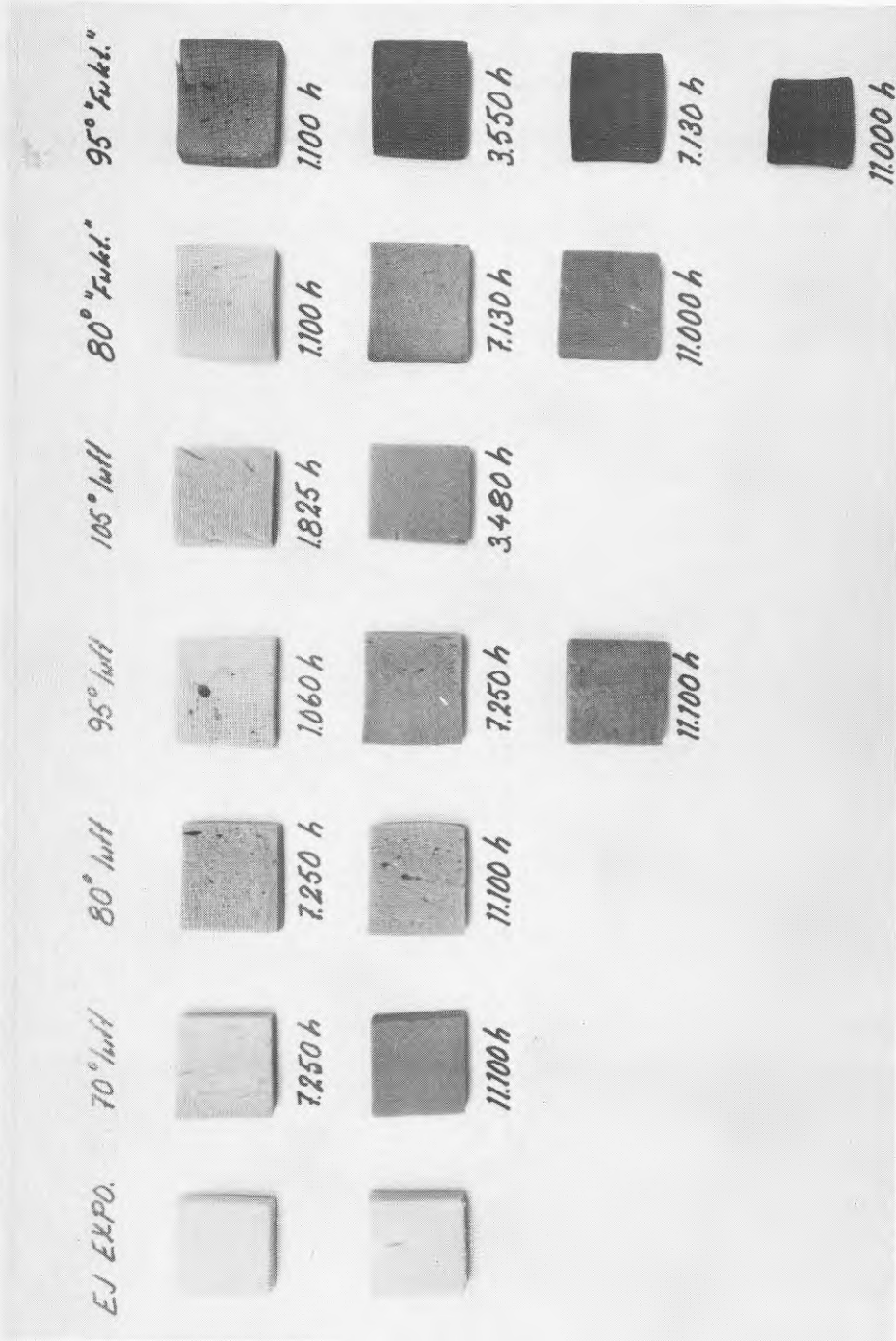
Figur B.15

Aldrat isolermaterial av typ PEX-G1. Provbitarna är fotograferade efter kompressionsprovning.



