

KOPPLINGAR I FJÄRRVÄRMESYSTEM



Rolf Sjöblom, Tekedo AB

Jöns Hilborn, Institutionen för Materialkemi, Uppsala Universitet

Forskning och Utveckling | 2004:107

KOPPLINGAR I FJÄRRVÄRMESYSTEM – inventering av alternativ och utvecklingspotential

Rolf Sjöblom, Tekedo AB

Jöns Hilborn, Institutionen för Materialkemi, Uppsala Universitet

I rapportserien publicerar projektledaren resultaten från sitt projekt. Publiceringen innebär inte att Svensk Fjärrvärme AB tagit ställning till slutsatserna och resultaten.

Förord

Det är nödvändigt för leverantörer av fjärrvärme att lämplig teknik finns tillgänglig för sammankoppling av olika komponenter i rörsystem. Viktiga aspekter i detta avseende inkluderar montage och långsiktig driftsäkerhet.

Det finns därför anledning att från tid till annan göra genomgångar av vad som kan finnas tillgängligt på marknaden samt söka värdera och bedöma vilken potential tänkbara lösningar kan ha för medlemmarna i Svensk Fjärrvärme.

Detta har varit utgångspunkten för det arbete vars resultat redovisas i denna rapport.

Referensgruppen har bestått av följande personer:

Magnus Johansson	Luleå Energi AB
Ture Nordenswan	Svensk Fjärrvärme
Jan Eriksson	Lögstör Rör Sverige AB
Thomas Samuelsson	Jönköping Energi AB
Lars Filipsson	Norrenergi AB

Referensgruppen har vidare bidragit med värdefulla synpunkter och upplysningar under arbetets gång. Den har också deltagit i arbetet, särskilt vad avser avsnitten 4-6.

Det huvudsakliga arbetet och författarskapet har utförts av Rolf Sjöblom, Tekedo AB, och Jöns Hilborn, Institutionen för Materialkemi vid Uppsala Universitet. Den senare har särskilt svarat för avsnitt 3.4.4.

SAMMANFATTNING

Det är av stor betydelse för medlemmarna i Svensk Fjärrvärme att effektiv och tillförlitlig teknik finns tillgänglig för sammankoppling av olika komponenter i fjärrvärmesystem, och inte minst för skarvning av rör. Viktiga aspekter inkluderar enkelhet i montage samt tillförlitlighet under lång tid.

Syftet med det i denna rapport redovisade arbetet är att utgående från funktionskrav inventera möjligheterna till att använda olika typer av kopplingar för fjärrvärmeändamål. Arbetet är en förstudie och rapporten ger därför inga rekommendationer beträffande användning, utan identifierar typer av lösningar som har en potential att kunna bli kvalificerade. Rapporten redovisar också en metodik och ger underlag för identifiering av ytterligare alternativ vid behov.

En bred genomgång har utförts beträffande olika typer av kopplingar: flänsförband, o-ringförband, kompressionskopplingar, presskopplingar och ett antal specifika utförningar.

Teori för tätning och läckage redovisas. Viktiga parametrar i detta sammanhang inkluderar sätets planhet och ytfinhet, det tätande materialets förmåga till anpassning till sätet samt hur lämplig anliggning kan åstadkommas.

Rapporten redovisar också behovet av funktion över tid samt över förekommande variationer i temperatur och tryck. Exempelvis kan vissa svällande och kryprelaxerande material krympa i samband med sådan temperatursänkning som kommer efter en tids drift vid högsta temperatur.

I ett avsnitt om materialfrågor fokuseras mot sådana förändringar som kan uppstå med tiden. Särskilt diskuteras förutsättningarna för tillförsel av sådana ämnen som kan påverka egenskaperna hos en koppling på sikt: framförallt vatten från mediasidan, och luftsyre från utsidan. Korrosion på sätes- och tätningsytor kan ge upphov till sämre ytfinhet respektive anliggning och därmed till läckage. Tillförseln kan tänkas öka över tid vilket kan göra läckageprocesser självförstärkande.

För elektriskt ledande material kan galvaniska effekter uppstå. Därför bör sätet och det tätande materialet vara utförda i ädla material eller sådana som inte är elektriskt ledande. För metalliska material påpekas vidare att material som är mycket duktila¹ för normala deformationshastigheter kan tänkas ha ett sprött beteende (med risk för sprickbildning) för mycket långsamma förlopp.

Polymera tätningsmaterial tillhandahålls i kvaliteter med vitt skilda egenskaper och erfarenheten pekar entydigt på behovet av att välja material som klarar de krav som ställs med tillräckligt stor marginal. Detta gäller såväl diffusionsmotstånd, anpassningsförmåga

¹ Material som är duktila kan genomgå högergradig plastisk deformation utan att brott uppstår.

till sätets yta samt förmåga till anliggning, som åldringsegenskaper inklusive förmåga till återhämtning och tillräcklig frånvaro av kryprelaxation.

Bestämning och bedömning av åldringsegenskaper är särskilt förrädiskt för polymera material genom att alltför optimistiska slutsatser kan dras om man utgår från extrapolation av hur relevanta materialegenskaper förändras över tid. Därför beskrivs i rapporten hur en adekvat kvalitetsbedömning kan göras.

Slutsatsen av rapporten är att det finns fyra typer av lösningar som bedöms ha potential eller god potential för användning i fjärrvärmesystem. De är som följer:

- Koppling med metalliskt tätningsmaterial
- Koppling med elastomer som tätningsmaterial
- Presskoppling med plastisk och elastisk deformation av rör över sträcka med kvarhållen hopklämning (för PEX och kopparrör)
- Koppling med grafit som tätning mot rostfritt

Dessa alternativ har potential för att spalten mellan packning och säte skall förbli intakt och smal så att läckaget blir mycket litet och därmed betydelselöst. De har också potential att tillämpas på flexibla rör för vilka användning av kopplingar är av störst intresse.

Eftersom mekanismerna för åldring är delvis okända föreslås att introduktionen sker stegvis och att den börjar med de tillämpningar som är minst komplicerade ur verifieringssynpunkt. Den bör kombineras med lämpliga provnings-, planerings-, uppföljnings-, utrednings- och utvecklingsinsatser. Det kan förutses att de komponenter som kommer att användas är skräddarsydda för fjärrvärmeändamål. Detta innebär bland annat att mekanisk och tätande funktion är separerade och att montage kan ske utan risk för mänskligt felhandlande.

EXECUTIVE SUMMARY

It is of great significance for the members of Svensk Fjärrvärme (the Swedish District Heating Association) that efficient and reliable techniques are available for joining different components in a district heating system, not least for the joining of the pipes. Important aspects in this regard include simplicity in assembly and a high reliability over long times.

The purpose of the work presented in this report is to identify and compile various possibilities for using different types of joints for district heating applications. The work is based on functional requirements which are also described.

The work is a pre-study, and consequently no recommendations are made on any specific installation. Instead, types of solutions are identified which have a potential to become qualified. Also, methodology is described for the identification of further alternatives when needed.

A broad survey has been conducted with regard to the various types of seals and joints available: gasketed joints, o-ring seals, compression packings, press couplings and a number of special designs.

The theory for sealing and leakage is summarised. Important parameters in this regard include planarity of the seat, the ability of the sealing material to accommodate onto the seat surface and for a suitable pressure (force) to apply between the two.

The report also illuminates the need for functioning over time as well as expected variations in temperature and pressure. For instance, certain materials susceptible to swelling and creep relaxation might shrink after a period of operation at the highest temperature followed by a temperature decrease.

A section on materials issues focuses on long term effects, and in particular on the migration and availability of substances which might alter the properties of a joint over time. Of special interest in this regard are water on the media side and oxygen on the outside. Corrosion on the seal surfaces may give rise to decreased planarity on the microscale, increased transport of corroding species and in the end an actual leak in a self-generating process.

Galvanic effects may appear if the materials in question are electrical conductors. Therefore, the seal and the seat should be made of noble materials or electrical insulators. It is also pointed out that there is a possibility that materials which are very ductile for normal rates of deformation might show brittle behaviour (with the associated risk of crack formation) when deformations are very slow.

Seals made of polymeric materials are available in various qualities having widely different properties. The experience strongly points at the need to select materials which fulfil the requirements with a sufficiently large margin. This applies to diffusion resistance and ability to accommodate to the surface of the seat as well as ageing properties, including ability to recover and sufficient absence of creep relaxation.

Assessment of ageing properties is particularly treacherous for polymeric materials where overly optimistic conclusions might easily be drawn if extrapolation is made based on the change of relevant materials properties over time. Therefore, it is described in the report how appropriate quality assessments can be carried out.

In conclusion, four types of solutions are identified to have a potential or a good potential for use in district heating systems. They are as follows.

- Joints having metallic seals
- Joints having seals of a polymeric material
- Press coupling having a plastic and elastic deformation of the pipe over a distance with lasting clamping (e g PEX and copper pipes)
- Joints having graphite sealing against stainless steel

These alternatives have a potential for the slit between the packing and the seat to remain intact and narrow so that the leakage remains very small and thereby also insignificant. These solutions have a potential to be applied to flexible pipes for which the use of joints with seals is of the highest interest.

Since the actual mechanisms for ageing are partly unknown it is suggested that the introduction be carried out in steps and that it starts with such applications that are least complicated from a verification point of view. The introduction should be combined with pertinent testing, planning, follow up, development and other activities. It can be foreseen that the components which are to be used will be tailored for district heating purposes. This means amongst other things that the mechanic function may be well separated from the mechanical one and that the joints can be assembled without any risk of human error.

Innehållsförteckning

Förord	ii
SAMMANFATTNING	iii
EXECUTIVE SUMMARY	v
Innehållsförteckning	vii
1BAKGRUND, SYFTE OCH UPPLÄGGNING AV ARBETET	1
1.1 Inledning.....	1
1.2 Bakgrund.....	1
1.3 Syfte.....	2
1.4 Informationssökningen.....	3
2FJÄRRVÄRME	4
2.1 Fjärrvärmenät.....	4
2.2 Förläggning av rör.....	4
2.3 Rördragning inomhus	5
2.4 Komponenter	5
2.5 Funktionskrav med mera	6
3OM KOPPLINGAR	8
3.1 Inledning.....	8
3.2 Olika typer av förband.....	8
3.2.1 Flänsförband.....	8
3.2.2 O-ringförband	10
3.2.3 Kompressionskopplingar och presskopplingar m m	12
3.2.4 Specifika utformningar	15
3.3 Funktionssätt	20
3.4 Materialfrågor.....	28
3.4.1 Inledning.....	28
3.4.2 Korrosionsfrågor med mera.....	29
3.4.3 Metalliska packningsmaterial.....	31
3.4.4 Polymera tätningsmaterial	32
3.4.5 Karakterisering av tätningsmaterial	36
4DISKUSSION	39
4.1 Tillämpning	39
4.2 Montage.....	40
4.3 Systemets funktion över tid	40
4.3.1 Fjärrvärmeröret.....	40
4.3.2 Kemiska effekter i kopplingen.....	41
4.3.3 Mekaniska effekter i kopplingen	43
4.3.4 Statistiska aspekter	43
4.3.5 Synergieffekter	44
4.4 Kostnader	44
5VAL AV ALTERNATIV	45
5.1 Referenslösningar	45
5.2 Koppling med metalliskt tätningsmaterial	46
5.3 Koppling med elastomer som tätningsmaterial	46
5.4 Presskoppling för PEX och kopparrör	46
5.5 Koppling med grafit som tätning mot rostfritt rör.....	47

6SLUTSATSER	48
7REFERENSER.....	50

1 BAKGRUND, SYFTE OCH UPPLÄGGNING AV ARBETET

1.1 Inledning

Upprinnelsen till denna studie är att presskopplingar börjat marknadsföras i Sverige för fjärrvärmeändamål och att medlemmar inom Svensk Fjärrvärme därmed ställt frågor om dessa komponenter verkligen är lämpliga för fjärrvärmeändamål med hänsyn till de speciella funktionskrav som finns för denna tillämpning.

I en tidigare undersökning som utförts med anledning av detta[1] har behov identifierats av en mera generell inventering av alternativa kopplingar, vilket ledde till det arbete vars resultat redovisas i denna rapport.

1.2 Bakgrund

Enligt en nyligen (halvårsskiftet 2003) presenterad prognos bedömer Svensk Fjärrvärme att fjärrvärmen i Sverige kommer att expandera från för närvarande ca 50 TWh per år till ca 60 TWh per år 2010. Detta motsvarar en årlig tillväxttakt på 2-3 procent. Vidare är många av de befintliga installationerna gamla och behöver underhållas, alternativt ersättas med nya.

Huvuddelen av såväl befintliga som nya rörsystem utgörs av stålrör i längder om 6-12 meter vilka sammanfogats genom svetsning². Runt rören finns isolering samt ett yttre skyddsrör. Svensk Fjärrvärme för en löpande statistik över drifterfarenheterna. Läckage pga dåligt utfört svets- eller lödarbete är försumbart beroende på högt ställda krav på metoder, företag och montörer.

Svetsning är en enkel och tillförlitlig metod som lämpar sig väl för de fall där ledningsdelar inte behöver tas isär. Vid tillämpning för fjärrvärmeledningsändamål har metoden dock ett par påtagliga nackdelar. Eftersom svetsningen ofta måste ske på plats i rörledningsgrav ställs krav på utrymme för svetsaren (alternativt blir arbetsmiljön mindre lämplig³). Vidare finns det inga tillräckligt enkla och tillförlitliga metoder för att medge test av alla svetsfogar (d v s hela fogarna). Kvalitetssäkringen bygger därför huvudsakligen på väl utarbetad metodik samt att arbetet utförs av certifierade svetsare.

² För klenare dimensioner används i dag även lödning (koppar och i undantagsfall rostfritt) och vid lägre temperaturer i kombination med klenare dimensioner även kopplingar för PEX-rör.

³ Svetsning kan också utföras med röret ovanför rörgraven.

Det skulle därför vara önskvärt att hitta en alternativ metodik som är lätt att tillämpa i fält. Det är också önskvärt att den fungerar på ett sådant sätt att resultatet inte blir särskilt beroende av handlaget hos den som utför installationen, utan blir fullgott för varje skarv.

Det finns ett mycket stort utbud av tätningar på marknaden samt ett kanske ännu större antal tillämpningar. Utvecklingen av tätningar har haft en enorm betydelse för den tekniska utvecklingen: Ett exempel på detta är användning i fordon där lager ofta kan förses med smörjmedel som räcker hela bilens livslängd (och där smörjmedlet inte heller blir förstört på grund av inträngande smuts).

Det kunde därför vara frestande att anta att den befintliga svetstekniken lätt skulle kunna ersättas med någon enkel standardmetod och dito standardkomponent.

Det finns emellertid flera skäl för tvekan inför detta. Först och främst ligger fjärrvärmerören i mark med begränsade möjligheter till övervakning, inspektion, förebyggande underhåll och reparation. Vidare är hög leveranssäkerhet utan driftavbrott önskvärt.

Vidare behöver kopplingar i fjärrvärmerör utformas med hänsyn till de mekaniska spänningar som uppkommer i rören till följd av temperaturväxlingar i kombination med mekanisk växelverkan mellan rör och omgivande mark.

Man behöver också tänka på att temperaturen i fjärrvärmeledningen under delar av året kan gå ända upp till 120 °C. Denna temperatur liksom maximitrycket (16 bar) ligger över det som VVS-komponenter behöver klara.

Mot sådana aspekter som alltså behöver beaktas inför en introduktion av nya sätt för hopkoppling av fjärrvärmerör skall ställas den utveckling som skett inom området, särskilt under senare år. Det gäller bland annat utveckling för användning av olika slags kopplingar i off-shore industrin, på kärnkraftverk och i pipe-lines för olja och gas.

1.3 Syfte

Syftet med det i denna förstudierapport redovisade arbetet är att på ett systematiskt sätt inventera möjligheterna till att använda kopplingar för fjärrvärmeändamål. Analysen skall grunda sig på funktionskrav som formuleras.

Inventeringen inkluderar ett antal aspekter som behöver beaktas samtidigt: förläggning (alternativt rörledningsdragning inomhus), åtkomlighet, montage, underhåll, alternativa utformningar av tätningen, alternativa material, åldringsaspekter hos packningsmaterialet samt förändringar i sätesytan (korrosion). Inventeringen skall leda till att ett antal tänkbara lösningar identifieras.

För att dessa lösningar skall kunna värderas och jämföras inför eventuella fortsatta studier identifieras för var och en av dessa lösningar sådana aspekter som behöver beaktas.

Genomgången skall även fånga upp aspekter kring värmegles fjärrvärme samt montage av rörledningar inomhus.

Rapporten avser en förstudie och är därmed högst preliminär. Den ger därför inte några rekommendationer för användning av ena eller andra typen av kopplingar. Däremot identifieras lösningar som har potential att komma till användning efterhand som erfarenhet och kunskap ökar.

1.4 Informationssökningen

Informationssökning avseende kopplingar har utförts genom litteratursökning i vetenskapliga databaser, sökning efter böcker samt sökning efter produkter och tillverkare på internet. Ca 15 böcker gått igenom.

Litteratursökning har utförts inom databaserna Compendex, Entec, Fedrip, Inspec och Pascal med sökordet ”fluid sealing”. Den resulterade i 943 titlar, varav 30 valdes ut för genomläsning av abstracts. Av dessa ledde 12 till beställning av artiklar vilka gick igenom.

Informationssökningen på internet resulterade i nerladdning eller beställning av material från 4 leverantörer av utrustning för förläggning av fjärrvärmerör och från ca 15 leverantörer av kopplingar m m (varav huvuddelen hade flera alternativa lösningar).

Som redan nämnts ovan har referensgruppen bidragit med en hel del värdefulla upplysningar.

2 FJÄRRVÄRME

2.1 Fjärrvärmenät

Alla större städer och de flesta orter i Sverige har i dag fjärrvärme. Värmen överförs med hjälp av varmvatten med en högsta temperatur av 120 °C och ett högsta tryck som uppgår till 16 bar. Den högsta temperaturen uppnås bara när det är som allra kallast på vintern. Många av näten är så dimensionerade att den högsta temperaturen blir betydligt lägre.

Det just angivna högsta trycket avser drifttrycket. Svensk Fjärrvärmes tekniska bestämmelser för kopparrör innefattar också sprängtryck vid 80 bar. Detta gäller även för delar som inte kan beräknas.

Det är inte bara temperaturen i sig som innebär påkänning. Man behöver också beakta att temperaturen ständigt varierar.

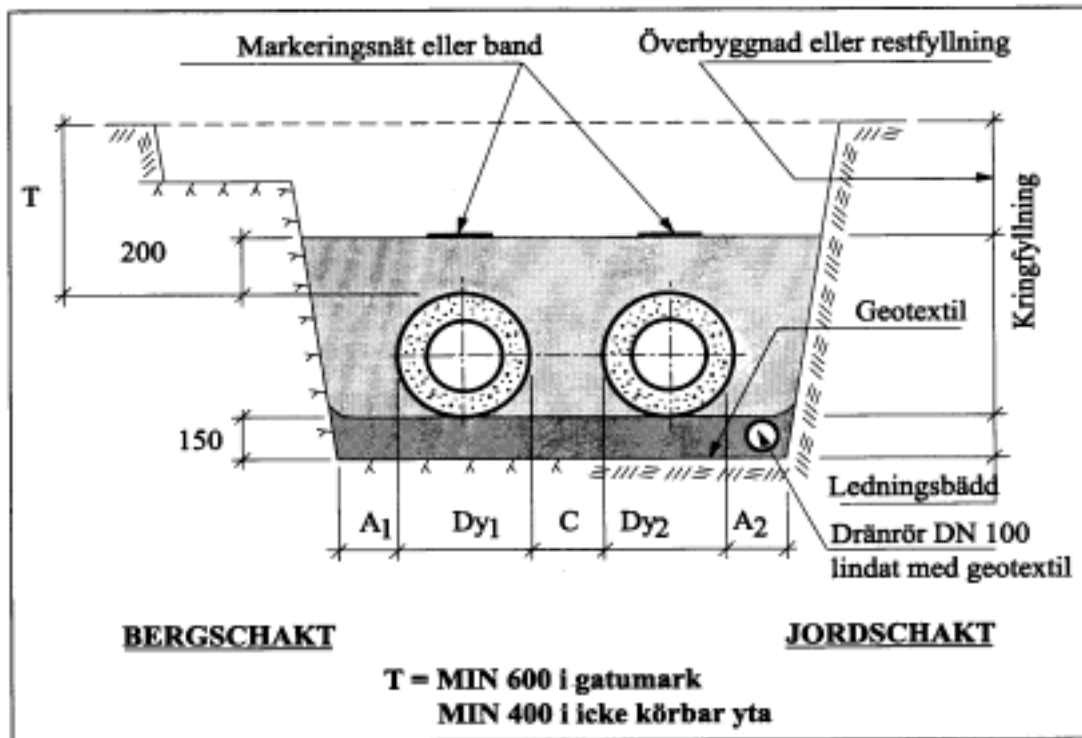
2.2 Förläggning av rör

Hur markanläggningar för fjärrvärmedistribution skall utformas finns beskrivet i Svensk Fjärrvärmes ”Läggingsanvisningar för fjärrvärmerör” [2] samt i AnläggningsAMA 98 [3-4]. Det finns fyra huvudtyper av förläggningssätt⁴, fasta system och flexibla system samt friktionshämmande och komparatorstyrd⁵ förläggning. Vidare finns fjärrvärmerören i två huvudtyper: enkelrör och dubbelrör. En förläggning av enkelrör visas i Figur 1.

