

BESTÄNDIGHET HOS KRYMPSKARVAR



Rapport | 2007:5



BESTÄNDIGHET HOS KRYMPSKARVAR

STEFAN FORSAEUS NILSSON

SVEN-ERIK SÄLLBERG

FÖRORD

Det här projektet har kommit till efter en direkt önskan från Svensk Fjärrvärmes auktorisationsnämnd om att närmare studera problemen kring krymptätande skarvar. Det är känt att materialen generellt sett har blivit bättre och den primära frågan därför gäller hur de material som används i dag åldras.

Projektet har genomförts dels som en sammanställning av erfarenheter hos branschrepresentanter från krympförbands- och mastixstillverkare, fjärrvärmerörstillverkare, skarventreprenörer och fjärrvärmebolag, och dels som en experimentell undersökning där ett antal olika skarvalternativ studerades med avseende på täthet och hållfasthet

Resultaten visar att det uppenbart går att åstadkomma ett utmärkt skarvförband även under svåra temperatur- och fuktförhållanden och att det knappast sker några dramatiska egenskapsförändringar hos materialen under åldring. Frågan glider därmed över till hur entreprenaderna upphandlas och drivs.

Eva-Katrin Lindman

ordförande i Teknikrådet

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Svensk Fjärrvärme eller Fjärrsyns styrelse har tagit ställning till innehållet.

SAMMANFATTNING

Enligt Svensk Fjärrvärmes skadestatistik från åren 2001 – 2003 är omkring en tredjedel av alla skador på ledningsskarvar orsakade av att krympförband släppt från ledningen. Föreliggande projekt har kommit till efter en direkt önskan från Svensk Fjärrvärmes Auktorisationsnämnd om att närmare studera förutsättningarna för att höja kvaliteten på krymptätade skarvar. Syftet har varit att kontrollera nyckelegenskaperna hos de på marknaden tillgängliga systemlösningarna med målsättningen att resultaten ska göra det lättare att välja rätt material och konstruktionslösning för att nå bästa funktionsssäkerhet och kostnadseffektivitet.

Projektet har genomförts dels som en sammanställning av erfarenheter hos branschrepresentanter från krympförbands- och mastixstillverkare, fjärrvärmerörstillverkare, skarventreprenörer och fjärrvärmebolag, och dels som en experimentell undersökning där ett antal olika skarvalternativ studerades med avseende på täthet och hållfasthet. Följande skarvsystem ingick i utvärderingen:

- Logstor SX
- Canusa SuperCase
- Raychem RayJoint
- Powerpipe DTK med yttre tätning Nitto NeoCover 1150 i ena skarvänden och Raychem TPSM i den andra
- Logstor B2S med yttre tätning Canusa KLD i ena skarvänden och Raychem TPSM i den andra

Skarvarna monterades på rör med diameter 160 mm och 450 mm. Montaget gjordes i kyla med nedsmutsade rör för att efterlikna besvärliga fältförhållanden. Efter montage täthetsprovades skarvarna. Därefter utvärderades förbanden med avseende på fläkhållfasthet och skjuvhållfasthet före och efter åldring i +50 °C under 70 dygn. Hållfasthetsprovningar och åldring genomfördes i enlighet med EN 12068. En studie av krympkraftrelaxationen hos förnätade och icke-förnätade krympband och -hylsor av polyeten gjordes genom att krympa ned dem mot aluminiumcylindrar och lagra dem i rumstemperatur under ca 2000 timmar.

Resultaten visar att det uppenbart går att åstadkomma ett utmärkt skarvförband även under svåra temperatur- och fuktförhållanden och att det knappast sker några dramatiska egenskapsförändringar hos materialen under åldring. Av de provade varianterna var samtliga täta utom en och hållfasthetsnivåerna var i paritet med vad tillverkarna utlovar i sina tekniska specifikationer för de allra flesta skarvförbanden. De mätningar som gjorts av krympkraften visade att relaxationen inte tycks vara något stort problem. Materialet i hylsan fortsätter att sträva mot sitt oexpanderade jämviktstillstånd, och för de icke-förnätade provobjekten resulterade detta i att krympkraften faktiskt ökade med tiden. I och med att material och konstruktionslösningar fungerar, kan man indirekt dra slutsatsen att problemen i fält huvudsakligen härrör från montaget, vilket med stor sannolikhet bottnar i att montörerna ofta utsätts för svåra arbetsförhållanden och att skarvkonstruktionerna är krävande att installera. Erfarenhetsmässigt är det framför allt tätningsmaterialet som är avgörande för montagevänligheten. Från montörens synvinkel ska materialet helst vara mjukt (mer förlåtande), fiberarmerat (lättare att hantera) och komma i breda remsor (lättare att applicera). Vad gäller hylsorna, så går krymp-

ningsarbetet snabbare med förnätat material (PEX). En viktig observation är också att hylsor med inbyggd mastix är svårare att hålla rena på arbetsplatsen.

Det viktigaste är således att montaget genomförs på ett bra sätt och att förutsättningar för detta finns på arbetsplatsen. Utifrån projektresultaten är det svårt att peka ut den bästa och den sämsta skarvlösningen, men några rekommendationer kan ges:

- Tänk på att avgasa skarven under krymparbetet så att inga onödiga övertryck ligger och belastar krympförbandet.
- Välj en hylsa av förnätat PEX-material om snabbt montage är viktigt.
- Om oförnätat HDPE-material används, välj så kallade dubbelexpanderade hylsor.
- Välj ett tätningsmaterial som är lättarbetat och förlåtande till sin karaktär, exempelvis av den typ som används i Nitto NeoCover eller Raychem TPSM.
- Om extra styrka behövs: använd ett starkare tätningsmaterial, till exempel en mastix/hotmelt-blandning av den typ som används i Canusa KLD. Observera dock att hög hållfasthet inte med automatik innebär bättre täthet.

SUMMARY DURABILITY OF SHRINK JOINTS

About one third of all joint failures are caused by shrink seals losing adhesion, according to statistics from the Swedish District Heating Association. The present project was initiated upon request from the Authorisation Board of the Swedish District Heating Association in order to investigate the potential to enhance the quality of shrink joints. The purpose has been to provide a screening of the key properties of the joint systems currently available on the market. The aim has been to facilitate the choice of right materials and constructions to achieve the best functionality and cost effectiveness.

The project has comprised a compilation of the views from industry representatives from manufacturers of shrink and sealing materials, pipe producers, joint contractors and district heating companies, and an experimental study where a number of joints were evaluated with respect to tightness and strength. The following joint systems took part in the investigation:

- Logstor SX
- Canusa SuperCase
- Raychem RayJoint
- Powerpipe DTK with external seal Nitto NeoCover 1150 in one end and Raychem TPSM in the other
- Logstor B2S med external seal Canusa KLD in one end and Raychem TPSM in the other

The joints were installed on pipes of diameters 160 mm and 450 mm. The installation was done under cold and dirty conditions, to simulate a field like worst-case scenario. After the installation, the joints were tested with respect to tightness. Peel strength and shear strength were evaluated before and after thermal ageing in +50 °C for 70 days. Mechanical tests and ageing followed standardised procedure in EN 12068. A study of the shrink force relaxation in crosslinked and non-crosslinked polyethylene shrink sleeves was undertaken, by shrinking them onto aluminium cylinders and storing them in room temperature for about 2000 hours.

The results show that it is clearly possible to install excellent shrink joints also under difficult conditions. In addition, thermal ageing does not automatically lead to any dramatic changes in material properties. Of the tested variants, all but one was completely tight and the mechanical strength levels were in line with what the manufacturers state in their datasheets for most of the joints. The measured shrink forces show that relaxation is not a big problem. The material in the joint sleeve will continue to strive towards its non-expanded state of equilibrium, and for the non-crosslinked samples, this actually resulted in an increase in shrink force over time. Since the materials and constructions do work, one may indirectly conclude that the problems are mainly caused by the installation, which, in turn, is likely to a large extent a consequence of difficult working conditions and demanding installation procedures. According to experience, the sealing materials are decisive for the ease of installation. From the fitter's point of view, the sealing material should be soft (more forgiving) and fibre reinforced (easier to handle) and it should come in wide strips (easier to apply). When it comes to sleeves, the shrinking work is faster with crosslinked material (PEX). An important observation is also that sleeves with built-in sealant and/or adhesive are harder to keep clean at the work site.

Hence, the most important thing is that the installation is done in a proper manner and that appropriate conditions for the fitter to achieve this is provided at the work site. It is hard to single out the best or the worst joint system, but some recommendations may be given:

- Remember to depressurise the joint during shrinking to avoid unnecessary pressure loads on the seal.
- Use a sleeve of crosslinked polyethylene if a fast installation is important.
- If non-crosslinked sleeves are used, choose a double expanded variant.
- Use a sealing material with easy handling and forgiving characteristics, e.g., the type used for Nitto NeoCover or Raychem TPSM.
- If extra strength is needed, use a stronger sealant, such as, e.g., a mastic/hotmelt mix such as that used in Canusa KLD. Please note, though, that high strength does not automatically imply good tightness.

INNEHÅLL

1. Krympförband	12
1.1. Produkter på marknaden	14
1.2. Andra skarvtyper	14
2. Kunskapsläge	15
2.1. Tidigare forskning	15
2.2. Erfarenheter från branschen	20
2.2.1. Produkter	21
2.2.2. Upphandling, beställning och entreprenad	21
2.2.3. Montage	21
2.2.4. Drifterfarenheter	22
2.3. Skadestatistik	22
2.4. Standarder och provningsmetoder	23
2.4.1. Fjärrvärmeskarvar – SS-EN 489	23
2.4.2. Krymp- och tätningsmaterial – EN 12068	24
2.4.3. Övriga standarder	25
3. Provningar	26
3.1. Tillverkning av provobjekt	26
3.1.1. Täthetsprovning	28
3.1.2. Relaxation i krympmaterial	28
3.1.3. Fläkhållfasthet	30
3.1.4. Skjuvhållfasthet	30
3.2. Åldring	32
4. Provningsresultat	33
4.1. Täthetsprovning	33
4.2. Relaxation i krympmaterial	34
4.3. Fläkhållfasthet	36
4.4. Skjuvhållfasthet	37
5. Diskussion och slutsatser	40
6. Referenser	42
Bilaga a. Kommersiella produkter	44
Bilaga b. Limtyper – en översikt	45
Bilaga c. Skjuvbelastning på skarvförband	46
Bilaga d. Avgasning/övertryck i provskarvar	47

INLEDNING

Föreliggande projekt har kommit till efter en direkt önskan från Svensk Fjärrvärmes Auktorisationsnämnd om att närmare studera förutsättningarna för att höja kvaliteten på krymptätade skarvar. Syftet är att kontrollera nyckelegenskaperna hos de på marknaden tillgängliga systemlösningarna för skarvning av fasta fjärrvärmerör, med målsättningen att resultaten ska göra det lättare att välja rätt material och konstruktionslösning för att nå bästa funktionssäkerhet och kostnadseffektivitet.

Projektet kan också ses som en förstudie inför vidare utvecklingsprojekt. Sådillvida är syftet att verka för att krymptätade skarvförband blir säkrare och på längre sikt kan följande målsättningar formuleras:

1. Utveckla provningsmetoder för validering av långtidsbeständigheten hos krymp- och tätningsmaterial och sammansatta skarvförband och verka för att dessa införs i den europeiska skarvstandarden SS-EN 489.
2. Ta fram konstruktionslösningar som fungerar säkert under lång tid vid fuktiga och svåra förhållanden och/eller ta fram gränser för användbarhet beträffande exempelvis markförhållanden, rördimension, etc.
3. Ta fram konstruktionslösningar och/eller hjälpmedel som ställer mindre krav på hantverksskickligheten vid montage av förbandet.

Enligt Svensk Fjärrvärmes skadestatistik från åren 2001 – 2003 är omkring en tredjedel av alla skador på ledningsskarvar orsakade av att krympförband släppt från ledningen. Ett uppmärksammat skadefall inträffade exempelvis för något år sedan i Lysekil, sannolikt orsakat av bristande montageförfarande (Lindh 2004).

Den konstruktiva utformningen av krympförbanden¹ är sådan att det krävs viss hantverksskicklighet för att åstadkomma ett fullgott arbete. Vidare saknas metoder för att säkerställa krympförbandens hållfasthet och tätande förmåga på lång sikt. I gällande europastandard för fjärrvärmeskarvar, EN 489, är det så kallade ”sandboxprovet” med efterföljande täthetskontroll det enda funktionstestet som föreskrivs. Provet är ett försök att efterlikna de belastningar som en skarv utsätts för under verkliga förhållanden, men relevansen hos provet, vad gäller exempelvis kringfyllningsmaterial, cykelantal, etc, kan diskuteras. Det finns en uppfattning bland användare i branschen att tillverkarna gör mastixen onödigt hård för att den ska klara det så kallade ”sandboxprovet” i EN 489 och att detta ställer till problem i och med att hård mastix normalt är svårare att montera. Det har till och med förekommit en mastix på marknaden som visat sig vara vattenlöslig (Johansson 2005) – och således direkt olämplig att använda för vattentätande ändamål. Sammantaget tycks det som om det råder en viss osäkerhet om kvaliteten hos de tätande element som används i fjärrvärmeskarvar.

Utvecklandet av provningsmetoder för att säkerställa funktionaliteten på lång sikt hos krymp- och tätningsmaterial har stått på agendan i många år hos den arbetsgrupp som ansvarar för standarden EN 489 inom det europeiska CEN-samarbetet – där bland

¹ Med *krympförband* menas i det följande hela fjärrvärmerörsskarven bestående av en eller flera komponenter såsom helt eller delvis krympbar skarvhylsa med eller utan utvändiga krympband eller krympslangar samt tätningar av till exempel mastix, hot-melt eller kombinationer av dessa.

andra de större tillverkarna av krympförband är representerade. Inga framsteg har dock gjorts ännu. De standardmetoder för provning av den här typen av material som finns att tillgå utanför fjärrvärmevärlden fokuserar normalt på olika hållfasthetsaspekter. En god vidhäftningshållfasthet garanterar dock inte med automatik ett vattentätt förband. Det finns olika typer av så kallade mastixmaterial med olika egenskaper vad gäller hårdhet, mjukningstemperatur, mm. Och det tycks råda viss osäkerhet i branschen om vilka egenskaper man bör eftersträva beroende på rådande förutsättningar vid montage, etc. Det finns också olika varianter på krympband och krympslangar som sannolikt lämpar sig mer eller mindre bra beroende på ledningsdimension och andra faktorer. Framtagandet av tillförlitliga och relevanta metoder har blivit än mer aktuellt sedan man i Sverige har påbörjat certifiering² av skarvsystem och härvid kan det också framöver vara av intresse att utvärdera ”montagebarheten” för hela skarvsystemet.

