

Bärförmåga hos CFC-fri kulvertisolering vid drifttemperatur

Jarfelt Ulf, Bergström Gunnar och Karlsson Jonas

Bärförmåga hos CFC-fri kulvert-isolering vid drifttemperatur

Del 1 Provningsmetod för bestämning av axiell skjuvhållfasthet hos kulvertrör

Del 2 Krypning vid radiell tryckbelastning

Ulf Jarfelt, CTH

Gunnar Bergström, Statens Provningsanstalt SP

Jonas Karlsson, Statens Provningsanstalt SP

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

BOX 6405 · 113 82 STOCKHOLM TEL. · 08/34 09 80

Juni 1992

ISSN 0282-3772

Ulf Jarfelt
Gunnar Bergström
Jonas Karlsson

Bärförmåga hos CFC-fri kulvert-isolering vid drifttemperatur

Del 1: Provningsmetod för bestämning av axiell skjuvhållfasthet hos kulvertrör

Abstract

Axial shear strength of preinsulated district heating pipes at service temperature

The aim of the project was the development of a test equipment to determine the axial shear strength of preinsulated district heating pipes at service temperature. The project was financed by The Swedish District Heating Association and The Swedish National Board for Industrial and Technical Development, NUTEK, and was carried out as a joint venture between Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden and The Swedish National Testing and Research Institute, Göteborg Dep..

The test equipment fulfils the requirements stated in EN 253, 1992, Rev. 5, where the service pipe temperature is kept at 140 ± 2 °C. This temperature is reached within 30 minutes and maintained for 30 minutes before applying the test load.

The axial shear strength of a number of pipe samples with CFC-blown, HCFC-blown or CO₂-blown foams have been determined at both room temperature and service temperature. Also unaged and aged pipes (in accordance with EN 253, i.e. 170 °C for 1450 hours) have been tested. Pipes from the following manufactures are included: Ecopipe, I.C. Möller, Lögstör, Powerpipe, Stjärnrör and Tarco.

The measurements have been performed in short series, and a comparison between the different materials have to be done cautiously. However, the results indicate that the axial shear strength of the CFC-free pipes are in level with the traditional pipes.

Chalmers University of Technology
Building Technology
Postal adress: 412 96 Göteborg, Sweden
Visiting address: Sven Hultins gata 8
Telephone International calls
Switchboard + 46 31 - 772 10 00
Direct dial + 46 31 - 772 19 92

Swedish National Testing and Research Institute
Materials and Mechanics
Postal address: P.O. Box 240 36, 400 22 Göteborg, Sweden
Visiting adress: Gibraltargatan 35
Telephone International calls
Switchboard + 46 31 - 20 08 70

Sammanfattning

En provningsmetod har utvecklats för att bestämma den axiella skjuvhållfastheten hos kulvertisoleringar vid tänkta drifttemperaturer. Projektet utgör det första i en serie med den gemensamma rubriken *Bärförmåga hos CFC-fri kulvertisolering vid drifttemperatur* och har finansierats av Värmeverksföreningen tillsammans med Närings och teknikutvecklingsverket, NUTEK (Projektnummer 656 118-1 "Bärighet hos CFC-fri kulvert"). Projektserien genomföres i samarbete mellan Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Husbyggnadsteknik och Statens Provningsanstalt, Sektionen för Materialteknik och Mekanik i Göteborg. Avsikten är att klarlägga de termomekaniska egenskaperna hos de nya CFC-fria isoleringsmaterialen för kulvertrör.

Den metod som beskrivs i rapporten bygger på den i europanormen EN 253 angivna metoden för provning vid rumstemperatur men innefattar en styrd elektrisk uppvärmning och en härtill anpassad förändring av mätproceduren.

Utrustningen har använts för provningar både vid 23 °C och vid 140 °C på en serie kulvertrör omfattande både rör med CFC-blåst isolering och rör med mer eller mindre CFC-fri isolering. Mätningar har även utförts på naturligt åldrade och på laboratorieåldrade kulvertrör.

Mätningarna har primärt syftat till att få praktiska erfarenheter av hur provningsutrustningen och metoden fungerar på ett urval av de kulvertprodukter som idag finns på marknaden. Det har därvid visat sig att medieröret uppnår kulvertledningens tänkta drifttemperatur ca 30 min efter provningens början och att temperaturen efter ytterligare ca 30 min utjämnats så att skjuvhållfastheten kan bestämmas. Detta innebär att metoden fungerar så som beräknats och att mer komplicerade uppvärmningssystem, med cirkulerande het olja eller ånga inte behöver tillgripas. Metoden är därmed i överensstämmelse med de krav som anges i den senaste revideringen (nr 5) av EN 253.

De mätningar som har utförts på olika kulverttyper har gjorts i så korta serier att jämförelser mellan kulverttyperna måste göras med stor försiktighet. Dock synes mätresultaten visa att de idag förefintliga kulvertröralternativen har en axiell korttidshållfasthet i nivå med den hos de traditionella kulvertrören med CFC isolering. Säkra uttalanden härvidlag kräver dock ett mer omfattande underlag.

Innehållsförteckning

Abstract

Sammanfattning

- 1. Inledning**
- 2. Metod för bestämning av axiell skjuvhållfasthet vid drifttemperatur**
 - 2.1 Utrustning
 - 2.2 Metod
 - 2.3 Utvärdering
- 3. Skjuvhållfasthet hos ett urval av kulvertrör**
 - 3.1 Försöksserie
 - 3.2 Provmaterial
 - 3.3 Resultat
- 4. Referenser**

1. Inledning

Kulvertrör med medierör i stål, direktskummad isolering av polyuretan, PUR, och mantelrör av polyeten, PEH, har utvecklats till en standardprodukt och utgör en viktig komponent i dagens fjärrvärmeteknik. PUR-isoleringen skummades tidigare med triklorfluormetan, ofta betecknad R11, Freon 11 eller CFC 11. Förkortningen CFC betecknar allmänt gruppen fullständigt halogenerade klorfluorväteföreningar men används i denna rapport som beteckning för särskilt CFC 11. Denna förening har i gasfas mycket låg värmekonduktivitet och PUR-isolering blåst med CFC 11 får därmed mycket god isoleringsförmåga.

Den under 1980-talet växande insikten om CFC-gasernas skadeverkningar på miljön har medfört att man måste räkna med ett framtida globalt förbud mot CFC-blåsta skum. Situationen har initierat ett arbete med att utveckla CFC-fria isoleringsalternativ. För generell användning som kulvertisolering finns dock för närvarande inga realistiska alternativ till PUR-cellplast. Utvecklingen har därför huvudsakligen inriktats på att finna alternativ till CFC som cellgas i PUR-material. Därvid prövas huvudsakligen två vägar. Antingen att ersätta CFC med CO₂ som kemiskt bildas genom tillsats av vatten till den blandning av isocyanat och polyol som utgör utgångsmaterial vid tillverkningen av PUR eller att ersätta CFC med närbesläktade men mindre miljöskadliga gaser, så kallade "mjuka freoner". Dessa förekommer under beteckningarna HCFC och HFC. Utvecklingen inom området kommer sannolikt att fortgå under ett antal år framöver.

Parallellt med utvecklingen av isolermaterialet har frågan om vilken egenskapsprofil ett kulvertrör måste ha för att fylla sin funktion fått särskild aktualitet. Speciellt isoleringsmaterialets belastbarhet vid höga drifttemperaturer, över 120 °C, har kommit att diskuteras. När en kulvertledning tas i drift och vid andra tillfällen då stora temperaturändringar uppträder, kan kulvertrören utsättas för stora påkänningar i form av värmespanningar. Detta kräver en minsta styrka hos rör, skarvar mm, och därmed även en metod att mäta denna.

Europannormen EN 253, för kulvertrör fastställdes 1989 och bygger på erfarenheter från CFC-blåsta kulvertrör och den egenskapsprofil normen fastlägger avspeglar detta klart. I EN 253 karakteriseras kulvertisoleringens mekaniska bärförmåga dels av tryckhållfastheten vid rumstemperatur dels av den axiella skjuvhållfastheten, även denna uppmätt vid rumstemperatur. För bärförmågan vid drifttemperaturer anges inga krav.

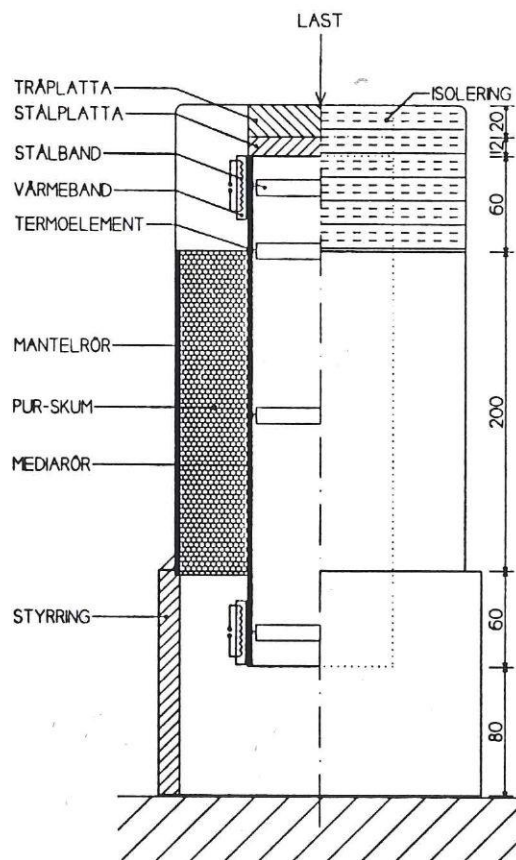
Tidiga erfarenheter av alternativa typer av PUR-material till kulvertisolering visade på problem med låg bärighet vid höga temperaturer. Det har därför blivit uppenbart att krav även måste ställas på skjuvhållfastheten vid drifttemperatur.

2. Metod för bestämning av axiell skjuvhållfasthet vid drifttemperatur

I det följande beskrivs kortfattat den utrustning och metod som utarbetats med tanke på provningar i temperaturområdet 100 - 160 °C. Arbetet bygger på den i EN 253 beskrivna metoden för mätning av axiell skjuvhållfasthet vid rumstemperatur.

2.1 Utrustning

För att hålla medieröret vid drifttemperatur under provningen kan man som Broennum (1991) använda sig av cirkulerande het olja. Detta ger en snabb och jämn uppvärmning men är tekniskt komplicerat och därför mer kostnadskrävande än en elektrisk uppvärmning. Vi har därför utfört uppvärmningen av medieröret med elektriska bandelement. Dessa har anbringats på de avisolerade rörändarna på det korta kulvertstycke som utgör provkropp vid mätningarna, se figur 1.