Vid fast förläggning skall kringfyllnadsmaterialets egenskaper samt packningen vara sådana att en friktionskoefficient på minst 0,4 säkerställs (vilket svarar mot en friktionsvinkel på 22 grader). Därmed blir friktionen så hög mellan ytterrör och mark att glidning normalt inte uppstår ens för de spänningar som kan uppstå när temperaturen ändras. Ett undantag är rörböjar, där den del av röret som ligger närmast böjen kan komma att glida i förhållande till den omgivande marken. Ytterligare detaljer återfinns i [5] samt i [6-15].

⁴ De fyra förläggningssätten är kanske lite förvirrande: fasta resp flexibla system är egentligen att hänföra till kulverttyp snarare än till läggningssätt. I många system blandas också både fasta och flexibla rör. Ibland talar man också om friktionshämmande och friktionsfixerad förläggning, samt också om kallförläggning som läggningssätt. Friktionsfixerad förläggning innebär att avståndet mellan två expansionsanordningar är så långt att ledningen, utmed en sträcka, är fixerad i marken, d v s ledningen rör sig inte relativt omgivande jord oavsett temperaturvariationer. Friktionshämmande förläggning innebär att avståndet mellan två expansionsanordningar är just så långt att ledningen inte är fixerad i någon del. Vidare kan friktionshämning och friktionsfixering tillämpas såväl för förvärmade som för kallförlagda system. Den viktigaste indelningsgrunden är således varmförläggning respektive kallförläggning.

⁵ Med detta avses fritt upphängda system med expansionsböjar eller kompensatorer.



Figur 1. Fast förläggning med enkelrör. Figur hämtad från [2]. Static design of single pipes inside a trench. The figure is from [2]

2.3 Rödragning inomhus

Från distributionsledningarna dras två rör till varje fastighet. Där värmeväxlas vattnet till ett sekundärsystem i en fjärrvärmecentral. Denna innehåller reglerutrustning så att responsen blir anpassad till efterfrågan. Detta innebär bland annat att varmvattentemperaturen hålls konstant även vid plötsliga på- och avstängningar av varmvattenkranar.

Vid rödragning inomhus monteras rören på ett sådant sätt att de kan expandera i stort sett fritt när temperaturen höjs. Vanligen är rören dragna med den underförstådda förutsättningen att skarvarna hänger ihop mekaniskt ungefär lika bra som själva rören.

2.4 Komponenter

För de grövre dimensionerna används uteslutande stålrör vilka levereras med tillhörande isolering av polyuretanskum (PUR-skum) samt skyddande yterrör. Detta skall hålla tätt gentemot inträngande vatten.

Stålrören skarvas uteslutande genom svetsning. Det är av stor betydelse för tillförlitligheten hos fjärrvärmesystemet att alla skarvar blir och förblir täta. Därför utförs svetsningen enligt noga utarbetade normer och får bara utföras av personer med särskild utbildning och kompetens.

För de klenare dimensionerna under ca 100 mm diameter används även flexibla rör av koppar, rostfritt och polyeten (PEX-rör). Dessa rör levereras i rullar varför antalet skarvar blir betydligt mindre jämfört med stålrören.

Rostfria rör skarvas ofta med bågsvetsning och eventuellt även med hårdlödning. PEX-rör skarvas vanligen med kopplingar av olika slag, men även smältsvetsning kan användas.

Kopparrören skarvas med hjälp av hårdlödning. Kopplingarna kan levereras förberedda med en ring som innehåller en lämplig mängd lod. En korrekt utförd lödd koppling blir i praktiken fullständigt tät (liksom en svetsning) samt mekaniskt lika hållfast som röret i övrigt. Kopparrör kan även skarvas med hjälp av presskopplingar.

2.5 Funktionskrav med mera

Inför identifiering av tänkbara alternativa möjligheter till kopplingar samt inför jämförelser mellan sådana alternativ behöver kopplingarnas tilltänkta funktion preciseras. Denna precisering behöver vara i samklang med beskrivningen ovan (se avsnitten 2.1 – 2.4) om hur fjärrvärmesystem är uppbyggda och fungerar.

Följande krav har identifierats i [1] och är lämpliga att tillämpa även i föreliggande arbete:

Under givna förhållanden skall presskopplingar uppfylla följande:

- 1 De skall vara vattentäta samt täta gentemot indiffusion av syre
- 2 De skall vara tillräckligt mekaniskt stabila
- 3 De skall inte ändra sin geometri i grad av betydelse
- 4 De skall motstå fastställda tryck
- 5 De skall vara inspekterbara i därför avsedda punkter
- 6 De skall behålla dessa egenskaper under en garanterad livslängd

Kraven enligt punkterna 1-3 skall ges numeriska värden.

Med "givna förhållanden" avses följande:

- A Möjliga förekommande temperaturer samt förändringar i temperatur
- B Möjliga förekommande mekaniska laster
 - a genom mediaröret
 - b genom påverkan från mediat i röret
- C Möjliga förekommande kemiska förhållanden
 - a vattenkemi
 - b luft och ytterytor
 - c galvaniska effekter
- D Möjliga förekommande vagabonderande elektriska strömmar

Det är också ett mycket starkt önskemål att beroendet av den mänskliga faktorn i samband med montage reduceras till ett absolut minimum. Montaget i fråga bör sålunda ske mot ett mekaniskt stopp eller till ett givet moment, oberoende av yttre faktorer.

Inga åtgärder – t ex inspektion eller efterdragning – skall förekomma efter förläggningen.

3 OM KOPPLINGAR

3.1 Inledning

Det finns många tänkbara indelningsgrunder för kopplingar, t ex: typ av tillämpning, typ av geometrisk utformning, typ av material för tätning, stationär eller rörlig genomföring, o s v. I många fall går dessutom de olika lösningarna i varandra, till exempel när man förser en fläns med ett spår för en gummiring. Det går väl knappast att avgöra om det då handlar om ett o-ringförband eller ett flänsförband.

I avsnitt 3.2 görs först en genomgång av de olika typerna av kopplingar efter i huvudsak geometriska kriterier. Detta svarar mot den indelning som görs i de olika böckerna i referenslistan[16-22]. I avsnitt 3.3 redovisas sedan funktionssätt hos kopplingar. Eftersom dessa hänger nära samman med korrosionsfrågor och materialfrågor redovisas dessa i de nästkommande avsnitten.

Detta innebär bland annat att denna rapport i stort sett bara redovisar statiska förband. Här skiljer sig framställningen mot den gängse i litteraturen som företrädevis uppehåller sig kring vad man kan kalla dynamiska förband, d v s kopplingar i vilka komponenter rör sig i förhållande till varandra.

En annan viktig indelning avser om det uppkommer vad man skulle kunna kalla permanenta kemiska bindningar i gränsytan eller inte. Detta är fallet vid svetsning och hårdlödning med metall. Det finns också metodik för att svetsa samman rör av vissa polymera material.

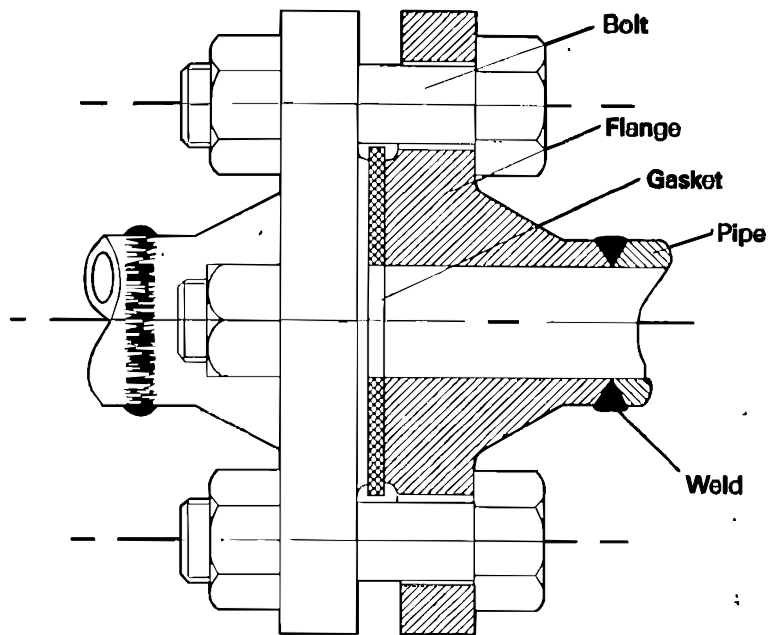
I nästa avsnitt kommer olika utformningar av olika typer av kopplingar att beskrivas: flänsförband, o-ringförband, kompressionskoppling, presskoppling och ett antal olika speciallösningar.

3.2 Olika typer av förband

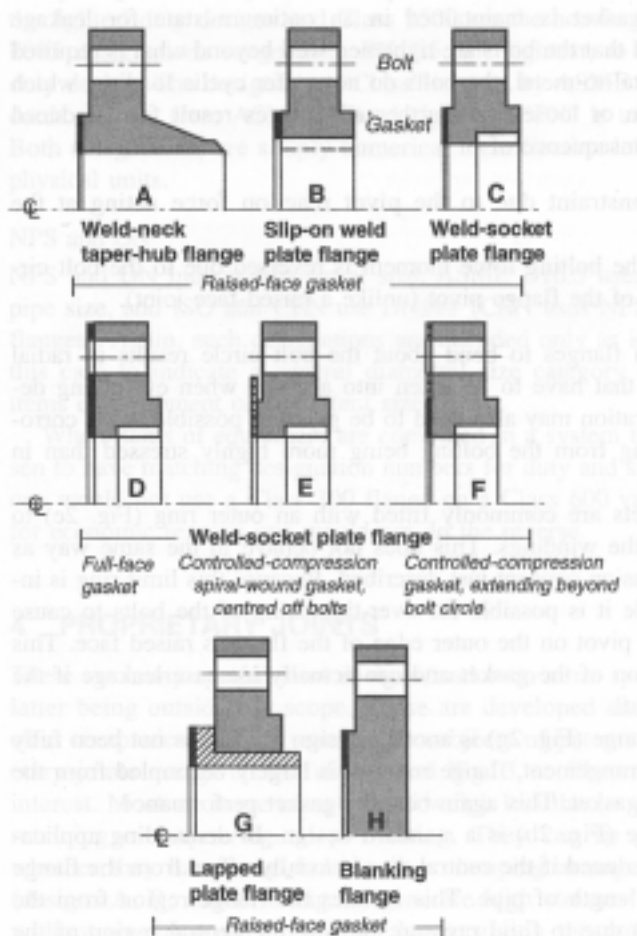
3.2.1 Flänsförband

Ett flänsförband består av skivor, flänsar, med en ofta plan packning emellan. Förbandet hålls samman med till exempel skruvar. Flänsarna är ofta fogade till rören med svetsförband. Typiska arrangemang visas i Figurerna 2 och 3.

I ett ”traditionellt” flänsförband styrs trycket mot packningen av hur skruvarna dragits samt av dessas mekaniska egenskaper. Längre skruvar ger exempelvis ett större intervall över vilket packningens tjocklek kan variera.



Figur 2. Ett typiskt flänsförband enligt [16]. *A typical flange assembly according to [16].*



Figur 3. Exempel på packningsarrangemang med standardflänsar enligt [17]. *Examples of packing arrangements with standard flanges according to [17].*

Ofta ingår stödringar i packningens ut- och insida som begränsar trycket som kan verka på det aktiva packningsmaterialet mellan dessa ringar. Alternativt kan flänsförbandet vara så utformat att packningen inte kan tryckas samman under en viss tjocklek.

Traditionellt används flänsförband i anläggningar i de fall där ingen rörelse skall överföras men där förbandet skall kunna tas isär, t ex i samband med förebyggande underhåll av en komponent. (Rörfogningar som inte skall tas isär svetsas ofta.)

Flänsar och packningar finns att köpa som standardkomponenter i ett stort antal utföranden och material som passar starkt varierande behov inom t ex den kemiska processindustrin.

3.2.2 O-ringförband

Ett o-ringförband består typiskt av en ring av en elastomer med cirkulärt tvärsnitt som placerats i ett spår och som ligger an mot den yta mot vilken tätning skall ske. Tätningen sker vanligen axiellt eller radiellt, se Figur 4, men kan även ske mot till exempel ett fasat hörn, se Figur 5. Det senare arrangemanget är dessutom utformat för att ge skydd mot utblåsning.

O-ringarrangemang hålls samman med skruvar eller dylikt. Geometrin för o-ringen ges dock av utformningen och inte av hur skruvarna dras. Anliggningsyta och anliggningstryck ges av geometrin, det hydrostatiska trycket och de elastiska egenskaperna hos o-ringen. I Figur 6 visas hur en o-ring i ett förband deformeras till följd av det hydrostatiska trycket.

Traditionellt används o-ringar för tätningar i vilka det också skall pågå rörelser. Ett alldagligt exempel är o-ringtätningen som finns i armaturen ("kranen") till en diskbänk. Den kan ju vridas samtidigt som vattnet rinner. Efterhand har det emellertid blivit vanligt att utföra även stationära tätningar i form av o-ringförband.

Man behöver dock noga hålla reda på vilken applikation som avses. Ytor som är i kontakt med o-ringar under rörelse håller sig också rena vilket innebär att tätningsfunktionen bibehålls. Motsvarande gäller för rent statiska förband. Däremot uppstår gärna läckage om ett förband som varit stationärt plötsligt används i samband med rörelse. Då kan läckage uppstå exempelvis genom att o-ringen kommer att ligga an mot oxiderade ytor med ojämn ytstruktur.

O-ringförband är lämpliga vid applikationer där kopplingen behöver tas isär då och då. Det rekommenderas att o-ringen byts varje gång detta sker.

O-ringar och färdiga säteskomponenter som kan sammanfogas med till exempel rör finns att köpa som standardkomponenter i ett stort antal utföranden och material som passar starkt varierande behov inom t ex den kemiska processindustrin.

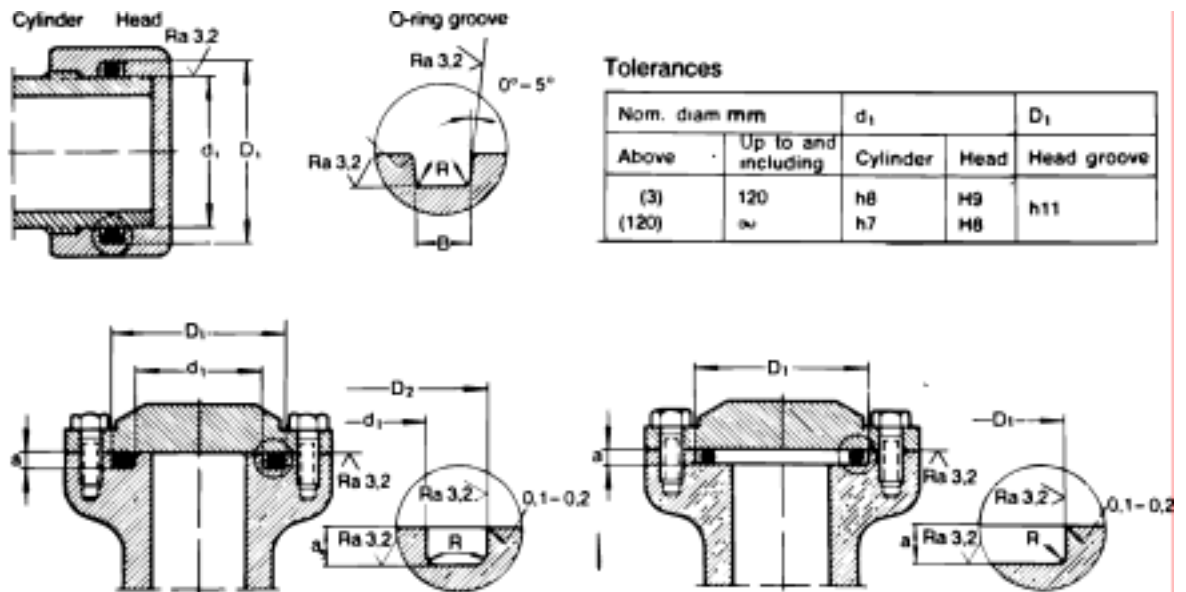


FIGURE 19
O-ring static seals – dimensional standards and tolerances

Figur 4. Typisk utformning av o-ringförband enligt [18]. Den vänstra bilden visar axiell tätning och den högra radiell tätning. Typical o-ring arrangements according to [18]. Left axial sealing, right radial sealing.

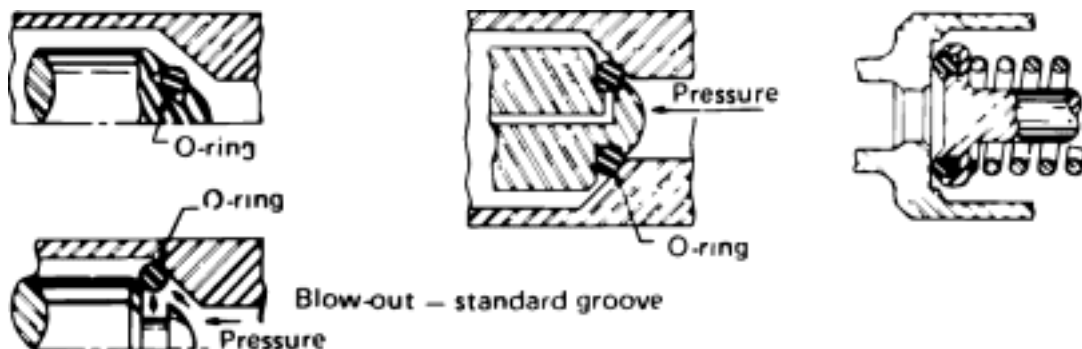


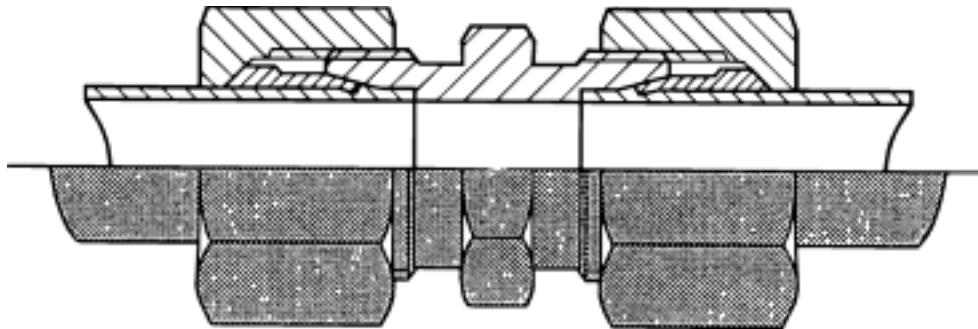
Figure 5. Sned o-ringtätning som ger skydd mot utblåsning (blow-out), enligt [18]. O-ring seal applied at an angle and which gives protection against blow-out, according to [18].