Projektet har genomförts i samråd med en referensgrupp med mycket stor samlad erfarenhet från skarvning av fjärrvärmerör. Representanter från såväl energibolag, tillverkare och skarventreprenörer har deltagit. Referensgruppen har bestått av:

- Janne Arvidsson, Västsvenska Kulvertmontage
- Bengt Bohwalli, Permatek (representerar Covalence/Raychem)
- Peter Elf, Göteborg Energi
- Jan Eriksson, Logstor
- Göran Johansson, Powerpipe Systems
- Jan Lindeberg, Öresundskraft
- Bengt Olsson, Öresundskraft
- Hans Persson, Hantech Systems (representerar Canusa)
- Ulf Rutqvist, Nitto Scandinavia
- Lasse Wallner, Stockholms Byggnadsmaterial

² Så kallad P-märkning.

1. KRYMPFÖRBAND

Ett krympförband i fjärrvärmesammanhang utgörs av ett skarvförband där ett värmekrympande material värms ned och ”kramar” åt om röret. Förbandet tätas med en viskös substans som mjuknar av krympvärmens och flyter ut och fyller utrymmet mellan röret och krympmaterialet. Tätningsmaterialet kan även ha en limmande och fasthållande funktion, och utgörs normalt av *mastix* eller *hotmelt*.

Förbandet kan utgöras av en helt eller delvis krympbar skarvhylsa³ eller av krympband eller -slang som sveps runt skarvhylsans ändar, Bild 1. Förbandet kan också vara så kallat *dubbeltätande*, och har då båda typerna av krympförband⁴.

De krympande materialen utgörs av polyeten med så kallat *termiskt minne*, vilket innebär att de kan expanderas i kallt tillstånd för att sedan återgå till sin ursprungliga form när de utsätts för värme. Krymphylsor kan tillverkas av antingen ”vanlig” HDPE eller tvärbunden PEX. Lösa krympband eller -slangar görs av PEX, som kan expanderas betydligt mer än HDPE.

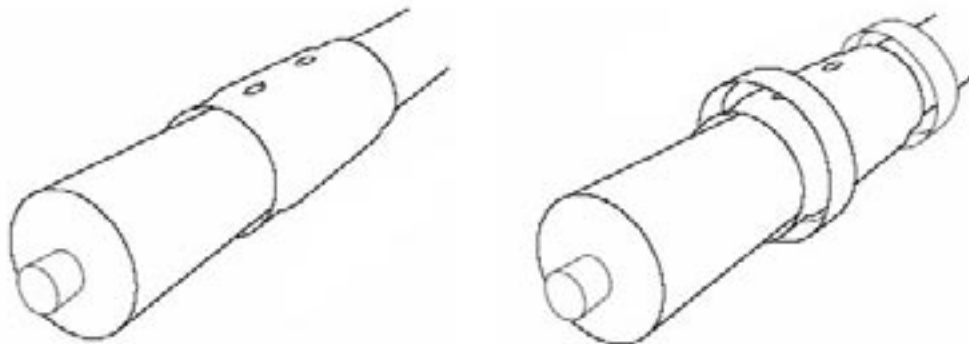


Bild 1. Exempel på krympförbandsskarvar

(a) Krymphylsa nedkrympt i ändarna. (b) Krymphylsa utvändigt tätad med ytterligare krympband (så kallad dubbeltätande skarv). Bilder från Powerpipe Systems.

(a) *Shrink sleeve with shrunken ends. (b) Shrink sleeve sealed with additional external shrink wraps (a so called double sealed joint). Pictures from Powerpipe Systems.*

Med *mastix* avses i de här sammanhangen normalt bitumenpreparatet *asfaltmastix*. Den ursprungliga betydelsen är naturharts från trädet *Mastix (Pistacia lentiscus)*, Bild 2, som växer i Medelhavsområdet. Ämnet har bland annat använts för tillverkning av spritlack och tavellack. Under antiken användes det också som tuggummi (NE, 1994). Asfaltmastix är en typ av *asfalt*, som definitionsmässigt är en blandning av mineraläm-

³ Så kallade *skjuthylsor*, det vill säga icke krympbara hylsor, säljs i princip inte längre. Används numera nästan enbart till vägghängda ledningar i tunnlar.

⁴ Definitionen *dubbeltätande* har tidigare funnits i skarvstandarden SS-EN 489, och har då inneburit att de båda tätningarna måste provas och godkännas var för sig. I den senaste revisionen av standarden är dock begreppet inte längre med.

nen och *bitumen*. Bitumen, i sin tur, är en benämning på högmolekylära halvfasta till fasta smältbara bearbetningsprodukter från petroleum (Ullmanns, 1976). I tätningssammanhang har även vissa typer av polymera material kommit att benämnas mastix. Vissa tillverkare använder exempelvis butylgummibaserade elastomerer⁵ som tätning.

Hotmelt, eller smältlim, är en benämning på lösningsmedelsfritt lim. Den enklaste varianten utgörs av en blandning av kolofoniumharts och vax. Smältlim kan också tillverkas av syntetiska beståndsdelar, till exempel etylen-vinylacetat-copolymer (Ullmanns, 1976).

Många hotmelt går inte att smälta igen, har det blivit hårt så förblir det hårt. Mastix däremot är ett mjukt förband och kan värmas upp igen.



Bild 2. Mastixträd
Pistacia lentiscus (Mastix).

⁵ Syntetiska gummiliknande material.

1.1. Produkter på marknaden

Det finns tre stora tillverkare av krymp- och tätningmaterial på den internationella marknaden: Shaw Industries (med varumärket Canusa), Covalence Specialty Materials (med varumärket Raychem) och Nitto Denko Corporation.

Tabell 1. De vanligaste skarvsystemen på den svenska marknaden

Tillverkare	Beteckning	Typ	Krympmaterial	Tätning
Canusa	SuperCase	Krymphylsa	PEX	Mastix
	SuperSeal	Krympmatta, -band, -slang	PEX	Mix av mastix/hotmelt
Raychem	RayJoint	Krymphylsa	PEX	Elastomer-mastix
	TPSM/138	Krympslang	PEX	Elastomer-mastix
	DualSeal	Krympband	PEX	Mastix och hotmelt i två olika områden
	RJS	Krympband	PEX	Hotmelt
Nitto	Neocover 1150	Krympslang	PEX	Elastomer-mastix
	Neocover RW1230L	Krympmatta	PEX	Elastomer-mastix
Logstor	SX	Krymphylsa	PEX	Mastix
	BS	Krymphylsa	HDPE	Mastix och hotmelt i två olika områden
Powerpipe	DTK	Krymphylsa	HDPE	Elastomer-mastix

Mer detaljerade uppgifter återfinns i bilaga A.

Canusa har både öppna material, slangar och hylsor. Tätningmassan är en mix av hotmelt och mastix, en halvkristallin produkt där innehållet inte redovisas i detalj. Canusa har även gul mastix som kräver lägre förvärmningstemperaturer, omkring 30 °C. Det gula materialet har sämre UV-beständighet än svart material och används främst på stålrör som ligger skyddade i mark.

Nitto jobbar bara med tvärbundna material som är multilageruppbyggda utan att vara extruderade. Inom fjärrvärmeområdet använder Nitto som tätningemedel enbart mastix med hög mjukningstemperatur (114 °C) som därefter skall tåla en hög drifttemperatur utan att börja rinna. När det gäller gasledning används även hotmelt (Rutqvist 2006).

1.2. Andra skarvtyper

Det finns även andra lösningar för skarvning av fjärrvärmeledningar. Exempel är svets-hylsor och olika typer av metallhylselösningar. Dessa behandlas inte vidare i föreliggande rapport.

2. KUNSKAPSLÄGE

2.1. Tidigare forskning

Det finns inte mycket vetenskaplig litteratur om den här typen av skarvförband och ingenting har hittats med direkt bäring mot fjärrvärmeställningar. Det finns en del allmänt om limfogar. Till exempel så teoretiserar Kalnins m.fl. (1997) kring styrkan hos ett generellt limförband och föreslår uttrycket i Bild 3 för att beskriva densamma. Man visade också experimentellt att ytråheten hos substratet – och därmed den specifika kontaktarean mellan substrat och limfog – är av avgörande betydelse för såväl limfogens styrka (flåkhållfasthet) och beständighet mot vattenlagring.

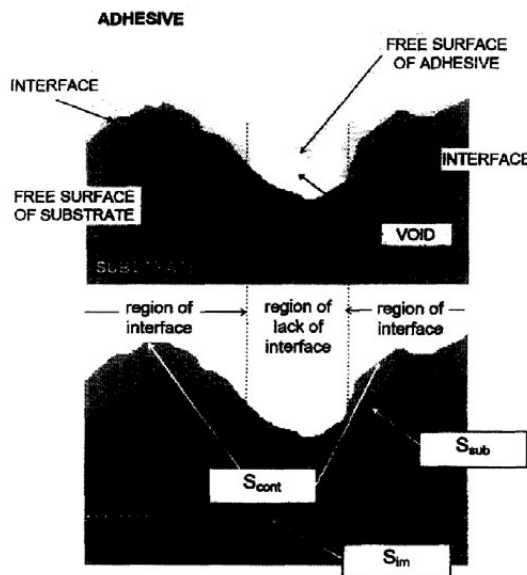


Bild 3. Styrkan hos en limfog

Styrkan σ hos lim fogen kan uttryckas:

$$\sigma = \frac{S_{cont}}{S_{im}} \sum_{i=1}^{i=j} F_i n_i$$

Där S_{cont} är kontaktarean mellan substratet och limmet, S_{im} är den plana projicerade arean, n_i är antalet bindningar av typ i per ytenhet och F_i är styrkan hos en sådan bindning.

Teoretisk betraktelse över styrkan hos en limfog (Kalnins m.fl., 1997).

Theoretical consideration of the strength of an adhesive bond (Kalnins et al, 1997).

Small & Courtney (2005) har gjort en screening av limtyper i allmänhet och listat fördelar och nackdelar med de olika huvudvarianterna anaeroblim, cyanoakrylat, epoxy, smältlim (som bland annat används i fjärrvärmeskarvar), ljushärdande akryllim, silikon, uretan och tvåkomponents akryllim. Deras sammanställning återfinns i bilaga B.

Norsworthy (1999) utarbetade ett rankingsystem för tejp- och krympmaterial som coatings på markförlagda rörledningar. Härvid undersöktes en mängd egenskaper av mer eller mindre intresse för fjärrvärmeställningar. Det kan dock vara värt att notera att så kallade WGF⁶-material får högst ranking, och anges bland annat ha en bättre mekanisk styrka gentemot belastningar från fyllningsmaterialet jämfört med solida polymermaterial.

Det finns inte särskilt mycket skrivet om egenskaper hos mastixmaterial. En del utredningar går emellertid att hitta avseende reologiska egenskaper hos mastix och andra bitumenmaterial. Exempelvis har linjära viskoelastiska egenskaper studerats av Kim & Little (2004) och Airey m.fl. (2004).

⁶ WGF utläses Woven polyolefin Geotextile Fibre och är således en vävd geotextil av polyolefinfibrer.

Det finns något mer att hämta om hotmelts. Exempelvis har Bentley (2005) gjort en mycket kortfattad introduktion till hotmelts och applicering av desamma. Speciellt välutforskade tycks hotmelts baserade på etylenvinylacetat (EVA) vara. Ett stort problemområde är blandningsförhållandet mellan polymer, vax och vidhäftningsmedel. Det gäller härvid att optimera såväl bland annat smältviskositet, elasticitet och styrka (Tse 1998, Shih & Hamed 1997, Takemoto m.fl. 2002). Liknande studier av hotmelts

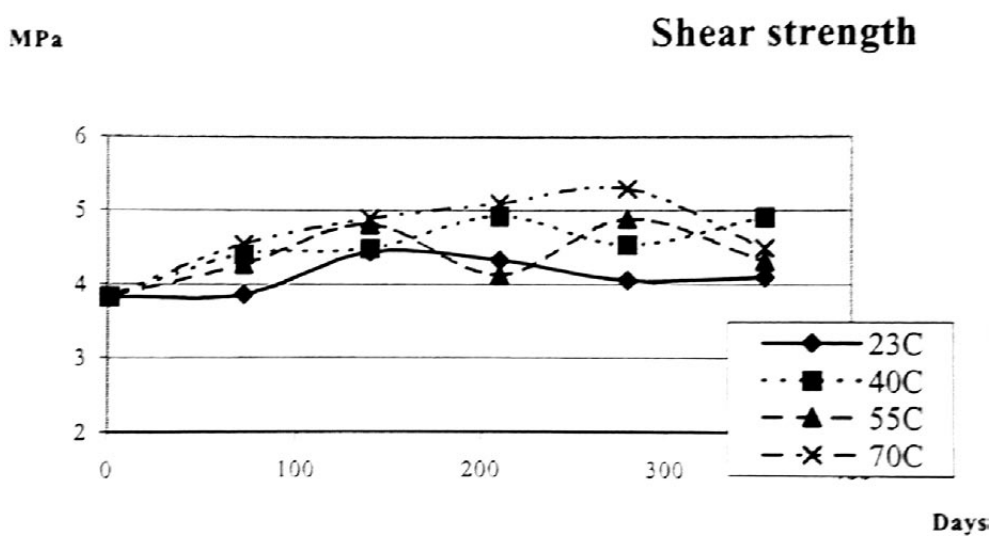
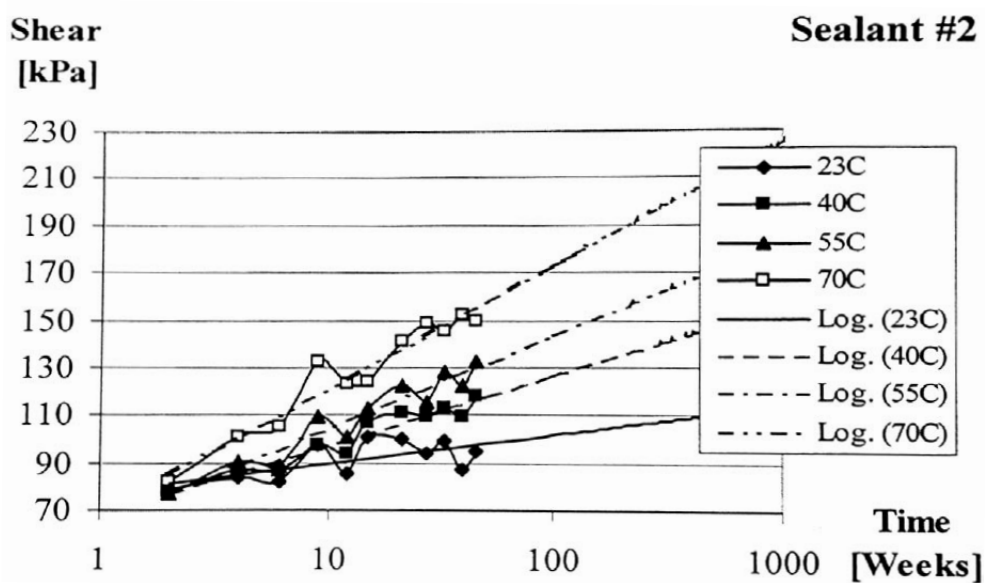


Bild 4. Åldring av mastix och hotmelt i luft vid olika temperaturer
 Exempel på skjuvhållfasthet hos mastix (a) och hotmelt under åldring i luft vid olika temperaturer. Från Smidt (2000).
 Example of shear strength of mastic (a) and hotmelt during ageing in air at different temperatures. From Smidt (2000).

baserade på styren-isopren-styren (SIS) har gjorts av Kim m.fl. (2006). Beständigheten hos EVA/stål-kompositter har undersökts av Bistac m.fl. (1998).

