Täthet hos flänsförband mellan stora polyetenrör och ventiler – experimentell och numerisk studie

Jan Henrik Sällström Johan Sandström Sven-Erik Sällberg



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten Rörnät & Klimat Avlopp & Miljö Management

SVU styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Anna Linusson, Ordförande Daniel Hellström, Utvecklingsledare Lena Blom Tove Göthner Bertil Johansson Stefan Johansson Johan Olanders Lisa Osterman Hans Bertil Wittgren Carl-Olof Zetterman Svenskt Vatten Svenskt Vatten Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad Sveriges Kommuner och Landsting Norrvatten Skellefteå kommun Ovanåkers kommun Örebro kommun Sweden Water Research/VA SYD SYVAB

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling Svenskt Vatten AB Box 14057 167 14 Bromma Tfn 08-506 002 00 Fax 08-506 002 10 svensktvatten@svensktvatten.se www.svensktvatten.se *Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten*.

Svenskt VattenUtvecklingBibliografiska uppgifter för nr 2016-17

Rapportens titel:	Täthet hos flänsförband mellan stora polyetenrör och ventiler - experimentell och numerisk studie
Title of the report:	Tightness of flange joints between large polyethylene pipes and valves - an experimental and numerical study
Författare:	Jan Henrik Sällström, Johan Sandström och Sven-Erik Sällberg, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Rapportnummer:	2016-17
Antal sidor:	48
Sammandrag:	Flänsförband som förbinder plaströr till ventiler har analyserats. Fyra typer av packningar har använts. Åtdragningsnivån, som ger täthet, och relaxationen i förbandet har studerats experimentellt. Verifiering av täthet under 100 år har gjort numeriskt.
Abstract:	Flange joints connecting plastic pipes to valves have been analysed. Four types of gaskets have been used. Torques giving tightness and relaxation of joints have been studied experimentally. Verification of tightness during 100 years has been done numerically.
Sökord:	Flänsförband, polyetenrör, ventiler, täthet, beräkningar, experiment
Keywords:	Flange joints, polyethylene pipes, valves, water tightness, computations, experiments
Målgrupper:	Verksamma inom tillverkning, montering, samt drift och underhåll av stora PE-ledningar för distribution av vatten
Omslagsbild:	Täthetsprovning av reducerad fläns. Foto: Jan Henrik Sällström, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2016
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	14-116
Projektets namn:	Täthet hos flänsförband - del 2
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, 4S Ledningsnät, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Mölndal Stad, Borås Energi och Miljö

Förord

Projektet har utförts vid SP Pipe Centre i Göteborg och i samarbete med 4S ledningsnät, Mölndal Tekniska kontoret och Borås Energi och Miljö. Projektet har finansierats av Svensk Vatten Utveckling och samtliga projektdeltagare.

I styrgruppen har Tomas Helenius (Stockholm Vatten), Fredrik Johansson & Johan Hultén (Göteborg stad Kretslopp och Vatten), Kent Andersson & Lennart Svensson (Mölndal Tekniska förvaltningen), Joakim Ekberg (Borås Energi och Miljö) och Jan Henrik Sällström (SP) medverkat.

Innehåll

För	ord	3
San	nmanfattning	6
Sun	nmary	8
1	Introduktion	10
1.1	Syfte och mål	10
1.2	Val av komponeter	10
1.3	Avgränsningar	11
2	Litteraturstudier	12
2.1	Tidigare arbete	12
2.2	Standarder och rekommendationer	12
3	Metoder vid fullskaleexperiment	14
4	Resultat fullskaleexperiment	18
5	Metoder vid materialexperiment	23
6	Resultat materialexperiment och anpassning av materialmodeller	25
7	Modeller av flänsförband	29
8	Resultat av simuleringar	32
9	Slutsatser och rekommendationer	41
Ref	erenser	43

Sammanfattning

Täthet hos flänsförband vid ventiler har undersökts. Två bordringar av polyeten och en Rekafläns har använts vid de experimentella och numeriska undersökningarna. Fyra olika packningar har använts i undersökningarna: integrerad o-ring tillsammans med reducerad fläns, profilerad och vanlig gummipackning med stålkärna och med respektive utan o-ringsdel samt plan packning. Förbanden (hålgeometrin) är avsedda för 10 bar, men kortsiktig täthet har undersökts med 16 bar och mer långsiktig täthet med 13 bar vid försök (1 vecka) och simuleringar (100 år). I experimenten har gängor och övriga glidytor smorts för att uppnå jämnare fördelning av skruvkrafter och mindre friktionsförluster.

Tätheten hos den vanliga gummipackningen och hos den plana packningen bygger på att tätningstrycket i förbandet inte försvinner på grund av relaxation eller vridning av flänsen kopplat till krypning hos röret. När en profilerad gummipackning används kan täthet upprätthållas antingen genom att kontakt med komponenter etableras på delen med stålkärna eller vid o-ringsdelen.

Stora variationer i skruvkrafter har uppmätts. En simulering visar att, trots stora variationer, blir tätningstryck i ringled konstant då en gummipackning med stålkärna används.

Experimenten har visat att för en profilerad gummipackning krävdes det mindre än 60 % av rekommenderat moment för att uppnå täthet. Detta gäller även för reducerad fläns med integrerad o-ring. För de provade bordringarna av polyeten tillsammans med den vanliga gummipackningen krävdes det 120 % av rekommenderat moment för att uppnå täthet.