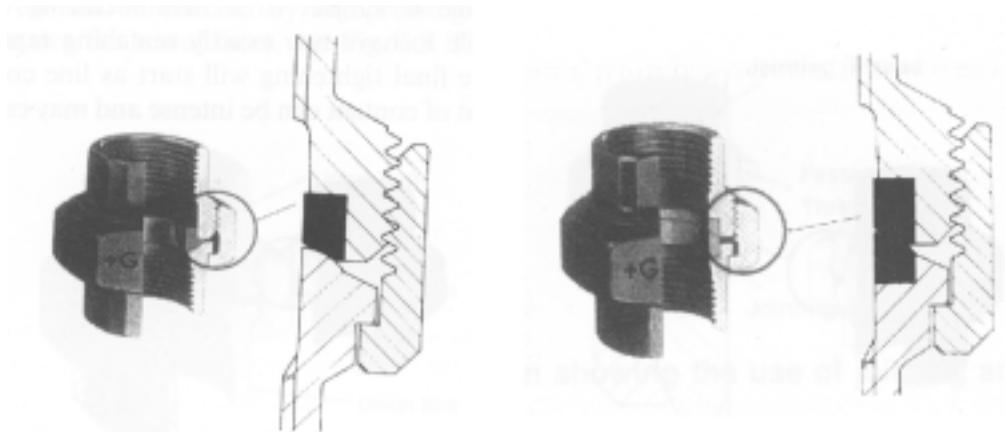
Figure 6. Deformation av en o-ring till följd av det hydrostatiska trycket enligt [18]. Deformation of an o-ring as a result of the hydrostatic pressure according to [18].

3.2.3 Kompressionskopplingar och presskopplingar m m

Namnet ”kompressionskopplingar” i rubriken svarar mot engelskans ”compression fitting” som dock används lite olika i olika böcker. Under ovanstående rubrik hanteras i denna rapport kopplingar som innehåller sådana packningar och / eller sådant rörmaterial som deformeras i huvudsak plastiskt, men där det när kopplingen är etablerad finns en kvarstående elastisk deformation som säkerställer fortsatt kontakt mellan ytorna.



Figur 7. *Kompressionskoppling enligt [16] i vilken deformation av röret bidrar till tätningen. Compression fitting according to [16] in which deformation of the pipe contributes to the sealing.*

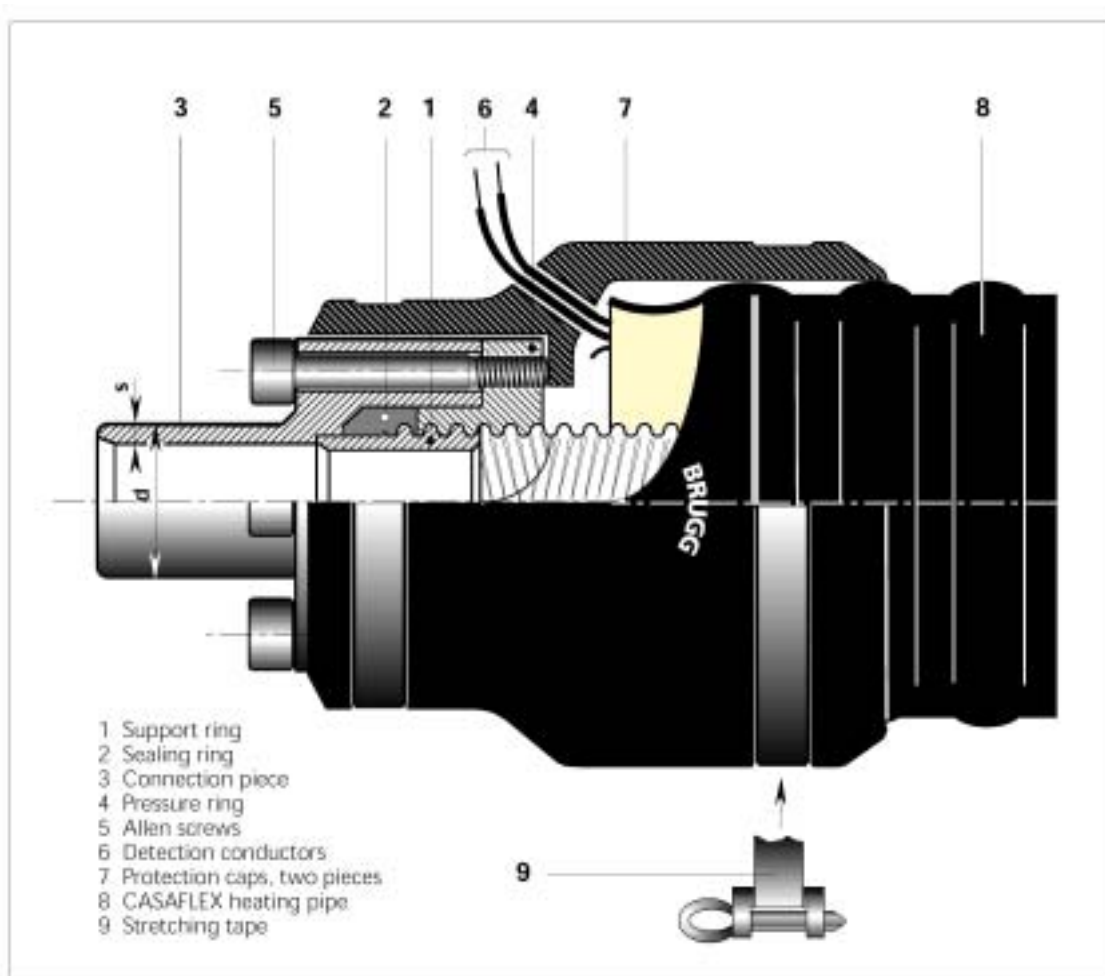


Figur 8. *Kompressionskoppling i vilken deformation av bronsmetall bidrar till tätningen: (a) brons mot järn och (b) brons mot brons. Enligt [16]. Compression fitting in which deformation of bronze metal contributes to the sealing: (a) bronze against iron and (b) bronze against bronze. According to [16].*

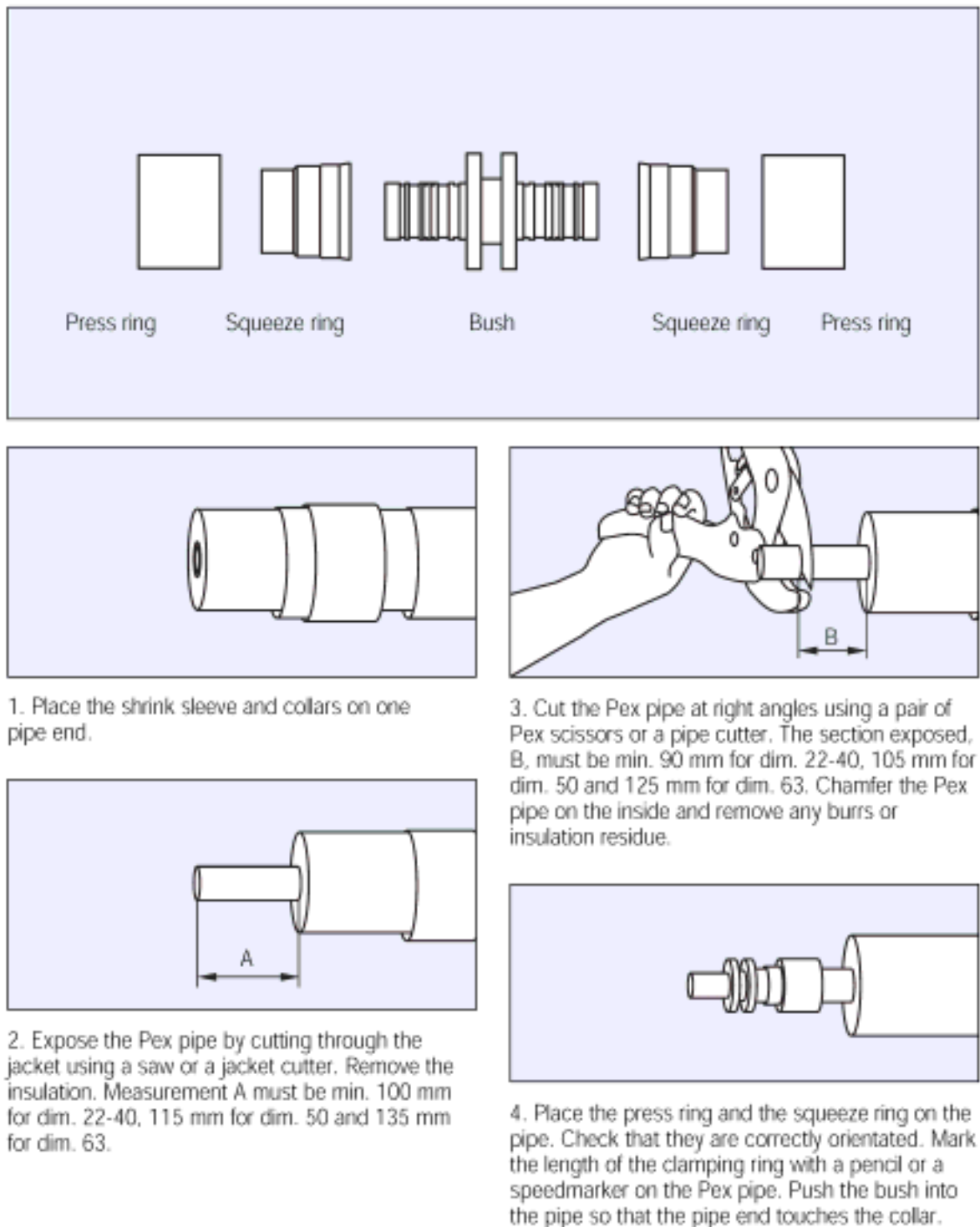
Med denna definition innefattas många vanliga kopplingar som används av rörmokare i samband med fastighetsbyggnation i vilka ringar av polymert material, se Figur 7, eller en bronslegering, se Figur 8, deformeras när kopplingen skruvas samman.



Figur 9. Grafitbaserad packning med säte, enligt [18]. Graphite-based packing assembly according to [18].



Figur 10. Grafitbaserad packning för fjärrvärmerör med helixkorrugerat rostfritt stål. Casaflex som marknadsförs av Powerpipe. Graphite based seal for district heating pipes with helix corrugated stainless steel. Casaflex which is marketed by Powerpipe.



Figur 11. Exempel på presskoppling för PEX-rör. En liknande koppling finns även för kopparrör. Illustration från Lögstör. An example of a press fitting for PEX pipes. There is also a similar fitting for copper pipes. Illustration from Lögstör.

Deformationen erhålls ofta genom att ett skruvförband dras, så som i Figur 7. Graden av deformation som erfordras varierar med tätningens konstruktion. Bronskopplingar enligt Figur 8 fordrar liten deformation medan det för grafitpackningar ibland kan vara lämpligt att deformera tills utrymmet för packningen fyllts fullständigt. Ofta handlar det om att känna när den plastiska deformationen börjar och att sedan fortsätta tills en viss lämplig grad av deformation erhållits. Ibland kan packningen vara konstruerad på ett sådant sätt att en visuell indikation erhålls när dragningen är lagom.

Även grafitbaserade kopplingar för kvalificerade högtemperaturtillämpningar kan betraktas som en kompresionskoppling, se Figur 9. Grafitbaserade kopplingar ingår även i Powerpipes sortiment (Casaflex) och används för hopkoppling av fjärrvärmerör med spiralkorrugerat rostfritt stål, se Figur 10.

I vissa kopplingar är det själva röret som deformeras så att man får en god anliggning. Exempel på utförande enligt denna princip visas i Figur 11.

Det är också möjligt att deformera det kopplingsmaterial som ligger runt packningen och i ett sådant fall talar man om en presskoppling.

Material som brons och grafit har en hög beständighet och kopplingar med dessa material klarar höga temperaturer. De är därför vanliga i ång- och hetvattensystem.

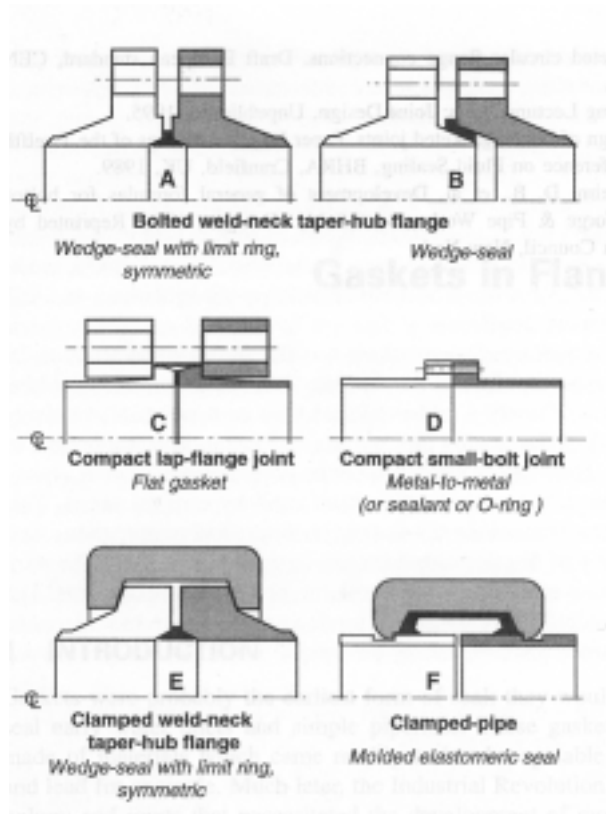
Även skruvkopplingar räknas in under rubriken ovan (se det inledande stycket). Här förses gängen eller området närmast gängen med något lämpligt material som flyter eller deformeras plastiskt när gängorna dras.

3.2.4 Specifika utformningar

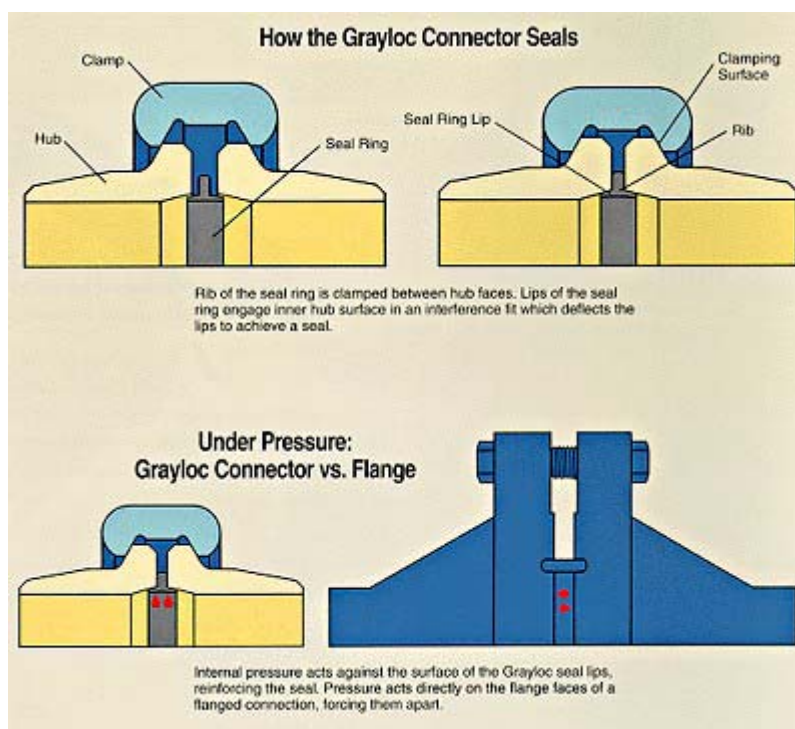
De utformningar som beskrivits i avsnitten 3.2.1 – 3.2.3 ovan är generella och ingår i produkter från många leverantörer. I vissa fall är emellertid utformningen mera specifik och exempel på sådana konstruktioner visas i Figur 12. Var och en av dessa lösningar tillhandahålls bara av någon enstaka tillverkare och skyddas ofta också av patent.

Utformningarna enligt A (med skruvförband) och E (med klämring) i Figur 12 tillverkas av Grayloc och en mera detaljerad redovisning återfinns i Figur 13. Tätningsringens placering innebär att den pressas mot ”sätet” både av det tryck som skruvförband respektive klämring åstadkommer och av det hydrostatiska trycket. Tätningsringen är tillverkad av metall.

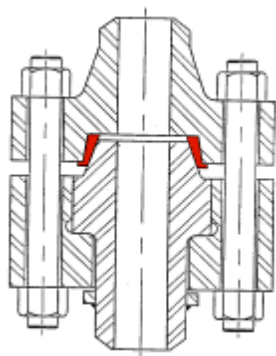
Utformningen enligt Graylock är lämplig bland annat för rörledningar och används inom gas-, olje- och processindustrin samt för energiproduktion. Enligt tillverkaren har kopplingen använts i över 40 år och är lämplig att använda även för de fall när rörledningen utsätts för drag-, tryck- eller böjpåkänningar.



Figur 12. Exempel på leverantörsspecifika utformningar, enligt [17]. Proprietary joint designs, according to [17].



Figur 13. Utformning enligt Graylock med skruvförband respektive klämring. Design according to Greylock with screwed and clamped limit rings, respectively.



Figur 14. *Utformning enligt Taper-Lok med snedställd tätning. Design according to Taper-Lok with inclined seating of the seal.*

Utformningarna enligt B i Figur 12 tillverkas av Taper-Lok och en mera detaljerad redovisning återfinns i Figur 14. Arrangemanget i figuren tål en avvikelse på upp till en grad mellan de rör som fogas samman. Taper-Lok tillhandahåller också en koppling som medger upp till 10 graders skillnad i riktning mellan rören. I det senare fallet är anliggningsytorna sfäriska. Tätningsringar och flänsar är tillverkade i samma metalliska material.

Taper-Lok kopplingar används företrädevis inom off-shore industrin och andra krävande tillämpningar för fogning av bland annat rör av grövre dimensioner. Enligt tillverkaren finns en samlad erfarenhet av användning som uppgår till 350 miljoner timmar med efterföljande trycktest vid 285 bar. Tillverkaren anger också att kopplingen klarar olika typer av laster såsom dynamiska laster och laster av sådan typ som kan ge upphov till utmattnings. Ett exempel på typ av last som kan förekomma är att ett ankare från ett fartyg får fäste i ledningen.

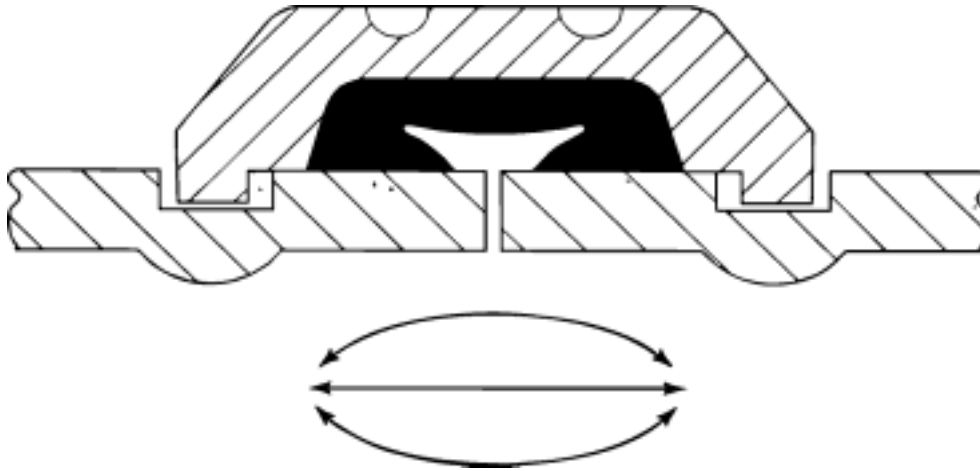
Utformningarna enligt F i Figur 12 tillverkas av Tyco och Victualic och en något mer detaljerad beskrivning ges i Figur 15. Tätningen sker med hjälp av en ”packning” (svart i figuren) av ett gummi (tvärbunden elastomer) i kombination med en klämring som skruvas samman. Klämringen greppar i ursparningar i röret vilket dels medger viss vinkling av de anslutande rören, dels hindrar alltför stora rörelser. Klämringen är utförd i ett gjutstål.