I det så kallade KAPSAM-projektet (Smidt 2000) undersöktes bland annat beständigheten hos krympförbandsskarvar. Exempelvis genomfördes skjuvprov under åldring i luft vid olika temperaturer på såväl mastix (sealant) och hotmelt (adhesive). Ett exempel visas i Bild 4. Här ser man, för mastixmaterialet, en tydlig korrelation mellan såväl temperaturnivå som åldringstid och förändring i skjuvhållfasthet. I andra fall var korrelationen mindre tydlig eller obefintlig. Liknande studier har redovisats av de stora materialtillverkarna inom ramen för arbetet med revision av skarvstandarden SS-EN489. Mätningar utförda av Covalence (tillverkar Raychem) och Shaw (tillverkar Canusa) redovisas i Bild 5 och Bild 6. Som synes är korrelationen dålig mellan egen-skapsförändring och åldringstid och det förefaller som om osäkerheter i provningsmetodiken överskuggar materialens känslighet mot åldring.

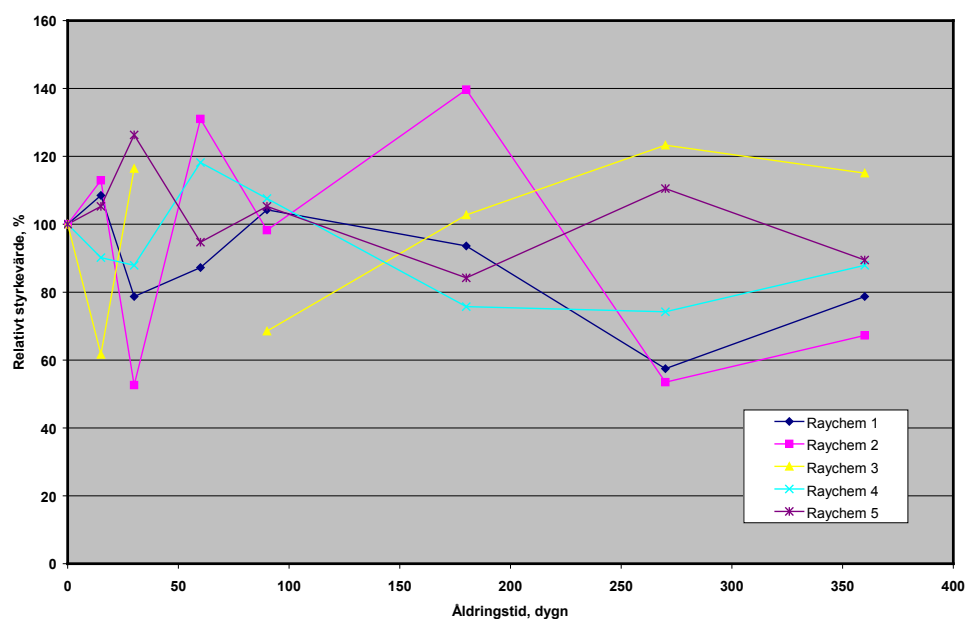


Bild 5. Åldring av mastix och hotmelt i vatten⁷

Fläkhållfasthet hos några olika typer av Raychem-krympband under åldring i vatten vid +50 °C. "Raychem 4" är ett hotmelt, övriga är mastix. Från Peigneur (2006).

Peel strength of some different Raychem shrinkable materials during ageing in water at +50 °C. "Raychem 4" is a hotmelt. The others are mastics. From Peigneur (2006).

⁷ Publicerat med medgivande från Covalence Specialty Materials, Belgien.

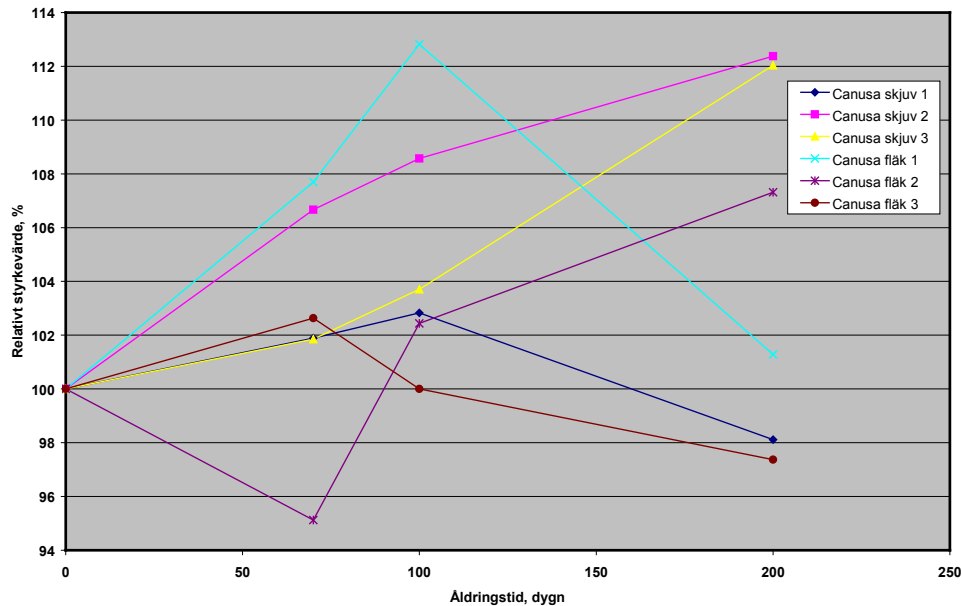


Bild 6. Åldring av mastix i luft⁸

Fläk- och skjuvhållfasthet hos Canusa SuperCase under åldring i luft vid +70 °C. Från Andrenacci m.fl. (2005).

Peel and shear strength of Canusa SuperCase during ageing in air at +70 °C. From Andrenacci et al (2005).

I KAPSAM-projektet studerades också relaxationen hos krympkraften i hylsor av PEX respektive HDPE, Bild 7. Bestämningen av ringdragspänningen gjordes genom att skära upp den åldrade polyetenringen och mäta diameterförminskning då ringen drar ihop. Detta används som ett mått på spänningsnivån i materialet. Av figuren att döma sker en viss spänningsrelaxation. De större spänningarna i 250 mm-fallet för HDPE-hylsan förklaras med att denna krympts mot ett stålrör som varit väsentligt större än det mantelrör hylsan varit avsedd för.

⁸ Publicerat med medgivande från Shaw Industries Ltd., Kanada

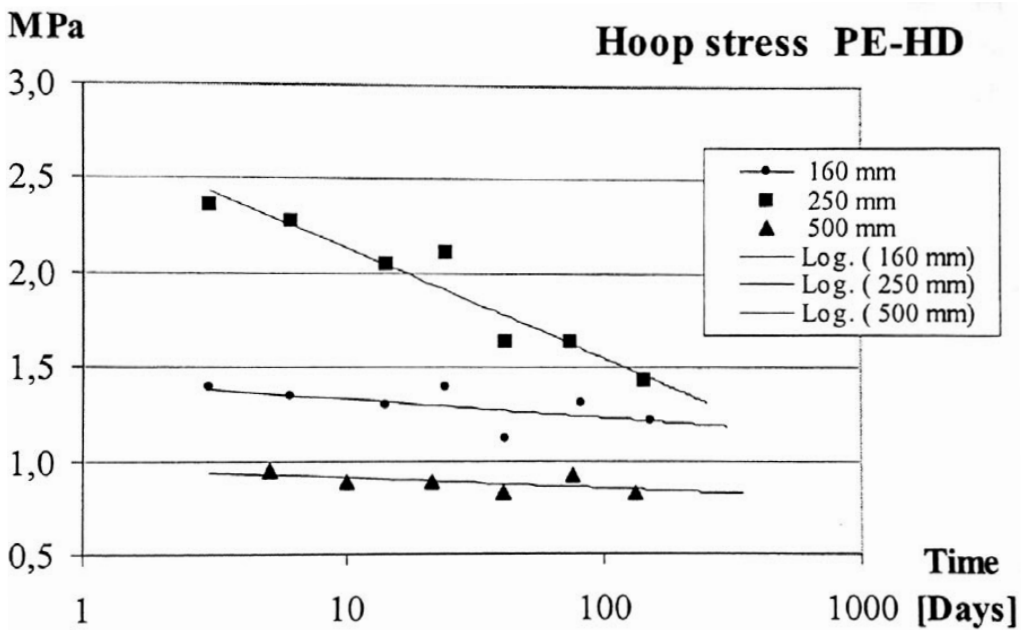
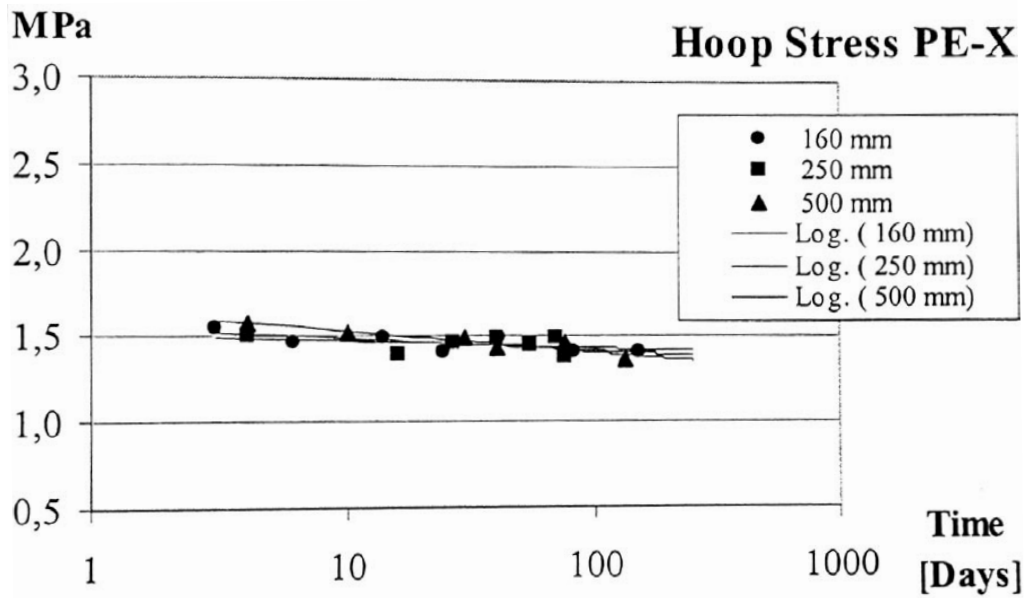


Bild 7. Relaxation hos krympfyllsör

Ringdragspänning i krympfyllsör av PEX (a) och HDPE nedkrympta mot stålrör och åldrade i luft vid +70 °C. Från Smidt (2000).

Tensile hoop stress in casings of PEX (a) and HDPE shrunk onto steel pipes and aged in air at +70 °C. From Smidt (2000).

En del data om beständighet mot kemikalier har erhållits från Nitto Denko, som tillverkar Nitto-material, Bild 8. Det specifika krympbandet, Neo Cover 1150, visar sig vara praktiskt taget okänsligt mot oorganiska lösningsmedel. Den försämrade hållfastheten efter exponering mot bensin och trikloretylen förklaras med att dessa organiska ämnen löses i material som därför sväller.

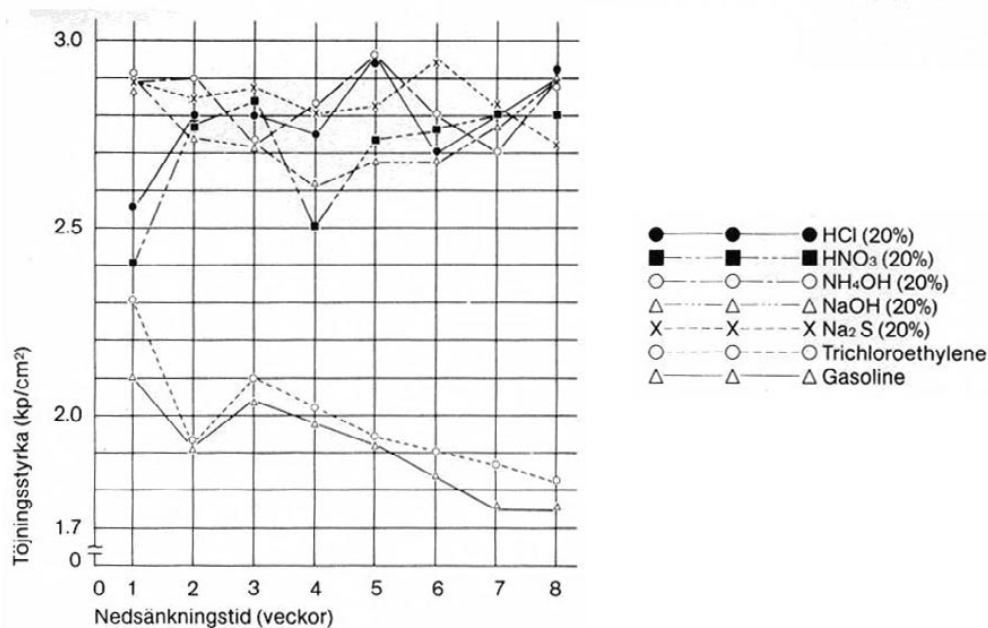


Bild 8. Kemisk beständighet⁹

Draghållfasthet hos Nitto Neo Cover 1150 nedsänkt i lösningar med saltsyra, salpetersyra, ammoniak, natriumhydroxid, natriumsulfid, bensin och trikloretylen. Från Nitto (19xx).

Tensile strength of Nitto Neo Cover 1150 immersed in various chemical solutions. From Nitto (19xx).

SP har under åren genomfört ett antal projekt med bäring mot beständighet och fuktsäkerhet hos ledningsskarvar i ett mer generellt perspektiv, till exempel med avseende på krympförbandens hållfasthet mot yttre laster och fukttransport i skarvkonstruktionen (Bergström m.fl. 2001a, 2001b, 2002a, 2002b; Nilsson m.fl. 2003, 2005; Sällberg & Nilsson 2005).

2.2. Erfarenheter från branschen

Följande redovisning sammanfattar svar på frågeställningar som ställts till forskningsprojektets referensgrupp¹⁰ bestående av representanter från krympförbands- och mas-tixtillverkare, fjärrvärmerörstillverkare, skarventreprenörer och fjärrvärmebolag.

⁹ Publicerat med medgivande från Nitto Denko Corporation, Japan.

¹⁰ Se sidan 11.

2.2.1. Produkter

Normalt levereras en paketslösning med krymp- och tätningsmaterial som måste användas i sin helhet för att garantin skall gälla. Kombinationer av olika fabrikat förekommer dock i fält, till exempel som en följd av leveransproblem etc.