I samtliga experiment förblev förbanden täta under testperioden på drygt en vecka. Simuleringarna visar att täthet bevaras i 100 år för samtliga studerade förband med profilerad gummipackning. HP-fläns förblir tät i 100 år med samtliga studerade typer av packningar.

Tätningstrycket vid o-ringsdelen hos den profilerade gummipackningen tenderar att bli något högre än det inre trycket efter 20 år enligt simuleringarna. Detta tolkas som att o-ringen har en självtätande effekt, d.v.s. tätningstrycket anpassas till det inre trycket.

En översyn av rekommenderade åtdragningsmoment för bordringar av polyeten tillsammans med vanliga gummipackningar med stålkärna kan vara befogad. Det finns även anledning att se över åtdragningsmoment för Rekaflänsar tätade med båda typerna av provade gummipackningar.

Vidare talar rekommendationer och redovisade resultat för att kontaktytor i gängor och mellan mutter och underlag bör smörjas med t ex smörjmedel innehållande molybdensulfid. I denna studie har dock ingen jämförande undersökning gjorts med icke-smorda kontaktytor.

För att erhålla täta förband stödjer denna undersökning användandet av profilerade gummipackningar med stålkärna och o-ringsdel eller alternativt reducerad fläns med integrerad o-ring. Fördelar med framförallt den profilerade gummipackningen är att

- Den blir initialt tät vid låga skruvkrafter
- Den verkar vara mindre känslig mot varierande åtdragning
- Den har en självtätande funktion, som ger ett anpassat tätningstryck
- Den är tålig mot rörelser mellan flänsar

Summary

Water tightness of flange joints at valves has been investigated. Two flange adaptors of polyethylene and a transition fitting of steel have been used in the experimental and numerical studies. Four different seals have been studied: an integrated O-ring along with a reduced flange, a standard and a profiled rubber gasket with the steel core and without and with the O-ring part and also a planar gasket. The flanges (the geometry of holes) are designed for 10 bar, but short-term tightness has been investigated at 16 bar and more long-term tightness with 13 bar in experiments (1 week) and simulations (100 years). In the experiments, threads and other slip surfaces have been lubricated to achieve an even distribution of screw forces and less friction losses.

The tightness of the standard rubber gaskets and the planar gaskets is based on that the sealing pressure in the joint does not disappear due to the relaxation or the flange rotation linked to the creep of the pipe. When a profiled rubber gasket is used, the tightness can be maintained either by contact established with components at the part with the steel core or at the O-ring part.

Large variations in the screw forces are measured. A simulation shows that despite the large variation, the sealing pressure in the circumferential direction is constant when a rubber gasket with the steel core is used.

Experiments have shown that for the profiled rubber gasket, it took less than 60 % of the recommended torque to achieve tightness. This applies also to the reduced flange with the integrated O-ring. For the tested flange adaptors of polyethylene together with the standard rubber gasket, it took 120% of the recommended torque to achieve tightness.

In all experiments the joints remained tight during the test period of more than a week. The simulations show that the tightness is preserved for 100 years for all the studied joints with the profiled rubber gasket. HP flange remain tight for 100 years with all studied types of gaskets.

The sealing pressure on the O-ring part of the profiled rubber gasket tends to be slightly higher than the internal pressure after 20 years according to the simulations. This is interpreted as the O-ring has a self-sealing effect, i.e., the sealing pressure is adapted to the internal pressure.

A review of the recommended torques for flange adaptors made of polyethylene together with standard rubber gaskets with the steel core can be justified. There is also reason to review the tightening torque for transition fittings of steel sealed with both types of tested rubber gaskets.

Furthermore, recommendations and reported results support the lubrication of contact surfaces in the threads and between the nut and the foundation with, e.g., lubricants containing molybdenum sulfide. In this study, however, no comparative study is made with non-lubricated contact surfaces. To obtain tight joints this study supports the use of profiled rubber gaskets with the steel core and the O-ring part or, alternatively, reduced flanges with integrated O-rings. Advantages of using primarily the profiled rubber gasket are

- It will initially be tight at low screw forces
- It seems to be less sensitive to varying tightening
- It has a self-sealing function, which provides a matching sealing pressure
- It is robust against displacements between flanges

1 Introduktion

Flänsförband för fogning av polyetenrör med stora dimensioner (300 mm och uppåt) har ibland fått läckage efter en tids användning. Konsekvensen blir dyra åtgärder som efterdragning av förband eller byte av packningar hos rör som ligger nedlagda i mark eller sjöar. Ett problem är att det finns ett antal leverantörer av enskilda komponenter till flänsförbanden. Det finns monteringsanvisningar, men dessa är sällan verifierade för den aktuella kombinationen av delar. Leverantörer eller projektingenjörer med ibland otillräcklig kunskap om mekaniken hos flänsförbandet har svårt att göra korrekta val av produkter och monteringskrav.

1.1 Syfte och mål

Syftet med projektet är att undersöka täthet hos flänsförband mellan rör med flänsar och ventiler. Resultaten kan utgöra en byggsten för ett framtida kvalitetssäkrat rörnät. De kommunala förvaltningarna inom Svenskt Vatten behöver bättre underlag för val av komponenter till flänsförband, så att dessa förblir täta under ledningarnas tänkta livslängd på 100 år.