Rörelsebegränsningen kan utformas på lite olika sätt. I Figur 16 visas ett arrangemang med dubbla spår i rören avsett för stålror med höga tryck, och i Figur 17 visas ett arrangemang för polyetenrör.

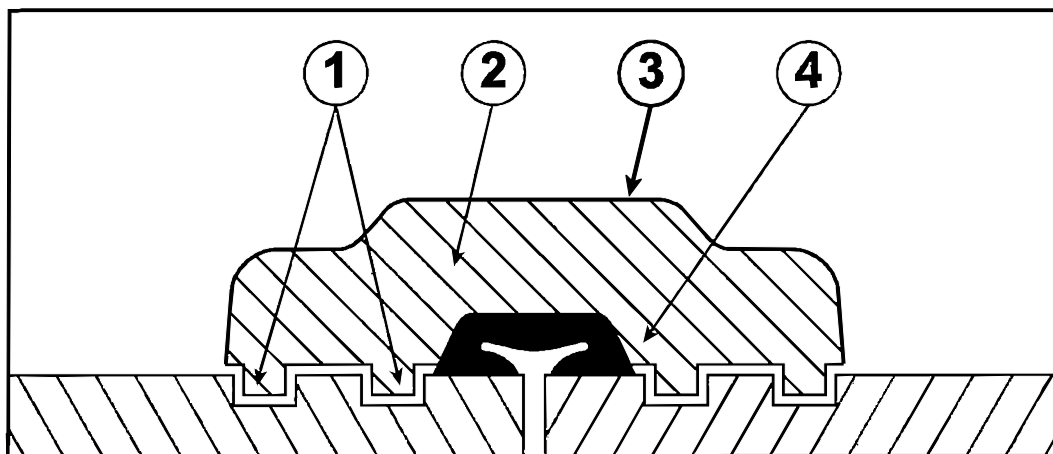
”Packningen” tätar genom en kombination av det tryck mot ”sätet” som uppkommer genom montage och det hydrostatiska trycket.

Kopplingar enligt Tyco och Victualic används bland annat i energisystem, brandskyddsinstallationer, gruvor och tunnlar samt industri. De är särskilt attraktiva för

temporära uppställningar, till exempel för brandbekämpning eller snötillverkning, eftersom hopfogningen går mycket snabbt att utföra.

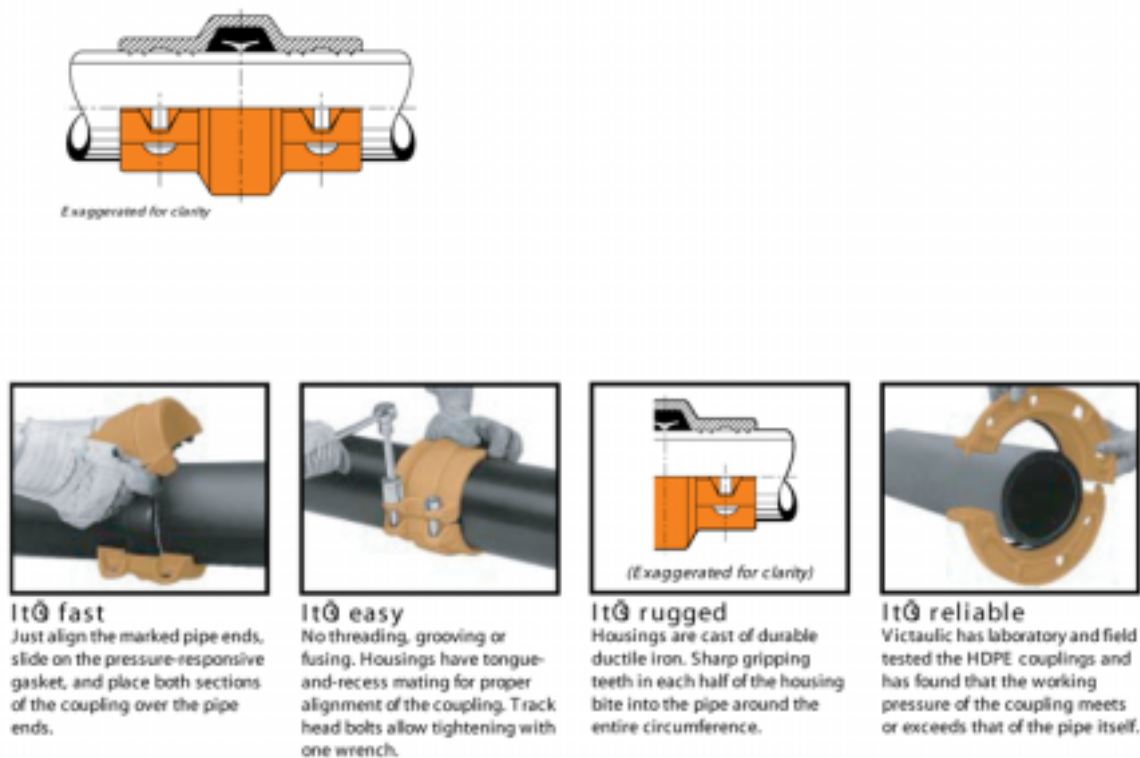


Figur 15. *Utformning enligt Tyco och Victualic. Design according to Tyco and Victualic.*

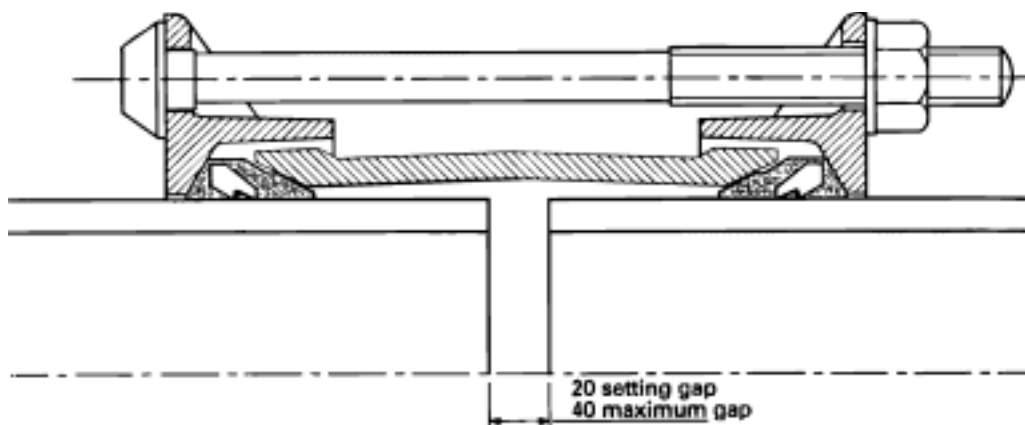


Exaggerated for clarity

Figur 16. *Utformning enligt Tyco och Victualic med dubbla spår i rören avsett för stålrör med höga tryck. Design according to Tyco and Victualic with double grooves in the pipes intended for steel pipes having a high pressure.*



Figur 17. Utformning enligt Tyco och Victaulic avsedd för polyetenrör. Design according to Tyco and Victaulic intended for polyethylene pipes.



Figur 18. Utformning enligt Viking Johnson, från [16]. Design according to Viking Johnson, from [16].

En något besläktad typ av koppling tillhandahålls på marknaden av Viking Johnson, se Figur 18. Kopplingen består av två packningar, två metallringar, en manschett samt ett antal förbindningsskruvar. Alla delar är tillverkade av metall.

Kopplingen är utformad på ett sådant sätt att den både kan ta upp axiella rörelser samt förskjutningar i vinkel som förekommer i markförlagda system. För system ovan mark krävs eventuellt viss stabilitet i montaget för att ta upp de påkänningar som kan uppstå till följd av det hydrostatiska trycket. (Dessa tenderar ju till att dra isär kopplingarna). Det finns (enligt tillverkaren) komponenter som passar för vatten upp till ca 200 °C och 100 bar.

Kopplingen används för rörledningar med bland annat vatten, gas, olja och kemikalier.

3.3 Funktionssätt

Många problem i anläggningar uppkommer därför att det finns en otillräcklig respekt och förståelse för hur kopplingar egentligen fungerar i olika avseenden. Naturligtvis kan man i många fall – precis som i industrialismens barndom – gå runt i sin anläggning med jämna mellanrum och dra de packningar som börjat läcka. Moderna arbetssätt utgår emellertid från att en hög tillförlitlighet byggs in från början och att funktionen således kan bedömas i förväg (prognosticeras). Detta är också grunden för förebyggande underhåll vilken har som utgångspunkt att de oplanerade åtgärder som behöver göras mellan revisionerna skall vara få.

Grunden för en tätning ligger i att de ytor mellan vilka man tätar kan ligga i så nära kontakt mellan varandra att flödet genom de ojämnheter som ändå finns kvar blir obetydligt. Situationen blir olika beroende på om det är rörelse genom en tätning eller inte. Frågan har av naturliga skäl fått störst uppmärksamhet i samband med dynamiska tätningar där spaltvidden styrs av hur plana ytorna är samt ytfinheten. Som bäst räknar man med att spaltvidden är ca 0,01 millimeter[17].

För statiska kopplingar kan vidden vara betydligt mindre. Detta gäller under förutsättning av att ingen rörelse sker i tätningen i fråga. Om sådana ändå uppkommer kan spaltvidden i ett statistiskt förband inte sällan bli stort om ytorna inte längre passar så bra ihop i den nya geometrin.

Liksom i alla andra strömningssammanhang styrs gränsen mellan turbulent och laminärt flöde av Reynolds tal. Detta definieras av:

$$\text{Reynolds tal} = \frac{2 * \text{medelflödes hastigheten i spalten} * \text{spaltvidden}}{\text{kinematiska viskositeten}}$$

Mätningar visar att flöden i trånga spalter ofta blir turbulenta när Reynolds tal överstiger värdet 2 000 – 4 000 [17]. För ojämna ytor kan dock turbulent flöde inträffa redan vid värden kring 500 – 1 000. Detta innebär att flödet i mycket trånga spalter, d v s kring 0,01 mm, i praktiken alltid är laminära, i vart fall för vätskor.

För laminära flöden i en ideal planparallell spalt gäller följande

$\text{Flödet} = \text{tryckskillnaden} * \text{bredden} * \text{vidden}^3 / (12 * \text{dynamiska viskositeten} * \text{djupet})$

(Strömningen antas ske från ytan mot djupet i spalten).

Detta innebär – allt annat lika – att flödet genom en tätning är lika med spaltvidden gånger sig själv tre gånger. Spaltvidden har alltså en utomordentligt stor betydelse för flödets storlek.

Det finns faktiskt speciella tätningar som inte innehåller något särskilt packningsmaterial alls utan som enbart grundar sig på att ytorna som tätar mot varandra har en tillräckligt liten spalt mellan sig (se alternativ D i Figur 12, som marknadsförs av Verax).

Slutsatsen är alltså att en koppling är tät så länge som

- den effektiva spaltvidden är liten,
- inga vattengenomsläppliga skikt bildas på någon yta, och
- (mera hypotetiskt) inga av ingående material blir genomsläppliga för vatten

Den effektiva spaltvidden styrs i sin tur av tre storheter:

- planheten mellan ytorna
- deformerbarheten
- applikationstrycket

I litteraturen om nötning[23] har man anledning att beakta hur stora delar av anliggande ytor som är i egentlig materialkontakt. Där räknar man med att kontaktytan är approximativt proportionell mot det tryck som appliceras. Samma sak gäller för planhet, d v s en dubbelt så plan yta ger en dubbelt så stor materialkontakt. De spalter som kan tänkas medge flöde torde minskas på motsvarande sätt.

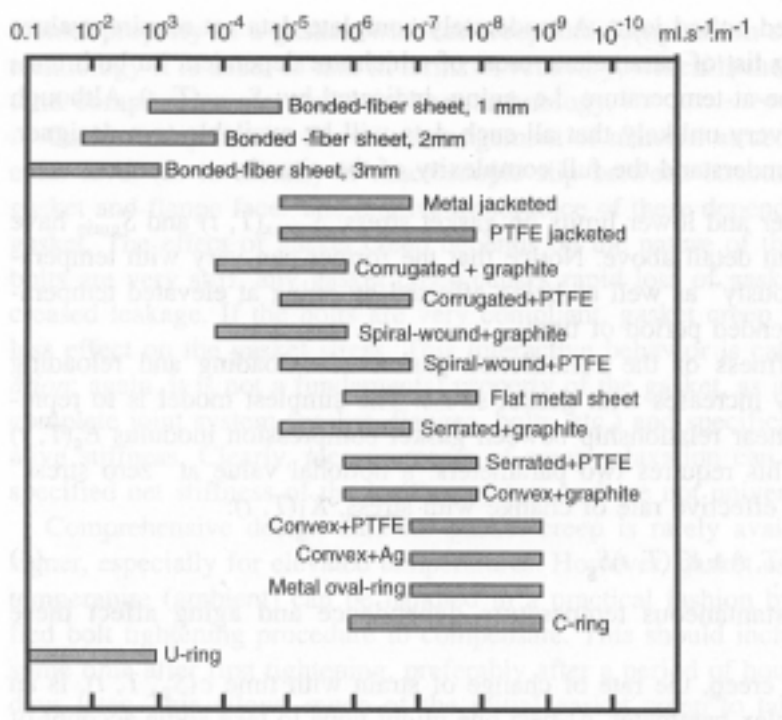
I kopplingar arbetar man med alla tre av dessa parametrar, vilket vanligen innebär:

- plana ytor i sätena
- deformerbara material i packningarna
- trycksättning av packningen mot sätet under samtliga driftsbetingelser

Av ovanstående skulle man lätt kunna tänka sig att en tyngdpunkt i provningsmetoder och tester för kopplingar ligger i läckagemätningar och att tillverkare konkurrerar om att kunna redovisa de komponenter som ger de tätaste kopplingarna. I verkligheten anges sällan läckageflöden, inte ens för mekaniska tätningar[17]. Skälet för detta är dels att en koppling kan vara tät när den är ny och när den testas under stationära betingelser vid rumstemperatur utan att för den skull nödvändigtvis vara det under verkliga driftsbetingelser, dels att den traditionella dimensioneringen av flänsförband utgått från att en packning skall ha ett visst tryck som ges av packningens karakteristika samt det hydrostatiska trycket.

Det senare återfinns sedan ca 50 år i ASME:s standarder för tryckkärl. Nyligen har emellertid ett utvecklingsarbete bedrivits med syfte att få fram mera läckagebaserade kriterier för kvalitetsangivelser och dimensionering[19]. I detta sammanhang har ett standardläckageflöde definierats. Detta avser högsta acceptabla värde för det normala läckaget från en packning. Detta uppgår till ca 1,7 gram per cm packning per dag. Det bör redan nu noteras (jfr avsnitt 4) att sådana nivåer hos läckage rimligen är helt oacceptabla i fjärrvärmenät.

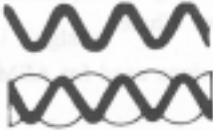
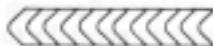
Det förekommer emellertid stora skillnader i läckaget mellan olika packningar. Detta finns illustrerat i Figur 19. Notera att spridningen för en viss packningstyp uppgår till ett par storleksordningar. Ibland är spridningen större, och skälen för detta är delvis okända.



Figur 19. Typiska storleksordningar för läckaget från packningar per diameterenhet enligt [17]. Typical orders of magnitude of gasket leak rate per unit diameter according to [17].

Att en koppling kan fungera på olika sätt vid olika temperaturer och efter olika tider med mera är av utomordentligt stor betydelse för den tilltänkta funktionen inklusive en hög tillförlitlighet. Därför är de i hög grad ett antal egenskaper hos ett packningsmaterial som man är intresserad av. Dessa hänger intimt samman med hur tätningen har åstadkommits i detalj.

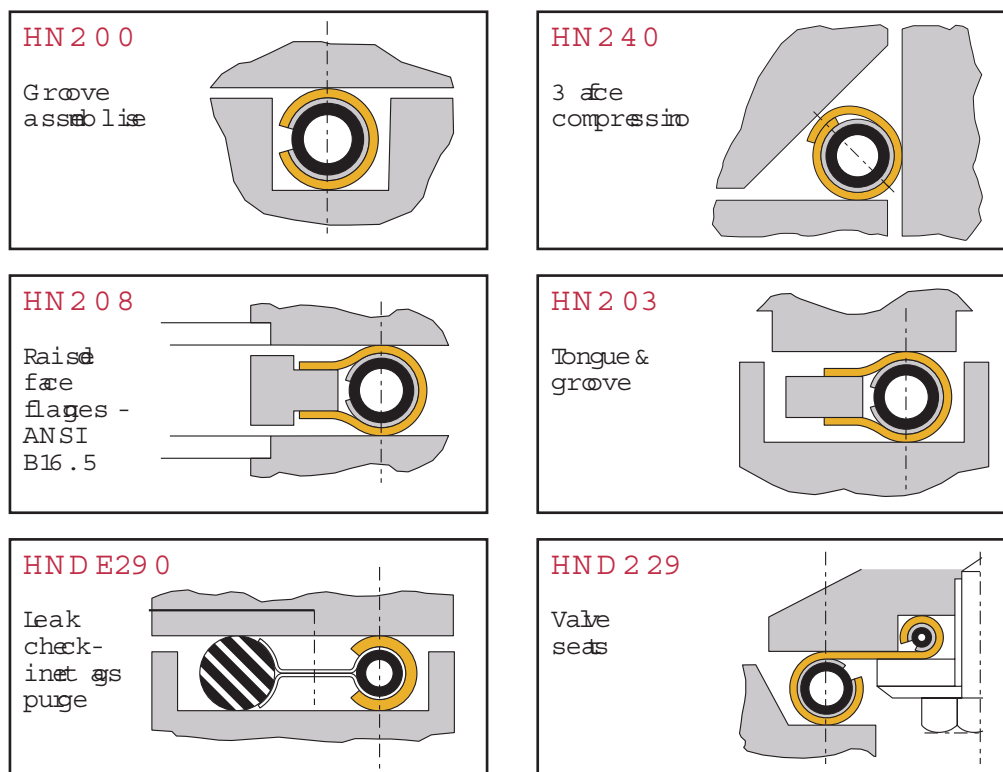
TABLE 3.1 Typical Gasket Designs and Descriptions

Type	Cross section	Comments
Flat		Basic form. Available in wide variety of materials. Easily fabricated into different shapes.
Reinforced		Fabric- or metal-reinforced. Improves torque retention and blowout resistance of flat types. Reinforced type can be corrugated.
Flat with rubber beads		Rubber beads located on flat or reinforced material afford high unit sealing pressure and high degree of conformability.
Flat with metal grommet		Metal grommet affords protection to base material from medium and provides high unit sealing stress. Soft metal wires can be put under grommet for higher unit sealing stress.
Plain metal jacket		Basic sandwich type. Filler is compressible. Metal affords protection to filler on one edge and across surfaces.
Corrugated or embossed		Corrugations provide for increased sealing pressure and higher conformability. Primarily circular. Corrugations can be filled with soft filler.
Profile		Multiple sealing surfaces. Seating stress decreases with increase in pitch. Wide varieties of designs are available.
Spiral-wound		Interleaving pattern of metal and filler. Ratio of metal to filler can be varied to meet demands of different applications.

Figur 20. Alternativa utformningar av packningar för flänsförband enligt [19]. Alternative designs of packings for flange couplings according to [19].

Även om grunden enligt ovan är enkel – plan yta i sätet, deformation av det tätande materialet mot denna yta samt anliggning – kan dessa grundförutsättningar åstadkommas på ett antal olika sätt.

I ett flänsförband (se Figur 2) finns det numera ofta begränsningsringar av metall på inner- och ytersidorna vilka säkerställer att packningsmaterialet i mitten inte trycks in alltför mycket. En lämplig anliggning mellan flänsarna och det tätande materialet i packningen säkerställs genom dragning av skruvarna. Inspänningen kommer dock inte att vara konstant över förbandets drifttid. Den initialt torra packningen kommer att ta upp vätska och ge ett ökat tryck mot flänsarna. När temperaturen höjs kommer materialen att utvidga sig. Detta kan innebära att packningen lämnar från sig en del av den vätska som absorberas.