Idag monteras sällan några skjuthylsor tätade med krympslang eller öppna krympband. Öppna material, krympband, är generellt sämre ur funktionssynpunkt än krympslangar.

Det krävs normalt minst 50 mm material på mantelröret respektive 50 mm på skarvhylsan efter montage, det vill säga i krympt tillstånd, för att vidhäftningen skall bli tillräcklig. Canusa rekommenderar dock 75 mm vid dubbeltätning och 100 mm vid enkeltätning.

2.2.2. Upphandling, beställning och entreprenad

Oftast bestämmer beställaren vad som skall användas. Det finns dock ett visst gehör för vad skarventreprenören rekommenderar. Stora byggare pressar ofta sina underentreprenörer hårt, men skarventreprenörerna är normalt inte villiga att lämna garanti på montaget om de inte tycker att materialen uppfyller kraven.

Det vanligaste är att priset bestämmer vilken skarvlösning som väljs. Det här beror dock lite på beställarens organisation. I de fall beställaren har egen kompetens har man också ofta egna uppfattningar om vilka skarvtyper och -fabrikat som är bäst och man väljer också ibland utifrån erfarenhet och vana hos de skarvmontörer som man arbetar med. I takt med att totalentreprenader blir vanligare och vanligare minskar dock engagemanget från beställarens sida och mer fokus hamnar på att minimera investeringskostnaden och se till att systemet håller garantitiden¹¹ ut.

Generellt är man mer angelägen om hög kvalitet i ledningar av stora dimensioner. Här används vanligen svetsade skarvar – till mindre dimensioner oftast krympta. En orsak till att det ser ut på det här viset är att prisskillnaden mellan svets- och krympskarvar blir väldigt stor, relativt sett, för små dimensioner. Ibland väljer man även bort svetskarven på grund av att den kräver mycket utrustning och är besvärlig att montera.

2.2.3. Montage

Dimensionen har en avgörande betydelse för montagekvaliteten. Mindre dimensioner är lättare att montera. På krymphylsor med dimensioner större än 450 mm bör man egentligen vara två montörer som värmer för att få en jämn temperatur runt om röret. Det är dessutom betydligt svårare att centrera krympslangar på stora rördimensioner. För att underlätta centreringen är därför slangarna till stora dimensioner bredare än de som är till mindre dimensioner.

Hylsor utan inbyggd mastix, det vill säga där montören själv används där montören själv får applicera mastixen, är lättare att hålla rena. När det gäller mastix så är fiberarmerat mastix lättare att arbeta med. Alltför kladdig mastix kan vara svårarbetad, då den fastnar alltför lätt under montaget. De gamla tätningsmaterialen med mjukare karaktär som numera bara finns i Nittos utbud är lättare att montera genom att de är

¹¹ Vanligen fem år.

mer förlåtande. Om man till exempel sommartid får gasbildning i skarven så självläker förbanden i princip efter att överskottsgasen pyst ut. Gasbildningen är för övrigt idag ett något mindre problem, då skummängden som sprutas in i skarven numera är mer exakt. Vissa rörtyper är dock mer benägna att avge gas när man värmer på dem. Har man svårt att få bort all fukt i skarven så skapar även denna gasbildning.

Att krympa en icke-tvärbunden hylsa kan ta väldigt lång tid. En PEX-hylsa går fortare. Icke-tvärbundna hylsor självkrymper ofta om de förvaras i starkt solsken. Detta kan inträffa även om de är försedda med vit skyddsfolie. Vädret kan ha inverkan även på andra sätt: Under den kalla perioden kan det vara svårt att åstadkomma en jämn temperatur runt om skarvförbandet. Det saknas uppgifter om hur kallt det får vara i luften när man utför montage.

Arbetsmiljön har stor betydelse för montereresultatet. Speciellt odränerade vattenfyllda schakter kan ställa till problem. Hur ofta sådant förekommer beror till stor del på vilka entreprenadfirmor som är inblandade i arbetet.

Utbildning av montörerna är mycket viktig. Idag förekommer snabbutbildningar av montörer som inte alltid är tillfredsställande. Rutinerna för utfärdande av skarvpass bör ses över.

2.2.4. Drifterfarenheter

Skador uppstår ofta i lyror och expansionsfält, framför allt vid stora dimensioner. I områden där rören ligger torrt kan det finnas skador som man inte känner till. Det finns exempel på ledningssträckor där delar av den ligger i våt mark och skador uppstår. I andra delar av samma ledning där denna ligger högre ger sig inga skador till känna. Gamla krympförband har ofta relaxerat det vill säga de har med åldern tappat sin spänst. Äldre mastix blir ofta hård och tappar sin vidhäftning. Gamla skjuthylsor är också ofta utsatta för skador, delvis beroende på att man förr inte använde kilband vilket gav upphov till centreringsproblem. De förband som klarat sig bäst är de som innehåller en kombination av mastix och lim.

Föroreningar i marken är sannolikt inget stort problem då förorenade massor inte får återfyllas i schakt. Vissa material kan vara känsliga för olja. Områden som kan vara problematiska är hamnoråden och under broar. På broar löses många ämnen ut från bil- och lastbilstrafiken via dräneringen.

2.3. Skadestatistik

Enligt Svensk Fjärrvärmes Kulvertstatistik 2003, redovisad i PM till Klimat- och sårbarhetsutredningen, Nordenswan (2007), fanns ca 12 172 km fjärrvärmeledning i drift när statistiken sammanställdes. Av de redovisade kulverttyperna representerade fasta fjärrvärmerör en ledningssträckning av cirka 7 656 km. Antalet inrapporterade skarvskador under 2003 enligt den redovisade statistiken är 650 stycken men uppskattas till det dubbla. Stålskarvar står för 40 % av skadorna följt av krympslang, krympband och krympmattor som tillsammans står för 33 %. Därefter kommer polyetenskarvar som står för ca 12 % och slutligen svetsskarvar som står för 9 % av skadorna. De 9 % skador som redovisas gällande svetsskarvar avser skarvtypen Swedish Joint som monterades i ett litet antal och därefter har utgått ur sortimentet.

När tillgänglig skadestatistik studeras föds nya frågor:

- Hur många skarvar finns totalt på befintliga ledningar?
- Hur många skarvar från respektive leverantör finns installerade?
- Vilka dimensioner har dessa?
- Hur länge har de varit i drift?

Dessa frågor är några av dem som statistiken idag inte ger fullständiga svar på. För att ge en mer rättvisande bild av vilka skarvtyper som orsakar de största problemen och varför behöver statistiken innehålla uppgifter av den här typen. Utöver vad som redan nämnts är även spårbarheten viktig.

2.4. Standarder och provningsmetoder

2.4.1. Fjärrvärmeskarvar – SS-EN 489

De krav på skarvar som finns angivet i standard beskrivs i SS-EN 489 (2003). Vad gäller skarvförbandens hållfasthet beskrivs sandlådeprovet med efterföljande täthetstest mot utifrån inträngande vatten som de test en skarv skall klara för att vara godkänd och därefter ha en livslängd på minst 30 år.

Kortfattat genomförs sandlådeprovet i en sandlåda där skarven begravs i ett kringfyllningsmaterial bestående av lufttorkad natursand med kornstorlek 0-4 mm. Genom att cirkulera hett vatten genom medieröret hålls temperaturen i detta på +120 °C under minst 24 timmar före samt under hela provet. Under provet belastas skarven vertikalt med 18 kN/m², motsvarande 1 m överfyllnad. Provet genomförs sedan genom att skarven förskjuts 75 mm framåt med en hastighet av 10 mm/min och därefter direkt återförs till ursprungsläget med en hastighet av 50 mm/min. Förskjutningsrörelsen fram och åter upprepas 100 gånger.

Sandlådeprovet följs av ett täthetsprov mot utifrån inträngande vatten. Skarven utsätts för ett yttre vattentryck på 30 kPa (motsvarar trycket från 3 m vatten) under en period av 24 timmar där vattnet under samma period hålls vid en temperatur av 30 °C. Efteråt bryts skarven upp och kontrolleras med avseende på om vatten har trängt in.

I den senaste versionen av SS-EN489 specificeras att kringfyllningsmaterialet vid sandlådeprovning skall bestå av lufttorkad rumstempererad natursand med kornstorlek 0 – 4 mm med maximalt fukttinnehåll av 0,5 vikt-%. I tidigare versioner av standarden var inte fukttinnehållet i provsanden reglerat vilket innebär att sand med olika fukttinnehåll använts beroende på vem som utfört provningen. Detta har lett till att provningar vid olika institut inte varit fullt jämförbara. Dessutom påverkades tidigare repeterbarheten av att fukttinnehållet inte kontrollerades i provsanden.

Många hävdar att det idag är svårare att få en skarv godkänd i den torra provsanden och att det därför krävs hårdare mastix för att en skarv skall klara sandlådeprovet. Hårdare mastix är framför allt svårare att montera vilket leder till att risken att skarven inte blir tät ökar.

2.4.2. Krymp- och tätningsmaterial – EN 12068

Den Europeiska standarden EN 12068 (1998)¹² beskriver krav som ställs på organiska beläggningar såsom tejper eller krympbara material för korrosionsskydd av nedgrävda eller nedsänkta rörledningar. Standarden beskriver huvudsakligen de krav som ställs för att säkerställa funktionen hos beläggningssmaterialen. Dessa klassificeras utifrån förmåga att motstå mekaniska skador, drifttemperatur och speciella installationsbetingelser.

Den mekaniska motståndskraften klassificeras utifrån provningar av bland annat slagåtlighet, hårdhet, elektrisk isolationsförmåga, fläkhållfasthet mellan lager till lager samt mot röryta. Klassificeringen delas in i tre klasser A, B och C, för material med låg, medelhög respektive hög mekanisk hållfasthet.

Tabell 2. Utdrag ur tabell 1 i EN 12068

Egenskap	Maximal drifttemperatur	Drifttemperaturklass	Mekaniska hållfasthetsklasser			Test-metod
			A	B	C	
Fläkhållfasthet mot röryta (N/cm)	23°C T_{max}	30/50/HT --/50/HT	≥ 4 $\geq 0,4$	≥ 4 $\geq 0,4$	≥ 10 ≥ 15 $\geq 0,5$ ≥ 1	Annex C
Skjuvhållfasthet (MPa)	23°C T_{max}	30/--/-- --/50/HT	$\geq 0,05$ $\geq 0,05$	$\geq 0,05$ $\geq 0,05$	$\geq 0,05$ $\geq 0,05$	Annex D

Krav på fläkhållfasthet och skjuvhållfasthet för tätningsmaterial enligt tabell 1 i EN 12068.

Requirements concerning peel strength and shear strength for coatings according to table 1 in EN 12068.

Beläggningssmaterialen delas även in i klasser som beskriver i vilken omfattning maximal kontinuerlig drifttemperatur får påverka materialegenskaper som hårdhet, fläkhållfasthet, skjuvhållfasthet och motstånd mot termisk åldring. Exempel på klassificeringar är klass 30 som står för att materialet skall betraktas som lämpligt att användas vid en kontinuerlig drifttemperatur på maximalt 30 °C, klass 50 maximalt 50 °C och klass HT vid drifttemperaturer över 50 °C i steg om 10 °C. Vid drifttemperaturer under -5 °C betecknas klasserna L och LV där L gäller mellan -5 °C och -20 °C och LV under -20°C.

I Tabell 2 redovisas ett utdrag på svenska ur tabell 1 i EN 12068 som redovisar fläkhållfasthetskrav och skjuvhållfasthetskrav för de tre mekaniska hållfasthetsklasserna vid olika drifttemperaturer. Skjuvhållfasthetskraven på 0,05 MPa stämmer väl överens med de teoretiskt maximala skjuvbelastningarna som uppträder på ett krympförband på en fjärrvärmeledning, se bilaga C. För fläkhållfasthet hos material i klass C gäller dessutom att hållfastheten inte får avta mer än 25 % under åldring i 100 dygn vid +50 °C¹³.

¹² En liknande tysk standard finns utgiven som DIN 30672 (2000).

¹³ Ett tilläggskrav är att hållfastheten inte får avta mer än 20 % under åldringen mellan dygn 70 och dygn 100.

2.4.3. Övriga standarder

De ovan nämnda SS-EN 489 och EN 12068 är de standarder med tydligast bäring direkt mot fjärrvärmeskarvar. Utöver dessa finns en uppsjö metoder som ofta åberopas av materialtillverkarna för bestämning av materialegenskaper såsom till exempel densitet, hållfasthetsgenskaper, mjukningstemperatur, etc.

3. PROVNINGAR

3.1. Tillverkning av provobjekt

På 1,5 m långa fjärrvärmerör med mantelrörsdiameter 160 mm och 450 mm monterades fem skarvar av respektive dimension. Då stålörskonfigurationen och typ av skarvskum inte påverkar de egenskaper som testades monterades skarvarna på enkelrör där enbart manteln skalades bort på motsvarande sträcka som normalt skulle ha fyllts med ny skarvisolering. Valet av enkelrör underlättade främst vid fläkhållfasthetsproven och att behålla originalsikummet förenklade kontrollen av skarvförbandens täthet. Följande fem värmekrympbara skarvtyper monterades:

- **Logstor SX** – krymphylsa tillverkad av tvärbunden polyeten (PEX) med tätningsmaterial av mastix typ Hi-fix inlagt i hylsans ändrar. Den här hylsan är enbart krympbar i ändarna.
- **Canusa SuperCase** – krymphylsa tillverkad av tvärbunden polyeten (PEX) med separat tätningsmaterial med högt skjuv- och dragspänningsmotstånd.
- **Raychem RayJoint** – krymphylsa tillverkad av tvärbunden polyeten (PEX) med separat tätningsmaterial typ mastix (fiberarmerad töjbar mastix)
- **Powerpipe DTK** med en yttre tätning av typ Nitto Neo Cover NO 1150 i ena skarvänden och en yttre tätning av typ Raychem TPSM i andra skarvänden – Powerpipe Dubbelkrymp (DTK) är en krymphylsa tillverkad av uppornat mantelrör av HDPE som i Sverige levereras med separat tätningsmaterial av typ mastix – Den yttre tätningen (a) Nitto Neo Cover är en krympslang uppbyggd av två lager där det yttre består av tvärbunden polyeten och det inre av butylgummibaserad blandning som aktiveras av värme – Den andra yttre tätningen (b) Raychem TPSM är en krympslang tillverkad av genom bestrålning tvärbunden polyeten med PCI (Permanent Change Indicator) invändigt belagd med temperaturstabiliserat höghållfast viskoelastiskt tätningsmedel.
- **Logstor B2S** med en yttre tätning av typ Canusa KLD i ena skarvänden och yttre tätning av typ Raychem TPSM i andra skarvänden – Logstor B2S-hylsan är tillverkad av uppornat mantelrör av HDPE vilket gör den krympbar, den tätas i ändarna med hotmelt och mastix av typ Dafa – Den yttre tätningen (a) Canusa KLD är ett krympband med låslapp tillverkat av högpresterande tvärbunden polyolefin belagt med tätningsmedel med högt skjuvspänningsmotstånd – Den andra yttre tätningen (b) Raychem TPSM är samma typ som används som yttre tätning (b) på Powerpipe DTK-hylsan.