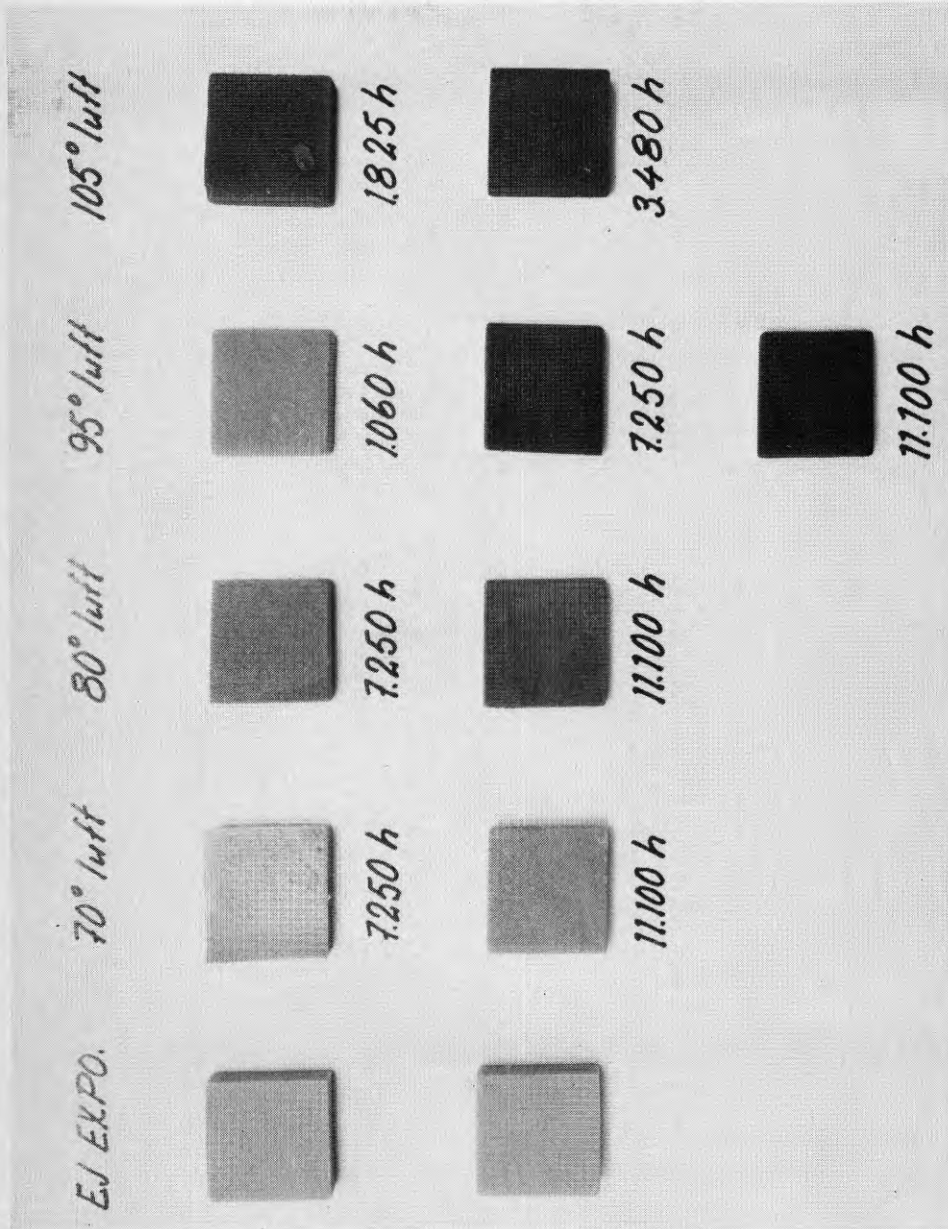
Figur B.16

Aldrat isolermaterial av typ PEX-G2. Provbitarna är fotograferade efter kompressionsprovning.