Figur 1. Uppvärmningsutrustning applicerad på ett kulvertprov.

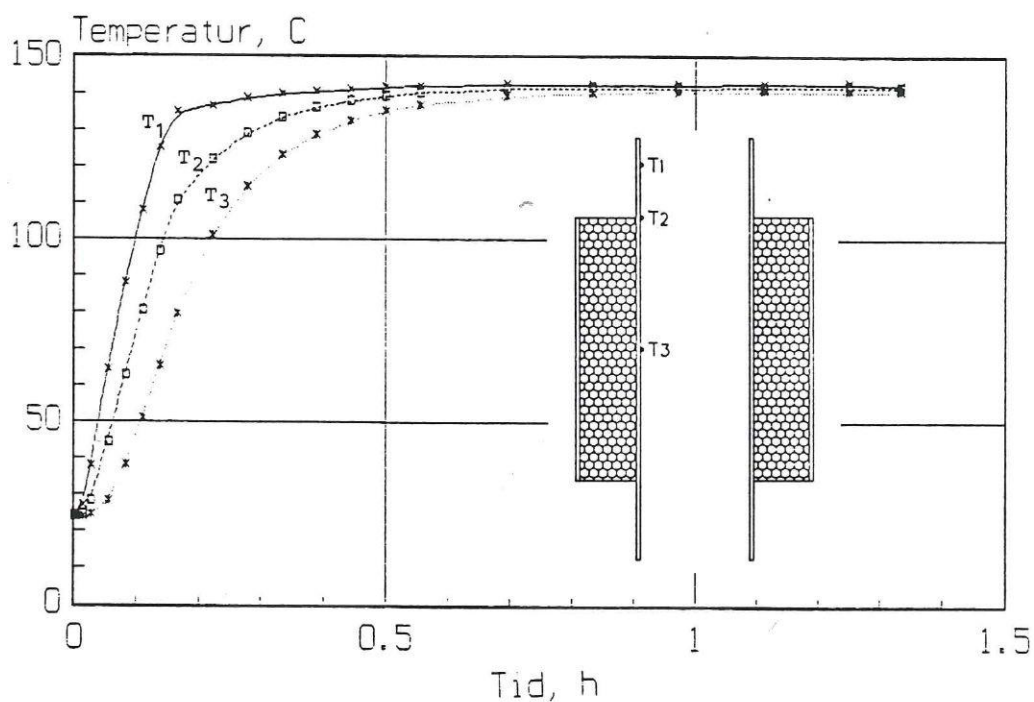
Rörändarna isoleras med mineralull för att minska värmeförlusterna och mellan medierör och bandelementen påföres ett tunt lager värmeledningspasta för att förbättra värmeöverföringen till medierör. Termoelement för mätning och styrning av temperaturen inspännes mot insidan av medierör med hjälp av styvt fjädrande stålband. Varje bandelement styrs av separata PID-regulatorer och medierörets temperatur i axiell led kontrolleras på insidan av medieröret i tre punkter: under bandelementet, mitt under PUR-isoleringen och under övergången mellan isolerat och avisolerat medierör.

2.2 Metod

Provkroppen utgöres av ett 320 mm långt kulvertrörstycke vars båda ändar avisolerats 60 mm så att isoleringslängden blir 200 mm. Kulvertprovets medierör uppvärms med den ovan beskrivna utrustningen till aktuell provningstemperatur på ca 30 minuter. Därpå följer en 30 minuter lång konditioneringsperiod varefter den axiella provkraften succesivt påföres. Kraftpåföringen har skett i en INSTRON provningsmaskin med en förskjutningshastighet av 5 mm/min. Den axiella kraften och den samtida axiella förskjutningen registerades kontinuerligt och som resultat redovisas den maximala skjuvspänningen och den tillhörande axiella förskjutningen.

2.3 Utvärdering

Utrustningen har, efter vissa modifieringar, visat sig fungera väl. Inledande försök visade att helt avgörande för en korrekt temperaturmätning och en bra temperaturreglering var att termoelementen låg väl an mot stålrorets insida. För att åstadkomma en god anliggning används nu styvt fjädrande stålband som pressar termoelementen hårt mot medierörets insida. Ett exempel på temperaturfördelning under uppvärmning av ett kulvertprov DN 80 återges i figur 2. Temperaturavvikelserna i axiell led är $\pm 3^\circ\text{C}$ efter 30 minuter och temperaturfördelningen efter ytterligare 30 minuter har en största avvikelse av $\pm 1,5^\circ\text{C}$. Detta bedömes vara acceptabelt i sammanhanget. Några ytterligare försök att utjämna temperaturskillnaderna har ej gjorts men temperaturförloppet kan sannolikt förbättras ytterligare.



Figur 2. Temperaturen hos ett kulvertprov under uppvärmning.

3. Skjuvhållfasthet hos ett urval kulvertrör

3.1 Försöksserier

Försöksserierna har genomförts så att följande fyra olika förutsättningar belyses:

- a. icke åldrade kulvertrör vid provningstemperaturen 23 °C.
- b. icke åldrade kulvertrör vid provningstemperaturen 140 °C.
- c. åldrade kulvertrör vid provningstemperaturen 23 °C
- d. åldrade kulvertrör vid provningstemperaturen 140 °C

Provningsbetingelserna avspeglar olika driftförhållanden och för var och en av de valda förutsättningarna ges nedan en kommentar och en motivering

- a. Provning på icke åldrat prov vid 23 °C är ett snabb metod att få uppgift om huruvida en nytillverkad produkt har tillfredsställande utgångsegenskaper eller om det förekommit fel eller misstag vid tillverkningen. Provningen saknar dock direkt koppling till något verkligt driftsfall.
- b. Provning på icke åldrat prov vid 140 °C efterliknar förhållandena då en ny kulvertledning tas i drift.
- c. Provning på åldrat prov vid 23 °C visar om skjuvhållfastheten bibehålls även efter åldring. Åldringen av PUR-isoleringen kan innebära att materialet blir sprödare och får lägre hållfasthet. Denna provning kan efterlikna förhållandena i en kulvert vid driftstörningar eller reparationer då medierör har kallnat.
- d. Provning på åldrat prov vid 140 °C efterliknar förhållandena i en kulvert som varit i drift en längre tid och som utsätts för axialkrafter vid hög arbetstemperatur.

De två sistnämnda provningarna kräver åldrade kulvertrör. Åldringen är i sig en tidskrävande och relativt omständlig procedur men belastningsfallen är realistiska och ger sådan information om långtidsegenskaperna som svårligen kan fås på annat sätt.

3.2 Provmaterial

Provstycken har uttagits både från freonblåsta och freonfria kulvertrör. Huvuddelen av proven har tagits från kulvertrör med medierör i dimension DN 80 ($D_y=88,9$ mm) och provningar har genomförts både på nya och på värmeåldrade kulvertar. Värmeåldringen har skett vid 170 °C under 1450 h, så som anges i EN 253. De kulvertfabrikat som är representerade i undersökningen är Ecopipe, I.C. Möller, Lögstör, Powerpipe, Stjärnrör och Tarco.

3.3 Resultat

Som resultat redovisas den maximala axiella skjuvspänningen vid medieröret och den samhörande axiella förskjutning av medieröret. Generellt sett är spridningen i mätvärdena så stor att några säkra skillnader mellan de olika alternativen inte kan påvisas. Detta är dock inte förvånande med tanke på att kulvertrören kommer från olika tillverkare och tillverkningstillfällen och att varje bestämning bygger på endast ett fåtal provstycken. Resultaten antyder emellertid att kulvertar blåsta med alternativa gaser till CFC har egenskaper jämförbara med traditionella kulvertar. Det krävs dock ett mera omfattande provningsunderlag för de olika isoleringsmaterialen för att det skall kunna vara möjligt att dra några definitiva slutsatser härvidlag.

Vid redovisningen har kulvertrören grupperats så att rör med CFC-blåst isolering utgör en grupp och övriga, d v s rör med CO₂- eller HCFC- blåst isolering, utgör en andra grupp. Den axiella skjuvhållfastheten redovisas i diagram 3 och 4 och den axiella förskjutningen i diagram 5 och 6. I diagrammen visas för varje alternativ en stapel med angivna max-, min- och medel-värden. Till diagrammen ges nedan kommentarer i avseende på axialhållfastheten, förskjutningen och brottets läge i isoleringen.

Hållfasthet

Samtliga icke åldrade kulvertar visar lägre hållfasthet vid 140 °C än vid 23 °C. Däremot synes det omvända förhållandet gälla för åldrade kulvertrör, dock är skillnaden här mindre och inte lika tydlig.

Skillnaden mellan nya och åldrade kulvertrör är bara påtaglig vid rumstemperatur där de åldrade proverna visar väsentligt lägre hållfasthet.

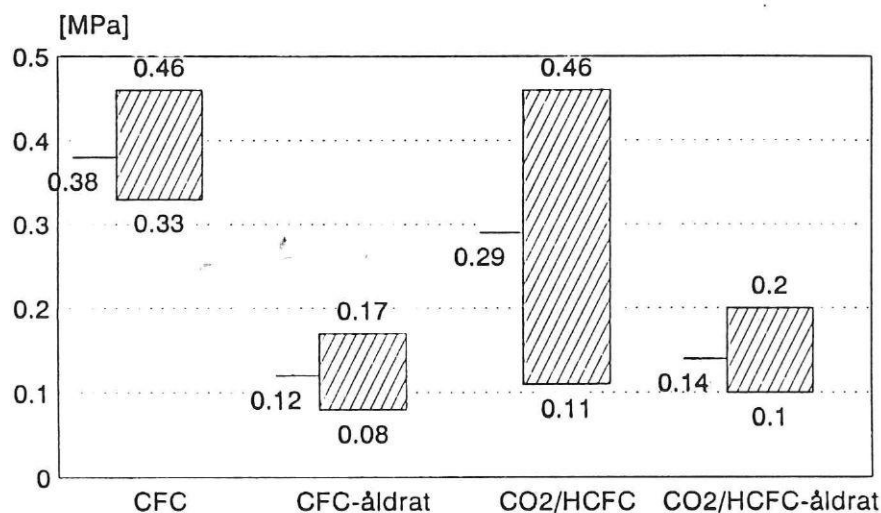


Diagram 3. Axiell skjuvhållfasthet vid 23 °C angivet med max-, min- och medel-värde. Antalet provkroppar för varje stapel har från vänster till höger varit 9,5,25 och 9.