Komponenter som används av kommunerna idag har analyserats med experiment och numeriska modeller. Metoderna stödjer varandra och täcker in polyetenets tidsberoende egenskaper. Hänsyn tas till hur komponenterna sätts samman i enlighet med rekommendationer från leverantörerna.

För de testade förbanden har kvarvarande tätningstryck efter lång tid bestämts. Tillsammans med tillåtet driftstryck bestäms säkerheten mot läckage. Utgående ifrån detta bedöms de testade förbandens långtidsfunktion. Rekommendationer angående upphandling och montering av flänsförband ges för de verifierade förbanden och tillhörande anvisningar.

1.2 Val av komponeter

Tre olika typer av förband har valts ut:

- Polyetenrör med reducerad fläns mot stålfläns
- Polyetenrör med lösfläns mot stålfläns
- Stålfläns med lösfläns mot stålfläns

För dessa förband är det aktuellt att använda tre olika typer av packningar:

- Profilerad gummipackning med stålkärna och o-ringsdel
- Vanlig gummipackning med stålkärna
- Plan packning

Dessutom har en reducerad fläns med en integrerad o-ring studerats både experimentellt och teoretiskt med numeriska modeller. Istället för en ventil med en fläns av stål används en blindfläns. Två olika stora dimensioner studeras. Undersökningarna utgår från den tidigare studerade dimensionen Ø 630 mm. Ett polyetenrör med lösfläns med diametern Ø 630 mm har en bultcirkeldiameter på Ø 725 mm. För att använda rör med samma bultcirkeldiameter har en reducerad fläns av dimensionen Ø 710 mm valts ut. Stålflänsen som används sitter på ett polyetenrör av dimensionen Ø 630 mm.

Teoretiskt med beräkningar analyseras flänsar med mindre dimensioner. Varianten med lösfläns har dimensionen Ø 315 mm och den reducerade flänsen har dimensionen Ø 355 mm. Båda har bultcirkeldiametern Ø 400 mm.

1.3 Avgränsningar

Vid livslängsbedömningarna beaktas relaxation av förbandet och krypning av polyetenröret. Någon kemisk nedbrytning av packningar eller rör beaktas inte. Livslängd hos eller rost av skruvar och muttrar beaktas inte heller.



Figur 1-1 Flänsförband mellan polyetenrör och ventil. (Foto: Annika Malm))

2 Litteraturstudier

2.1 Tidigare arbete

Jacobsson & Andersson (2011) rapporterade om ett projekt som studerade symmetriska flänsförband där två polyetenrör fogas ihop med hjälp av lösflänsar. I projektet studerades täthet med beräkningsmodeller (FEM) och experiment där tidshorisonten är 10 000 h i beräkningarna och 7 dygn (168 h) i experimenten. Två olika breda bordringar provades tillsammans med olika typer av packningar men med endast en typ av lösfläns. För de studerade förbanden uppnåddes inte den förväntade skruvkraften vid valt åtdragningsmoment.

Jacobsson & Andersson (2011) redovisade faktorer som är viktiga för flänsförbandets täthet: plastmaterialets tidsberoende egenskaper, den geometriska utformningen hos förbandet, funktionen hos packningarna, proceduren vid åtdragning av bultarna, efterdragning och relationen mellan åtdragningsmoment och skruvkraft. Projektet gav en god förståelse för funktionen hos förband med bordringar av polyeten, gummipackning och lösfläns av stål.

2.2 Standarder och rekommendationer

ISO 9624 (1997) ger mått på bordringar med lösfläns till termoplastiska tryckrör. I det tidigare arbetet av Jacobsson & Andersson (2011) var en av typerna utformad enligt angiven standard.

Frank (2015) ger i DVS 2210-1 Suppl 3 rekommendationer för åtdragningsmoment av flänsförband i rörsystem tillverkade av termoplaster. Momenten beror på typ av packning. Värden ges för platta och profilerade packningar samt för o-ringar. Gängor och övriga friktionsytor skall smörjas med t ex molybdensulfid. Friktionskoefficienten har antagits vara 0,15. För större dimensioner över Ø 200 mm ges tillåtet övertryck 6 bar och 16 bar för platta respektive profilerade packningar och o-ringar.

PPI TN-38 (2011) ger åtdragningsmoment och schema för åtdragningsordning av flänsförband. Skruvarna skall dra åt stegvis i tre till fyra steg upp till fullt moment. Till att börja med dras förbandet åt för hand utan verktyg. Vid fullt moment dras ett antal rundor tills nivån har stabiliserats. Efterdragning görs efter minst fyra timmar. For dimensioner över 14" rekommenderas en andra efterdragning efter ytterligare fyra till 24 timmar.

ESA/FSA Publ 009/98 (1998) anger att halva rekommenderade åtdragningsmomentet kan behövas för att överkomma vilofriktionen i gängor och andra kontaktytor. Smorda gängor och kontaktytor är väsentliga för att få jämn fördelning av skruvkrafterna i förbandet. Ekvationer för samband mellan åtdragningsmoment och skruvkrafter ges. Initialt dras skruvar och muttrar ihop för hand. Åtdragningen skall göras i tre jämna steg enligt angivet åtdragningsschema. Efterdragning tillämpas olika och ibland förordas upp till tre gånger med ett mellanrum på 24 timmar. Ett förenklat samband mellan dragkraft F i skruven och åtdragningsmomentet lyder

 $M = 0,2 DF \tag{1}$

där D betecknar skruvens nominella diameter och friktionskoefficienten är ungefär lika med 0,2. I t ex rapporten av Broberg och Gustafsson (1983) ges ett mer fullständigt samband

 $M = (0,16 P + 0,58 \mu_{\rm g} d_2 + 0,5 \mu_{\rm u} D_{\rm m}) F$ (2)

Här används stigningen *P*, friktionen i gängan μ_{g} , medelgängdiametern d_{2} , friktionen mot underlaget μ_{u} och medeldiametern D_{m} i den ringformade kontaktytan mutter och underlag.