Figur 21. Några utförandeformer för metalliska tätningar från Helicoflex. *A few designs of metallic seals from Helicoflex.*

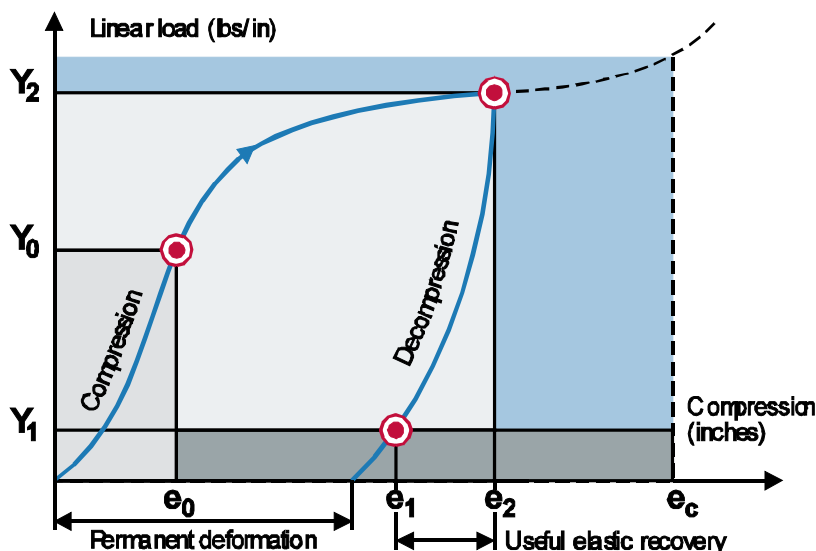
Åldringseffekter i packningsmaterialet kan vidare innebära att det tryck som den utövar på flänsarna minskar med tiden. Temperatursänkningar kan ge upphov till ett reducerat tryck av tätningsmaterialet i packningen mot flänsarna. Om dimensioneringen inte är rätt kan detta innebära att trycksättning förloras och förbandet börjar läcka. Detta kan inträffa även om bultarna är under dragspänning och flänsarna utövar ett tryck mot distansringarna.

Det är också tänkbart att tätningsmaterialet tar upp gas som finns löst i vätskan, och att denna gas frigörs vid trycksänkning. En liknande effekt kan erhållas om drifttemperaturen ligger högre än kokpunkten för det trycksatta mediet vid atmosfärstryck.

I ett o-ringförband är det o-ringen som både deformeras mot sätet och som åstadkommer det tryck som behövs. Därför är en korrekt geometrisk utformning av o-ringsäten av mycket stor betydelse. Här skall ju hela tiden deformationsegenskaper gentemot sätet och tryckegenskaper stämma för aktuella temperaturer och tryck, även efter lång tid. Man räknar med att en o-ring inte får tryckas samman mer än 35 % räknat på diametern.[19] Som närmare kommer att redovisas i nästföljande avsnitt (3.4) varierar särskilt polymerers egenskaper påtagligt med i synnerhet temperatur men även deformationshastighet.

Original test of the Figure: The resilient characteristic of the Helicoflex' seal ensures useful elastic recovery during service. This elastic recovery permits the Helicoflex' seal to accommodate minor distortions in the flange assembly due to temperature and pressure cycling. For most sealing applications the Y_0 value will occur early in the compression curve and the Y_1 value will occur near the end of the decompression curve.

The compression and decompression cycle of the Helicoflex' seal is characterized by the gradual flattening of the compression curve. The decompression curve, which is distinct from the compression curve, is the result of a hysteresis effect and permanent deformation of the spring and jacket.



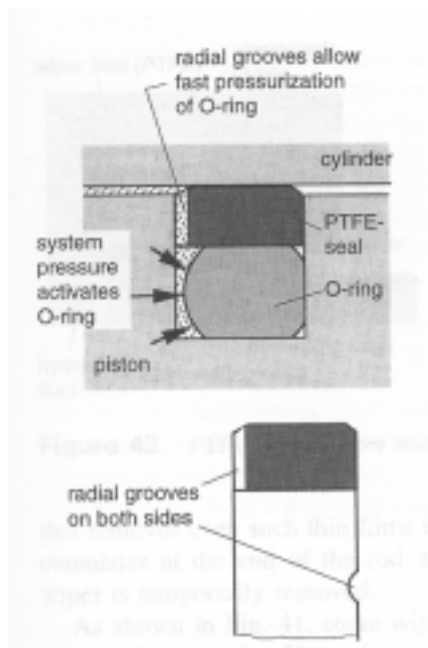
Figur 22. Deformationsegenskaper för metalliska tätningar från Helicoflex. Deformation properties of metallic seals from Helicoflex.

I många fall anpassar man utformningen av tätningskomponenten efter dessa krav på funktion även under varierande betingelser. Packningar kan tillverkas som en komposit med veckad plåt som är orienterad på ett sådant sätt att anliggningsstrycket mot flänsen säkerställs. Packningar av detta slag tillverkas av bland annat Flexitallic. Ett antal olika förekommande utförandeformer för packningar visas i Figur 20.

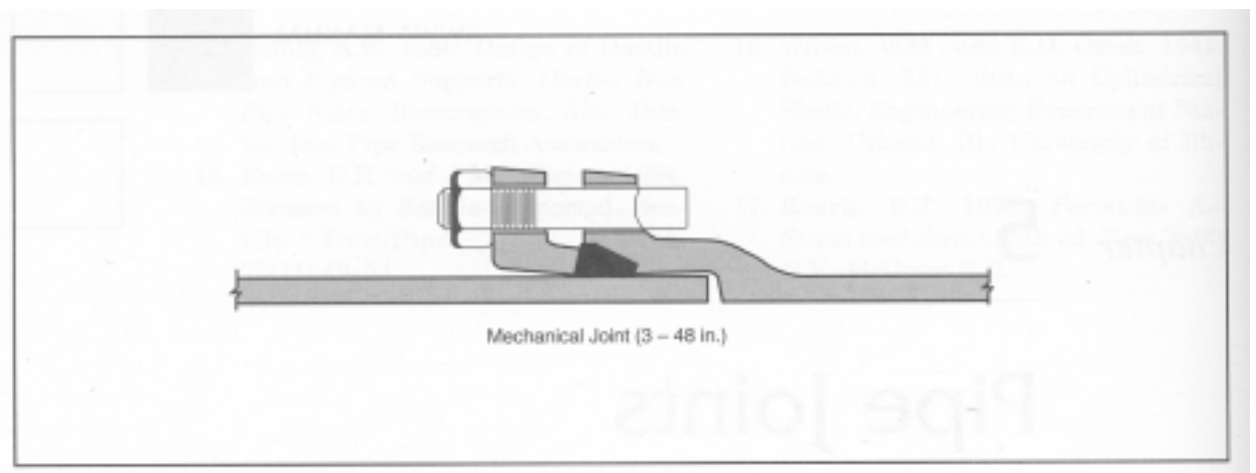
Det finns motsvarande typ av packningar för säten med spår som liknar dem i ordinarie o-ringförband. Sådana tillhandahålls till exempel av Helicoflex. Dessa tätningar är av metall med olika arrangemang för att säkerställa tryckhållningen mot sätesmaterialet: bland annat metallspiral och trycksatt gas. Några utförandeformer visas i Figur 21 och deformationsegenskaperna visas i Figur 22.

Packningarna från Helicoflex används vid höga krav på låga läckage samt på höga temperaturer. De används därför till exempel i kärnkraftverk.

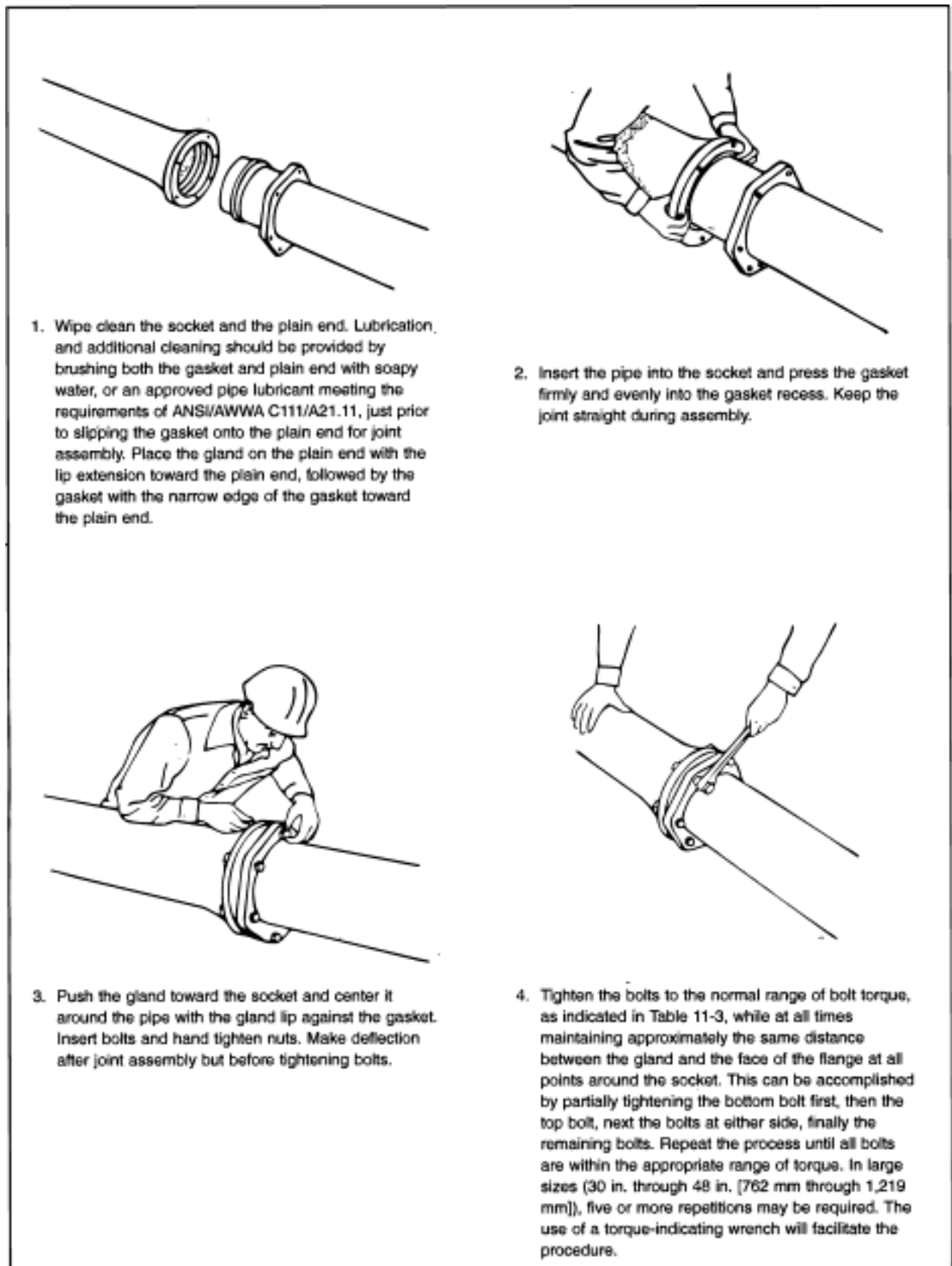
Separation mellan funktionen att täta mot en yta och att åstadkomma tryck mot densamma kan även erhållas med hjälp av kombination av gummimaterial. Ett par exempel på sådana arrangemang visas i Figur 23.



Figur 23. Tätning med två olika elastomerer enligt [17]. Seal with two different elastomers according to [17].



Figur 24. Specialtätning enligt [20]. Special seal according to [20].



Figur 25. Utförande av specialtätning enligt [20]. Installation of special seal according to [20].

Dessa samt tidigare presenterade exempel visar att även om principen med tätning – med deformande material som trycks mot ett plant säte – är enkel, så kan en enskild teknisk lösning se ut på ganska många olika sätt och även vara relativt komplicerad.

För stora vattenledningar är förutsättningarna likartade på flera sätt, bland annat sker markförläggning, trycken är likartade liksom dimensionerna. I [20] redovisas ett system med rör i nodulärt gjutjärn vilka antingen kopplas samman med flänsförband eller med en specialkoppling enligt Figur 24. Kopplingen utförs med eller utan bultförband, det senare visas i Figur 25. Observera att kopplingen är så utformad att en viss avvikelse i vinkel kan erhållas mellan rören.

3.4 Materialfrågor

3.4.1 Inledning

Funktionen hos en koppling, och i synnerhet funktionen under lång tid hänger intimt samman med materialfrågorna, närmare bestämt hur materialen förändras på ytorna – korrosion som avhandlas i avsnitt 3.4.2 – samt hur de förändras inuti. Det senare är olikartat för metalliska ämnen jämfört med polymera, varför de avhandlas i olika avsnitt, 3.4.3 och 3.4.4.

Enligt den formel som redovisades i avsnitt 3.3 för flöde genom en trång spalt skulle den tätaste packningen erhållas för den smalaste anliggningsytan. Detta utnyttjas i skrapor av olika slag, till exempel vindrutetorkare. De flesta packningar har emellertid en viss bredd. Ett viktigt skäl för detta är att man genom detta skapar ett ökat motstånd mot transport genom det tätande materialet. Sådan transport kan nämligen innebära att man får in ämnen som kan orsaka korrosion på ytorna som tätar mot varandra eller nedbrytning av bulkmaterial.

Exempel på sådana ämnen är vatten och syre. De kan orsaka bildning av oxid och hydroxid på till exempel järn och koppar. Syre kan orsaka åldring av vissa polymera material och även vatten kan orsaka nedbrytning av vissa polymerer till exempel silikon som annars betraktas som relativt temperaturlågt och inert.

Bildning av beläggningar mellan tätande material och säte innebär att läckage kan uppkomma så snart dessa förskjuts i förhållande till varandra. Detta beror bland annat på att ytan med beläggningen med korrosionsprodukter inte alls är lika plan som den rena ytan var från början.

Åldring av polymera material, och särskilt elastomerer, innebär att de blir styvare och sprödare samt att de inte längre kan återgå till ursprunglig form lika snabbt som tidigare (eller kanske inte återgår alls).

3.4.2 Korrosionsfrågor med mera

Framställningen i detta avsnitt utgår i stor utsträckning från [24-25]

Ordet ”korrosion” kommer från det latinska verbet *corrodere* som betyder gnaga sönder. Mest känt är rostning hos järn och stål, men även andra metaller och icke-metalliska material, till exempel polymerer kan korrodera.

Hos metaller avser korrosion för det mesta kombinerad inverkan av luftsyre och vatten, vilket leder till bildning av oxid / hydroxid på ytan. Benägenheten till korrosion styrs termodynamiskt sett av skillnaden i elektronegativitet mellan metallen i fråga och syre.

Däremot säger termodynamiken inte så mycket om kinetiken. Den styrs framförallt av hur de olika ämnen som skall reagera kan komma i kontakt med varandra. Transportbegränsningarna hänger i sin tur samman med framförallt två faktorer: egenskaperna hos den beläggning som kan bildas och elektriska omständigheter.

Vid korrosion utbildas ofta ett skikt på ytan med de korrosionsprodukter som bildats. Egenskaperna hos sådana skikt varierar mycket kraftigt. På rostfria material och på aluminium (liksom hos järn i frånvaro av syre) är dessa skikt mycket täta och hindrar transport effektivt. Att de är täta hänger samman med att de dels är täta i mikroskala, dels har goda adhesionsegenskaper till metallen. Detta innefattar frånvaro av sprickbildning även i samband med termiska och mekaniska förändringar.

Täta skikt innebär att korrosionen går mycket långsamt och man talar om *passivering*. I vissa fall är metallen så ädel att den inte kan korrodera utifrån termodynamiska förutsättningar. Man talar då om *immunitet*. Guld är kanske det tydligaste exemplet, men i frånvaro av syre är koppar ädelt i förhållande till vatten vilket ju har betydelse i fjärrvärmesammanhang.

Immuniteten hos koppar gentemot vatten ger emellertid inte någon garanti mot korrosion i verkliga vatten. Om dessa innehåller ämnen som reagerar med koppar, till exempel syre eller svavelväte, så korroderar koppar ändå. Koppars popularitet för taktäckning hänger bland annat samman med att det bildas passiverande skikt på ytan. Dessa innehåller sulfat, karbonat, hydroxid och klorid av koppar och ger taken dess karakteristiska ärgfärg.

Ibland – och särskilt vid låga pH-värden – är reaktionsprodukterna lösliga i vatten och metallen lämnas då oskyddad gentemot angrepp.

De typer av korrosionsfenomen som beskrivits ovan ger alla en jämn avfrätning av en yta och kallas därför med ett gemensamt namn för *allmänkorrosion*.

För korroderande material som är elektriskt ledande kan emellertid också elektriska fenomen komma in i bilden och man kan då få *lokal korrosion* av olika slag. Man talar också om *galvanisk korrosion*.

Ofta är det tillgången på syre som är begränsande i samband med galvanisk korrosion. Detta kan bero på att passiverande skikt utbildats så att diffusion av syre och metallspecier genom skiktet är mycket långsam. En annan orsak kan vara att halten syre är låg i det vatten som omger det material som kan korrodera.

Genom att elektroner kan ledas genom metallen och joner genom vattnet kan de olika delreaktionerna äga rum på olika ställen. Syre kan reduceras på en yta där det finns syre, och metall kan oxideras där det finns material som kan korrodera och där detta ligger öppet för angrepp.

Inte sällan är dessa effekter självförstärkande genom att det utvecklas ett lågt pH-värde där den korroderande metallen är tillgänglig, vilket medför att något passiverande skikt inte utvecklas där.

Fenomen av nyss nämnt slag kan utvecklas på en slät yta. Man får då ett passiverande skikt över nästan hela ytan men med lokala gropar med naken metall i botten där angreppen sker. Förhållandet mellan penetrationsdjupet i en grop och medelkorrosionsdjupet kallas gropfrätningsfaktorn. Den kan nå höga värden, inte sällan över tio⁶.

I spalter förstärks ovan angivna mekanism av geometrin, och man får då *spaltkorrosion*. Den exakta formen på angreppet beror förutom ovan nämnda faktorer också på den elektriska ledningsförmågan hos vattnet (vilken i sin tur beror av jonstyrkan). I vissa fall kan angreppet utveckla sig som en hålighet inuti spalten, vilket naturligtvis kan vara förrädiskt i samband med okulär besiktning.

Slutsatsen av det ovan anförda är att man behöver se upp med spaltkorrosion som kan tänkas uppträda med tiden i en gränsyta i en koppling.

En viktig aspekt i sammanhanget är att se till att kopplingen görs i ett material som är minst lika ädelt som systemet i övrigt. Då kan man nämligen undvika den förstärkningseffekt som uppkommer när syre reduceras över en stor yta men angreppet sker över en liten.

Man behöver också vara uppmärksam på att eftersom spalten är mycket trång så visar sig eventuell lokal korrosion i denna knappast genast. Däremot behöver man på lämpligt sätt förvissa sig om att det inte över tid utvecklas någon lokal korrosion enligt någon självförstärkande mekanism.

Eftersom mediaröret normalt är varmt och eventuellt genomträngande vatten innehåller en del salter kan man erhålla en indunstningseffekt. Motsvarande effekter kan även uppkomma till följd av inträngande vatten.[26] En vattenkemi med höga salthalter kan vara

⁶ Detta innebär att ett sådant lokalt angrepp skulle leda till läckage 10 gånger snabbare jämfört med om korrosionen vore jämn över hela ytan, allt under förutsättningen att mängden korroderat material är detsamma.

mycket mera korrosiv än den för rent vatten. Även för denna mekanism kan således en viss självförstärkningseffekt identifieras.

3.4.3 Metalliska packningsmaterial

Framställningen i detta avsnitt utgår i stor utsträckning från [27-28]

För aktuella metalliska material är aktuella temperaturer så låga att materialen generellt sett inte kommer att förändras över tid. Exempelvis kan man utgå ifrån att aktuella metaller är helt täta gentemot diffusion av syre och vatten. Vissa effekter är dock av intresse.