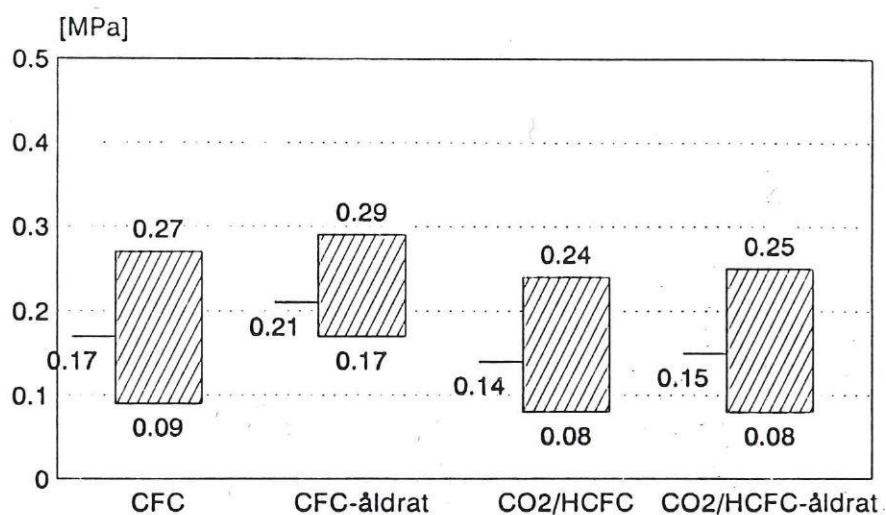


Diagram 4. Axiell skjuvhållfasthet vid 140 °C angivet med max-, min- och medel-värde. Antalet provkroppar för varje stapel har från vänster till höger varit 9,5,27 och 9.

Axiell förskjutning

Vid 140 °C uppvisar alla kulvertrör större förskjutning vid maximal axialkraft än vid rumstemperatur (diagram 5 och 6). Den axiella förskjutningen hos de åldrade proverna var också genomgående mindre än hos de icke åldrade.

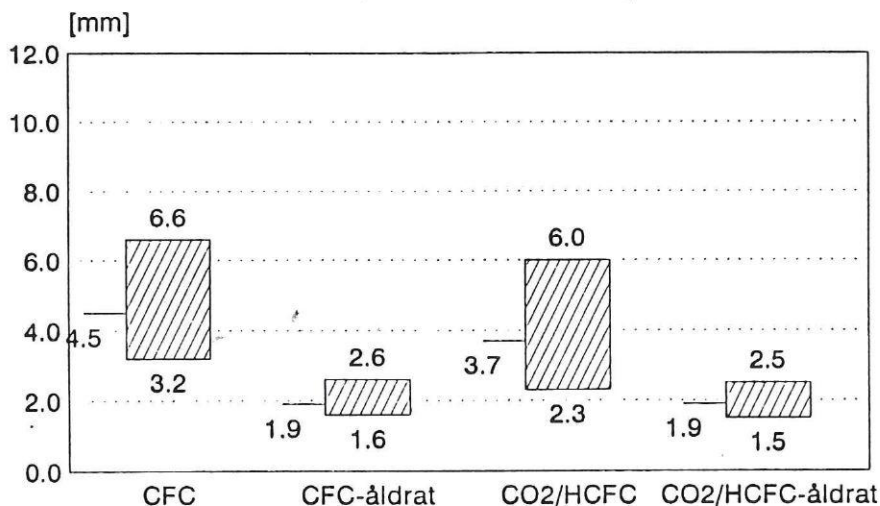


Diagram 5. Axiell förskjutning vid 23 °C angivet med max-, min- och medelvärde. Antalet provkroppar för varje stapel har från vänster till höger varit 9, 5, 25 och 9.

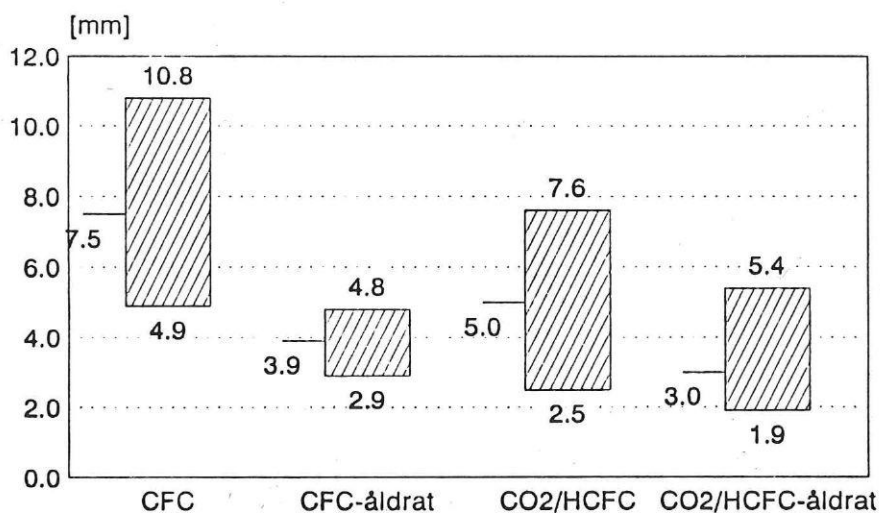


Diagram 6. Axiell förskjutning vid 140 °C angivet med max-, min- och medelvärde. Antalet provkroppar för varje stapel har från vänster till höger varit 9, 5, 27 och 9.

Brottställe

Vid provningarna av kulvertrören vars medierör tempererats till 140 °C uppstod brott uteslutande i övergången mellan isolering och medierör.

Hos de kulvertprov vars medierör var rumstempererade, uppstod brottet i många fall också i övergången mellan isolering och medierör. Ibland utbildades det emellertid sprickor i isoleringen och bitar av isoleringen följde med medieröret. Sprickorna gick vid några tillfällen genom hela isoleringen så att brottet helt och hållet orsakades av dessa och isolering satt då kvar på både medierör och mantelrör.

Vid något enstaka tillfälle visade sig isoleringens vidhäftning mot insidan av mantelröret vara bristfällig och brottet inträffade då mellan mantelrör och isolering.

4. Referenser

Broennum, TH, CFC-Free Polyurethane Pipe Insulation Foams for Use in District Heating System, Proceedings of SPI/ISOPA 1991.

EN 253, 1992, utgåva 1, rev. 5.

Ulf Jarfelt
Gunnar Bergström
Jonas Karlsson

Bärförmåga hos CFC-fri kulvertisolering vid drifttemperatur

Del 2: Krypning vid radiell tryckbelastning

Abstract

Radial creep of PUR-foam at service temperatures

The aim of the project has been to investigate the creep behaviour of polyurethane rigid foam for district heating mains at service temperatures. A measuring equipment and a test method is developed to help in the determination of the radial compressive creep under controlled conditions. The project was financed by The Swedish District Heating Association and The Swedish National Board for Industrial and Technical Development, NUTEK, and was carried out as a joint venture between Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden and The Swedish National Testing and Research Institute, Göteborg Department.

The starting point was existing standardized procedures for measuring compressive creep, *DIN 53 425 (1965)* and *ISO 7850 (1986)*. The procedures are modified in several respects to cover problems with the high gas diffusion rates in the actual temperature range, 100 - 140 °C. In order to understand and to interpret different test methods discussed on both softening temperature and radial creep, TMA-measurements are compared with actual creep measurements.

The developed procedure have been used for measurements on CO₂-blown and CFC 11-blown polyurethane foams at 23, 120, 130 and at 140 °C. The aim was to gain experience of the procedure and to achieve an indication on the creep properties of the two materials. Including only two materials no general conclusions can be drawn but the results so far indicate only minor differences in creep behaviour. Substantial differences were noticed from TMA-measurements. These results are highly influenced by the measuring situation and shall not be interpreted as measurements of polyurethane material properties.

Chalmers University of Technology
Building Technology
Postal address: 412 96 Göteborg, Sweden
Visiting address: Sven Hultins gata 8
Telephone International calls
Switchboard + 46 31 - 772 10 00
Direct dial + 46 31 - 772 19 92

Swedish National Testing and Research Institute
Materials and Mechanics
Postal address: P.O. Box 240 36, 400 22 Göteborg, Sweden
Visiting address: Gibraltargatan 35
Telephone International calls
Switchboard + 46 31 - 20 08 70

Sammanfattning

En provningsmetod har utvecklats för att bestämma krypningen i radiell led hos kulvertisoleringsmaterial vid tänkta drifttemperaturer. Projektet utgör del 2 i en serie med den gemensamma rubriken *Bärförmåga hos CFC-fri kulvertisolering vid drifttemperatur*. Projekten har finansierats av Värmeverksföreningen tillsammans med Närings och teknikutvecklingsverket, NUTEK (Projektnummer 656 118-1 "Bärlighet hos CFC-fri kulvert"). Projektserien har genomförts i samarbete mellan Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Husbyggnadsteknik och Statens Provningsanstalt, Sektionen för Materialteknik och mekanik i Göteborg. Avsikten har varit att klarlägga termomekaniska egenskaper hos PUR-isoleringsmaterial för kulvertrör.

Den metod och den utrustning som beskrivs är utvecklade från tysk standard, *DIN 53 425 (1965)*, och internationell standard, *ISO 7850 (1986)*. Modifieringar har införts i flera avseenden, bl a med hänsyn till cellgasernas snabba diffusion och cellmaterialets expansion i det aktuella temperaturområdet, 100 - 140 °C.

Efter successiva modifieringar av såväl apparatur som tillvägagångssätt har en ändamålsenlig procedur kunnat fastläggas. Denna har i en serie mätningar använts för att bestämma krypningen vid 23, 120, 130 och 140 °C på ett CFC 11-blåst och ett CO₂-blåst kulvertisoleringsmaterial. Mätningarna har dels syftat till att få en praktisk erfarenhet av metoden dels avsett att ge en uppfattning om två aktuella materialtypers egenskaper. Då endast två typer av material studerats är det inte möjligt att dra några generella slutsatser av resultaten men det synes ändå stå klart att den CO₂-blåsta isolering som provats har krypegenskaper som inte påtagligt skiljer sig från den CFC-blåsta isoleringens. Det står också klart att de väsentliga skillnader mellan materialen som indikeras av TMA-mätningar inte avspeglar PUR-materialens faktiska krypegenskaper.