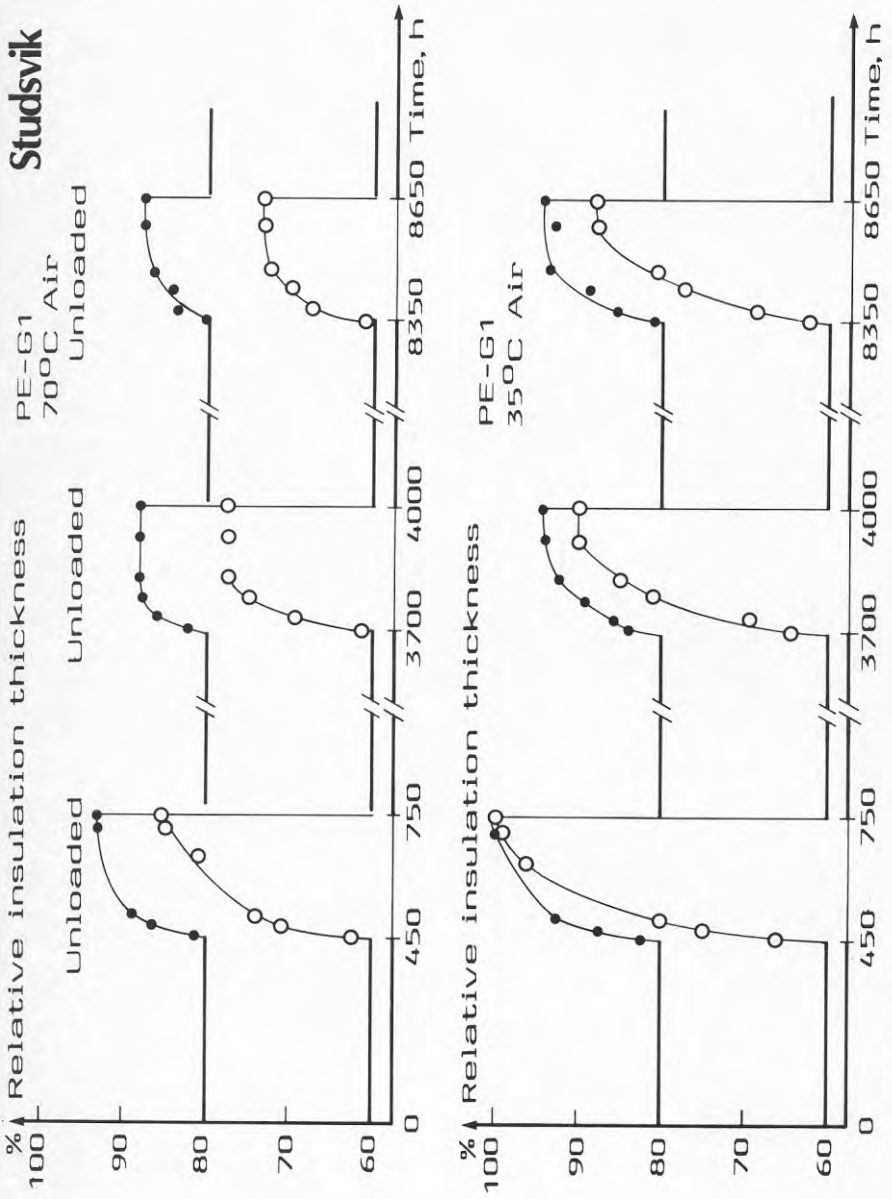
Figur B.17

Adrat isolermaterial av typ PUR-G1. Provbitarna är fotograferade efter kompressionsprovning.