Aktuella kvaliteter av järn och koppar samt vissa kvaliteter av rostfritt stål har mycket goda deformationsegenskaper. Detta innebär att materialen – efter det att man passerat gränsen för elastisk deformation – deformeras plastiskt även för mycket stora deformationer utan att spricka eller i övrigt försämra sina goda egenskaper.

Det kan vara viktigt att hålla i minnet att dessa egenskaper innehas till följd av en mycket medveten metallurgi med syfte att bland annat erhålla lämplig mikrostruktur.

För normala deformationer sker anpassningen till den nya formen genom förflyttning av dislokationer.

För mycket långvariga belastningar samt cykliska påkänningar kan plastisk deformation erhållas vid nivåer betydligt under plasticeringsgränsen (som alltså är ett korttidsvärde för en engångsbelastning). Här är det inte utan vidare givet att mekanismen för deformation är densamma och att materialet nödvändigtvis tål höggradig deformation.

För mycket långsamma deformationer kan det vara diffusion genom kristalliter som är den snabbaste processen för relokalisering av material[27]. Denna mekanism ger upphov till ett sprött beteende. Att beteendet är sprött innebär i praktiken att sprickor kan uppstå. Dessa kan sedan växa till och så småningom ge upphov till brott.

Fördelningen av de olika krypmekanismerna visas i Figur 26. Ett liknande diagram för koppar finns i [28].

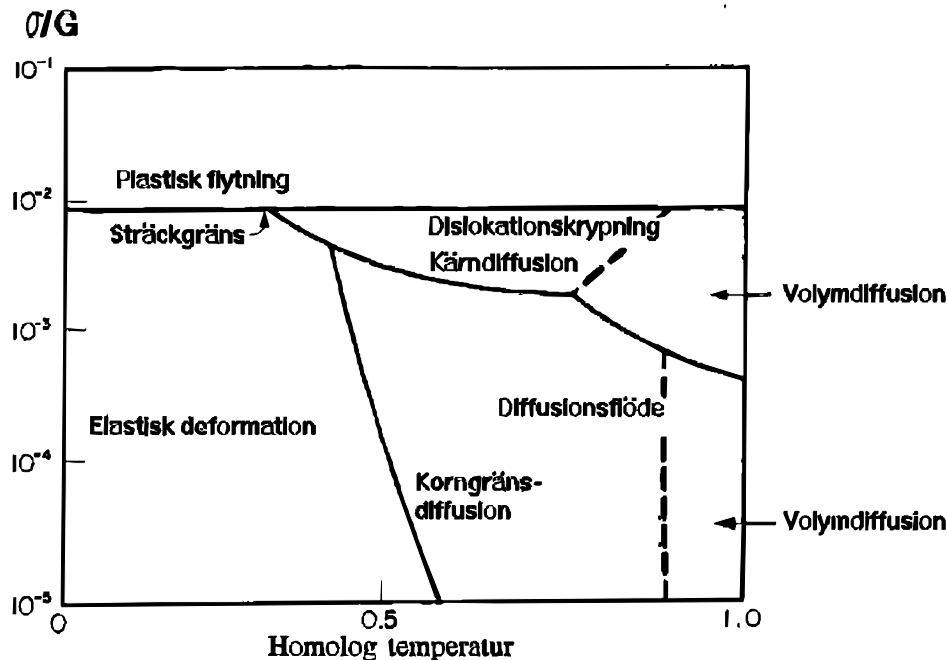
Slutsatserna i detta avsnitt är således att man bör se upp med påkänningar över lång tid så att inte mekanismen för deformation är annorlunda och ogynnsammare än den för kort tid.

Med hänvisning till föregående avsnitt (3.4.2) dras också slutsatsen att materialet i fråga skall väljas så att det är lämpligt ur korrosionssynpunkt.

Naturligtvis skall packningsmaterial väljas utifrån det som har primär betydelse för packningens funktion. Sättesmaterial skall erbjuda en slät yta att täta mot.

Packningsmaterial skall erbjuda ett elastiskt deformerbart material som tätar mot den släta

ytan. Det skall också finnas fjädrande material – eventuellt detsamma som det tätande – som säkerställer lämpligt tryck i anläggningen.



Figur 26. Deformations- och krypmekanismer vid olika spänningar. σ/G = spänning / skjuvmodul, från [27]. Mechanisms for creep deformations for different stresses. σ/G = stress / shear modulus, from [27].

3.4.4 Polymera tätningsmaterial

Inledning

Polymera material för tätningsändamål har genomgått en mycket snabb utveckling under de senaste decennierna. Dels har helt nya och mycket temperaturlåligare material kommit fram, dels har tekniken för att göra materialen beständigare förbättrats kraftigt. I dag kan därför polymera material användas för krävande tätningsändamål vid temperaturer upp till flera hundra grader.

Molekylär struktur[29]

Polymerer är mycket långa flexibla molekyler. I gummimaterial är dessa molekyler sammankopplade på ett fåtal punkter i en process som kallas vulkanisering. Molekylerna bildar då ett sammanhängande gles nätverk liknande ett fisknät fast i tre dimensioner. Molekylerna i nätverket har vid rumstemperatur stor rörlighet vilket leder till att materialet är relativt mjukt. Sänks temperaturen (under glastransitionstemperaturen) till -40 till -60 °C övergår gummimaterial till ett glas.

Mekaniska egenskaper[29]

Tänk er att vi lyckas ta tag i en enda polymermolekyl (vilket inte är möjligt) och drar ut dess ändar så långt det går. I det läget släpper vi molekylen. Den stora rörligheten orsakad av termisk vibration drar ihop molekylen till ett nystan inom bråkdelen av en sekund. Molekylen är alltså elastisk som en fjäder. Tänk er att dessa långa molekyler kopplas ihop i sina ändar och vi drar ut dem tillsammans. Detta är fallet i ett gummiband. I det här läget släpper vi gummibandet varvid samtliga utsträckta molekyler drar ihop sig och också gummibandet. Effekten kallas gummielasticitet och fungerar naturligtvis bara om molekylerna är långa, mycket rörliga, inte brister och är sammanbundna med varandra.

Vid stora laster på gummimaterial brister några kedjor och sammanbindningspunkter. Materialet kan därmed deformeras plastiskt och man kan få kvarstående deformationer. En liknade effekt kan man få om materialet belastas under lång tid.

Eftersom elasticitet beror av termisk rörelse försvinner den om materialet kyls under glasövergångstemperaturen. Materialet blir hårt och sprött. Samma sak händer om materialet deformeras med mycket hög hastighet som ex ett pistolskott. Om deformationshastigheten är högre än hastigheten hos den termiska rörligheten uppträder alltså materialet sprött.

Åldrande[29]

En av förutsättningarna för gummielasticitet var att molekylerna var långa och sammanbundna liksom fjädrar i ett tredimensionellt nätverk. Vad händer då om fjädrarna börjar rosta sönder? Jo, nätverket förvagas och till sist brister det helt. Så uppträder också gummimaterial. Ett för de flesta känt exempel är gamla gummisnoddar som tappat sin elasticitet och brister vid minsta töjning. Dessa långa molekyler är inte bara känsliga för mekanisk last som drar av dem utan de reagerar även med till exempel syre och/eller metalljoner och går av. Inte nog med det, de går också av av värme. Än värre är värme tillsammans med syre som snabbt leder till termisk oxidation, kedjebrott och därmed förlust av den lastbärande nätverksstrukturen. I sämsta fallet har man en kombinerad termisk, kemisk och mekanisk last på dessa svaga molekyler.

Diffusion[29]

En annan förutsättning för gummielasticitet är den höga molekylära rörligheten. För att molekyler ska kunna röra sig fort krävs eller bildas utrymme dvs materialet innehåller en hel del tomrum eller utrymme mellan de rörliga molekylerna. Detta utrymme kan utnyttjas av gaser som exempelvis vattenånga eller syre som också av molekylrörligheten transporteras snabbt i materialet. Diffusionshastigheter i gummimaterial är i därför allmänhet höga. Då permeabiliteten är produkten av diffusionen och lösligheten har gummimaterial en hög permeabilitet för de flesta gaser. Man kan alltså räkna med att

vattenånga kan diffundera genom packningar till intilliggande metalytor. Syre diffunderar enkelt in i gummi och kan orsaka den ovan nämnda oxidativa nedbrytningen.

Stabilisering[29]

Nedbrytning av det lastbärande nätverket innebär brott av de individuella polymerkedjorna. Dessa molekyler, som består av en lång kedja av kovalent sammanbundna atomer, brister i den kovalenta bindningen. Bindingsbrottet resulterar i bildning av reaktiva kedjeändar (fria radikaler) som kan reagera vidare och ger upphov till fler kedjebrott. För att den här processen inte ska bli självförstärkande (autokatalytisk) tillsätter man stabilisatorer som kan ta hand om de bildade radikalerna eller andra reaktiva föreningar bl a metalljoner. Stabilisatorerna hindrar därmed nedbrytning genom att själva reagera. På så sätt kan polymerers livstid förlängas och temperaturstabiliteten förbättras. Då stabilisatorerna är förbrukade bryts dock polymeren ner lika fort som en aldrig varit stabiliserad. Det är normalt att tillverkare av de polymera detaljerna i packningar sätter till stabilisatorer. För långtids- och högttemperaturapplikationer finns dessutom noggrant utprovade "recept" för optimala resultat. Ett indirekt mått på polymerens kvarvarande livslängd blir alltså halten av oförbrukad stabilisator i jämförelse med tillsatt mängd. Ett sätt att göra den mätningen är att betämma tiden till "onset of oxidation" med hjälp av termogravimetrisk analys (TGA) [30] eller differentiellt skannande kalorimetri (DSC). Bägge metoderna tar ca 10-20 mg prov i anspråk och kan utföras rutinmässigt av laboratorier med den utrustningen.

Den föreslagna metoden har förutsättningar att ge realistiska resultat. Generellt är dock inte egenskapsförändringar med tiden ett mått på livslängd! Dessa förändras endast långsamt till dess att inhibitorn tar slut och först då påverkas egenskaperna negativt.

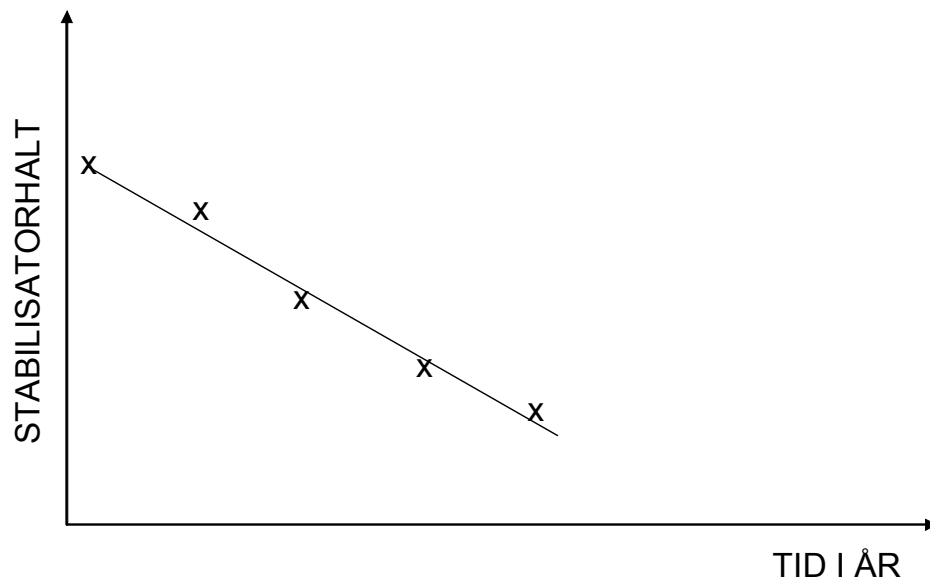
Exempel på gummimaterial som tål förhöjd temperatur.

- EPDM som är en kolvätebaserad polymer
- Viton är ett handelsnamn för en fluorerad polymer som dock är känslig för hydrolys (d v s varmt vatten)
- Kraton är handelsnamnet på en helt fluorerad polymer med mycket högt pris

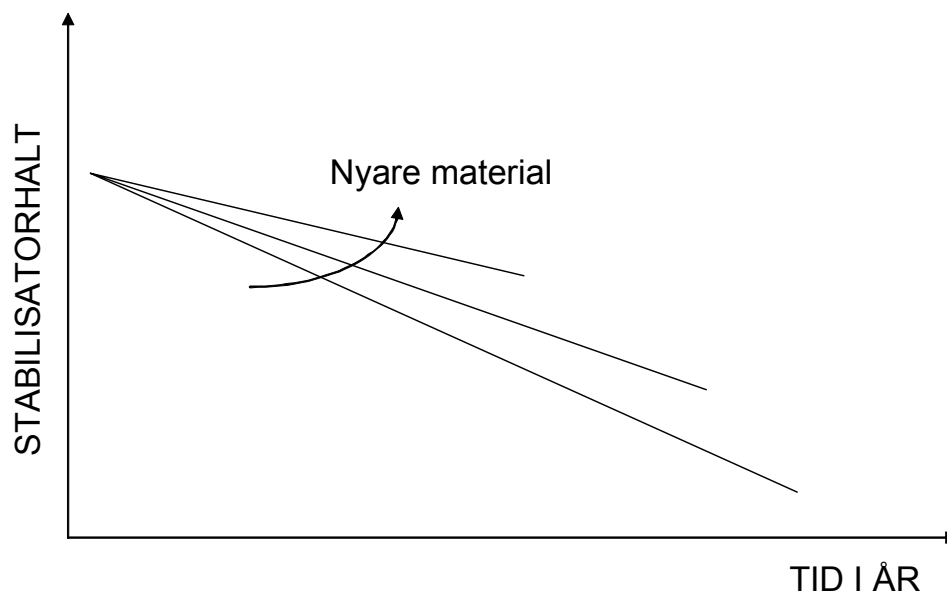
Hur kan man bestämma livslängd på en gummipackning?

Bäst är naturligtvis att ta prov på packningar som sitter på plats. Helt enkelt plocka ut den och mäta stabilisatorhalt och egenskaper. Har man då en kontrollerad serie där t.ex. alla sitter inomhus jämförbar temperatur och kommer från samma tillverkare kan man följa nedbrytning med tiden. Därmed får man en uppfattning om livslängd i verklig (realistisk) miljö. Har man dessa data kan de jämföras med materialleverantörens data vid accelererade betingelser. En koppling mellan dessa två ger en uppfattning om trolig livslängd.

Så här skulle mätdata kunna presenteras, Figur 27. Här är kvarvarande stabilisatorhalt plottad mot tid. (Man bör även mäta modul och brott-töjning.).



Figur 27. Schematisk plot av stabilisatorhalt som funktion av tiden. General schematic of stabilizer content in a rubber with time.



Figur 28. Nya EPDM elastomerer har en långsammare förbrukning av stabilisator än äldre typer. Newer EPDM elastomers will have a slower consumption of stabiliser than older.

Vid en viss låg kvarvarande halt kommer materialet inte ha tillräckliga egenskaper för att kunna fungera som tätning. Den halten kan dessutom överensstämma med tidigare accelererad provning.

Materialen utvecklas ständigt och förbättras från år till år. Bidragande orsaker är bl a nya katalysatorer för framställning av polymeren, förbättrade stabilisatorer och förbättrade processutrustningar. Därför kan man inte enkelt jämföra en uppsättning packningar med en annan. Nya material håller längre och lutningen på kurvan ovan är beroende av materialtyp. För att kunna göra rimliga bedömningar bör man hålla reda på båda ålder och vilken materialtyp som använts. Man får då flera kurvor. En för varje ”tillverkningsbatch”, se Figur 28.

En sådan här försöksserie kan leda till att man med relativt enkla medel kan förutbestämma livslängden och avgöra när man börjar vågar introducera EPDM som tätmaterial i större skala. Dagens EPDM kvaliteter är troligtvis tillräckligt bestända för att kunna klara 80-120 °C i 30-50 år. Det gäller dock obelastat tillstånd och inte i närvaro av andra ämnen som kan påverka nedbrytningstiden. Dessutom har dagens kvaliteter inte provats för applikationen i 30-50 år.

3.4.5 Karakterisering av tätningsmaterial

Enligt [19] har följande egenskaper betydelse för funktionen hos en packning i en tillämpning.

- *Kemisk kompatibilitet.* En packning får inte växelverka med fluiden på ett sådant sätt att dess funktion kan ifrågasättas. Olika vätskor är något lösliga i polymera packningsmaterial, och detta påverkar egenskaperna. Det bör observeras att mättnad med vätska kan ta lång tid. För tillämpningar över kokpunkten för fluiden kan löst vätska bilda gas och i värsta fall förstöra packningen i samband med plötslig tryckavlastning.
- *Värmetålighet.* Tätningsmaterialen skall tåla förekommande temperaturer. Detta gäller för hela den tilltänkta livstiden. Det är en mycket stor skillnad mellan långtids- och korttidsegenskaper i detta avseende. Det kan också ha stor betydelse vilken den kemiska miljön är, till exempel om det finns tillgång till syre eller fukt.
- *Kompressibilitet (makrokonformitet).* Packningen skall kunna anpassa sig till förekommande mekaniska påkänningar – samt fluktuationer av dessa - i förbandet.
- *Mikro-konformitet.* Packningsmaterialet skall ha förmåga att fylla ut förekommande ojämnheter i flänsytan.
- *Återhämtning.* Packningen skall kunna återhämta sig med hänsyn till förekommande belastningsändringar som uppkommer till följd av temperaturändringar eller ändrade yttre mekaniska påkänningar.
- *Kryprelaxation.* Packningen skall bibehålla en tillräcklig anliggning och tätning över lång tid.

- *Tryckhållfasthet.* En packning skall klara de höga påkänningar som kan förekomma utan att krossas eller extruderas.
- *Draghållfasthet i radiell ledd.* Packningen får inte ge upphov till brott samt utblåsning.
- *Skjuvhållfasthet.* Packningen skall klara förekommande skjuvkrafter i flänsförbandet inklusive de som uppkommer till följd av externa händelser (till exempel markrörelser).
- *Geometri.* Packningen skall medge (eventuellt säkerställa) ett korrekt montage.
- *Icke hälsofarligt.* Hantering och användningen av packningen skall inte innebära någon hälsorisk.
- *Miljövänligt.* Användningen av packningen skall stämma med företagets miljöledningssystem.

Liknande uppräknings för o-ringar finns i [1,17] och redovisas nedan i bearbetad form.

- *Kompatabilitet, irreversibla förändringar.* Här gäller detsamma som för packningar. För o-ringar är det dessutom ofta nödvändigt att de inte torkar ur för att de skall fungera på tilltänkt sätt. Eftersom en o-ring både tätar mot en yta och åstadkommer ett tryck mot den är de mekaniska egenskaperna av stor betydelse. En o-ring måste därför behålla sin elasticitet över hela dess användningstid, och den får alltså inte påverkas i grad av betydelse till följd av termisk åldring eller kemisk attack. Sådana förändringar kan innebära formförändringar under tryck (compression set), relaxation (stress relaxation, d v s minskat kontaktryck över tid), ökad sprödhet, utveckling av ytsprickor eller krympning.
- *Kompatabilitet, reversibla förändringar.* Utöver de ovan nämnda irreversibla förändringarna finns det även reversibla. Formförändring under tryck liksom relaxation kan vara delvis återgående (eventuellt långsamt). Dessa återgående effekter uppkommer oftast efter betydligt kortare tid, kanske timmar, jämfört med de irreversibla som kan utvecklas under månader och år.
- *Termisk expansion och interferens.* För gummimaterial är det viktigt att tänka på att den termiska expansionen är hög och liknar den för en vätska. Detta ger upphov till en förändrad anpassning till geometrin i ett o-ringsäte när temperaturen ändras. Normalt installeras o-ringar med en hoptryckning som uppgår till 10 – 20 % (diametralt), varvid den kvarvarande tomma volymen i spåret blir ca 20 %.
- *Extrusion.* Vid höga tryck behöver försiktighetsåtgärder vidtas så att inte en o-ring extruderar genom spalten mellan de delar som skall tätas.
- *Monteringsskador.* Det är viktigt att en o-ring inte skadas under monteringen. Den får inte vridas, eller skadas i ytan av skarpa föremål (till exempel hörn eller kanter).
- *Avverkning.* En o-ring som utsätts för återkommande tryckförändringar kan komma att gnidas mot sitt underlag och därvid slitas.
- *Utblåsning (blow-out).* Plötslig förändring av tryck och temperatur kan leda till att packningen inte expanderar tillräckligt snabbt så att det uppstår en spalt mellan

packning och säte. I ett sådant fall kan mediet spruta ut genom spalten. Denna kan därvid skadas så att hela packningen förstörs.