3 Metoder vid fullskaleexperiment

Totalt har tio olika kombinationer provats

- Polyetenrör Ø 710 mm och SDR 11 med reducerad fläns från Reinert-Ritz mot stålfläns med tre olika packningar
- Polyetenrör Ø 710 mm och SDR 11 med reducerad fläns och integrerad o-ring från Reinert-Ritz mot stålfläns
- Polyetenrör Ø 630 mm och SDR 11 med HP-fläns från Reinert-Ritz mot stålfläns med tre olika packningar
- Stålfläns mot stålfläns med tre olika packningar. Här används polyetenrör Ø 630 mm och SDR 11 med Rekafläns 201-13 från Supertech Industrie.

Flänsarna visas i Figur 3-1 och Figur 3-2. Hålgeometrin är avsedd för trycket 10 bar. Polyetenkvaliteten (HDPE) som används i flänsarna är Borsafe HE3490-LS.



Figur 3-1 Reducerad fläns Ø710 mm utan och med integrerad o-ring till vänster respektive höger.



Figur 3-2 HP-fläns Ø 630 mm och Rekafläns Ø 630 mm till vänster respektive höger.



Figur 3-3 Skisser av använda packningar från vänster till höger K+Z G-ST-P/S (profilerad gummipackning (EPDM) med stålkärna och o-ringsdel), K+Z G-ST (vanlig gummipackning (EPDM) med stålkärna) och Klingersil C-4430 (plan packning av fiber och NBR)

Vid provningen används gummipackningarna med kvalitet EPDM (Ethylene Propylene Diene M-class) från Kroll & Ziller (2009) med beteckningarna G-ST-P/S respektive G-ST. Vidare används en plan packning Klingersil C-4430 bestående av syntet- och glasfibrer bundna med NBR (Nitrile butadiene rubber) (Klinger, 2016). Packningarna är skissade i Figur 3-3.

I Figur 3-4 visas försöksuppställningen med den reducerade flänsen Ø 710 mm. Anslutningen mellan polyetenfläns och ventil simuleras med hjälp av en blindfläns av gjutgods. Övriga försöksuppställningar var uppbyggda på samma sätt. Varje försöksuppställning bestod av en blålackerad blindfläns, en packning, en bordring (fläns) av polyeten eller stål, lösfläns eller integrerad stålfläns, 20 skruvar med muttrar och brickor, ett polyetenrör fastsatt i bordringen (flänsen) samt en ändgavel. Vidare användes utrustning för fyllning och tömning av vatten, utrustning för trycksättning och tryckmätning. Hål för luftning och tryckmätning togs i blindflänsen i lägena kl 12 och kl 3. Påfyllning gjordes via ett centriskt hål i blindflänsen. Till varje skruv med dimension M27 användes en mutter och två brickor. Kontaktytor i gängor samt mellan mutter och bricka smörjdes med MOLY-KOTE[®] 1000.

Två uppsättningar varmförzinkad skruv 8:8 av längderna 180 mm respektive 200 mm användes. Båda uppsättningarna kunde användas till de reducerade flänsarna och de kortare till HP-flänsen. För Rekaflänsen användes de långa skruvarna och förbandet förlängdes med korta stålrör.



Figur 3-4 Försöksuppställning vid fullskaleförsök med reducerad fläns Ø 710 mm. Tätheten hos förbandet till vänster i förgrunden undersöks och till höger i bakgrunden syns en ändgavel monterad på polyetenröret.

Fyra av de 20 skruvarna i en försöksuppställning var försedda med trådtöjningsgivare för mätning av skruvkraft. Totalt var 8 skruvar försedda med trådtöjningsgivare så att två försöksuppställningar kunde användas samtidigt. Skruvarna kalibrerades vid 5 kN före användning. I Figur 3-5 visas en uppsättning skruvar instrumenterade med trådtöjningsgivare, som sitter limmade centriskt i hål borrade från skruvskallen. Vid försöken var dessa skruvar placerade enligt mönsteret i Figur 3-6. Här redovisas även ordningsföljden med siffror som skruvförbanden drogs åt. De instrumenterade skruvarna sitter på olika positioner i de fyra kvadranterna. Den första och den sista skruven som dras åt är instrumenterad. Med dessa val förväntas åtdragningsförloppet fångas väl. Åtdragningsschemat stämmer överens med det i ESA/FSA Publ 009/98 (1998) och intentionen i PPI TN-38 (2011).

Vid åtdragning av skruvförbanden användes en momentnyckel av typ Bacho IZO-D-340. Under mätningarna registrerades kontinuerligt skruvkrafterna, trycket i röret och temperaturen i laboratoriet.