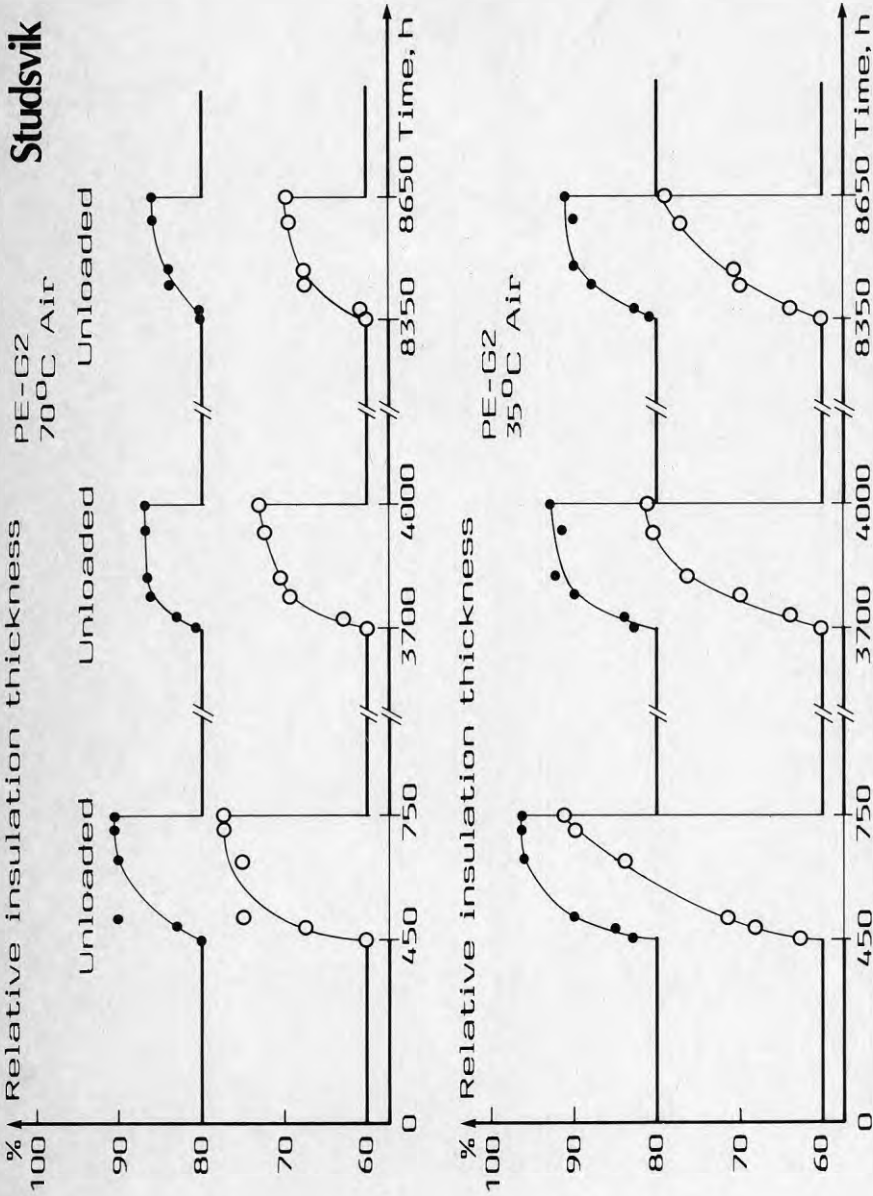
Figur B.18

Aldrat isolermaterial av typ PUR-G2. Provbitarna är fotograferade efter kompressionsprovning.