- *Definierad funktionsmod.* En o-ring skall antingen vara fix eller i rörelse. Mellanting leder inte sällan till läckage.
- *I övrigt.* Se den mera fullständiga genomgången för packningar.

4 DISKUSSION

4.1 Tillämpning

Funktionskraven i avsnitt 2.5 är utformade utgående från vad som krävs i rörsystem. Som närmare redovisas i avsnitt 3 är det ett antal aspekter som behöver beaktas vilka kopplar till frågan om uppfyllelse av dessa krav. I några avseenden ställs större eller till och med speciella krav på kopplingar i fjärrvärmenät. De viktigaste av dessa är kraven på vattentätethet och på tilltänkt underhållsfri drifttid.

Detta gäller generella krav på fjärrvärmerör. I praktiken är det dock i vart fall ur ”kopplingssynpunkt” ganska olika förutsättningar i olika delsystem även om kraven på tryck, temperatur och täthet är likartade i ett korttidsperspektiv.

Skillnaderna hänger samman med följande parametrar

- under respektive över jord
- inomhus eller utomhus
- synlig eller dold förläggning
- temperaturfördelningen under året
- skyddat / oskyddat montage
- anläggning med regelbunden tillsyn eller inte

De högsta kraven med avseende på läckage och tillförlitlighet ställs på ledningar som är förlagda i mark och som har en vattentemperatur som uppgår till uppemot 120 °C under ett par eller några veckor under året. De lägsta kraven⁷ ställs på ledningar som är öppet monterade inomhus i dedikerade utrymmen med regelbunden professionell tillsyn. I det senare fallet upptäcks läckage lättare och de är också lättare att åtgärda.

Det är naturligtvis av stort intresse att få fram lösningar som klarar de strängaste kraven. Å andra sidan vore det olämpligt att utesluta lösningar som inte kan visas klara dessa men som skulle kunna fungera utmärkt i tillämpningar för vilka lägre krav kan tolereras.

Introduktion av nya komponenter bör vidare ses i sitt utvecklingssammanhang. Rimligen introduceras nyheter för tillämpningar som de med god marginal kan förväntas klara och där möjligheterna till uppföljning och eventuella åtgärder är goda.

⁷ Framställningen är förenklad med hänsyn till rapportens syfte. Enligt regler och standarder är kraven i stort sett desamma. Det som ligger i utrymmen där personer vistas kan tänkas ge upphov till risk för skällning / arbetsskador.

4.2 Montage

Det har framhållits (se avsnitt 1.1) att påtagliga nackdelar med svets tekniken består i att den ställer höga krav på det manuella utförandet av arbetet samt att det är svårt att kontrollera resultatet.

Det är därför fördelaktigt om en alternativ metodik skulle innebära låga krav på skicklighet hos utföraren samt vara lätt att prova.

Ytterligare fördelar ligger i om sammanfogningen och kontrollen av resultatet kan göras maskinellt, vilket ger en ökad likformighet.

Allra bäst är om fogningstekniken kan automatiseras så att utförande och kontroll utförs utan direkt intervention från operatörens sida.

Naturligtvis är det tillförlitligheten per utlagd meter fjärrvärmerör som räknas. Därmed har det också betydelse hur långt det är mellan skarvarna. För stålrör handlar det om vilka längder man kan hantera samt hur det blir med hänsyn till böjar med mera. För klenare dimensioner av rör i PEX, koppar och rostfritt stål (helixkorrugerade rör) kan rören köpas i rulle och läggas ut i långa längder med få skarvar. I det senare fallet kan eventuellt ett något krångligare montage tolereras.

4.3 Systemets funktion över tid

4.3.1 Fjärrvärmeröret

Med dagens konstruktioner av isolering och ytterrör är det bara mycket små läckageflöden som kan tolereras⁸. (Den förhärskande lösningen med svetsfog är ju helt tät när den är rätt utförd). Utläckande fukt kan förväntas diffundera genom PUR-skummet och kondensera i isoleringen på kallsidan, det vill säga yttersidan. Där kommer det kondenserade vattnet att ge upphov till en ökad värmeledning.

Utgående från dagens situation skulle man därför kunna dra slutsatsen att läckage kan få förekomma bara om de ligger på en mycket låg nivå.

En sådan avgränsning skulle emellertid vara alltför sträng. Det är tänkbart att negativa effekter av läckage kan motverkas, till exempel genom att man gör ytterröret något genomsläppligt för vattenånga men inte för flytande vatten⁹. Det är också tänkbart att ha en ventilerande ledning genom isoleringen med ett långsamt gasflöde som torkar ur.

⁸ Detta skall uppfattas i absolut mening. Läckagen kan vara så små att de knappast går att upptäcka och inte heller leder till någon konsekvens. Exempelvis läcker PEX-rör hela tiden mycket små mängder vatten genom väggen.

⁹ Detta är en inte helt vetenskaplig omskrivning av att transporten genom ytterröret skulle ske antingen genom diffusion eller genom strömning i gasfas genom hål med så liten diameter och i material med sådan ytspänning att vatten inte kan strömma genom dem. (Denna princip utnyttjas i Gortex-väv som används i kängor och skor).

Slutsatsen är därför att det är rimligt att i föreliggande skede acceptera ett visst men lågt läckage, samt att tillåten nivå får variera med tillämpningen i fråga (analogt med det som framförs i avsnitt 4.1).

4.3.2 Kemiska effekter i kopplingen

De ytor som tätar mot varandra i en koppling kan över tid påverkas av de ämnen som kan transporteras till gränsen mellan materialen.

Från vattensidan är det främst vatten som kan komma i fråga men episodiskt även något syre som kan vara löst i vattnet. Om ingen särskild avgasning av vattnet förekommer reduceras syrehalten av reaktioner mellan löst syre och järn i stålroren varvid magnetit bildas. För den händelse att stålror inte används sker ingen sådan reduktion av syrehalten.

Polyeten är genomsläppligt för syre genom diffusion. Transporten styrs av skillnaden i syreaktiviteten (proportionell mot partiella ångtrycket) och är oberoende av totaltrycket. Luftsyre kan alltså utan svårighet diffundera in i en ledning med trycksatt vatten. Moderna polyetenledningar innehåller en diffusionsspärr som gör att indiffusionen av luftsyre blir låg.

Slutsatsen är alltså att i de flesta fall så är det bara vatten som kan tillföras en koppling från vattensidan.

Miljön på utsidan kan variera på ett lite mera invecklat sätt. I många fall skummar man kring en koppling med hjälp av en gas som inte innehåller syre. Så småningom sker dock en gasdiffusion genom ytterröret vilket leder till byte av gaser. Kväve och syre från luften diffunderar in och skumningsgasen ut.

Hastigheterna för dessa processer är olika och nettoresultatet är att skumningen efter ett antal år kan komma att krympa. Därför ingår diffusionstäta spärrskikt i vissa moderna ytterrör. Dessa säkerställer att inget gasutbyte sker¹⁰. Därmed sker heller inte någon volymsförändring hos skummet och isolerförmågan förblir i stort sett intakt.

I det följande antas att miljön på yttersidan innehåller syre men att den är torr. Det senare borde säkerställas av det i normalfallet varma mediaröret.

Korrosion kan förekomma där syre och vatten möts i gränsytan mellan tätande material och säte. Korrosion kan antas leda till att ytan blir ojäm och mindre tät med tiden¹¹.

Materialen för tätning och säte bör därför väljas med hänsyn till den korrosion som kan förekomma. De bör vara ädlare än rörmaterialet. Om inte så är fallet – och rörmaterialet är

¹⁰ Tyvärr är det ingen garant för att inte så sker.

¹¹ Det kan naturligtvis hända att korrosionsprocesserna leder till en tätare koppling genom att det sker utfyllnad i spalten mellan tätande material och säte. Här antas dock att läckaget ökar.

elektriskt ledande - kan man få galvanisk korrosion i packningsmaterialet, d v s i värsta fall så kommer allt syre som reagerar med röret att leda till oxidation av kopplingsmaterial.

Om det tätande materialet är av metall så är det bara transport genom den mycket lilla spalten mellan tätning och säte som kan leda till förändringar på ytorna. Eventuellt kan en viss ”spricköppningseffekt” uppstå, och en sådan mekanism skulle kunna innebära att åldringshastigheten ökar med tiden.

Om det tätande materialet består av en elastomer så kommer luft och vatten att kunna diffundera genom materialet. Detta kan leda till dels bildning av korrosionsprodukter på sätets yta, dels åldring av polymeren i fråga.

Kraven på korrosionsbeständighet hos sättesmaterialet är sålunda sannolikt högre för en elastomer. Situationen är antagligen likartad för grafitpackningar.

För elastomerer blir kraven på bevisföring höga när det gäller åldringsprocesser. Strategin blir sannolikt trefaldig: konservativ dimensionering, beprövade material och kunskap om förändringsmekanismer.

De erfarenheter som finns från svenska anläggningar med användning av tätningar dimensionerade för ungefär aktuell temperatur är minst sagt blandade. För att man skall erhålla den önskade tillförlitligheten över önskad tid behöver därför en ”överdimensionering” ske i förhållande till andra tillämpningar. Detta kan exempelvis tänkas innebära att man för att klara 120 °C intermittent under 50 år kanske får välja ett material som klarar uppåt 200 °C kontinuerligt i kanske 5 år. Det finns ett stort referensmaterial för en sådan indikation. Samtidigt bör dock påpekas att man måste undersöka och verifiera det specifika fallet för att kunna dra några bestämda slutsatser.

En leverantör av ett tätning för fjärrvärmeändamål bör kunna hänvisa till drifterfarenheter från ett stort antal tätningar som varit i drift under lång tid.

Förändringsmekanismer som bör beaktas innefattar oxidativ nedbrytning (se avsnitt 3.4.4).

Vad gäller lämplig geometri kan man naturligtvis fånga upp vad som sades i avsnitt 3.3 om principen för tätning och hur en anläggning med ett högt tryck mot en liten yta är effektivare än en med ett lågt tryck mot en stor. Detta kan förefalla kontrastera mot fördelen med att ha långa diffusionsavstånd, d v s ett stort djup i spalten mellan det tätande materialet och sätet.

I praktiken finns det kanske inte någon motsättning. Det finns nämligen begränsningar i de högsta tryck som kan appliceras med hänsyn till återhämtningsegenskaper och relaxation (alternativt gräns mellan plastisk och elastisk deformation för metalliska material). Därför går det antagligen att både minska läckage och diffusionstransport genom att öka ytan mellan tätande material och säte.

I ett förband för en fjärrvärmekoppling kan det generellt sett vara en fördel om det material som tätar mot sätet är skilt från det som svarar för att det trycker mot. Skälet för detta är att en sådan uppdelning ger större möjligheter för specifik dimensionering och lämpligt materialval.

4.3.3 Mekaniska effekter i kopplingen

En grundläggande förutsättning är att kopplingar inte skall vara svagare mekaniskt sett än resten av rörsystemet. Denna förutsättning innefattar att tätningens verkningssätt inte skall kunna ändras vid mekaniska påkänningar¹². Det bör noteras att det handlar om relativa egenskaper. Är röret eftergivligt kan kravet på mekanisk hållfasthet hos kopplingen ställas lägre. Detta gäller naturligtvis under förutsättning att krav på maximalt tryck med mera kan uppfyllas.

Denna förutsättning är viktig eftersom olika krafter kan komma att påverka rörsystem på olika sätt. I mark handlar det om spänningar till följd av temperaturförändringar i vattnet samt markrörelser. Ovan jord handlar det bland annat för risken för skador till exempel genom påkörning med fordon.

Naturligtvis kan rörsystem byggas upp med exempelvis administrativa åtgärder som skydd (till exempel att installationerna finns i låsta utrymmen med begränsat tillträde). Sådana lösningar ligger emellertid utanför det som avhandlas i denna rapport.

4.3.4 Statistiska aspekter

Eftersom kopplingarna i många fall är nergrävda i mark är de inte tillgängliga för inspektion. Man förväntar sig knappast heller att en fjärrvärmeledning skall grävas upp och bli tillgänglig för inspektion av något annat skäl än läckage i skarvarna. Detta innebär att det – för åtminstone en del av fjärrvärmetillämpningarna - bör finnas en sådan kunskap och erfarenhet om den koppling som väljs att tillförlitligheten i funktionen över en tid av 30 – 50 år är mycket hög. Med andra ord skall de allra flesta av kopplingarna i detta fall klara täthetskravet under denna tid.

Det är viktigt att beakta den statistiska signifikansen av detta krav[31]. Om bara en liten andel får falla över så lång tid kan det vara svårt att hitta kriterier för provning och godkännande. Det handlar ju både om att kunna göra prognoser långt utöver de testtider som kan användas och att förutse fenomen som kan komma att visa sig bara hos en liten andel av produkterna. Sannolikt innebär detta att man vill välja en lösning där man både har erfarenhetsdata för lång tid och en god förståelse över de mekanismer som leder till felfunktion.

¹²

Presskopplingar med o-ringar kan tänkas börja läcka om rör och muff rör sig i förhållande till varandra. Skälet är att metallytan kan ha kommit att oxideras med tiden och att o-ringen kan tänkas glida över metallytan vid en sådan relativ rörelse mellan rör och muff. Det kan inte utan vidare antas att o-ringen tätar mot den oxiderade sätesyten.

4.3.5 Synergieffekter

Inför utnyttjande av nya lösningar är det viktigt att man på lämpligt sätt systematiskt går igenom möjligheterna till negativa synergieffekter. Ett exempel på sådana effekter är om organisk amin som avges i små mängder från polyuretanskummet reagerar med kopparoxid och bildar aminkomplex som kan diffundera in i packningsmaterial av till exempel EPDM-gummi. Som framgår av avsnitt 3.4.4 är särskilt gummimaterial känsliga gentemot oxidativ nedbrytning. Sådana reaktioner katalyseras av föreningar av vissa övergångsmetaller, bland andra koppar.

4.4 Kostnader

Kostnaderna för olika typer av kopplingar har naturligtvis en avgörande betydelse för vad man väljer. Detta gäller den totala kostnaden varav komponentkostnaden bara är en del.

I [18] listas ett antal faktorer av betydelse för totalkostnaden för en koppling:

- initialkostnaden för tätningen i fråga
- effektiviteten hos tätningen
- tiden mellan byte
- verkliga kostnaden för byte (tätning, arbete samt dolda kostnader eller bikostnader)
- kostnaden för nödvändig avställning
- en reliabilitetsfaktor som kopplar till underhållskostnaderna i stort

Av dessa är ofta initialkostnaden den som har minst betydelse för den totala kostnaden. Att i innevarande skede överblicka totalkostnaden är dock svårt. Dessutom kan man inte utan vidare använda nuvarande priser för olika lösningar. Utformning specifikt för fjärrvärmeändamål kan ju innebära att priset blir ett annat. Dessutom är ju priser beroende av seriestorlekar och konkurrenssituation.

Slutsatsen är att inga lösningar bör uteslutas på nuvarande stadium av prisskäl. Undantag bör dock göras för uppenbart exklusiva alternativ.

5 VAL AV ALTERNATIV

5.1 Referenslösningar

De olika typerna av förband, specifika utformningar samt typer av packningar som beskrivits i avsnitten 3.2 och 3.3 finns sammanställda i Tabell 1. Inför sammanställningen har även funktionskraven i avsnitt 2.5 samt materialfrågegenomgången i avsnitt 3.4 beaktats. Tabellen utgör således en sammanställning över tänkbara lösningar för kopplingar mellan fjärrvärmerör.

Tabell 1. *Referenslösningar. Reference solutions.*

Typ av förband	Typ av tätning	Hänvisning till Figur nr
Fläns	Flexitallic	2, 3, 20
Fläns	Helicoflex	2, 3, 21, 22
O-ring	Elastomer / elastomer	4, 5, 6, 23
Kompressionskoppling	Ring mot rör	7
Kompressionskoppling	Brons mot brons	8
Kompressionskoppling	Grafit	9, 10
Presskoppling	Deformation av röret	11
Graylock	Graylock	12, 13
Taper-Lok	Taper-Lok	12, 14
Tyco / Victualic	Tyco / Victualic	12, 15, 16
Victualic	Victualic	17
Viking Johnson	Viking Johnson	18
Special	Enligt AWWA	24, 25
Rörgänga	Tätningmaterial	

Ett tänkbart sätt att välja alternativ skulle kunna vara att jämföra de olika lösningarna i tabellen med avseende på ett antal nyckelaspekter efter de önskemål om egenskaper som redovisas i avsnitt 4. En sådan jämförelse skulle emellertid vara mycket svår att göra beroende bland annat på specifika val av kvalitet hos ingående material och specifik tillämpning för aktuellt exempel.

I stället görs därför en mera principbaserad jämförelse, och framförallt en avstämning mot de önskemål beträffande egenskaper som diskuterats fram i avsnitt 4. Dessa redovisas i det följande tillsammans med verbala beskrivningar över förutsättningarna för måluppfyllelse.

En principjämförelse mellan alternativen redovisas i Tabell 2

Tabell 2. Principjämförelse mellan alternativ med god potential för användning i fjärrvärmesystem. A comparison with respect to general principle of application and function for alternatives having a good potential for utilization in district heating applications.

Sättesmaterial	Tätningmaterial	Funktionssätt	Exempel på utförande / materialval
ädlare än stål	ädlare än stål	elastisk deformation av tätningmaterial	Flexitallic
ädlare än stål	elastomer	elastisk deformation av tätningmaterial	EPDM-gummi
ungefär så ädelt som koppar	PEX eller koppar = rörmaterial	plastisk och elastisk deformation av rör över sträcka med kvarhållen hopklämning	stödbussning + rör + pressring kläms med klämring med hjälp av hydraulverktyg
rostfritt	grafit	stor plastisk och liten elastisk deformation av grafit	särskilt koppling med skruv avsedd för rör på rulle

Alternativen enligt Tabell 2 diskuteras kortfattat i Avsnitten 5.2 – 5.5 nedan.

5.2 Koppling med metalliskt tätningmaterial

Detta alternativ har potential att kunna fungera för alla dimensioner och temperaturer. Om man skall använda stålrör krävs övergång till ädlare material i kopplingen samt att man har systemlösningar för att hantera avböjning med mera. Innebär kanske manuellt montage med tryckluftsverktyg eller liknande men dragningen sker en gång för alla. God potential att hålla tillräckligt tätt över mycket lång tid.

5.3 Koppling med elastomer som tätningmaterial

Detta alternativ har potential att kunna fungera för alla dimensioner och temperaturer. Om man skall använda stålrör krävs övergång till ädlare material i kopplingen samt att man har systemlösningar för att hantera avböjning med mera. Innebär kanske manuellt montage med tryckluftsverktyg eller liknande men dragningen sker en gång för alla. Potential att hålla tillräckligt tätt över mycket lång tid. Detta behöver dock särskilt utredas.

5.4 Presskoppling för PEX och kopparrör

Detta alternativ har potential¹³ att kunna fungera för klenare dimensioner och i fallet PEX också för lägre temperaturer. Relativt oproblematiskt att hantera avböjningar med mera. Fungerar väl med rör på rulle vilket ger få skarvar. Montage kan ske med särskild halvautomatisk utrustning vilket automatiskt eliminerar många möjligheter till fel. God

¹³

Begränsningarna till dimension och temperatur ges redan av egenskaperna hos rören.

potential att hålla tillräckligt tätt över mycket lång tid¹⁴. Långtidsfunktionen kan behöva verifieras med hänsyn till om anomalier uppträder i deformerade områden.