För att skapa besvärliga montageförhållanden placerades rören i en kylcontainer varefter de vid flera tillfällen besprutades med smutsigt vatten när temperaturen var någon plusgrad. Smutsvattnet var framställt genom att stensmjöl med kornstorlek $<0,125$ mm $>0,074$ mm utblandats i vatten. Mellan besprutningarna roterades rören så att de blev smutsade runt om. Därefter, cirka 24 timmar före montaget sänktes temperaturen till -5 °C. Samtidigt som temperaturen sänktes placerades även krymphylsor och krympslangar i containern. Rören och skarvmaterialet fick sedan ligga i kyla fram till montaget. Under lagringstiden besprutades och roterades rören vid ytterligare två tillfällen. Bild 9 beskriver utrymmet i kylcontainern.



Bild 9. Provobjekt
Rör och krymphylsor i kylcontainer före montage.
Pipes and shrink casings in the climate chamber before installation.

Skarvmontaget utfördes vid -5 °C dock med skiftningar i temperaturen till följd av uppvärmning från gasollågan som användes till att montera krympmaterialen. Diagrammet i Bild 10 redovisar omgivningstemperaturen samt i vilken ordning skarvarna monterades.

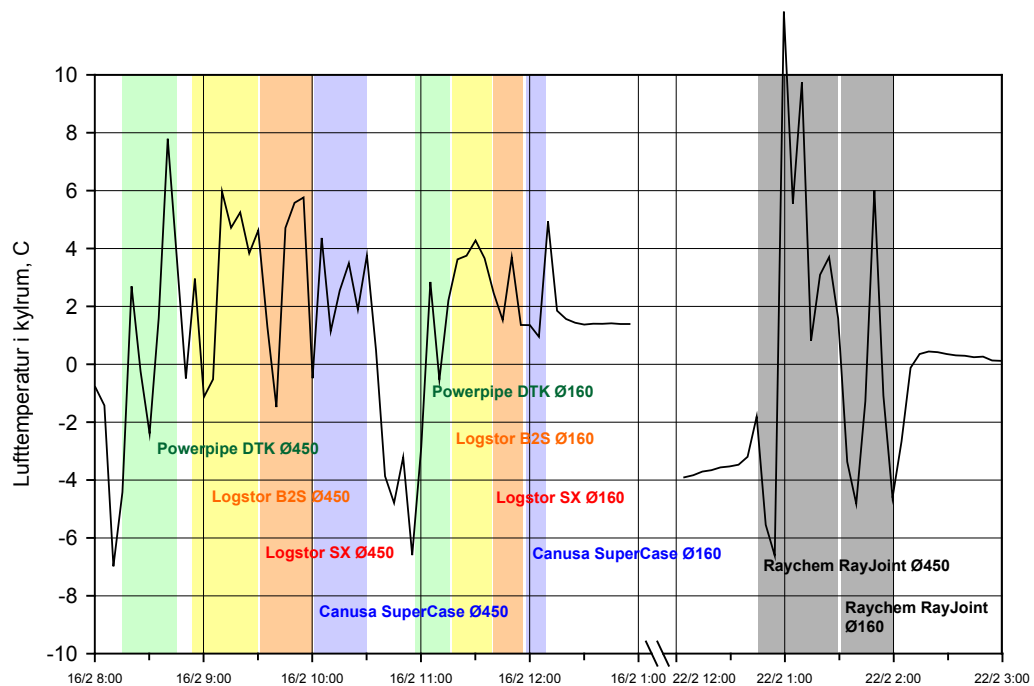


Bild 10. Omgivningstemperatur vid skarvmontage
Lufttemperatur i kylcontainer under skarvmontage.
Air temperature in climate chamber during joint installation.

3.1.1. Täthetsprovning

Täthetsprovning av skarvförbanden efter montaget utfördes genom att en liten mängd spårgas (HFC-134a) trycktes in i skarvutrymmet mellan hylsa och PUR-skum genom ett hål uppborrat mitt på skarvhylsan. Spårgasen tillfördes med ett övertryck på 0,2 bar. Därefter avsöktes skarvtätningarnas kanter med en elektronisk sniffer (Leybold Inficon D-TEK Refrigerant leak detector), se Bild 11. I de fall inga läckor konstaterades kontrollerades spårgasens utbredning i skarvutrymmet genom sniffning i ytterligare kontrollhål i anslutning till skarvtätningarna.

Täthetskontroller utfördes även med såpvatten då skarvarna var trycksatta med luft med maximalt övertryck på 0,2 bar.



Bild 11. Läckagedetektering i skarvförband
Elektronisk sniffer och hål för spårgasinjektion.
Electronic sniffer and hole for trace gas injection.

3.1.2. Relaxation i krympmaterial

Kraftrelaxationen i krympmaterial kontrollerades genom att tre olika krympmaterial utan invändigt tätningsmaterial monterades på aluminiumcylindrar. Krympkraftens utveckling med tiden registrerades därefter genom att mäta vätskestrycket i förhållande till vätskeflödet mellan krympförband och aluminiumcylinder när läckage uppstår.

I Bild 12 beskrivs schematiskt metoden för kontroll av relaxationskraften i krympmaterial som krymphylsa eller krympslang.

Krympmaterialen monterades på en massiv aluminiumcylinder, med slät yta, som försetts med en invändig kanal för vatten som mynnar ut mitt under förbandet. Till vattenkanalen kopplades via slangar en manometer¹⁴ (överst i figuren) och en flödesmätare¹⁵ (till höger i figuren). Flödesmätaren var graderad från 0 till 100 enheter där 100 enheter motsvarar ett flöde på ca 4,3 ml/min.

¹⁴ Fabrikat: Keller, typ: Leo 1 -/81000-, mätområde: 0-31 bar abs.

¹⁵ Fabrikat: Fisher & Porter, modell: 10A31137N B10.

Provningar genomfördes med en krymphylsa av PEX, en krympslang av PEX samt två krymphylsor av HDPE. Samtliga förband var avsedda för 90 mm rördiameter, varför aluminiumcylindrar med en utvändig diameter på 90 mm användes. En av HDPE-hylsorna krymptes dock mot en cylinder med 100 mm diameter, och kan därmed sägas vara dubbelexpanderad¹⁶.

Montaget genomfördes i värmeskåp. Vid montage av PEX-materialen värmdes aluminiumcylindrarna först tills de helt igenom höll 135 °C. Därefter placerades PEX-hylsan och -slangen utanpå respektive cylinder. När PEX-materialen krympt så att dess innerdiametrar blivit densamma som cylinderns ytterdiameter togs de bägge cylindrarna med de nedkrympta materialen ut ur värmeskåpet för att svalna till rumstemperatur. Samma procedur genomfördes med de bägge HDPE-hylsorna med den skillnaden att cylindrarna istället värmdes till 115 °C.

Alla fyra proverna förvarades därefter i rumstemperatur: Även relaxationsmätningarna utfördes i rumstemperatur.

Mätning utförs genom att systemet fylls med vatten varefter trycket successivt ökas. När förbandet lyfts av vattentrycket och börjar läcka i kanterna avläses ett litet flöde genom flödesmätaren. Med hjälp av det uppmätta tryck som krävs för att förbandet skall börja läcka kan sedan relaxationskraften i förbandet beräknas.

Förändring av relaxationskraften över tid kontrolleras genom att upprepade mätningar utförs vid ett antal tillfällen under en längre period.

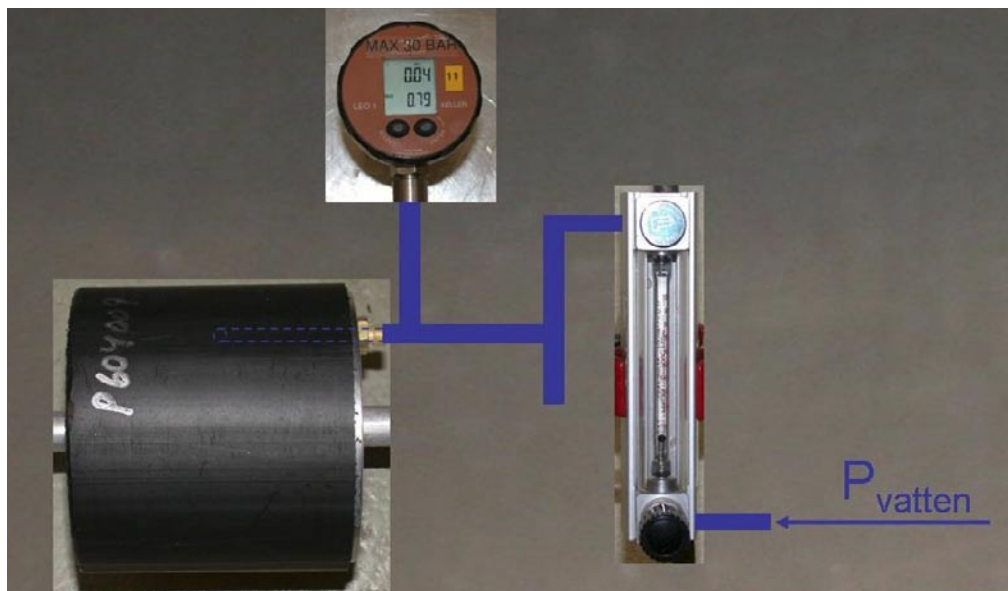


Bild 12. Mätning av relaxationskraft

Schematisk bild av utrustning för mätning av relaxationskraft i krympförband.

Schematic picture of equipment for measuring relaxation forces in shrunken sealings.

¹⁶ Med *dubbelexpanderad* avses att hylsan dornats upp två storleksklasser för att kunna krympas ned på en större diameter än dess egen ursprungsdiameter. Detta innebär i praktiken att hylsan i sitt sluttillstånd kläms hårdare mot mantelröret.

3.1.3. Fläkhållfasthet

Fläkhållfastheten mellan förband och mantelrör/skarvhylsa på fjärrvärmerör före och efter åldring utvärderades i princip i enlighet med EN 12068, Annex C.

Metoden bygger på att kraften per breddenhet mäts när förbandet fläks loss från underlaget.

Provnings utfördes, i rumstemperatur (23 ± 2) °C, i en provningsmaskin vid en konstant hastighet av 10 mm/min samtidigt som den fläkande kraften registrerades under hela provningsförloppet. En urkapad del av röret lika bred som förbandet monterades vinkelrätt mot den dragande rörelsens riktning samtidigt som detta under provförloppet kunde rotera fritt.

Remsorna som provades skars loss utmed förbandets omkrets varefter ett vinkelrätt snitt möjliggjorde att en flik av remsan kunde dras loss enligt Bild 13.



Bild 13. Fläkhållfasthetsprov

Exempel på remsa vid fläkprov.

Example of strip at peel strength test.

Fläkhållfastheten för en remsa beräknas som medelvärdet i N/mm bredd från minst 20 jämt fördelade punkter utmed fläkningssträckan med början 50 mm in på fläkningssträckan och avslut 50 mm från fläkningssträckans slutände.

3.1.4. Skjuvhållfasthet

Skjuvhållfastheten mellan mantelrör och krymphylsa före och efter åldring utvärderades i princip i enlighet med EN 12068, Annex D. Bild 14 visar ett exempel på hur en provkropp är lokaliserad i skarvförbandet.

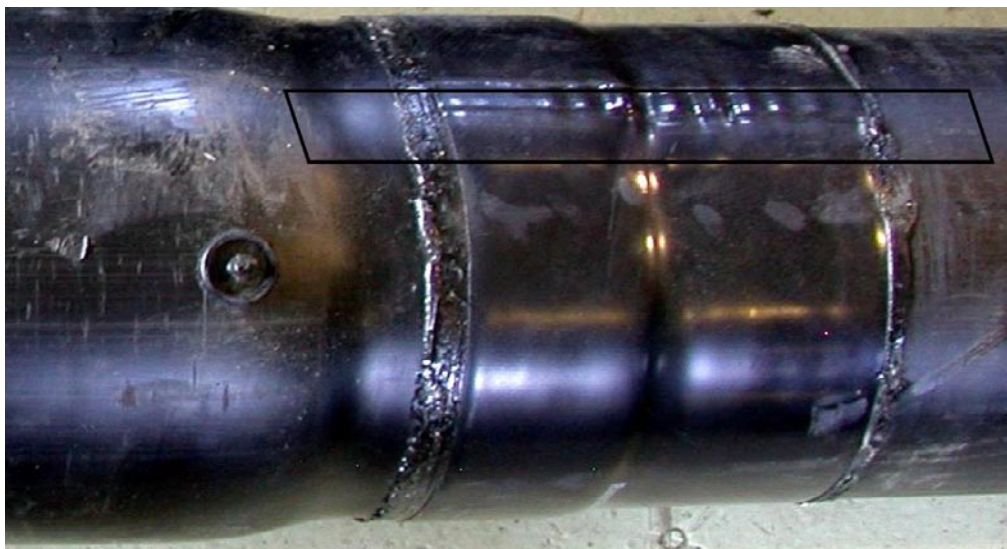


Bild 14. Skjuvhållfasthetsprov
 Provkropp till skjuvhållfasthetsprov.
Test sample for shear strength test.

Metoden för skjuvhållfasthetsprovning bygger på att den maximala kraften per areaenhet mäts i en provningsmaskin genom att provet dras isär med en konstant hastighet av 10 mm/min samtidigt som den skjuvande kraften registreras under hela provningsförloppet. Bild 15 visar exempel på inspänning av en provkropp.



Bild 15. Skjuvhållfasthetsprovning
 Pågående skjuvhållfasthetsprov.
Shear strength test.

Skjuvhållfasthetsprov utfördes, i rumstemperatur (23 ± 2) °C, på icke åldrade och åldrade prover. Skjuvhållfastheten redovisas som medelvärdet av resultaten från prov uttagna från samma förband.

3.2. Åldring

Åldring av de på provskarvar monterade skarvförbanden utfördes genom lagring i luft vid +50 °C i princip i enlighet med EN 12068 under 10 veckor. I analogi med EN-12068 utvärderades de provade egenskapernas relativa förändring till följd av åldringen.

4. PROVNINGRESULTAT

Provningsresultaten omfattar nytillverkade skarvar nedsmutsade och nedkylda till -5 °C före montaget samt samma skarvar efter att de under 10 veckor åldrats i 50 °C.