Figur B.19

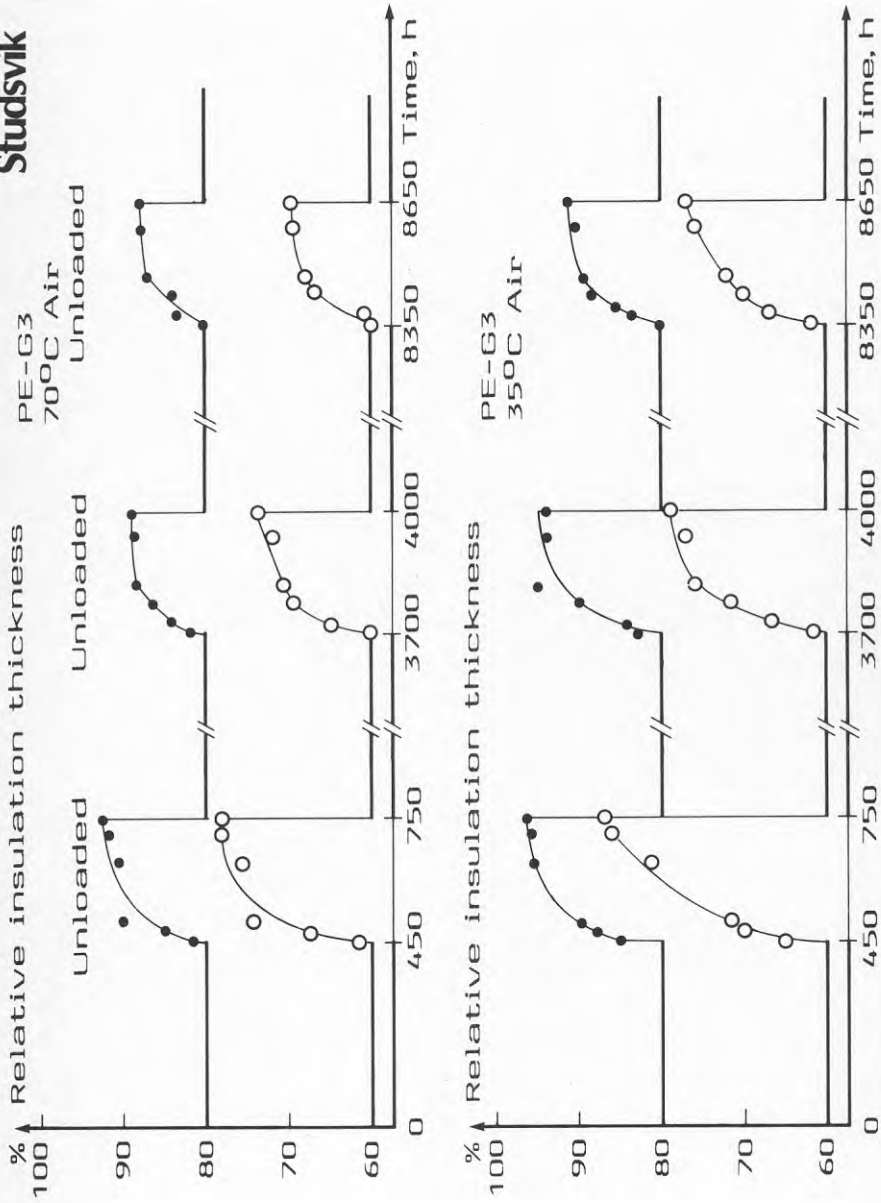
Resultat från sättningsförsök av isolermaterial typ PE-G1.