Innehållsförteckning

Abstract

Sammanfattning

- 1. Inledning**
 - 1.1 Bakgrund
 - 1.2 TMA-mätningar på PUR-isolering
- 2. Krypmätning vid förhöjd temperatur**
 - 2.1 Utrustning
 - 2.2 Mätförfarande
 - 2.3 Erfarenheter av metod och utrustning
- 3. Krypmätningar på CFC 11-blåst och CO₂-blåst PUR-isolering**
 - 3.1 Försöksserier
 - 3.2 Provmaterial
 - 3.3 Uppmätta krypförlopp
 - 3.4 Krypdeformation och kryphastighet
 - 3.5 Jämförelse med TMA-mätningar
- 4. Referenser**

1. Inledning

1.1 Bakgrund

I samband med att användningen av CFC-blåst PUR-isolering förbjudits av miljöskäl har PUR-isoleringar med andra drivgaser utvecklats. Det har därmed uppstått ett behov av att mera ingående specificera kraven på isoleringsmaterialen i förtillverkade fjärrvärmekulvertar. Den senaste revideringen (Rev. 5) av europastandarden för värmekulvertrör med isolering av PUR-skum, *EN 253 (1992)*, ställer krav på isoleringens bärförmåga genom att ange minimivärden på tryckhållfastheten vid 23° C och på skjuvhållfastheten mellan medierör och isolering vid 23° C och 140° C. En metod för bestämning av den axiella skjuvhållfastheten vid drifttemperatur ges i föregående rapport, del 1, *Jarfelt m fl (1992)*. Några krav på isoleringsmaterialets bärförmåga i radiell led vid drifttemperatur har tidigare inte specificerats och anges inte heller i EN 253. Ur funktionssynpunkt finns det skäl att ange ett sådant bärlighetskrav, men genom att isoleringsmaterialens egenskaper i detta avseende har varit mycket ofullständigt kända har några gränsvärden ännu inte kunnat preciseras.

Kryp-mätningar på radiellt belastade kulvertrörsektioner har utförts bl a i Danmark och Tyskland. Dessa mätningar har dock karaktären av funktionsprovningar och ger inga specifika informationer om PUR-materialets krypegenskaper eftersom både temperaturen och spänningen varierar genom den belastade rörisoleringen.

Även mätningar med TMA-utrustning (Thermomechanical Analysis) på små provkroppar (ca 5 mm) har utförts med avsikt att bestämma isoleringsmaterialets "mjukningstemperatur". TMA har härvid kommit att användas i sådan omfattning att vi funnit det motiverat att i följande avsnitt närmare beskriva hur TMA-mätningar tillgår och även belysa varför TMA-mätningar på PUR-skum kan ge vilseledande resultat.

Metoder för kryp-mätning på cellplaster finns beskrivna i tysk och internationell standard. Dessa metoder tar emellertid inte hänsyn till hur den uppmätta krypningen påverkas av de förändringar i cellgastrycket som uppstår då mätningarna sker vid förhöjd temperatur.

Avsikten med det nu genomförda projektet har varit att presentera en metod för att mäta den direkt lastberoende delen av krypningen vid drifttemperaturer. Arbetet har därigenom till stor del kommit att ägnas problemen med cellgasernas inverkan.

1.2 TMA-mätningar på PUR-isolering.

Det har under de senaste åren presenterats flera förslag till metoder för att bestämma mjukningstemperaturen hos PUR-isolering i kulvertrör. Avsikten har varit att ange en övre temperaturgräns för materialets användning i belastade konstruktioner. Flera

allmänt förekommande termoanalysutrustningar har därvid använts, ex vis TGA (Thermogravimetric Analysis), TMA (Thermomechanical Analysis) och DTMA (Dynamisk TMA). Särskilt TMA har kommit till omfattande användning.

Med TMA har studerats hur tjockleken förändras som funktion av temperaturen hos en ca 5 mm hög provkropp då denna uppvärms med 10 °C/min. Provkroppens höjd mäts under en valbar belastning genom att en tunn glasstav (ø 3 mm) trycks mot provkroppens överyta. Vid de TMA-mätningar som har utförts på kulvertisoleringsmaterial har belastningen ofta valts till 100 kPa. Denna last har bedömts rimlig ur funktionssynpunkt och har även givit mätresultat som syns lätta att utvärdera. Mjukningstemperaturen har därvid bestämts som den temperatur vid vilken provkroppens deformation påtagligt börjar öka.

Då TMA-mätningar utföres på cellplastmaterial på detta sätt kommer dock resultaten att bli starkt beroende av vilka cellgaser som förekommer i det aktuella materialet. Dimensionsförändringar hos cellmaterialet uppträder förutom som en följd av den yttre lasten både till följd av termisk expansion av cellstrukturen och som en expansion förorsakad av ökat tryck hos cellgasen. Då förekommande cellgaser skiljer sig starkt åt både vad det gäller kokpunkt och diffusionshastighet måste mät- och utvärderingsmetoderna ta hänsyn till dessa skillnader.

Cellgastrycket ökar med temperaturen

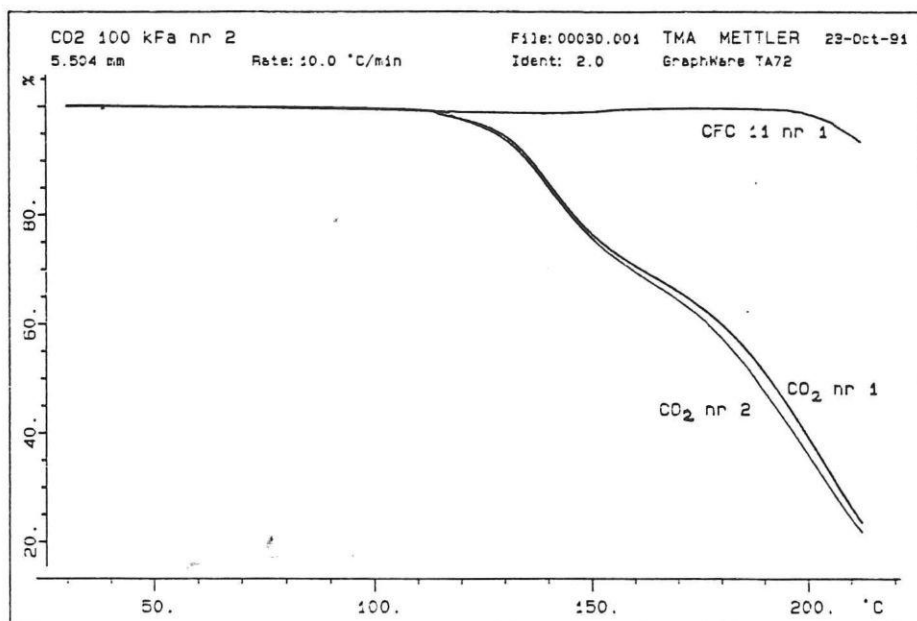
Värmeutvidgningen hos ett cellplastmaterial med låg volymvikt och slutna celler beror till stor del på höjningen av gastrycket i cellerna. Hur stor höjningen av gastrycket blir beror i sin tur på typen och mängden av förekommande cellgaser.

Eftersom CFC 11 har hög kokpunkt (24° C) kan CFC 11 vid rumstemperatur förekomma både i gas- och vätskefas och eventuellt även löst i PUR-strukturen. Ett eventuellt överskott förgasas vid upphettning och kan därvid ge en påtaglig ökning av mängden gas. Detta ger en höjning av cellgastrycket och därmed en expansion av cellmaterialet.

För CO₂ är förhållandena annorlunda. Genom den låga kokpunkten (-78° C) förekommer CO₂ uteslutande i gasfas vid rumstemperatur. Den tryckhöjning som sker i CO₂-blåst material vid upphettning medför därför endast en tryckhöjning i den gas som redan från början fanns i cellerna.

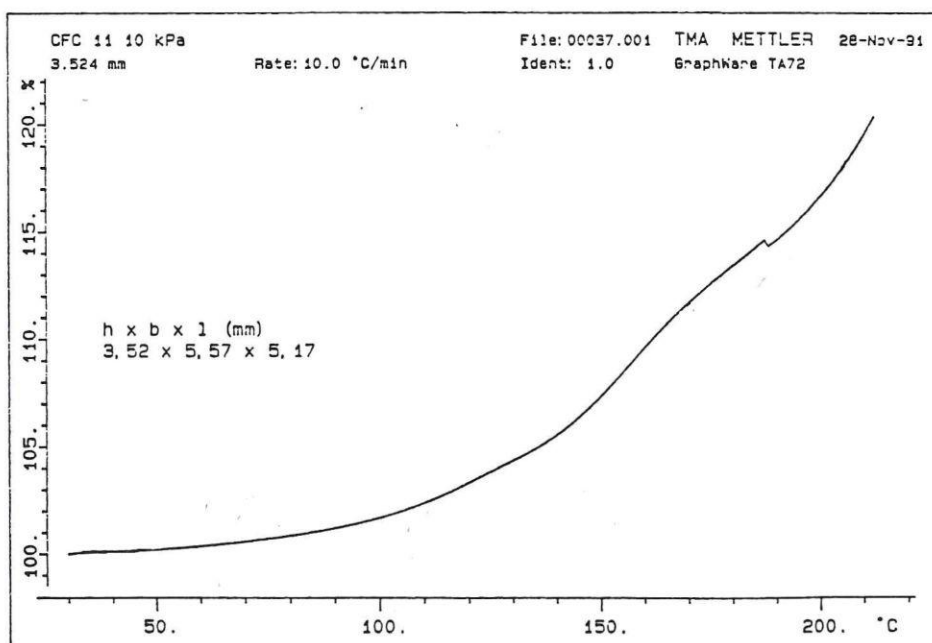
TMA-mätningar på CFC 11-blåst och CO₂-blåst PUR-skum

För att belysa de svårigheter som uppträder har TMA-mätningar utförts på både CFC 11- och CO₂-blåsta isoleringsmaterial vid belastningarna 100 kPa och 10 kPa. Figur 1 visar TMA-kurvornas utseende vid lasten 100 kPa. Sammantryckningen av CO₂-materialet ökar tydligt redan vid ca 120 °C under det att det CFC-11 blåsta materialet uppvisar motsvarande kurvförlopp först vid ca 200 °C. Om dessa värden direkt uppfattas som cellmaterialens mjukningstemperaturer skulle detta innebära att de båda typerna av PUR-material skulle ha väsentligt olika egenskaper.