4.1. Täthetsprovning

När kontrollhål mitt på krymphylsorna Powerpipe DTK Ø450, Logstor B2S Ø450, Logstor B2S Ø160 och Canusa SuperCase Ø160 borrades upp konstaterades att det fanns ett inbyggt övertryck i dessa skarvar. Mest markant var övertrycket i Logstor B2S Ø160 och Canusa SuperCase Ø160. Det är inte helt klarlagt varför detta övertryck har uppstått i vissa skarvar. Det skulle kunna vara en konsekvens av att gaser frigörs från PUR-skummet under krympningsprocessen. Tillverkare av skarvkomponenter rekommenderar i regel att hylsorna ”avgasas” så att ett övertryck inte ska ligga på och belasta krympförbandet i onödan. I föreliggande projekt har avgasning genomförts i vissa fall. Man ser dock ingen entydig korrelation mellan bristen på avgasning och förekomsten av övertryck.

Samtliga skarvar utom Logstor B2S visade sig dock vara täta. Logstor B2S uppvisade läckage i ena skarvänden mellan hylsa och mantelrör på bägge rördimensionerna då de kontrollerades med spårgas med 0,2 bars övertryck efter att ett litet kontrollhål borrats i det yttre krympförbandet precis utanför änden av krymphylsan. Vid täthetskontroller med såpvatten då skarvarna var trycksatta med luft med maximalt övertryck på 0,2 bar utan kontrollhål i yttre krympförband kunde inga läckor lokaliseras. Läckaget har således varit mycket litet.

I Tabell 3 redovisas resultaten för samtliga skarvförbanden.

- Krymphylsor:

Skarv	Hylsa	Tätning	Status
Logstor SX	PEX	Mastix (mjuk)	Tät
Canusa SuperCase	PEX	Fiberarmerad mastix	Tät
Raychem Rayjoint	PEX	Fiberarmerad mastix	Tät

- Krymphylsor med extra utvändig tätning:

Skarv	Hylsa	Tätning	Slang/Band	Tätning	Status
Powerpipe DTK	PE	Mastix Inget fabrikat (B810 Belmaflex)	Raychem TPSM:PEX Nitto Neo Cover:PEX	Mastix (mjuk) Mastix (mjuk)	Tät
Logstor B2S	PE	Mastix/hotmelt (mjuk)/(hård) Separerade sida vid sida med hotmelt närmast hylsändan	Raychem TPSM:PEX Canusa KLD:PEX	Mastix (mjuk) Mastix/hotmelt (mjuk)	Läckage under hylsa

Tabell 3. Täthetsprovning

Resultat från täthetsprovning med 0,2 bar luft.

Results from tightness test with 0.2 bar air.

4.2. Relaxation i krympmaterial

Relaxationsmätningarna utfördes på fyra 100 mm långa aluminiumcylindrar. Tre av dessa hade en ytterdiameter på 90 mm och hade ytterdiametern 100 mm. På Ø 90 cylindrarna var följande krympmaterial monterade: en krympslang av PEX från Raychem, en hylsa kapad från änden av en krymphylsa av typ Canusa SuperCase och en hylsa

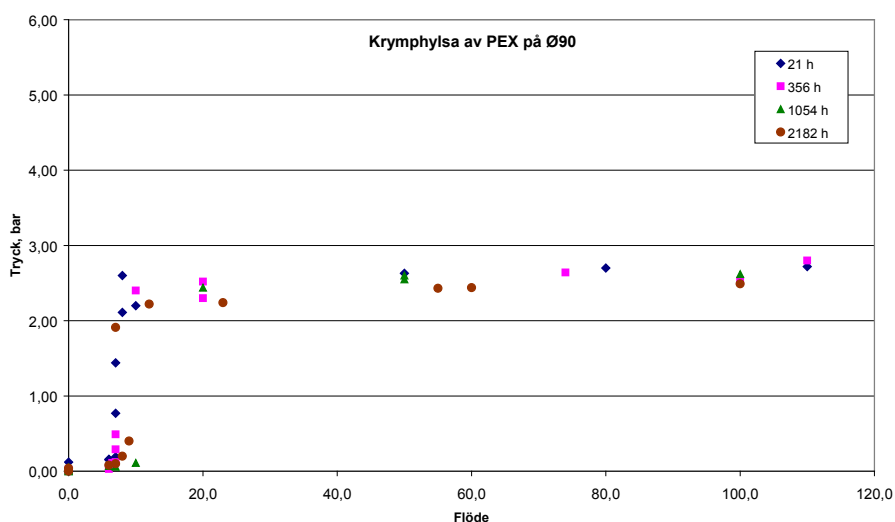


Bild 16. Krymphylsa av PEX typ Canusa SuperCase på cylinder Ø 90 mm

Samband mellan pålagt vattentryck och uppmätt vattenflöde.

Relation between applied water pressure and measured water flow.

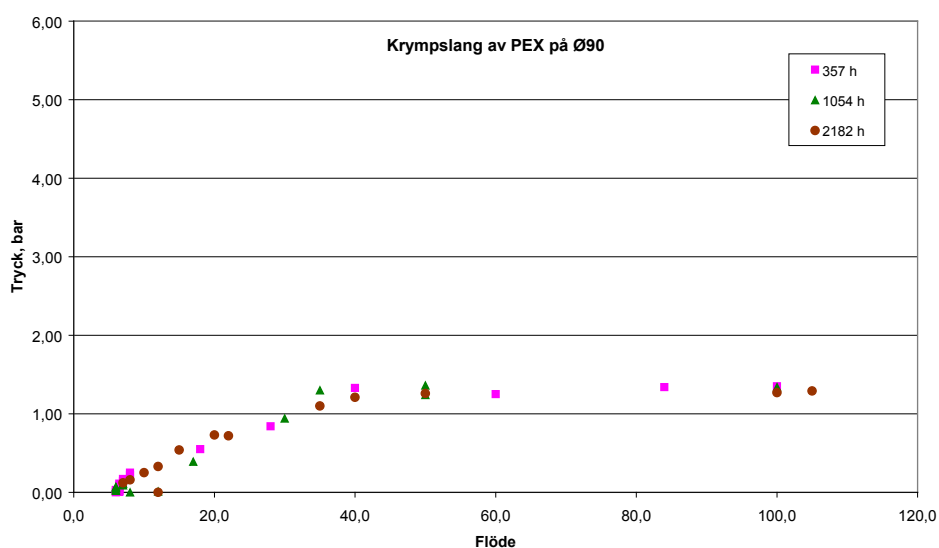


Bild 17. Krympslang av PEX från Raychem på cylinder Ø 90 mm

Samband mellan pålagt vattentryck och uppmätt vattenflöde.

Relation between applied water pressure and measured water flow.

kapad från änden av en krymphylsa av typ Powerpipe DTK. En krymphylsa typ Powerpipe DTK var även monterad på Ø100 cylindern. Samtliga provobjekt var avsedda att monteras på rör med Ø 90 mm.

Det bör noteras att ingen direkt mätning av krympspänningar eller -krafter har gjorts. De storheter som mäts är vattenflöde och -tryck, och relationen mellan dessa används som ett mått på förbandets styvhet. En förändring i vattentryck vid ett givet flöde indikerar en förändring i spänningstillståndet i krympmaterialet.

PEX och HDPE uppvisar väldigt olika beteenden. PEX-hylsan och -krympbandet ”öppnar” vid ett specifikt tryck och vattenflödet kan därefter ökas utan någon nämnvärd ytterligare tryckökning, Bild 16 – Bild 17. Trycket är dessutom konstant över tiden, vilket pekar på att ingen nämnvärd kraftrelaxation pågår. För HDPE, å andra sidan, ser man ett tydligt linjärt samband mellan pålagt vattentryck och flödet som strömmar igenom, **Fel! Ogiltig självreferens i bokmärke.** – Bild 19. Kvoten mellan tryck och flöde, eller lutningen hos linjerna i diagrammen, är ett direkt mått på förbandets styvhet och som synes ökar detta med tiden. Mot bakgrund av detta kan man alltså konstatera att krympkraften i HDPE-hylsorna ökar med tiden. Man kan också konstatera att krympkraften är betydligt större, ca 5 gånger, i den hylsa som krympts ned mot Ø 100 mm jämfört med den som krympts mot Ø 90 mm.

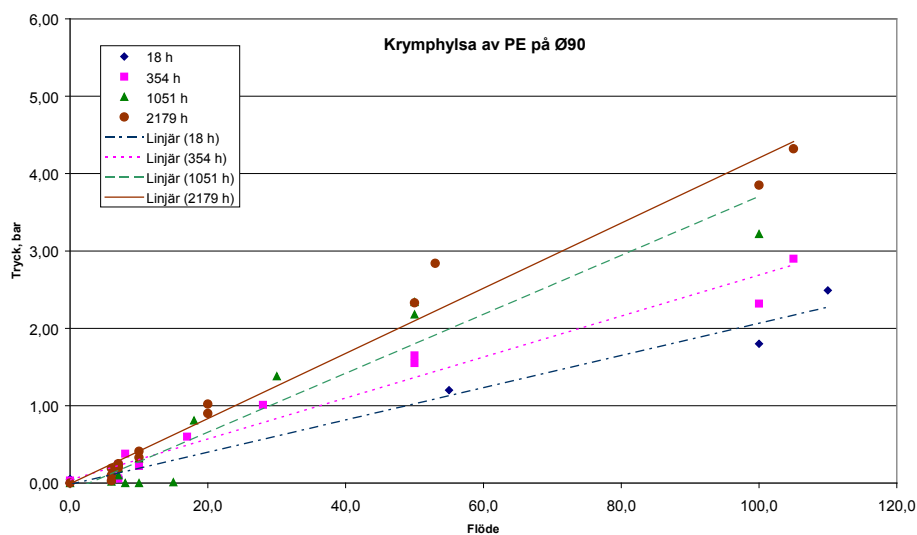


Bild 18. Krymphylsa av HDPE typ Powerpipe DTK på cylinder Ø 90 mm
Samband mellan pålagt vattentryck och uppmätt vattenflöde.

Relation between water pressure and measured water flow.

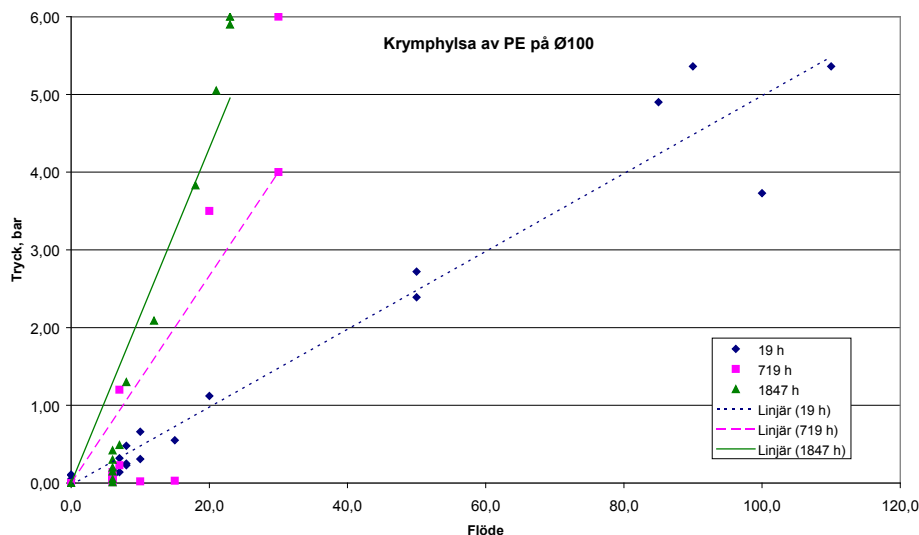


Bild 19. Krymphylsa av HDPE typ Powerpipe DTK på cylinder Ø 100 mm

Samband mellan pålagt vattentryck och uppmätt vattenflöde.

Relation between applied water pressure and measured water flow.

Det något kontraintuitiva beteende med obefintlig (PEX) och till och med negativ (HDPE) spänningsrelaxation torde kunna förklaras med att materialen vill efterkrympa. HDPE-hylsorna tillverkas genom att rör dornas upp i 100 °C till en större diameter. Molekylstrukturen börjar då sträva efter att dra tillbaka röret till sin ursprungliga geometri, och denna process skyndas på genom att värma upp materialet. När hylsorna krympts ned till 90 mm innerdiameter är de fortfarande något större än vad de var i sitt jungfruliga tillstånd. Molekylstrukturen är fortfarande inte i jämvikt, och fortsätter att sträva efter att minska diametern. Nu är det dock ett rör ”i vägen” och resultatet blir att krympkraften ökar. Denna effekt är mindre i PEX än i HDPE på grund av att molekylerna i PEX sitter ”fast” i varandra genom tvärbindingar. De är alltså mindre rörliga än i HDPE, där molekylerna bara är ”ihoptrasslade”

4.3. Fläkhållfasthet

Diagrammet i Bild 20 redovisar resultaten av fläkhållfasthetsprovningarna på icke åldrade och åldrade krympslangar och krympband. På varje krympförband drogs en remsa från den del som är fäst mot skarvhylsan och en remsa från den del som är fäst mot mantelröret. Skillnaden mellan fläkhållfastheten mot skarvhylsa respektive mantelrör var i sammanhanget små. De redovisade resultaten är därför medelvärden från de bägge fläkproven på respektive krympförband.

Det krympförband som uppvisade den högsta fläkhållfastheten var Canusa KLD Ø 160 mm där uppmätt värde är högre än det värde tillverkarna uppger.

Gällande Canusa KLD-förbanden var fläkhållfastheten för bägge proven på bägge dimensionerna både före och efter åldring högre än sträckgränsen för de utdragna

provremorna, vilket innebär att den lossfläkt sträckan utmed mantelytan var kortare än mätsträckan som remsan drogs ut vinkelrätt från mantelytan. I det åldrade Canusa KLD-förbandet brast bägge remsorna på det mindre röret innan den vinkelräta mätsträckan fullbordats.

I samtliga fall ökade fläkhållfastheten något efter att förbanden åldrats. Samtliga provade band uppfyller de krav som återfinns i EN 12068, tabeller 1 och 2 avseende fläkhållfasthet. I det avseendet kan Canusa KLD och Raychem TPSM klassificeras i mekanisk styrkeklass C, och Nitto Neo Cover i klass B.

Fotografierna i Bild 21 visar utseendet på brottytorna då remsorna drogs loss.