Fabrikantens rekommendationer för åtdragning av skruvar i reducerad fläns och HP-fläns överensstämmer med det som Frank (2015) anger i DVS 2210-1 Suppl 3. För Rekaflänsen är utgångspunkten tagen från Stockholm Vattens rekommendationer, se Tabell 3-1.



Figur 3-5 Skruvar försedda med trådtöjningsgivare KYOWA KGF-3-120-C20-11.



Figur 3-6 Åtdragningsschema visas tillsammans med samt blå markeringar för placering av skruvar med trådtöjningsgivare.

Tabell 3-1Rekommenderade åtdragningsmoment för flänsar av polyetten enligt DVS 2210-1Suppl 3 och Rekafläns enligt Stockholm vatten 8-2010-530-4 rev B.

Reducerad fläns Ø 710 mm HP-fläns Ø 630 mm	Åtdragnings- moment [Nm]	Rekafläns Ø 630 mm	Åtdragnings- moment [Nm]
Integrerad o-ring	80		
K+Z, G-ST-P/S, EPDM	80	K+Z, G-ST-P/S, EPDM	250
K+Z, G-ST, EPDM	100	K+Z, G-ST, EPDM	250
Klingersil C-4430	220		

Vid experimenten genomförs följande steg

- Montering av packning, centrering av komponenter & åtdragning för hand
- Åtdragning med momentnyckel till 40 %, 60 %, 80 % och 100 % av rekommenderad nivå då röret är trycklöst
- Fem åtdragningsrundor per nivå genomförs
- Undersökning av täthet med trycket 16 bar vid varje nivå tills täthet uppnås. Förbandet anses tätt om inget läckage sker under 15 minuter. Efter täthetsprovet sänks övertrycket till noll
- Åtdragningsmomentet ökas till 120 % om täthet inte erhålls vid 100 % och om detta inte räcker kan man gå upp till 140 %
- Efter det att täthet har uppnåtts vid 100 % eller mer genomförs en efterdragning med fem åtdragningsrundor tidigast efter 4 timmar
- Trycket höjs sedan till 13 bar och täthet undersöks under minst en vecka

Fem åtdragningsrundor verkar ge en tillräckligt jämn fördelning av skruvkrafterna i förbandet. Kraftnivån bedöms då vara uppnådd och muttern dras inte åt mer vid vald momentnivå. Vikten av efterdragning belystes i det tidigare projektet av Jacobsson & Andersson (2011) och tas upp i rekommendationerna PPI TN-38 (2011). Trycknivån 13 bar valdes med ledning av tidigare projekt och inkludera en säkerhetfaktor på 1,3 för förband dimensionerade för 10 bar. Eftersom förbandet relaxerar med tiden bedömdes det rimligt att ha en högre trycknivå för att bedöma den kortsiktiga tätheten och därför valdes 16 bar.

4 Resultat fullskaleexperiment

Fullskaleproven genomfördes med två parallella stationer. I Tabell 4-1 anges vid vilket åtdragningsmoment täthet uppnåtts. Täthet undersöktes med övertrycket 16 bar under 15 minuter. För samtliga fall utom för kombinationerna med polyetenflänsarna och vanliga gummipackning K+Z, G-ST uppnåddes täthet innan rekommenderade åtdragningsmoment. För de två fall där läckage uppstod krävdes en höjning av åtdragningsmomentet med ett steg à 20 %. För den reducerade flänsen provades täthet före efterdragningen när förbandet relaxerat i drygt 100 timmar, och det visade sig läcka vid ca 15 bar. Efter efterdragning visade sig förbandet klara 16 bar. Täthetsprovning vid 13 bar pågick i minst åtta dygn och tilläts fortgå längre när stationen ändå inte av praktiska skäl kunde startas om med nya packningar. Under experimenten förblev samtliga förband täta under provningen vid 13 bar.

När trycket läggs på och får verka kommer röret ett expandera elastiskt och materialet kommer även att krypa, dvs det uppstår en tidsberoende deformation vid konstant belastning. I Figur 4-1 och i Figur 4-2 har flänsen vridit sig något. För den reducerade flänsen i Figur 4-1 vrider sig flänsen mellan skruvarna och blir lite kantig. Vid skruvarna är flänsen mer fixerad, vilket kan bero på skruven kommer i kontakt med hålet genom flänsen eller så fixeras delarna bättre där skruven sitter. För HP-flänsen i Figur 4-2 vrider sig flänsen mer jämnt.



Figur 4-1 Bild på reducerad fläns med packning Klingersil C-4430. Periferin är tillplattad mellan skruvarna.

	Integrerad o-ring	K+Z, G-ST-P/S, EPDM	K+Z, G-ST, EPDM	Klingersil C-4430
Reducerad fläns Ø 710				
Rekommenderat moment [Nm]	80	80	100	220
Tät vid moment [Nm]	34	48	120	176
Tät vid moment [%]	42,5 %	60 %	120 %	80 %
Moment vid täthetsprov [%]	100 %	100 %	120 %	100 %
Tid till efterdragning [h]	24	21	108	20
Tid för täthetsprov [dygn]	25	9	20	37
HP-fläns Ø 630				
Rekommenderat moment [Nm]		80	100	220
Tät vid moment [Nm]		48	120	176
Tät vid moment [%]		60 %	120 %	80 %
Moment vid täthetsprov [%]		100 %	120 %	100 %
Tid till efterdragning [h]		21	17	66
Tid för täthetsprov [dygn]		8	8	23
Rekafläns Ø 630				
Rekommenderat moment [Nm]		250	250	250
Tät vid moment [Nm]		100	100	200
Tät vid moment [%]		40 %	40 %	80 %
Moment vid täthetsprov [%]		80 %	80 %	100 %
Tid till efterdragning [h]		23	3,5	27
Tid för täthetsprov [dygn]		20	17	27

Tabell 4-1För respektive fläns och packning anges när täthet uppnås vid trycket 16 bar,
tid till efterdragning och tid som efterföljande täthetsprov vid 13 bar pågår.