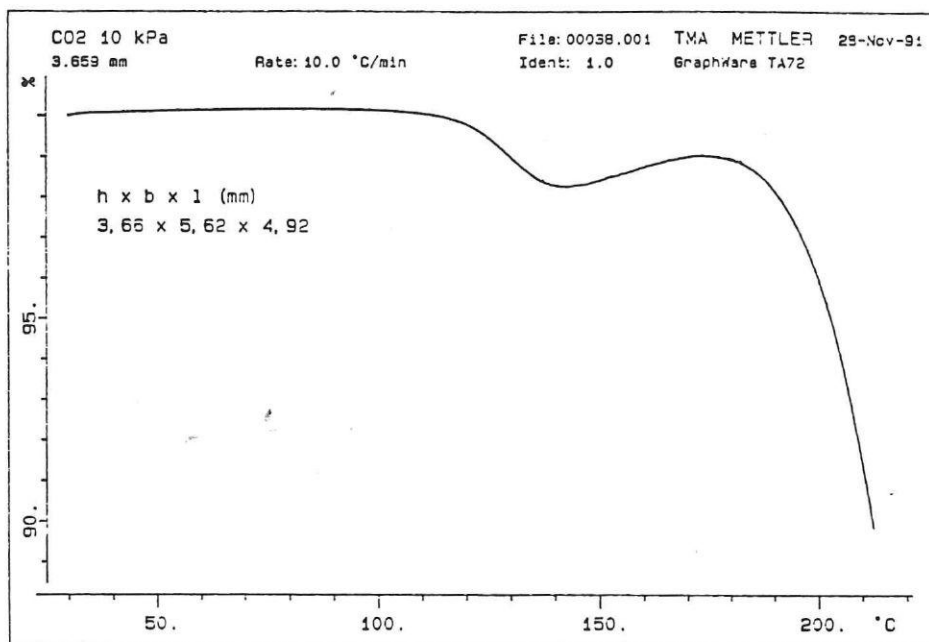
Figur 1 TMA-kurvor för CO₂-blåst och CFC 11-blåst PUR-skum vid 100 kPa belastning.

Om mätningen utföres vid belastningen 10 kPa uppvisar det CFC 11-blåsta materialet, så som framgår av figur 2, istället en kraftig expansion från ca 120 °C. TMA-kurvan för CFC 11-materialet kan därmed inte utvärderas på samma sätt som vid belastningen 100 kPa.



Figur 2 TMA-mätning på CFC 11-blåst PUR-skum vid 10 kPa belastning

Så som figur 3 visar uppträder däremot CO₂ blåst material vid belastningen 10 kPa i princip som vid 100 kPa.



Figur 3 TMA-mätning på CO₂-blåst PUR-skum vid 10 kPa belastning

Att CFC 11-blåst och CO₂-blåst material uppträder olika kan, som tidigare nämnts, förklaras av att det inre trycket i cellerna skiljer starkt vid drifttemperaturer. Båda materialen har visserligen utsatts för samma yttre laster, 100 resp 10 kPa, men den "inre belastningen" skiljer. Två förhållanden spelar här in. För det första kommer gastrycket i CFC 11-materialet att öka betydligt mer än i CO₂-materialet beroende på förångningen av det i cellerna normalt förekommande överskottet av CFC 11. För det andra minskar gastrycket i CO₂-materialet snabbt genom den höga diffusionshastigheten hos CO₂ i kombination med provkroppens små mått. Intill dess cellerna öppnas (sprängs) ger det inre gastrycket en påtaglig bärförmåga som medför att den "mjukningstemperatur" som TMA-mätningen indikerar blir starkt beroende av vilken gas som cellerna innehåller.

2. Kryp-mätning vid förhöjd temperatur

2.1 Utrustning

Metoder och utrustningar för kryp-mätning på cellplaster finns, som tidigare nämnts, beskrivna i både tysk och internationell standard. Enligt dessa standarder utföres mätningarna i luft och på provkroppar med storleken 50 x 50 x 25 mm samt anges kunna utföras vid olika belastningar och även vid förhöjda temperaturer. Någon information om de problem som kan uppträda då mätningarna utföres vid temperaturer över rumstemperatur ges dock inte.

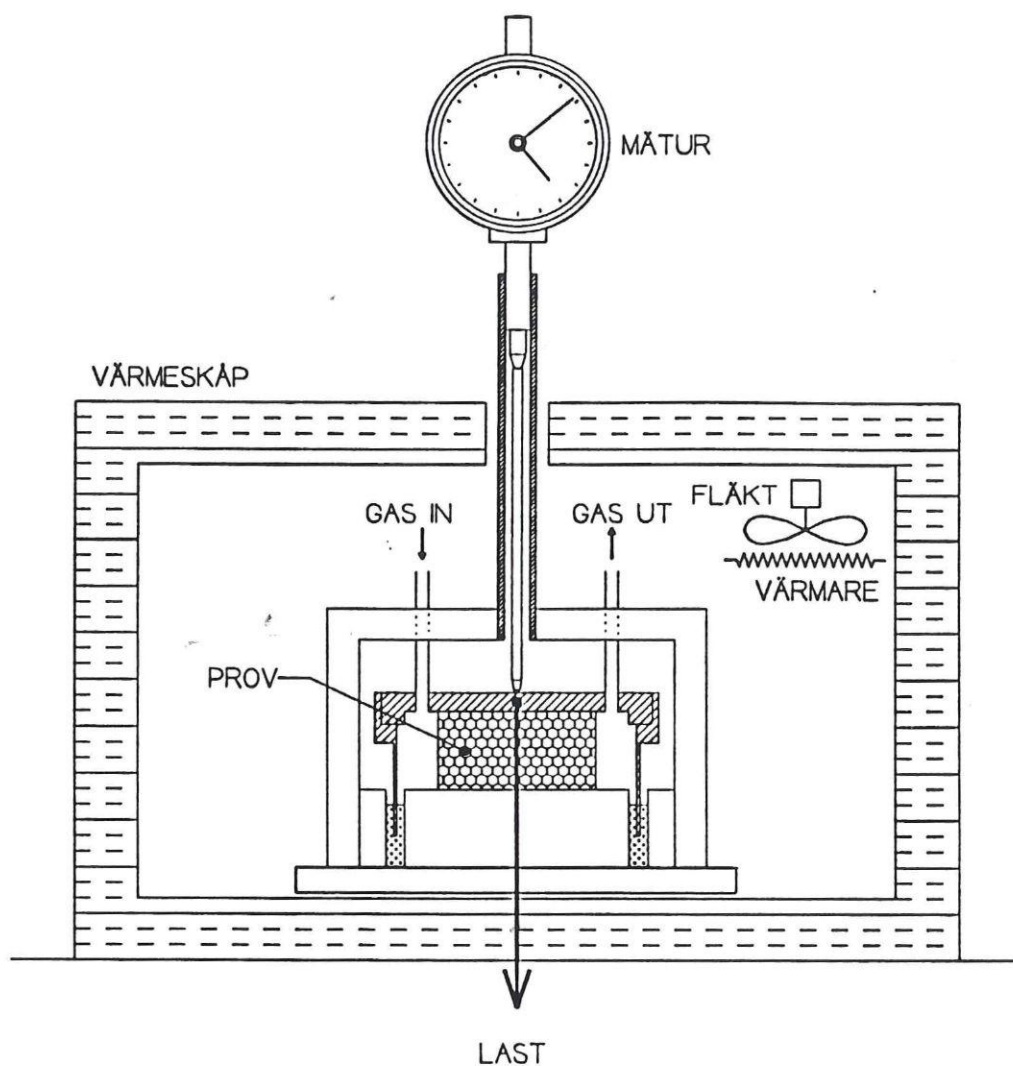
För att kunna utföra mätningarna under förbättrad kontroll och i annan omgivnings-atmosfär än luft har utrustning och metodik vidareutvecklats och kompletterats i ett flertal avseenden. I det följande ges en beskrivning av den utrustning som använts vid de mätningar som redovisas senare i denna rapport. Huvuddelen av utrustningen är vid mätningar placerad i ett temperaturreglerat värmeskåp med fläktcirkulation. Beskrivningen anknyter till den schematiska skissen av apparaturen i figur 4.

Mätutrustningen är uppbyggd på en bottenplatta av stål mot vilken provkroppen limmas centriskt inom ett cirkulärt spår fyllt med silikonpasta. Silikonpastan utgör gas-tätning mot ett lock bestående av en vertikal tunn stålcylander med en övre plan stål-gavel. Även locket limmas mot provkroppen. Cylindermanteln nedre kant kommer därvid att sticka ned i silikonpastan och ge en rörlig men gastät fog. Hängande vikter belastar provkroppen via locket och provkroppen sammantrycks därigenom mellan locket och bottenplattan. Lockets rörelse relativt bottenplattan mäts med ett mätur som är placerat utanför värmeskåpet. Mäturet bäres upp av ett kvartsrör som via en bygel är fäst i bottenplattan och lockets rörelse överföres till mäturet via en tunn kvartsstav som löper inuti kvartsröret och som stöder mot lockets översida.

Gasen i provningskaviteten kan ventileras via två slangnipplar i locket. Gastillförseln sker från gasflaskor med möjlighet att reglera in önskat gasflöde med ventiler och flödesmätare. Därigenom kan ett långsamt men oavbrutet flöde (ca 1 ml/min) av luft, CO₂ eller CFC 11 upprätthållas genom provningskaviteten under mätningarna.

Gasatmosfären kan därigenom anpassas till PUR-isoleringens drivgastyp. För att förhindra ett okontrollerat gasutbyte med omgivningen får gasen lämna kaviteten via ett enkelt vattenlås utanför värmeskåpet.

Temperaturen i provningskaviteten kontrolleras med hjälp av termoelement placerade invid provkroppen.



Figur 4 Mätutrustning för krypmätning på cellplast vid förhöjd temperatur

2.2 Mätförfarande

Under arbetets gång har mätförfarandet successivt anpassats efter vunna erfarenheter. I det följande beskrivs det tillvägagångssätt som tillämpats för de i rapporten redovisade mätningarna.

Provkroppar

Provkropparna sågas ur kulvertrörens PUR-isolering till rättblock med måtten 50x50x25 mm. Sågningen utförs så att måttet 25 mm riktas radiellt i kulvertröret. Provkropparnas dimensioner mätes på 0,1 mm och väges på 0,01 g när.