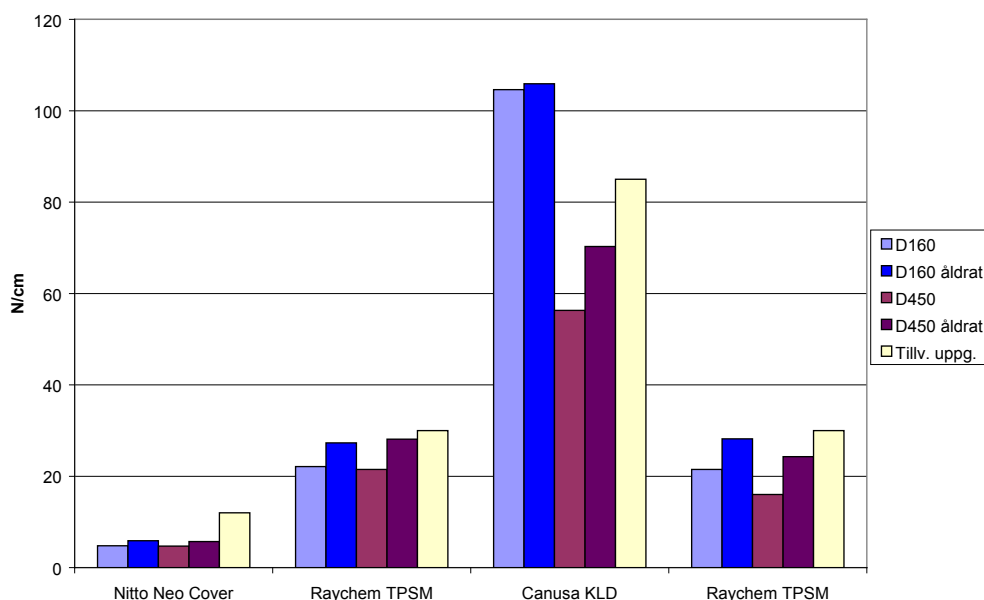


Bild 20. Fläkhållfasthet icke åldrade och åldrade prover

Uppmätt fläkhållfasthet för 160 och 450 mm-skarvar.

Measured peel strength for 160 and 450 mm joints.

4.4. Skjuvhållfasthet

Diagrammet i Bild 22 redovisar resultaten från skjuvhållfasthetsprov av ytan mellan mantelrör och krymphylsa som medelvärde av tre prover från respektive skarvtyp.

Avsevärt högre skjuvhållfasthet än hos övriga uppmättes i Logstor B2S-skarven. Detta beror främst på att Logstor B2S-hylsan vid leverans är belagd med hotmelt invändigt närmast ändarna. Vid montage kompletteras tätningen med mastix som läggs innanför området med hotmelt. Skjuvhållfasthetsproverna är sedan utförda på prover från området med hotmelt. I Logstor B2S-förbandet ökade dessutom hållfastheten efter att den åldrats.

När det gäller Powerpipe DTK och Logstor B2S utfördes inga skjuvhållfasthetsprover på skarvarna med den mindre dimensionen.

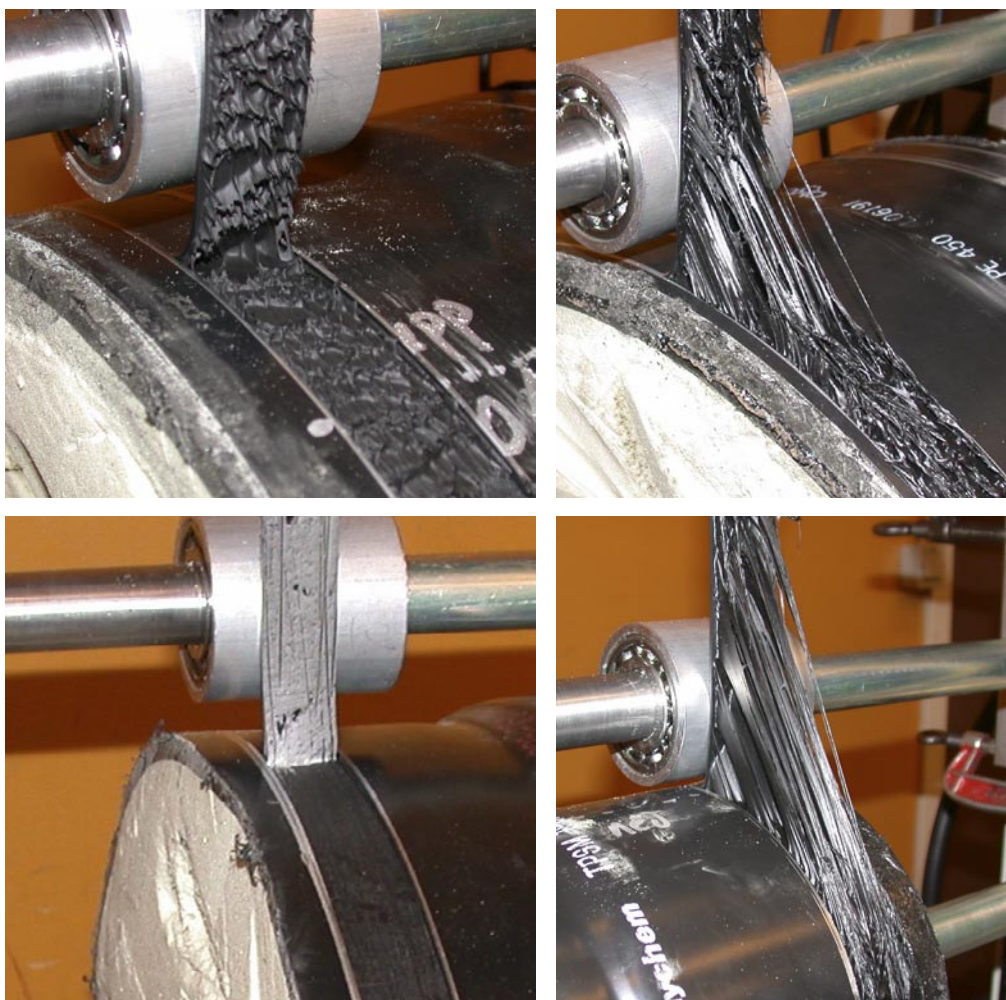


Bild 21. Brottytor – fläkprov

Nitto Neo Cover 1150 (a), Raychem TPSM (b), Canusa KLD (c) och Raychem TPSM (d).

I de fall uppgifter från tillverkarna finns så stämmer resultaten med dessa uppgifter väl gällande Canusa SuperCase, även om hållfastheten blev lägre efter åldringen. Raychem RayJoint däremot uppvisar skjuvhållfasthetsvärden som är betydligt lägre än vad tillverkarna uppger. Det skall dock poängteras att tillverkarnas uppgifter bygger på förband monterade under de förutsättningar som beskrivs i deras monteringsanvisningar.

För övriga skarvtyper uppvisade resultaten inga betydande skillnader i skjuvhållfasthet före och efter åldring.

Ingen betydande skillnad kunde heller konstateras mellan de båda ändarna i Powerpipe DTK, trots att ände a i hylsan vid montaget enbart var försedd med inbyggd mastix, emedan ände b kompletterades med separat mastix.

Logstor B2S, Canusa SuperCase och Raychem RayJoint uppfyller kraven enligt tabell 1 i EN 12068 avseende skjuvhållfasthet ($\geq 0,05$ MPa). Logstor SX och Powerpipe DTK uppfyller inte kraven. I EN 12068 finns, av någon anledning, inga krav på

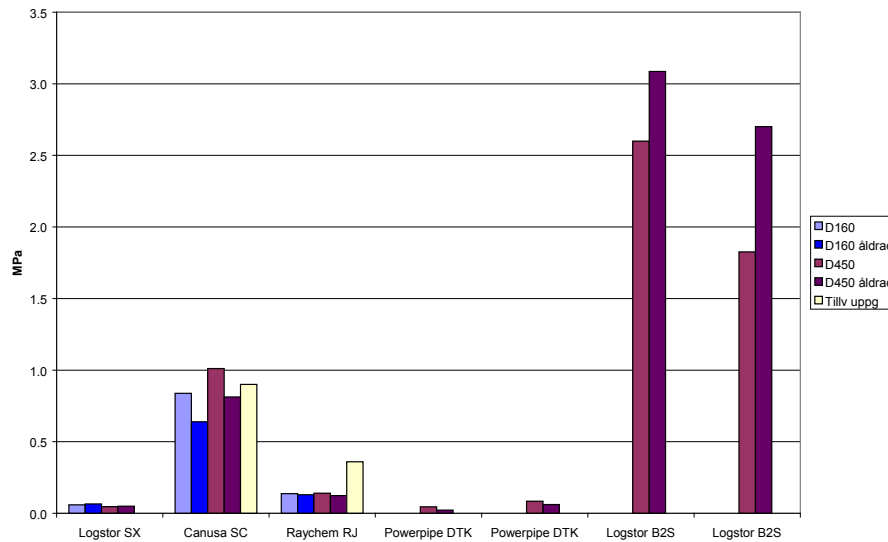


Bild 22. Skjuvhållfasthet icke åldrade och åldrade prover

Uppmätt skjuvhållfasthet.

Measured shear strength.



Bild 23. Brottytor – skjuvprov

Brottytor mellan krymphylsa och mantelrör som resultat av skjuvprovning. Från vänster i bild: Prover ur Logstor SX tätad med mastix, Canusa SuperCase tätad med fiberarmerad mastix, Raychem RayJoint tätad med fiberarmerad mastix, Powerpipe DTK tätad med inbyggd mastix, Powerpipe DTK tätad med separat mastix, Logstor B2S tätad med hotmelt samt Logstor B2S tätad med hotmelt.

Shear fracture surfaces. From left to right: Logstor SX sealed with mastic, Canusa SuperCase sealed with fibre reinforced mastic, Raychem RayJoint sealed with fibre reinforced mastic, Powerpipe DTK sealed with mastic, Powerpipe DTK sealed with separate mastic, Logstor B2S sealed with hotmelt and Logstor B2S sealed with hotmelt.

bibehållen skjuvhållfasthet efter åldring, men försämringen hos Canusa SuperCase (20 – 25 %) är i paritet med kravnivån för exempelvis fläkhållfasthet. Det skall poängteras att skjuvhållfasthetsproven i enlighet med EN12068 utförs obelastade, det vill säga den påverkan som de krympkrafter som förbandet normalt bidrar med förloras till följd av att proven utförs på provkroppar utkapade ur skarvförbandet.

I Bild 23 redovisas utseendet på brottytorna mellan mantelrör och krymphylsa för de olika skarvtyperna.

5. DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Den primära funktionen hos en skarv är att den ska vara tät. Av de provade varianterna var samtliga täta utom Logstor B2S som uppvisade läckage i bägge dimensionerna. Läckaget var väldigt litet och kan ha berott på att skarvarna inte avluftades under mon- taget. Avluftningen missades även för andra skarvar, se bilaga D, men inte för någon hylsa med hotmeltförband. En tänkbar förklaring är att hotmeltfogen spruckit upp av övertrycket i hylsan. Emellertid har Logstor B2S-hylsan även en mastixfog utvändigt limfogen som borde hålla tätt.

De mätningar som gjorts av krympkraften i krympslangar och -hylsor visar dels att så kallade dubbelexpanderade¹⁷ hylsor kläms avsevärt hårdare mot mantelröret än enkelexpanderade, och dels att relaxation av krympkrafterna inte tycks vara något stort problem. Materialet i hylsan fortsätter att sträva mot sitt okrympta jämviktstillstånd, och för de icke-förnätade provobjekten resulterade detta i att krympkraften faktiskt ökade med tiden.

Samtliga krympband som utsatts för fläkhållfasthetsprov har klarat de krav som uppställts i EN 12068 – dock med vissa variationer. Canusa KLD och Raychem TPSM placeras härvid i klass C (hög mekanisk hållfasthet) och Nitto NeoCover i klass B (medelhög mekanisk hållfasthet). I samtliga fall tycks åldringen inverka positivt på vidhäftningen, i så måtto att fläkhållfastheten är högre efter temperaturåldring. Fläk- ning (i rörets omkretsriktning) är inte en sannolik haveriorsak för skarvar i fält. Skjuv- hållfastheten i axialriktningen däremot, svarar mot en direkt belastning på skarvhylsan som kan uppstå till följd av temperaturrörelser i ledningssystemet. Kraven i EN 12068 svarar ganska väl mot de teoretiskt maximala skjuvspänningar som kan uppstå på ett skarvförband i fält. Genom att provningarna genomförs på utskurna provstavar tar man ingen hänsyn till eventuella krympkrafter som kan hjälpa till att föra över skjuvkrafter, varför kravnivån får sägas vara på säkra sidan. Kravnivån i nytillverkat tillstånd uppfylls av Logstor B2S, Canusa SuperCase och Raychem RayJoint, men inte av Logstor SX och Powerpipe DTK¹⁸. Av någon anledning finns inga krav på bibehållen skjuvhållfasthet efter åldring i EN 12068, men den sänkning i hållfasthet som Canusa SuperCase uppvisar efter 70 dygn i 50 °C, omkring 20 – 25 %, är i närheten av den maximala försämring som tillåts avseende fläkhållfasthet efter 100 dygns åldring. Med undantag för fläkhållfastheten hos Nitto NeoCover och skjuvhållfastheten hos Raychem RayJoint är hållfasthetsnivåerna i paritet med vad tillverkarna utlovar i sina tekniska specifikationer.

Vad gäller montagevänlighet så är det framför allt tätningsmaterialet som är avgö- rande. Mjuk mastix är mer förlåtande och fiberarmerade material upplevs som lättare att hantera. Breda mastixsystem är lättare att applicera. Kombinationsvarianter med smala mastixremсор som ska passas in för att samverka med hotmeltområden upp- levts som besvärliga att få på plats. Å andra sidan pekar branscherfarenheterna på att kombinationslösningar med både hotmelt och mastix klarar sig mycket bra i jämfö-

¹⁷ Se not på sidan 24.

¹⁸ Det bör härvid noteras att Powerpipe DTK i fält även samverkar med ett ytterligare utvändigt krympband som i viss mån kan hjälpa till att föra över skjuvkrafter.

relse. Man bör dock komma ihåg att skadestatistiken är klart bristfällig. Hylsor med inbyggd mastix är svårare att hålla rena på arbetsplatsen. Hylsor av förnätad polyeten (PEX) går fortare att krympa än hylsor av icke-förnätat material och upplevs som mera lättarbetade.

Sammanfattningsvis kan konstateras att det uppenbart går att åstadkomma ett utmärkt skarvförband även under svåra temperatur- och fuktförhållanden. De allra flesta provobjekten som tillverkats i föreliggande projekt har varit täta och har haft egenskaper väl i nivå med vad tillverkarna utlovar. Åldringsförsöken visar också det knappast sker några dramatiska egenskapsförsämringar under lagring vid förhöjd temperatur. Sådillvida är det fortfarande på sätt och vis oklart varför så pass många skarvar inte fungerar tillfredsställande i fält. I och med att material och konstruktionslösningar fungerar, kan man emellertid indirekt dra slutsatsen att problemen i fält huvudsakligen härrör från montaget. Delvis bottnar detta med stor sannolikhet i att montörerna ofta utsätts för svåra arbetsförhållanden och att skarvkonstruktionerna är krävande att installera. Det viktigaste för att uppnå ett gott resultat är således att montaget genomförs på ett bra sätt och att förutsättningar för detta finns på arbetsplatsen. Det är svårt att utifrån projektresultaten peka ut den bästa och den sämsta krympskarven, men några rekommendationer kan ges:

- Tänk på att avgasa skarven under krymparbetet så att inga onödiga övertryck ligger och belastar krympförbandet.
- Välj en hylsa av förnätat PEX-material om snabbt montage är viktigt.
- Om oförnätat HDPE-material används, välj så kallade dubbelexpanderade hylsor.
- Välj ett tätningsmaterial som är lättarbetat och förlåtande till sin karaktär, exempelvis av den typ som används i Nitto NeoCover eller Raychem TPSM.
- Om extra styrka behövs: använd ett starkare tätningsmaterial, till exempel en mastix/hotmelt-blandning av den typ som används i Canusa KLD. Observera dock att hög hållfasthet inte med automatik innebär bättre täthet.