Figur 4-2 Bild på HP-fläns med gummipackning (K+Z, G-ST, EPDM) efter en veckas täthetsprovning vid 13 bar. Flänsen har böjts in något vid blindflänsen.

I Tabell 4-2 anges använt åtdragningsmoment för de olika fallen. Dessutom anges beräknad skruvkraft enligt Ekvation (2) och uppmätt skruvkraft efter efterdragning. Stigningen *P* är 3,0 mm, medeldiametern D_m mot underlaget är 33,6 mm och medelgängdiametern d_2 är 25,1 mm. Friktionen mot underlaget μ_u och i gängan μ_g har antagit till 0,10 respektive 0,15. Skruvkraft efter åtdragning, efter pålagt tryck och efter tryckavlastning relateras till skruvkraften efter efterdragning.

För uppmätta skruvkrafter ges ett medelvärde och en standardavvikelse relaterat till medelvärdet. De både uppsättningarna skruvar användes för första gången för de reducerade flänsarna med integrerad o-ring respektive med profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S, EPDM). Gängorna skulle kunna slitas in när muttrarna dras åt för första gången, men variationerna verkar inte vara relaterade till ordningsföljden de användes.

När trycket läggs på ökar skruvkrafterna utom för reducerad fläns med packning Klingersil C-4430 och utom för Rekaflänsen. För Rekaflänsen minskar skruvkrafterna med ungefär 10 %, när trycket läggs på. När trycket läggs på i polyetenflänsarna gäller att ju mindre åtdragningsmoment desto större kraftökning sker både relativt sett och absolut.

Vid avlastning av trycket minskar skruvkrafterna och vi får ett mått på hur mycket förbandet har relaxerat. För de reducerade flänsarna med integrerad o-ring respektive med profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S, EPDM) blir kvarvarande skruvkraft i medel 35 % respektive 56 % av kraften vid efterdragning. För övriga förband är den kvarvarande skruvkraften över 70% av kraften efter efterdragning. Generellt sett minskar spridningen i skruvkrafter efter relaxation. För den reducerade flänsarna med integrerad o-ring är spridningen stor hos skruvkrafterna även efter avlastning av trycket. För den reducerade flänsarna med integrerad o-ring är spelet mellan fläns och blindfläns bara 0,2 mm, vilket kan begränsa den utjämnande effekten som packningen har under relaxationen.

I Figur 4-3 – Figur 4-6 visas delar av provförloppet för HP-fläns med profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S, EPDM). I Figur 4-3 dras skruvarna åt till första nivån 34 Nm. Man ser att skruvarna blir avlastade fullständigt i både första och andra åtdragningsrundan. Efter fem rundor varierar de uppmätta skruvkrafterna relativt mycket inbördes, men alla skruvar är belastade. I Figur 4-4 dras skruvarna åt till full nivå 80 Nm och i Figur 4-5 visas mätningar vid efterdragning och pålastning av vattentryck. När trycket läggs på ökar krafterna i skruvarna. Figur 4-6 visas kvarvarande krafter i skruvarna efter det att vattentrycket har avlastats.

Tabell 4-2För respektive fläns och packning anges åtdragningsmoment [Nm], beräknad skruvkraft [kN] och uppmätt
efterdragningskraft [kN]. Dessutom anges skruvkrafter relaterade till efterdragningskraften vid avslutad
åtdragning, efter trycksättning med 13 bar samt efter avlastning av övertryck. Åtdragningsmoment och
beräknad kraft ges av ett enda värde. För övriga uppmätta skruvkrafter ges medelvärde och relativ stan-
dardavvikelse.

	Integrei	ad o-ring	K+Z, G-ST	-P/S, EPDM	K+Z, G-	ST, EPDM	Klingers	sil C-4430
	Medel	Rel Stdav	Medel	Rel Stdav	Medel	Rel Stdav	Medel	Rel Stdav
Reducerad fläns Ø 710								
Moment [Nm]	80		80		120		220	
Dragning [-]	0,98	0,12	0,98	0,09	1,04	0,02	1,03	0,07
Efterdragning [kN]	17	0,19	13	0,08	24	0,13	45	0,14
Beräknad kraft [kN]	18		18		28		51	
Tryck [-]	1,51	0,14	1,54	0,08	1,13	0,04	0,99	0,03
Avlastning [-]	0,35	0,29	0,56	0,09	0,71	0,06	0,71	0,02
HP-fläns Ø 630								
Moment [Nm]			80		120		220	
Dragning [-]			1,09	0,07	0,96	0,07	1,02	0,04
Efterdragning [kN]			15	0,09	26	0,19	43	0,19
Beräknad kraft [kN]			18		28		51	
Tryck [-]			1,61	0,07	1,22	0,06	1,05	0,05
Avlastning [-]			0,71	0,07	0,83	0,04	0,78	0,04
Rekafläns Ø 630								
Moment [Nm]			200		200		250	
Dragning [-]			1,01	0,06	1,00	0,02	1,03	0,04
Efterdragning [kN]			40	0,10	45	0,09	54	0,08
Beräknad kraft [kN]			46		46		58	
Tryck [-]			0,93	0,03	0,91	0,02	0,89	0,03
Avlastning [-]			0,91	0,02	0,96	0,01	0,98	0,01



Figur 4-3 Åtdragning av HP-fläns med profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S, EPDM) i ett första steg till momentet 34 Nm.