Inom 30 minuter efter utsågningen placeras provkroppen i provningskaviteten och limmas fast mellan bottenplattan och locket med snabbhärdande lim. Samtidigt startas gasflödet genom provningskaviteten med luft, CO₂ eller CFC 11.

Uppvärmning

Efter 30 minuter påbörjas uppvärmningen till aktuell provningstemperatur och tre timmar därefter pålägges avsedd tryckbelastning - normalt 100 kPa.

Provkroppens tjockleksförändring följs dels under uppvärmningsförloppet dels under minst 100 h krypning efter pålastningen.

2.3 Erfarenheter av metod och utrustning

Mättekniskt har både apparatur och procedur fungerat väl. Ytterligare förbättringar, särskilt vad avser provningskavitets utformning, bedöms dock vara möjliga. Framför allt har en förenkling av hanteringen vid provkroppsbyten visat sig önskvärd.

Vid genomströmning med CFC 11 visade det sig att det krävdes uppvärmning av slangarna för att undvika att gasen skulle kondensera i slangarna och störa gasflödet.

Hanteringsmässigt är provkroppsarrangemanget något omständligt. Bland annat innebär det en hel del merarbete att loss göra kvarvarande provkroppar från lock och bottenplatta inför nästa mätning.

Det är även förenat med svårigheter att anpassa gasen i provningskaviteten efter gastypen i cellplasten. Dels behövs extra utrustning för detta dels kommer det att innebära stora praktiska problem för sådana material som innehåller blandningar av flera gaser. Det är därför angeläget att studera om det kan vara möjligt att använda samma gas för alla typer av material. På grund av den höga diffusionshastigheten hos CO₂ måste dock troligtvis mätningar på CO₂-blåst material alltid göras i CO₂-atmosfär.

3. Kryp-mätningar på CFC 11-blåst och CO₂-blåst PUR-isolering

3.1 Försöksserier

Både med syfte att prova utrustning och mätmetodik och med avsikt att få en jämförelse mellan olika isoleringsmaterial har en serie mätningar utförts vid temperaturerna 23, 120, 130 och 140 °C. Mätningar har utförts dels utan belastning dels vid belastningen 100 kPa.

Mätningarna på obelastat material avsåg att ge referens- och utgångsvärden för utvärderingen av kryp-mätningarna på belastat material.

3.2 Provmaterial

Mätningarna har begränsats till två typiska material, representerande ett äldre och ett nyare drivgasalternativ. Som det äldre alternativet valdes CFC 11-blåst PUR-skum som tidigare varit standardisoleringen i kulvertrör och som det därför finns många års praktiska erfarenheter av. Som det nyare alternativet valdes ett CO₂-blåst material. Sådana har funnits som kommersiella alternativ först under de senaste åren.

En särskild anledning att studera just CO₂-blåst material är de alarmerande resultat när det gäller temperaturbeständigheten som rapporterats vid tidiga försök med denna materialtyp, *AGFW Verbundprojekt, (1989)*.

Både det CFC 11-blåsta och det CO₂-blåsta isoleringsmaterialet har uttagits från icke använda kulvertrör med mantelrörsdiameter 200 mm och medierörsdiameter 89 mm. Rören var uttagna från normal kommersiell produktion.

Följande densiteter uppmättes hos provkropparna för respektive typ av isoleringsmaterial

Materialtyp	Densitet, medelvärde kg/m ³
CFC 11-blåst	68
CO ₂ -blåst	71

3.3 Uppmätta krypförlopp

Mätningar vid 23 °C

Figur 5 och 6 visar för CFC 11-blåst och CO₂-blåst material tjockleksförändringen uppmätt under ca 9000 h. Både mätningar på obelastade provkroppar och med 100 kPa belastade provkroppar redovisas i samma diagram.

Obelastat material

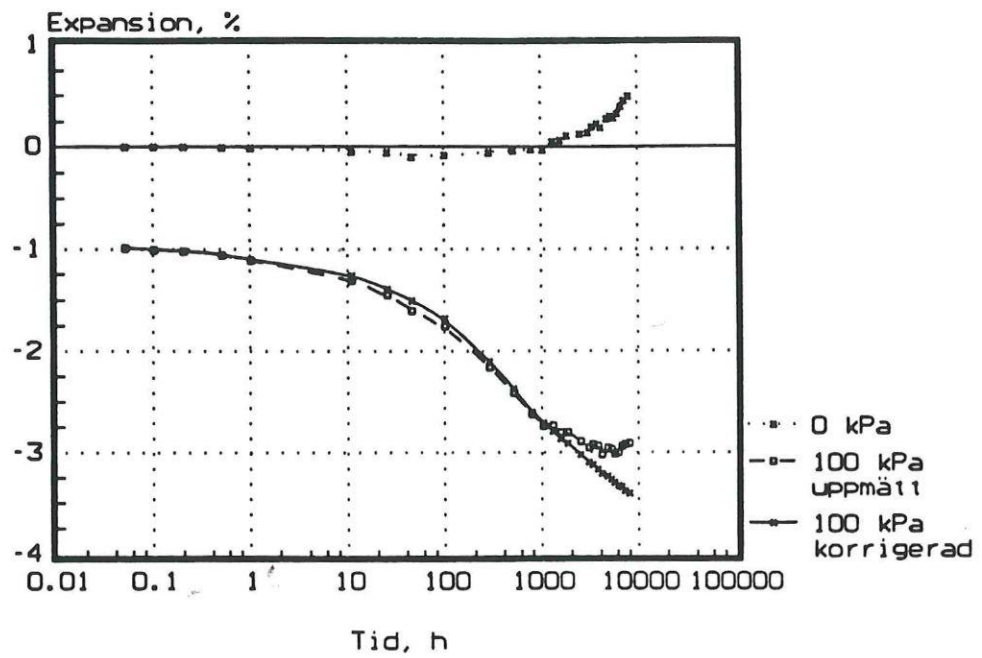
Obelastade provkroppar uppvisar små men entydiga dimensionsförändringar. Även dessa mätningar avspeglar de båda isoleringsmaterialens olika gasinnehåll. Figur 5 visar att CFC 11-blåst material efter ca 1000 h uppvisar en fortgående expansion. Denna tolkas enklast som resultatet av en ökning av totaltrycket i cellerna till följd av en långsam indiffusion av luft.

Figur 6 visar att ett obelastat CO₂-blåst material först uppvisar en påtaglig krympning under ca 5000 h och därefter en expansion. Första delen av detta förlopp kan förklaras som en följd av en successiv utdiffusion av CO₂ med en sänkning av celltrycket och en sammantryckning av materialet som resultat. Efter ca 5000 h ger indiffusionen av luft en netto-ökning av cellgastrycket och en därav följande expansion.

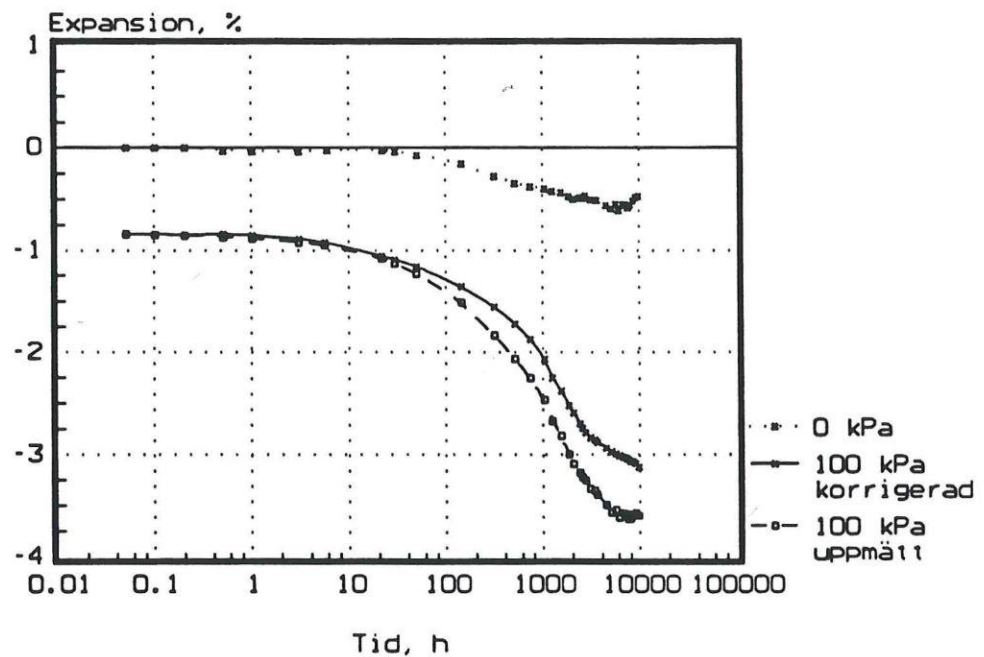
De uppmätta dimensionsförändringarna för obelastat material svarar väl mot de sannolika förändringarna i cellgastrycken. Mätningarna på obelastat material gör det möjligt att korrigera krypkurvorna för belastat material med hänsyn till de diffusionsbetingade celltrycksförändringarna.

Belastat material

Även krypningen hos belastat material vid 23 °C visas i figur 5 och 6. Från initiiellt ca 1 % ökar sammantryckningen genom krypningen till ca 3 % efter 5000 h. Det framgår att även krypförloppen på belastat material påverkas av förändringarna i cellgastryck. Efter korrektion för de diffusionsbetingade dimensionsförändringarna visar båda materialen likartade krypförlopp. I figur 5 och 6 visas även dessa korrigerade förlopp.