Det bör observeras att föreliggande rapport inte ger en fullständig översikt över skarvtekniken. Det finns aspekter som inte har studerats, exempelvis proppar för försegling av skumningshål som ofta beskylls för att ligga bakom en stor del av de skador som uppstår. En bättre uppföljning av skador med avseende på hur och på vilka fabrikat de uppträder, hur mycket fukt som faktiskt tränger in och hur mycket pengar de kostar att reparera hade varit ovärderlig för utvecklandet av nya lösningar. En framtida utveckling av skarvsystem borde fokusera på att ta fram lösningar som är mer förlåtande – med enkelt montage och kanske med någon typ av självläkande funktion.

6. REFERENSER

- Airey G D, Rahimzadeh B, Collop A C (2004), Linear rheological behaviour of bituminous paving materials, *Journal of Materials in Civil Engineering*, **16**(3), ss. 212-20.
- Amerikansk standard ASTM D 638-03 (2003), *Standard test method for tensile properties of plastics*.
- Amerikansk standard ASTM D 1044-05 (2005), *Standard test method for resistance of transparent plastics to surface abrasion*.
- Amerikansk standard ASTM D 2565-99 (1999), *Standard practice for xenon-arc exposure of plastics intended for outdoor applications*.
- Amerikansk standard ASTM D 3045-92 (2003), *Standard practice for heat aging of plastics without load*.
- Andrenacci A m.fl. (2005), *Heat Ageing Test on Canusa SuperCase Adhesive*, Report No. LR2000-002A, Shaw Industries Ltd.
- Bentley Jr D J (2005), Hot melt adhesive use, *Paper, Film & Foil Converters*, mars.
- Bergström G, Nilsson S, Sällberg S-E (2001a), *Vattenläckage genom otät mantelrörskarvar*, Svensk Fjärrvärme Forskning och Utveckling 2001:51.
- Bergström G, Nilsson S, Sällberg S-E (2001b), *Täthet hos skarvar vid återfyllning med befintliga massor*, Svensk Fjärrvärme Forskning och Utveckling 2001:58.
- Bergström G, Nilsson S, Sällberg S-E (2002a), *Fukttransport i skarvskum*, Svensk Fjärrvärme Forskning och Utveckling 2002:67.
- Bergström G, Nilsson S, Sällberg S-E (2002b), *Utvändigt skydd hos fjärrvärmerörskarvar*, Svensk Fjärrvärme Forskning och Utveckling 2002:72.
- Bistac S, Vallat M F, Schultz J (1998), Durability of steel/polymer adhesion in an aqueous environment, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, **18**, ss. 365-9.
- Europeisk standard SS-EN 489 (2003), *Fjärrvärmesystem – Förisolerade rörsystem med fast förband mellan värmeisolering och medierör respektive mantelrör för direkt markförlagd distribution av hetvatten – Skarvar för rörenheter med medierör av stål, värmeisolering av hård uretancellplast (PUR-skum) och mantelrör av etenplast (PE)*.
- Europeisk standard EN 12068 (1998), *Cathodic protection - External organic coatings for the corrosion protection of buried or immersed steel pipelines used in conjunction with cathodic protection - Tapes and shrinkable materials*.
- Europeisk standard SS-EN 13941 (2003), *Fjärrvärmesystem – Konstruktion och installation av rörsystem med förisolerade rör med fast förband mellan värmeisolering och medierör respektive mantelrör*.
- Johansson M (2005), *Luleå Energi*, Personlig kommunikation.
- Kalnins M, Sirmacs A, Malers L (1997), On the importance of some surface and interface characteristics in the formation of the properties of adhesive joints, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, **17**, ss. 365-72.
- Kim D-J, Kim H-J, Yoon G-H (2006), Shear creep resistance of styrene-isoprene-styrene (SIS) based hot-melt pressure-sensitive adhesives, *Journal of Applied Polymer Science*, **100**, ss. 825-31.

- Kim Y-R, Little D N (2004), Linear viscoelastic analysis of asphalt mastics, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(2), ss. 122-32.
- Lindh L (2004), Montaget boven i dramat, *Fjärrvärmetidningen*, 5(2004).
- Nationalencyklopedin* (1994), Bra Böcker, Höganäs.
- Nilsson S, Sällberg S-E, Bergström G (2003), *Undersökning av skarvar med isolerhalvor efter nio år i drift*, Svensk Fjärrvärme Forskning och Utveckling 2003:99.
- Nilsson S, Sällberg S-E, Bergström G (2005), *Läckagevägar för markvatten i skarvsolering*, Svensk Fjärrvärme Forskning och Utveckling 2005:127.
- Nitto (19xx), *Nitto Anti-Corrosive Heat-Shrinkable Tube "Neo Cover" No. 1150*, Nitto Denko Corporation.
- Nordenswan T (2007), *PM till klimat- och sårbarhetsutredningen*, Svensk Fjärrvärme Rapport 2007:3.
- Norsworthy R (1999), Rating underground pipeline tape and shrink sleeve coating systems, *Materials Performance*, november, ss. 40-5.
- Peigneur P (2006), *Long term hot water immersion testing of shrinkable materials for district heating pipe joints*. Covalence Corrosion Protection Group.
- Persson H (2006), *Personlig kommunikation*, Hantech Systems.
- Rutqvist U (2006), *Personlig kommunikation*, Nitto Scandinavia.
- Shih H-H, Hamed G R (1997), Poly(ethylene-co-vinylacetate) based hot melt adhesives: 1. Relating adhesive rheology to peel adhesion, *Journal of Adhesion*, 61, ss. 231-45.
- Small D J, Courtney P J (2005), Fundamentals of industrial adhesives, *Advanced Materials & Processes*, maj, ss. 44-7.
- Smidt H D (2000), *Strength and tightness of joints on pre-insulated district heating pipes*, EFP project No. 1323/98-0035, Danish Technological Institute.
- Sällberg S-E, Nilsson S (2005), *Mantelfria fjärrvärmerör*, Svensk Fjärrvärme Forskning och Utveckling 2005:139.
- Takemoto M m.fl. (2002), Miscibility and adhesive properties of EVA-based hot-melt adhesives. II. Peel strength. *Journal of Applied Polymer Science*, 82, ss. 726-35.
- Tse M F (1998), Hot melt adhesive model: Interfacial adhesion and polymer/tackifier/wax interactions, *Journal of Adhesion*, 66, ss. 61-88.
- Tysk standard DIN 30672 (2000), *Organische Umhüllungen für den Korrosionsschutz von in Böden und Wässern verlegten Rohrleitungen für Dauerbetriebstemperaturen bis 50 °C ohne kathodischen Korrosionsschutz Bänder und schrumpfende Materialien*.
- Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie – 4. neubearbeitete und erweiterte Auflage* (1976), Verlag Chemie, Weinheim.

BILAGA A. KOMMERSIELLA PRODUKTER

Tillverkare	Beteckning	Typ	Krymp		Tätning			
			Material	Draghållfasthet (MPa)	Material	Mjukningspunkt (f1C)	Skjuvhållfasthet (MPa)	Fläk-hållfasthet (N/cm)
Canusa	SuperCase	Krymphylsa	PEX	27	Mastix	80	0.9	85
	SuperSeal	Krympmatta, band, slang	PEX	24	Mix av mastix/hotmelt	85	1.35	85
Raychem	RayJoint	Krymphylsa	PEX	25	Elastomer-mastix	128	0.36	30
	TPSM/138	Krympslang	PEX	20	Elastomer-mastix	120	0.7	30
	DualSeal	Krympband	PEX	20	Mastix och hotmelt i två olika oråden	92 (m) 94 (h)	0.08 (m) 1.2 (h)	9 (m) 70 (h)
	RJS	Krympband	PEX	20	Hotmelt	82	0.8	56
Nitto	Neocover 1150	Krympslang	PEX	23	Elstomer-mastix	114	0.2	12
	Neocover RW1230L	Krympmatta	PEX	25	Elastomer-mastix	114		
Logstor	SX	Krymphylsa	PEX		Mastix			
	BS	Krymphylsa	HDPE		Både mastix och hotmelt			
Powerpipe	DTK	Krymphylsa	PEX		Elastomer-mastix			

BILAGA B. LIMTYPER – EN ÖVERSIKT

Limtyp	Anaeroblim	Cyanoakrylat	Epoxy	Smältlim	Ljushärdande akryllim	Silikon	Uretan	Tvåkomponents akryllim
Styrka	Hög hållfasthet	Mycket bra vidhäftning mot gummi och plastmaterial	Många olika typer	Snabbhärdande och spaltfyllande	Snabbhärdande	Temperaturlåghet	Bra seghet	Bra slaghållfasthet
Begränsning	Endast metaller	Dålig lösningsbeständighet	Två komponenter	Dålig temperaturbeständighet	System för ljushärdning krävs	Låg hållfasthet	Känsligt för fukt	Två komponenter
<i>Temperaturområde</i>								
Typiskt för kategori, °C	-65 – 300	-65 – 190	-65 – 180	-65 – 250	-65 – 300	-65 – 400	-65 – 250	-65 – 200
Bästa produkt, °C	+450	+250	+400	+330	+350	+600	+300	+400
<i>Lösningsbeständighet</i>								
Polära ämnen (t.ex. vatten, etylenglykol, isopropanol, aceton)	Mycket bra	Dålig	Mycket bra	Bra	Bra	Bra	Bra	Bra
Opolära ämnen (t.ex. motorolja, toluen, bensin, ATF)	Excellent	Bra	Excellent	Bra	Mycket bra	Dålig	Bra	Mycket bra
<i>Vidhäftning mot</i>								
Metall	Mycket bra	Mycket bra	Excellent	Bra	Bra	Bra	Bra	Excellent
Plast	Ganska bra	Excellent	Ganska bra	Mycket bra	Excellent	Ganska bra	Mycket bra	Excellent
Glas	Excellent	Dålig	Excellent	Bra	Excellent	Mycket bra	Bra	Bra
Gummi	Dålig	Mycket bra	Ganska bra	Ganska bra	Ganska bra	Bra	Bra	Dålig
Trä	Bra	Bra	Mycket bra	Excellent	Dålig	Ganska bra	Ganska bra	Bra

BILAGA C. SKJUVBELASTNING PÅ SKARVFÖRBAND

Skjuvbelastningen på ett skarvförband uppstår till följd av friktionskrafter mellan skarvhylsan och kringfyllningsmaterialet som uppkommer då ledningen rör sig på grund av temperaturvariationer. Om skarven är väl skummad med fullgott PUR-skum, kommer skarvförbandet att samverka med skarvskummets skjuvstyvhet för att ta upp friktionskraften och det uppstår ingen spänningskoncentration: skjuvbelastningen på förbandet är densamma som skjuvspänningen mot mantelröret till följd av friktionen.

Friktionskraften F (N/m) mot mantelröret kan beräknas ur (SS-EN 13941:2003):

$$(1) \quad F = \mu \left[\frac{1 + K_0}{2} \gamma_s Z \pi D_C + G - \gamma_s \pi \left(\frac{D_C}{2} \right)^2 \right]$$

där μ är friktionskoefficienten ($0,6^{19}$), K_0 är en jordtryckskoefficient ($\approx 0,5$), γ_s är densiteten hos fyllningsmaterialet ($\approx 18 \text{ kN/m}^3$), Z är avståndet mellan markytan och rörets centrumlinje ($\approx 1 \text{ m}$), D_C är mantelrörets ytterdiameter (m) och G är ledningens egenvikt (kN/m).

Skjuvspänningen τ_0 i krympförbandet och mot rörväggen blir då:

$$(2) \quad \tau_0 = \frac{F}{\pi D_C}$$

Om å andra sidan skarven är så dåligt skummad att ingen vidhäftning kan påräknas mellan skarvskum och hylsa, måste all friktionskraft på hylsan tas upp av de två krympförbanden i hylsans ändar. I detta fall blir skjuvspänningen τ_{\max} :

$$(3) \quad \tau_{\max} = \frac{FL_{\text{hylsa}}}{2\pi D_C L_{\text{krymp}}}$$

där L_{hylsa} är skarvhylsans längd ($\approx 0,7 \text{ m}$) och L_{krymp} är längden hos den kraftupptagande delen i krympförbandet ($\approx 50 \text{ mm}$).

Med numeriska värden enligt ovan blir τ_0 och τ_{\max} ungefär $0,0075 \text{ MPa}$ respektive $0,05 \text{ MPa}$, nästan oberoende av mantelrörsdiametern. Något högre skjuvspänningar uppträder på mindre dimensioner: ungefär 10 % högre värden gäller för ett 90 mm-rör jämfört med ett 450 mm-rör.

Ett verkligt fall kommer troligen att ligga någonstans mellan de båda ytterligheterna ”perfekt skarvskum” och ”obefintlig vidhäftning”

¹⁹ ”Värsta fallet” avseende korttidsbelastningar enligt SS-EN 13941:2003.

BILAGA D. AVGASNING/ ÖVERTRYCK I PROVSKARVAR

Hylsa		Avgasning	Övertryck vid provtryckning
Logstor SX	Ø 160	Ja, via skumningshål	—
	Ø 450	Ja, via skumningshål	—
Canusa SuperCase	Ø 160	Ja, via skumningshål	—
	Ø 450	Ja, via uppborrat hål	Ja
Raychem Rayjoint	Ø 160	—	—
	Ø 450	—	—
Powerpipe DTK	Ø 160	—	Ja
	Ø 450	—	—
Logstor B2S	Ø 160	—	Ja
	Ø 450	—	Ja



Fjärrsyn – forskning som stärker konkurrenskraften för fjärrvärme och fjärrkyla genom ökad kunskap om fjärrvärmens roll i klimatarbetet och för ett hållbart samhälle, till exempel genom att bana väg för affärsmässiga lösningar och framtida teknik. Programmet drivs av Svensk Fjärrvärme med stöd av Energimyndigheten. Mer information finns på www.svenskfjarrvarme.se/fjarrsyn

BESTÄNDIGHET HOS KRYMPSKARVAR

En kedja är inte starkare än den svagaste länken. Det är en sanning som stämmer synnerligen väl för en fjärrvärmedistributionsledning och dess skarvar.

Det är allmänt känt från kulvertskadestatistiken att dåliga skarvar kostar fjärrvärmebranschen stora summor varje år. Eftersom branschen bygger för framtiden måste man känna till om de material som används i dag klarar kraven och hur olika material uppträder när de åldras. Rapporten innehåller en sammanställning av de olika produkter som finns på marknaden och visar att de har goda långtidsegenskaper och generellt sett är användbara.

Beständighet hos krympskarvar, som handlar om att välja rätt skarv till rätt plats, vänder sig till fjärrvärmebolagens beställare som en hjälp vid värdering av anbud.