Figur B.20

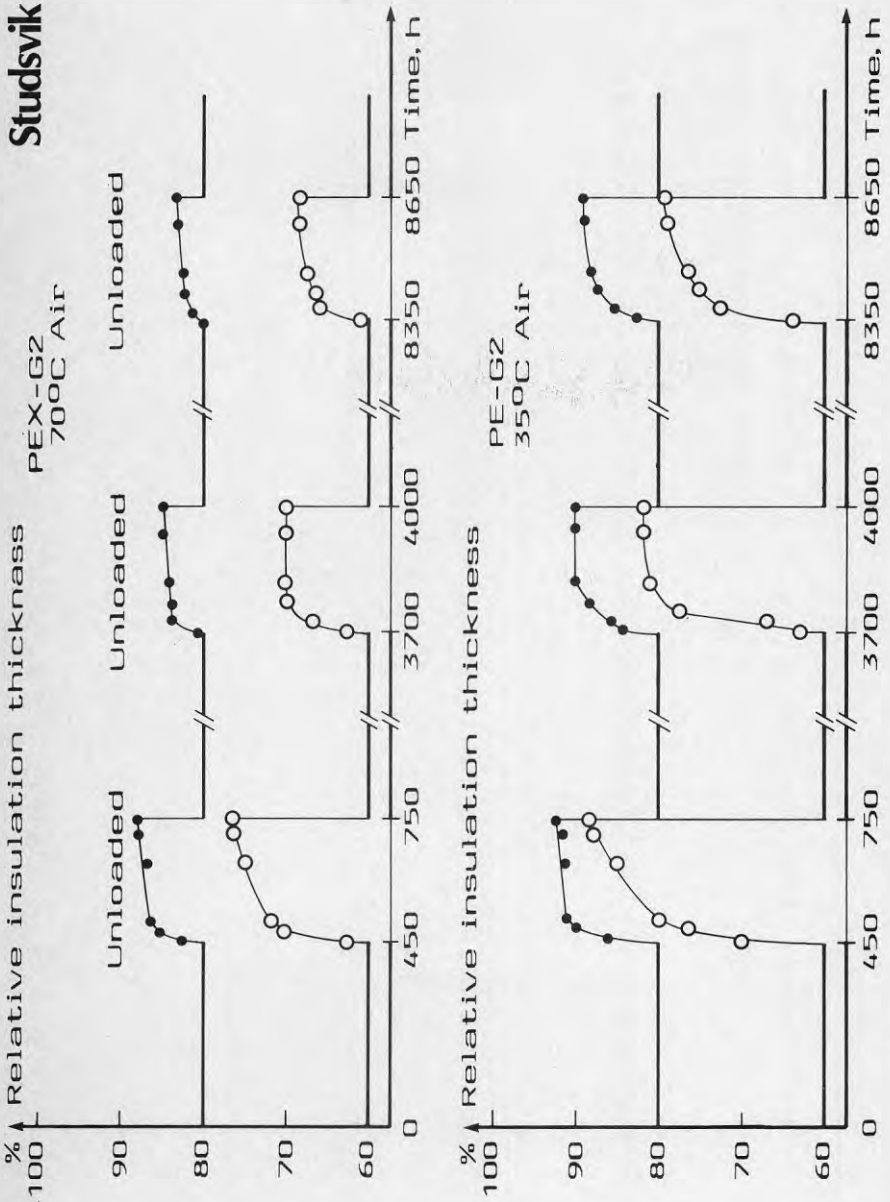
Resultat från sättningsförsök av isolermaterial typ PE-G2.

Studsvik



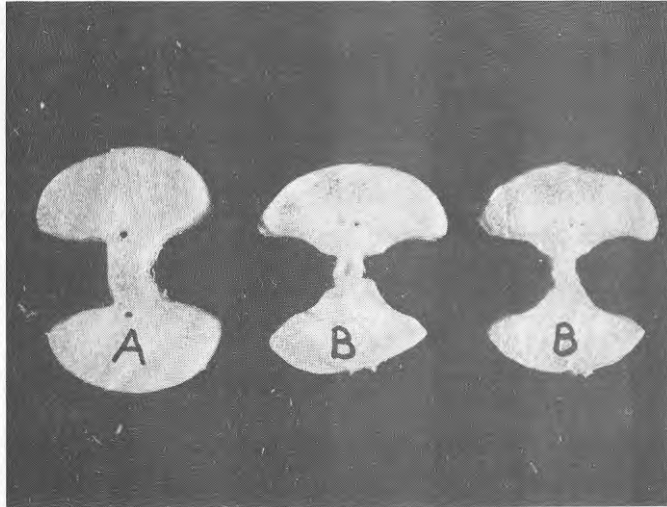
Figur B.21

Resultat från sättningsförsök av isolerematerial typ PE-G3.



Figur B.22

Resultat från sättningsförsök av isolermaterial typ PEX-G2.



Figur B.23

Exempel på oexponerat och exponerat distanselement till TWIN-kulvert. Distanselement A är oexponerat medan elementen B har systemtestats mellan 60°C och 80°C i 8 100 h (24 cykler).

Förstoringsgraden är 0.58 gånger.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811849-4
från Statens råd för byggnadsforskning till Studsvik
Energiteknik AB, Nyköping.**

R19: 1987

ISBN 91-540-4685-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707019

**Abonnementsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirkapris: 48 kr exkl moms