5.5 Koppling med grafit som tätning mot rostfritt rör

Detta alternativ har potential att kunna fungera för alla dimensioner och temperaturer. Relativt oproblematiskt att hantera avböjningar med mera för helixkorrugerade rör som finns i klenare dimensioner. Dessa fungerar väl med rör på rulle vilket ger få skarvar. Bör även kunna fungera i grövre dimensioner och har där fördelen att ytan inte behöver vara plan (men antagligen slät) eftersom grafit har en mycket god förmåga att deformeras. Kan vara känsligt för mekanismer som kopplar till grafitens förmåga att deformeras elastiskt (eftersom den så lätt deformeras plastiskt). Innebär kanske manuellt montage med tryckluftsverktyg eller liknande men dragningen sker en gång för alla. God potential att hålla tillräckligt tätt över mycket lång tid.

¹⁴ Även om röret är försett med diffusionsspärr är det rimligt att förmoda att det avger betydligt mera vatten än skarvarna.

6 SLUTSATSER

Kopplingar skiljer sig från svetsade och hårdlödda förband bland annat genom att de aldrig kan bli täta i någon absolut mening. Skälet är naturligtvis att kopplingar alltid innehåller material som ligger an mot varandra fysiskt, men som inte är förenade kemiskt. Detta innebär att det i mikroskala finns en spalt mellan packning och sätet samt att det kan ske transport i denna spalt. Så länge spalten är liten sker sådan transport emellertid extremt långsamt.

Spalten hålls liten genom att sätet är plant, den elastiska deformerbarheten hos packningen god och kraften i anläggningen god.

Med tiden kan dock sådana ämnen tänkas tränga in i spalten som leder till att anläggningen blir sämre och transporten ökar. Därför har bland annat korrosionsegenskaperna hos sätet betydelse.

Om packningen är utförd i ett gummiliknande material kan dessutom transport av ämnen som kan ge upphov till korrosion ske genom packningsmaterialet.

För att undvika ökande läckage – om än mycket små – bör sätet vara utfört i ett relativt ädelt material. Det tätande materialet bör också ha en god kemisk beständighet vid aktuella temperaturer samt tåla temperaturväxlingar. Detta innebär bland annat att spänst och elasticitet behöver bibehållas.

En förutsättning för tillfredsställande långtidsfunktion är att mekanisk integritet och tätning åstadkoms separat, d v s mekaniska påkänningar till följd av mediatrycket eller axiella påkänningar på medaröret får inte tas upp av packningsmaterialet.

Förläggning i rörgravar ställer stora krav på rör och kopplingar vad gäller anpassning till där det är lämpligt att utföra grävningen. Detta innebär att man bara i begränsad utsträckning kan bestämma hur långa de enskilda rören skall vara och vilka vinklar det får vara mellan dem.

Att till exempel svetsa på flänsar i ädelt material med lämplig vinkel på stålrör blir ganska komplicerat och antagligen inte heller kostnadseffektivt.

Däremot förefaller applicering av kopplingar på flexibla rör attraktivt eftersom det i detta fall inte ställs några krav på vinkel. Det är dessutom önskvärt att koppling kan påföras ett sådant rör på godtycklig plats, d v s där röret skall kapas.

Två av alternativen i Tabell 2 – presskoppling med stödbussning samt grafitkoppling – är utformade särskilt för användning med flexibla rör.

I Avsnitt 3 ges flera exempel på dels utförandeformer som ger en god tätning med metalliska och polymera packningar som deformeras, dels sådana som ger en god mekanisk integritet utan att belasta packningsmaterialet för detta. Det senare avser emellertid i första hand rör som inte är flexibla. För flexibla rör är dessa funktioner ofta inte helt åtskilda, se till exempel Figur 7. Det finns därför ett visst behov av att hitta på marknaden - alternativt utforma - kopplingar för flexibla rör som ger en god mekanisk koppling som samtidigt ger en ganska exakt utformning och geometri för den tätande delen - oberoende av eventuella påkänningar.

Erfarenheterna över lång tid från relevanta tillämpningar är inte sällan begränsade och inte heller förefaller de viktigaste mekanismerna för förändring kända i ett antal fall. Detta gäller bland annat korrosion, diffusion, åldring och mekanismer för läckage. Även vissa synergieffekter är av intresse, till exempel samband mellan mekanisk integritet och undvikande av läckage.

Introduktion av nya komponenter och nya principer för tätning bör därför ske stegvis och parallellt med uppföljning samt utrednings- och utvecklingsarbete.

Installationerna bör inledningsvis ske ovan jord och inomhus tills ytterligare specifik erfarenhet och kunskap etablerats.

Användning av olika alternativ kan påkalla förändringar av systemet i övrigt. Även sådana behov bör identifieras och lämplig revidering komma till stånd.

De alternativ som identifierats kan sannolikt erbjuda fördelar genom att vissa nackdelar med befintliga lösningar elimineras, till exempel svetsarbete i rörgravar. Andra viktiga fördelar inkluderar att montage och förläggning kan göras i ett sammanhang. Av stor betydelse i sammanhanget är att det finns en god potential att utforma komponenterna på ett sådant sätt att de kan monteras med ringa risk för mänskligt felhandlande.

Fjärrvärme är och skall vara stabilt, säkert, tillförlitligt, kvalitetssäkrat samt kräva ringa underhåll även efter lång drifttid. Det är sådana system som skall byggas, inte hopfogningar av komponenter som upphandlats till lägsta pris. Därför kan det förutses att de kopplingar som introduceras blir mer eller mindre ”skraddarsydda” för sina användningar i fjärrvärmesystem.

Det bör noteras att de resultat som redovisas i denna rapport avser en förstudie och att arbetet inte ger underlag för några specifika rekommendationer av ena eller andra typen av kopplingar.

7 REFERENSER

- 1 **Sjöblom R**
Presskoppling med o-ring. Svensk Fjärrvärme, Rapport, FVF 03 11 01, Januari 2003.
- 2 *Läggingsanvisningar för fjärrvärmerör*. Tekniska bestämmelser. Svensk Fjärrvärme, FVF D:211, Juni 2001.
- 3 *Anläggnings AMA 98 (1999)*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm. ISBN 91-7332-885-5.
- 4 *Råd och anvisningar till Anläggnings AMA 98 (1999)*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm. ISBN 91-7332-886-3
- 5 **Sjöblom R**
Användning av aska vid förläggning av fjärrvärmeledningar – förstudie. Svensk Fjärrvärme, FOU 2003:84.
- 6 *Läggingsanvisningar för fjärrvärmerör*. Tekniska bestämmelser. Svensk Fjärrvärme, FVF D:211, Juni 2001.
- 7 *Råd och anvisningar till Anläggnings AMA 98 (1999)*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm. ISBN 91-7332-886-3.
- 8 **Bendz D, Flyhammar P, Hartlén J, 2000**
Restproduktanvändning vid anläggningsarbete och byggande för en hållbar infrastrukturutveckling. Naturvårdsverket AFR-report 272, 2000.
- 9 **Mitchell J K**
Fundamentals of soil behaviour, 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc., 1993. ISBN 0-471-85640-1.
- 10 **Penderos M**
Thermal cycling of directly buried district heating networks – application of cumulative damage theory to some field cases. Institutionen för värme- och kraftteknik, Tekniska Högskolan i Lund, 1996. ISSN 0282-1990.
- 11 **Molin J och Bergström G**
Direkt markförlagda böjar i fjärrvärmeledningar. Svensk Fjärrvärme, Forskning och Utveckling, FOU 1996:7.
- 12 **Molin J, Bergström G och Nilsson S**
Kulvertförläggning med befintliga massor. Svensk Fjärrvärme, Forskning och Utveckling, FOU 1997:17.

- 13 Bergström G och Nilsson S**
Direktförlagda böjar i fjärrvärmeledningar. Påkänningar och skadegränser. Svensk Fjärrvärme, Forskning och Utveckling, FOU 2001:52.
- 14 Andersson S och Olsson N**
Experimentell undersökning av böjar vid kallförläggning av fjärrvärmerör. Svensk Fjärrvärme, Forskning och Utveckling, FOU 2002:63.
- 15 Axelsson K**
Introduktion till jordmekaniken jämte jordmaterialläran. Avdelningen för Geoteknik, Luleå Tekniska Universitet, 971 87 Luleå.
- 16 Thompson G**
An engineers guide to pipe joints. Professional Engineering Publishing Limited, London and Bury St Edmonds, UK, 1998. ISBN 1 86058 081 5.
- 17 Müller H K and Nau B S**
Fluid sealing technology, Principles and applications. Marcel Dekker, Inc., 1998. ISBN 0-8247-9969-0.
- 18 Brown M**
Seals and sealing handbook, 4th edition. Elsevier Advanced Technology, 1995. ISBN 1 85617 232 5.
- 19 Brink R V, Czernik D E and Horve L A**
Handbook of fluid sealing. McGraw – Hill, Inc., 1993. ISBN 0-07-007827-0.
- 20** *Ductile-Iron pipe and fittings, manual of water supply practices.* American Water Works Association. AWWA manual M41. ISBN 0-89867-852-8.
- 21 Nayyar M L**
Piping handbook, 7nd edition. McGraw-Hill. ISBN 0-07-047106-1.
- 22 Moser A P**
Buried Pipe Design, 2nd edition. McGraw-Hill, 2001. ISBN 0-07-043503-0.
- 23 Uetz H**
Abrasion und Erosion. Grundlagen Betriebliche Erfahrungen Verminderung. Carl Hanser Verlag München Wien, 1986. ISBN 3-446-14215-0.
- 24 Mattsson E**
Elektrokemi och korrosionslära. Ingemar Roos AB, 1987.
- 25 Jones D A**
Principles and prevention of corrosion, 2nd edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 1996. ISBN 0-13-359993-0. .

- 26 Sund G**
Utvändig korrosion på fjärrvärmerör. Svensk Fjärrvärme, Forskning och Utveckling, FOU 2002:80.
- 27 Brennert S**
Karlebo Materiallära. Liber utbildning, 1993. ISBN 91-634-0060-X.
- 28 Bowyer W H**
Creep of the copper canister. A critical review of the literature. Statens Kärnkraftinspektion, SKI Report 2003:23, April 2003.
- 29** *Encyclopedia of Polymer Science and Technology.* John Wiley & Sons, 2003.
- 30 Cairo C A A, Florian M, Graca M L A, Bressiani J C**
Structural materials properties. Microstructure and processing. Materials science and engineering A. 358 (1-2): 298-303, October 15, 2003.
- 31 Castillo E**
Extreme value theory in Engineering. Academic Press Inc., 1988.
ISBN 0-12-163475-2.

Rapportförteckning

Samtliga rapporter kan beställas hos Svensk Fjärrvärmes Förlagsservice.

Telefon: 026 – 24 90 24, Telefax: 026 – 24 90 10, www.fjarrvarme.org

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

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

Nr	Titel	Författare	Publicerad
		Carmen Pletikos	
42	Metoder att nå lägre returtemperatur med värmeväxlardimensionering och injusteringsmetoder. Tillämpning på två fastigheter i Borås.	Stefan Petersson	mars-00
43	Vidhäftning mellan PUR-isolering och medierör. Har blåstring av medieröret någon effekt?	Ulf Jarfelt	juni-00
44	Mindre lokala produktionscentraler för kyla med optimal värmeåtervinningsgrad i fjärrvärmesystemen	Peter Margen	juni-00
45	Fullskaleförsök med friktionsminskande additiv i Herning, Danmark	Flemming Hammer Martin Hellsten	feb-01
46	Nedbrytningen av syrereducerande medel i fjärrvärmenät	Henrik Bjurström	okt-00
47	Energimarknad i förändring Utveckling, aktörer och strategier	Fredrik Lagergren	nov-00
48	Strömförsörjning till värmemätare	Henrik Bjurström	nov-00
49	Tensider i fjärrkylanät – Förstudie	Marcus Lager	nov-00
50	Svensk sammanfattning av AGFWs slutrapport ”Neuartige Wärmeverteilung”	Heimo Zinko	jan-01
51	Vattenläckage genom otät mantelrörsskarv	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01
52	Direktförlagda böjar i fjärrvärmeledningar Påkänningar och skadegränser	Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01
53	Korrosionsmätningar i PEX-system i Landskrona och Enköping	Anders Thorén	feb-01
54	Sammanlagring och värmeförluster i närvärmenät	Jochen Dahm Jan-Olof Dalenbäck	feb-01
55	Tryckväxlare för fjärrkyla	Lars Eliasson	mars-01
56	Beslutsunderlag i svenska energiföretag	Peter Svahn	sept-01
57	Skarvtätning baserad på svällande material	Henrik Bjurström Pal Kalbantner Lars-Åke Cronholm	okt-01
58	Täthet hos skarvar vid återfyllning med befintliga massor	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	okt-01
59	Analys av trerörssystem för kombinerad distribution av fjärrvärme och fjärrkyla	Guaxiao Yao	dec-01
60	Miljöbelastning från läggning av fjärrvärmerör	Morgan Fröling Magdalena Svanström	jan-02
61	Korrosionsskydd av en trycklös varmvattenackumulator med kvävgasteknik – fjärrvärmeverket i Falkenberg	Leif Nilsson	jan-02
62	Tappvarmvattenreglering i P-märkta fjärrvärmecentraler för villor – Utvärdering och förslag till förbättring	Tommy Persson	jan-02
63	Experimentell undersökning av böjar vid kallförläggning av fjärrvärmerör	Sture Andersson Nils Olsson	jan-02

Nr	Titel	Författare	Publicerad
64	Förändring av fjärrvärmenäts flödesbehov	Håkan Walletun Daniel Lundh	jan-02
65	Framtemperatur vid värmegles fjärrvärme	Tord Sivertsson Sven Werner	mars-02
66	Fjärravläsning med signaler genom rörnät – förstudie	Lars Ljung Rolf Sjöblom	mars-02
67	Fukttransport i skarvskum	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	april-02
68	Round Robin test II av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ture Nordenswan	april-02
69	EkoDim – beräkningsprogram	Ulf Jarfelt	juni-02
70	Felidentifiering i FC med ”flygfoton” – Förstudie	Patrik Selinder Håkan Walletun	juni-02
71	Digitala läckdetekteringssystem	Jan Andersson	aug-02
72	Utvändigt skydd hos fjärrvärmerörsskarvar	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	sept-02
73	Fuktdiffusion i plaströrsystem	Heimo Zinko Gunnar Bergström Stefan Nilsson Ulf Jarfelt	sept-02
74	Nuläge värmegles fjärrvärme	Lennart Larsson Sofie Andersson Sven Werner	sept-02
75	Tappvarmvattensystem – egenskaper, dimensionering och komfort	Janusz Wollerstrand	sept-02
76	Teknisk och ekonomisk jämförelse mellan 1- och 2-stegskopplade fjärrvärmecentraler	Håkan Walletun	okt-02
77	Isocyanatexponering vid svetsning av fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Lisa Lindqvist Stefan Nilsson	okt-02
78	Förbättringspotential i sekundärnät	Lennart Eriksson Stefan Petersson Håkan Walletun	okt-02
79	Jämförelse mellan dubbel- och enkelrör	Ulf Jarfelt	dec-02
80	Utvändig korrosion på fjärrvärmerör	Göran Sund	dec-02
81	Varmvattenkomfort sommartid i småhus	Tommy Persson	dec-02
82	Miljöbelastning från produktion av fjärrvärmerör	Morgan Fröling Camilla Holmgren	dec-02
83	Samverkande produktions- och distributionsmodeller	John Johnsson Ola Rossing	feb-03
84	Användning av aska vid förläggning av fjärrvärmeledningar - förstudie	Rolf Sjöblom	feb-03
85	Marginaler i fjärrvärmesystem	Patrik Selinder Heimo Zinko	mars-03
86	Flödesutjämnande körstrategi	Gunnar Larsson	april-03
87	”Black-Box”-undersökning av fjärrvärmecentraler	Håkan Walletun Bernt Svensson	juni-03
88	Långtidsegenskaper hos lågflödesinjusterade radiatorsystem	Stefan Petersson Sven Werner	aug-03

Nr	Titel	Författare	Publicerad
89	Rationellt byggande av fjärrvärmeledningar	Tommy Gudmundson	sep-03
90	Total – Kontra utförandeentreprenad	Tommy Gudmundson	sep-03
91	Tryckväxlare för fjärrkyla – Teknik och funktion	Bror-Arne Gustafson	sep-03
92	Kylning av kylmaskiners kondensorer med fjärrkyla i livsmedelsbutiker	Caroline Haglund Stignor	sep-03
93	Minskade distributionsförluster med diffusionstäta fjärrvärmerör	Maria Olsson	okt-03
94	Kopplingsprinciper för fjärrvärmecentral och frånluftsvärmepump	Patrik Selinder Håkan Walletun Heimo Zinko	okt-03
95	Funktion hos 1-rörs radiatorsystem – Avkylning, komfort och stabilitet	Stefan Petersson Bernt-Erik Nyberg	okt-03
96	EPSPEX-kulvert – Utveckling, utförande och uppföljning	Tommy Gudmundson	okt-03
97	EPSPEX-kulvert – Funktion under och efter vattendränkning	Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström	okt-03
98	Fukt i fjärrvärmerör, larmsystem och detektering Inventering av mätmetoder och gränsvärden	Henrik Bjurström Lars-Åke Cronholm Mats-Olov Edström	okt-03
99	Undersökning av skarvar med isolerhalvor efter nio år i drift	Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström	nov-03
100	Strategier för framtidens fjärrvärme	Markus Felleesson	dec-03
101	Fjärrvärmevärmda torkrumsanläggningar	Peter Neikell Tobias Nilsson	nov-03
102	Kyllager i befintligt kylnät	Fredrik Setterwall Benny Andersen	nov-03
103	Reglerdynamik, tryckhållning och tryckslag i stora rörsystem	Gunnar Larsson	dec-03
104	Energimätning i småhus. Förstudie.	Jan Eliason Morgan Romvall Håkan Walletun	dec-03
105	Konsekvenser av mindre styrventiler i distributionsnät	Håkan Lindkvist Håkan Walletun	jan-04
106	Inventering av nya inspektionsinstrument för statuskontroll av fjärrvärmerör	Göran Sund	jan-04
107	Kopplingar i fjärrvärmesystem – inventering av alternativ och utvecklingspotential	Rolf Sjöblom Jöns Hilborn	feb-04
108	Gratid för kyla	Peter Lundell	april-04
109	Effektivare rundgångar	Håkan Walletun Karolina Näsholm	april-04
110	Mikrobiell aktivitet i fjärrkylennät	Magnus Nordling	april-04

FORSKNING OCH UTVECKLING – ORIENTERING

1	Fjärrkyla: Behov av forskning och utveckling	Sven Werner	jan-98
2	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för perioden 23/5 – 30/9 1996.	Lars Lindgren Conny Nikolaisen	jan-98
3	Symposium om Fjärrvärmeforskning på Ullinge Wårdshus i Eksjö kommun, 10-11 december 1996	Lennart Thörnqvist	jan-98
4	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för period 2. 1/1 – 31/12 1997.	Conny Nikolaisen	juli-98
5	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolering av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	sept-99
6	Optimering av fjärrvärmevattens framledningstemperatur i mindre fjärrvärmesystem	Ilkka Keppo Pekka Ahtila	jan-03
7	Sammanställning över fjärrvärme- och kraftvärmeprojekt med eu-stöd	Sofie Andersson Sven Werner	feb-04
8	Utvärdering av FOU-programmet Hetvattenteknik 2001-2003	John Johnsson Håkan Sköldberg	feb-04
9	Nytta med svensk fjärrvärmeforskning	Sven Werner	feb-04

*Svensk Fjärrvärme AB och Statens energimyndighet bedriver
forskningprogram inom området fjärrvärme, hetvattenteknik och fjärrkyla.*



Svensk Fjärrvärme • 101 53 Stockholm • Telefon 08-677 25 50 • Fax 08-677 25 55
Besöksadress: Olof Palmes gata 31, 6 tr. • E-post kontakt@fjarrvarme.org • www.fjarrvarme.org