Figur 4-4 Åtdragning av HP-fläns med profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S, EPDM) i ett första steg till fullt moment 80 Nm. Först dras en runda med 64 Nm och sedan dras fem rundor till 80 Nm.



Figur 4-5 Efterdragning 80 Nm av HP-fläns med profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S, EPDM) och pålastning av vattentryck till 13 bar.



Figur 4-6 Krafter i skruvar i HP-fläns med profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S, EPDM) före och efter att vattentrycket har avlastats, samt när bultarna lossas.

5 Metoder vid materialexperiment

Dragprov har utförts för att bestämma både elasticitetsmodulen och flytgränsen hos polyeten kvaliteten Borsafe HE3490-LS. En dragprovstav typ 1B enligt ISO 527-2 visas i Figur 5-1. Provning utförs enligt ISO 527-1 och 2. Elasticitetsmodulen i dragning är 1 100 MPa och flytgränsen är 25 MPa enligt datablad från Borouge.

Kompressionsprov har gjorts med stöd av ISO 604. Större provstavar än i standarden användes för att anpassa de krafter som skall mätas till tillgängliga kraftgivare. Provstaven för bestämning av hållfasthet visas i Figur 5-2. Vid bestämning av elasticitetsmodul och relaxation användes provstaven i Figur 5-3. Det har även utförts krypprov med provstav enligt Figur 5-4. Vid samtliga kompressionsprov pressas provstavarna mellan stålplattor. För att minska friktionen har dessa sprejats med silikonsprej. Vid relaxationsproven belastas provstaven och sedan fixeras plattorna så att den totala töjningen inte förändras. Med tiden minskar spänningen när materialet relaxerar. En minskande spänning betyder att även den elastiska töjningen minskar och en ökande kryptöjning. Vid krypförsöken läggs en konstant spänning på provstaven med hävarm och vikter. Den ökande kryptöjningen registreras.



Figur 5-1 Dragprovstav typ 1B enligt ISO 527-2 med tvärsnitt10x4 mm och smidjelängd 60 mm.



Figur 5-2 Provstav för kompressionstest vid bestämning av hållfasthet i stil med ISO 604 men provkroppar enligt standard är mindre Ø 10x10 mm.



Figur 5-3 Provstav för kompressionstest vid bestämning av elasticitetsmodul i stil med ISO 604 men provkroppar enligt standard är mindre Ø 10x50 mm. Samma provstav används för relaxationstester.



Figur 5-4 Provstav Ø 16x40 mm för kryptest i kompression.

Gummipackningarna har provats genom att göra kompressionsprov med enbart pålastning och relaxationsprov då plattorna fixeras efter pålastningen. Provkroppar som representerar en tårtbit med skruv har tillverkats. Försöksuppställning illustreras i Figur 5-5. Styvheten hos Kingersil C-4430 har bestämts med kompressionsprov. Cirkulära brickor har stansats ut och lagts på varandra, se Figur 5-6.



Figur 5-5 Prov av profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S, EPDM) i kompression. Bågar av packningen av längden ett tjugondelsvarv vilket motsvarar delningen hos skruvarna i förbandet som komprimerades.



Figur 5-6 Prov av packning Kingersil C-4430 i kompression. Fyra cirkulära brickor Ø 25 mm av packningen stansades ut och lades på varandra, så att höjden blev 6,0 mm.

6 Resultat materialexperiment och anpassning av materialmodeller

Resultat från drag- och kompressionsprov visas i Figur 6-1. Här har även den linjärelastiska modellen lagts till med elasticitetsmodulen 1 090 MPa. Relaxationsförsök under ca 48 timmar och krypförsök under 10 månader har genomförts och redovisas i Figur 6-2. Här finns även anpassade modeller för kryp och relaxation med.



Figur 6-1 Till vänster: Mätresultat från dragförsök med polyeten. Till höger: Mätresultat från kompressionsförsök. I Båda diagrammen har linjärt elastiskt material med elasticitetsmodulen 1090 MPa infogats.



Figur 6-2 Till vänster: Mätresultat från relaxationsförsök med polyeten och beräknat resultat med anpassad materialmodell. Till höger: Mätresultat från krypförsök och beräkningsresultat med anpassad materialmodell.

Tabell 6-1 Parametrar i materialmodeller för polyeten.