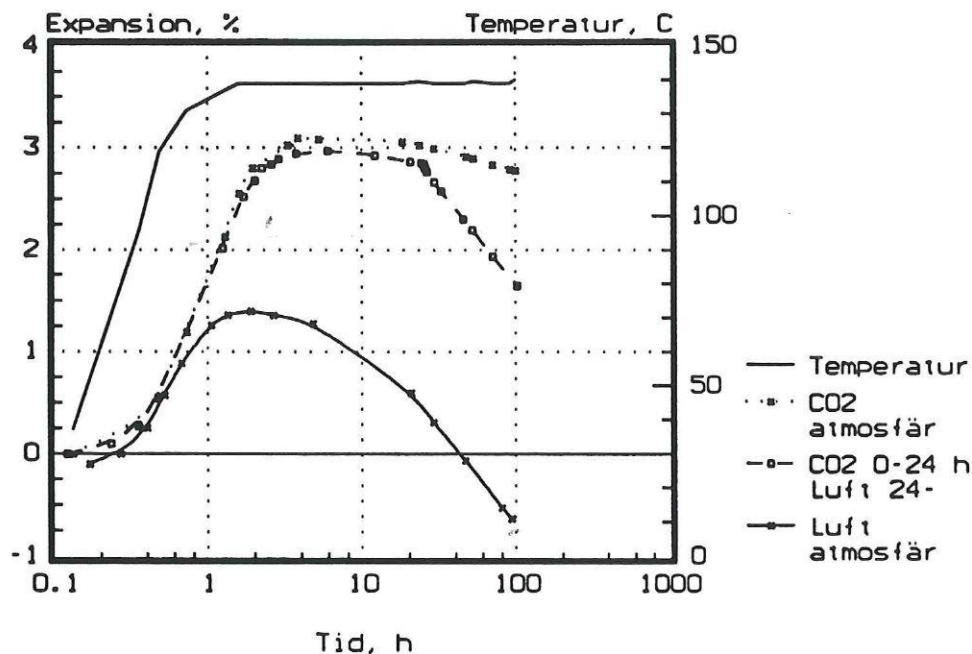
Figur 5 Tjockleksförändring hos provkroppar av CFC 11-blåst material vid 23 °C



Figur 6 Tjockleksförändring hos provkroppar av CO₂-blåst material vid 23 °C.

Provningsatmosfärens inverkan

Den omgivande atmosfärens betydelse illustreras i figur 7 med mätningar på tre obelastade provkroppar av CO_2 -materialet. Samtliga mätningar har utförts vid uppvärmning till 140°C och under därpå följande 100 timmar. I det första fallet är mätningen utförd helt i CO_2 -atmosfär. I andra fallet omgavs provkroppen med CO_2 endast under de första 24 timmarna varefter provningskaviteten fylldes med luft. Den tredje provkroppen provades helt i luft.



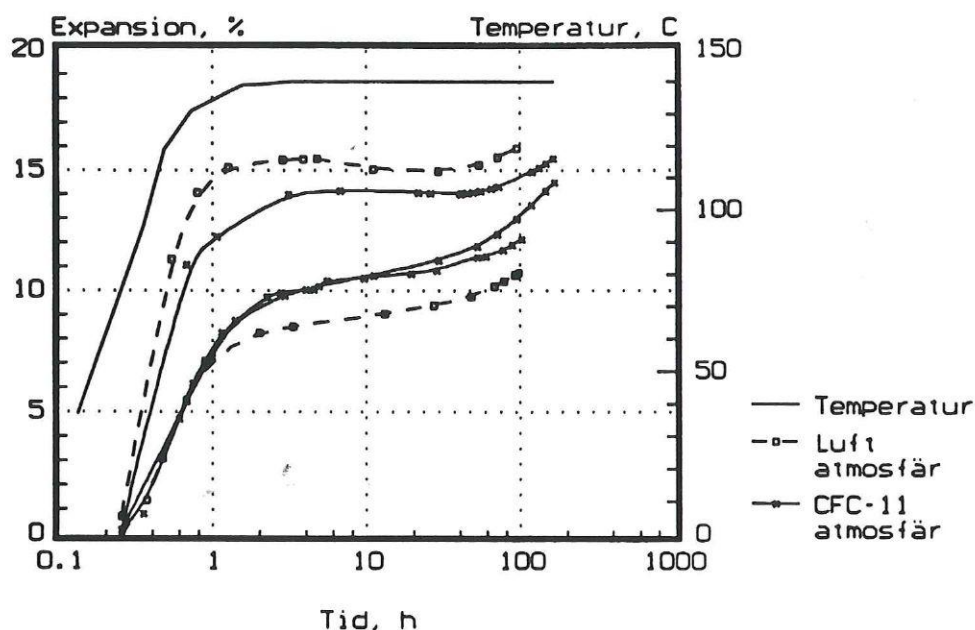
Figur 7 Provningsatmosfärens inverkan på expansionen vid 140°C . Mätningar på CO_2 -material.

Vid provning i CO_2 -atmosfär sker efter den initiella expansionen endast en långsam kontraktion. Då atmosfären däremot ändras från CO_2 till luft påbörjas omedelbart en snabbare kontraktion. Om provkroppen befinner sig i luft under hela uppvärmningsförloppet uppnås överhuvud taget aldrig det expansionsvärde som uppträder i CO_2 -atmosfär. Efter ca 40 timmar i luft har materialets inledande expansion helt återgått.

Provkroppar av CFC 11-material har studerats på motsvarande sätt som provkroppar av CO_2 -blåst material. Mätningarna utfördes dels i CFC 11-atmosfär dels i luft.

Samma atmosfär bibehölls dock under hela mättiden. Av figur 8 framgår att karakteristiskt för dessa mätningar är att expansionen är stor och att även spridning mellan provkropparna är stor. Expansionens storlek kan som tidigare nämnts förklaras av ett överskott av CFC 11 som vid rumstemperatur befinner sig i vätskefas eller löst i polymerskelettet och som förgasas vid uppvärmningen. Den stora spridningen i expansion får ses som en följd av motsvarande skillnader i det totala

CFC 11-innehållet. Små skillnader i CFC 11-mängd medför förhållandevis stora skillnader i celltryck vid drifttemperaturer.



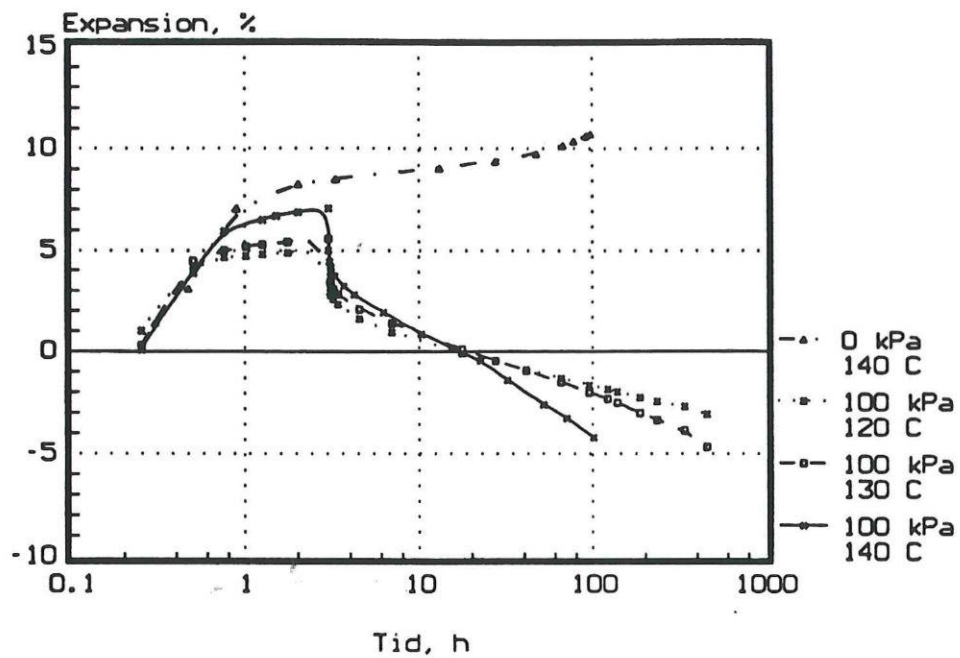
Figur 8 Expansion hos CFC 11-material vid uppvärmning till 140 °C.

De låga diffusionshastigheterna hos CFC-11 och luft medför att inverkan från omgivningsatmosfären i dessa fall först kan väntas efter längre tid - mer än 100 timmar.

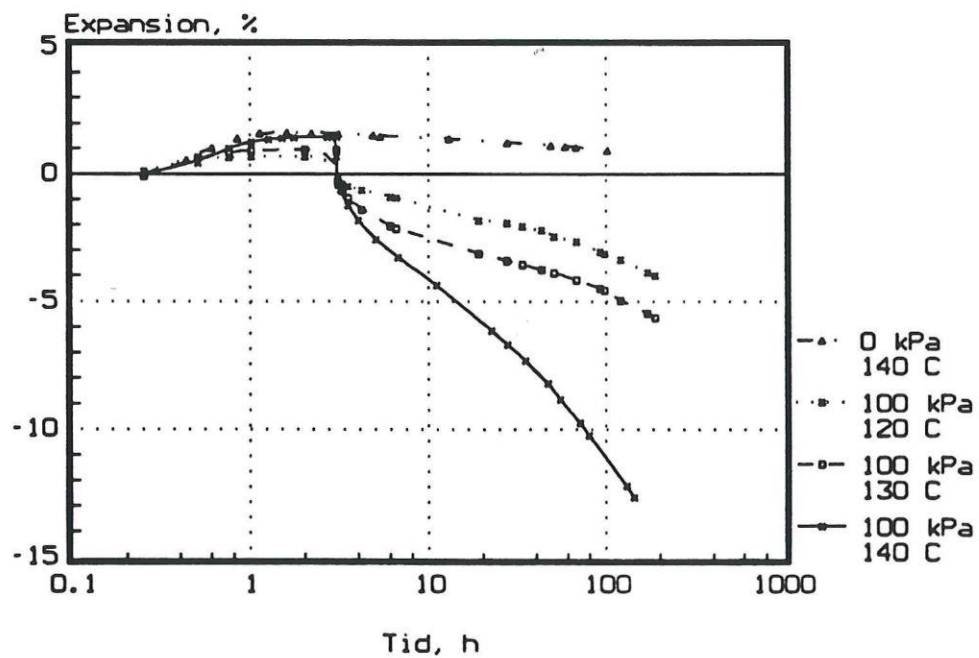
Krypning vid drifttemperatur

Den dimensionsförändring (expansion resp sammantryckning) som uppträder hos CFC 11-material resp CO₂-material under uppvärmning och efterföljande belastning visas i figur 9 och 10. Provningsatmosfären var luft för CFC 11-materialet och CO₂ för CO₂-materialet. Mätningarna har utförts med belastningen 100 kPa vid temperaturerna 120, 130 och 140 °C och i övrigt enligt avsnitt 2.2. Belastningen påfördes således tre timmar efter det att uppvärmningen påbörjades.

I diagrammen visas dessutom expansionkurvan för en obelastad provkropp vid 140 °C.



Figur 9 CFC 11-materialets expansion vid uppvärmning till 120, 130 och 140 °C och sammantryckning vid efterföljande belastning med 100 kPa. Mätning i luft.



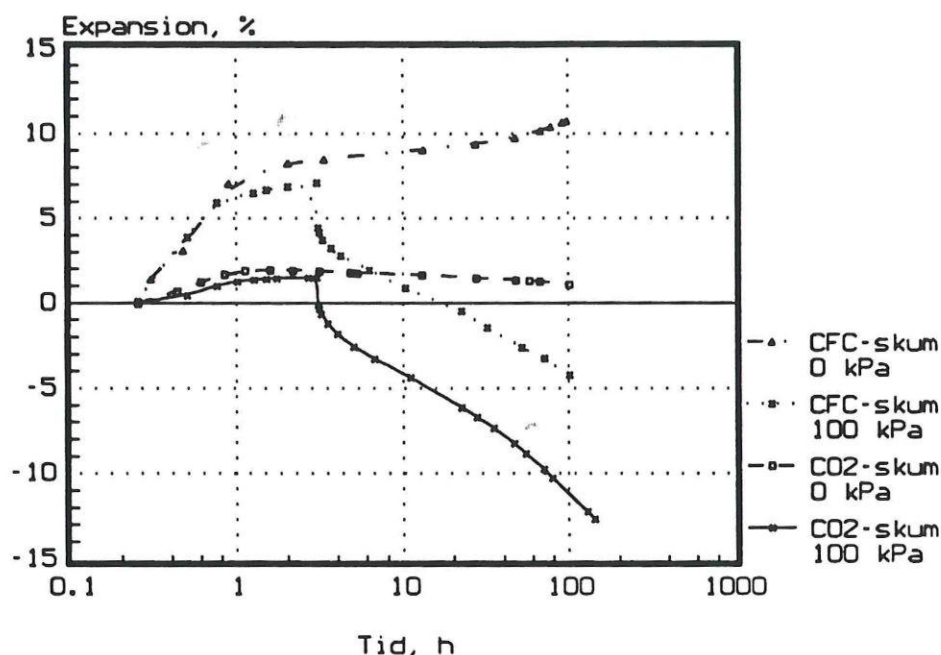
Figur 10 CO₂-materialets expansion vid uppvärmning till 120, 130 och 140 °C och sammantryckning vid efterföljande belastning med 100 kPa. Mätning i CO₂-atmosfär.

Särskilt framträdande är den stora skillnaden i expansion under uppvärmningsfasen mellan de båda materialen. Vid 140 °C expanderar CFC 11-materialet 7-15 % medan

CO₂ -materialet bara expanderar 2-3 %. Skillnaden avspeglar skillnaderna i cellgastryck vid mättemperaturen.

Förloppen för de obelastade materialen skiljer sig åt även på så sätt att CFC 11-materialet fortfarande expanderar efter 100 h under det att expansionen hos CO₂ -materialet redan efter ca 5 h övergår i en "krympning". Förklaringen härtill torde vara att CO₂ snabbt diffunderar ut ur cellerna medan indiffusionen av luft är betydligt långsammare. Härigenom sjunker cellgastrycket varvid materialets expansion hämmas.

Skillnaden i expansion mellan de båda materialen framgår tydligt av figur 11 som ger en sammanställning av mätningar vid 140 °C.

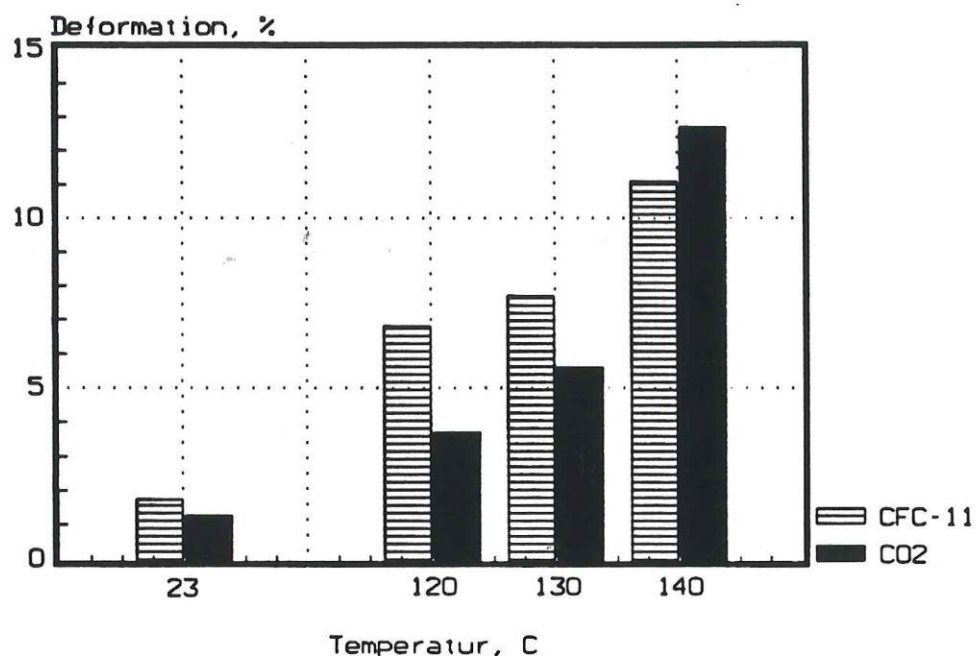


Figur 11 Krypförlopp hos CFC 11- och CO₂ -material vid 0 resp 100 kPa och vid 140 °C.

Mätningarna visar att sammantryckningen vid belastning är i stor sett lika för båda materialen. Den totala sammantryckningen är visserligen olika stor efter 100 timmars belastning, men den största delen av denna skillnad föreligger redan vid pålastningen.

3.4 Krypdeformation och kryphastighet

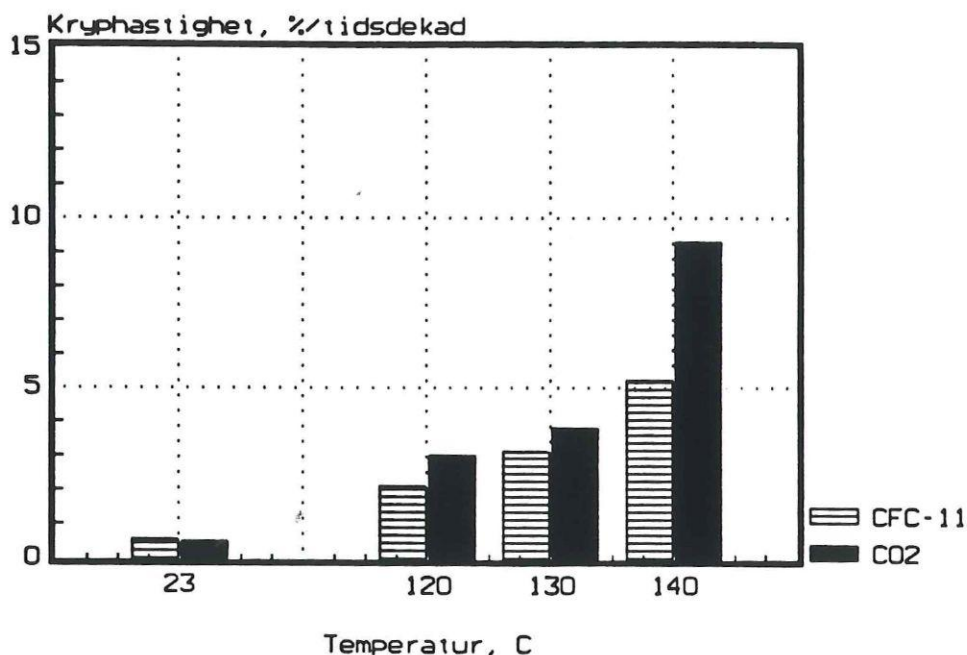
Krypegenskaperna har utvärderats med avseende på förhållandena efter en belastningstid av 100 h. Två karakteristiska värden redovisas. Det ena värdet är den lastbetingade krypdeformationen korrigerad för den expansion som det obelastade materialet uppvisar efter 3 h. Det andra värdet är den ur krypkurvans lutning avlästa kryphastigheten.



Figur 12 Krypdeformationen efter 100 h

Figur 12 visar den totala krypdeformationen under 100 h för båda materialen och vid samtliga mättemperaturer. Det framgår att upp till 140 °C uppvisar CFC 11-materialet och CO₂-materialet jämförbara krypdeformationer.

I figur 13 visas kryphastigheten efter 100 h för de olika mättemperaturerna. .



Figur 13 Kryphastigheten efter 100 h

Upp till 130 °C uppvisar båda materialen nära lika kryphastighet. Vid 140 °C visas en påtagligt högre kryphastighet för CO₂ -materialet. Denna skillnad kan dock till stor del vara en följd av den fortgående expansion som CFC 11-materialet uppvisar ännu efter 100 h, jfr figur 11.

3.5 Jämförelse med TMA-mätningar

Genom att krypmätningarna har utförts vid konstant temperatur och på både obelastat och belastat prov har det varit möjligt att långtgående kompensera för inverkan från förändringarna i cellgastrycket. Därigenom har det blivit möjligt att redovisa krypvärden som avspeglar termomekaniska egenskaper hos själva PUR-materialet.

Mätningarna visar att krypningen i PUR-materialet är av samma storleksordning i både den CFC 11-blåsta och i den CO₂ -blåsta isoleringen. I vilken utsträckning detta även gäller andra isoleringskvaliteter får klarläggas vid kommande mätningar.

De indikationer på avgörande skillnader i belastbarhet vid driftstemperatur som TMA-mätningarna ger kan konstateras vara en följd av de olika tryckförändringarna i cellgaserna och avspeglar inte skillnader hos själva PUR-materialet.

4. Referenser

I texten givna referenser

DIN 53 425, Zeitstand-Druckversuch in der Wärme, Prüfung von harten Schaumstoffen, 1965

ISO 7850, Cellular plastics, rigid - Determination of compressive creep, 1986

EN 253, Preinsulated bonded pipe systems for underground hot water networks - Pipe assembly of steel service pipes, polyurethane thermal insulation and outer casing of high density polyethylene, 5. Draft revision, 1992

Jarfelt U, Bergström G & Karlsson J. Provningsmetod för bestämning av axiell skjuvhållfasthet hos kulvertrör. 1992.

AGFW-Verbundsprojekt, Radiale Zeitstand-Druckversuche, 1989

Allmänna arbeten

Feldman, D. Polymeric Building Materials, Elsevier Applied Science, 1989

Gibson, L. J. and Ashby, M.F. Cellular Solids, Pergamon Press, 1988