Storhet	Beteckning	Värde
Elasticitetsmodul	E	1090 MPa
Tvärkontraktionstalet	μ	0,4
Skjuvmodul	G_{0}	389 MPa
Antal termer i Pronyserie	N	13

Tabell 6-2 Parametrar i Pronyserie materialmodeller för polyeten.

i	τ ^G _i [s]	$\overline{\boldsymbol{g}}_{i}^{P}$
1	0,2498	0,0086
2	5,792	0,0903
3	33,21	0,1403
4	237,4	0,1486
5	1 690	0,0997
6	13 500	0,1074
7	119 000	0,0749
8	812 000	0,0611
9	6,15 10 ⁶	0,0514
10	4,86 10 ⁷	0,0418
11	3,67 10 ⁸	0,0320
13	2,39 10 ⁹	0,0249

En linjärt viskoelastisk modell har använts för att modellera kryp och relaxation i polyeten. För små töjningar kan skjuvspänningen tecknas

$$\tau(t) = G_0(\gamma - \gamma_{\rm cr}) \qquad \qquad \gamma_{cr} = \sum_{i=1}^N \frac{\bar{g}_i^P}{\tau_i^G} \int_0^t e^{-s/\tau_i^G} \gamma(t-s) ds \qquad \qquad \exists a, b$$

Skjuvmodulen betecknas G_0 samt skjuvningen och krypskjuvningen γ respektive γ_{cr} . Här har en Pronyserie använts med parametrarna \overline{g}_i^P och τ_i^G för i = 1, 2, ..., N. En sammanställning av anpassade materialparametrar ges i Tabell 6-1 och Tabell 6-2. Jämförelse med experiment i Figur 6-2 visar att modellen ger bra överenstämmelse för relaxationsförsöken. Dock verkar modellen, vid långa tider, ge för stora kryptöjningar jämfört med krypförsöken. Detta bedöms som acceptabelt då det blir en konservativ modellering, eftersom krypdeformationerna kommer att överskattas för långa livslängder.

I Figur 6-4 visas mätresultat och resultat från anpassad materialmodell. Här används Neo-Hook för att fånga det elastiska beteendet hos EPDM. Den hyperelastiska materialmodellen Neo-Hook utgår från en potentiell energi

$$U = C_{10}(\bar{I}_1 - 3) + \frac{1}{D_1}(J - 1)^2$$
⁴

Där parametrarna $\overline{I_i}$ och J är invarianter som baseras på huvudsträckningarna $\lambda_i = dl_i / dL_i$ vilka är kvoter mellan avstånd hos en deformerad och en odeformerad struktur:

För att simulera relaxationen används en krypmodell med töjningshårdnade där kryptöjningshastigheten skrivs

$$\dot{\epsilon}_{\rm cr} = [A\sigma_{\rm e}^n \{(m+1)\epsilon_{\rm cr}\}^m]^{1/(m+1)} \tag{6}$$

Här ingår effektivspänning $\sigma_{e'}$ effektiv kryptöjning ε_{cr} och materialparametrarna *A*, *n* och *m*. Det elastiska (4) och viskoelastiskta (6) beteendet kombineras i ett parallellt reologiskt nätverk, se Figur 6-3. Samma hyperelastiska modell används för de båda elastiska delarna. I modellen tillkommer även en parameter r som anger andelen spänning som går via serien med elastisk styvhet och viskös dämpning. Andelen spänning som går via den rent elastiska styvheten blir (1-*r*). Parametrarna som används ges i Tabell 6-3.

Tabell 6-3 Parametrar i materialmodell för EPDM.

Beteckning	Värde				
C ₁₀	1,276 MPa				
D_1	0,048 MPa ⁻¹				
А	0,003 MPa ⁻ⁿ s ^{-m-1}				
n	6				
m	-0,15				
r	0,9				



Figur 6-3 Reologiskt nätverk.



Figur 6-4 Till vänster: Mätresultat från pålastning med profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S, EPDM) och beräknat resultat med anpassad materialmodell. Till höger: Mätresultat från relaxationsförsök med gummipackning och beräkningsresultat med anpassad materialmodell.

I Figur 6-5 visas resultat från kompression av provkroppar stansade ur packningen Kingersil C-4430. En tangent har dragits till pålastningsfasen och motsvarande linjärt elastiska modell visas med en parallell linje genom origo i diagrammet. Medeltrycket blir maximalt 0,55 MPa vid skruvkraften 58 kN, men lokalt högre tryck kommer att inträffa.





7 Modeller av flänsförband

Åtdragningsförloppet av en reducerad fläns Ø 710 mm har på ett kvalitativt sätt simulerats med hjälp av en finita elementmodell (FE-modell). Det kommersiella FE-programmet Abaqus version 6.14-1 har använts vid simuleringarna. Målet är att få en bild av hur åtdragningen av skruvar samspelar med varandra. En kvartsmodell av flänsen simuleras med cykliska randvillkor, vilket betyder att fyra skruvar dras år samtidigt – en i varje kvart, se Figur 7-1.

Modeller har gjorts av reducerad fläns Ø 710 mm och HP-fläns Ø 630 mm med samtliga packningar, dvs integrerad o-ring endast för reducerad fläns och packningarna K+Z, G-ST-P/S, K+Z, G-ST och Klingersil C-4430 för båda, se Figur 7-2. Modellerna består av en tårtbit av förbandet innehållande en halv skruv med symmetrirandvillkor på de plana sidorna. Syftet med simuleringarna är att bestämma hur länge flänsförbandet är tätt när polyeten och gummipackningarna relaxerar. För att modellera läckage används tryckpenetrationsfunktionalitet i kontaktvillkoren mellan packning och rördelarna. Detta innebär att ett vätsketryck kan ta sig mellan kontaktytorna och när det kommit förbi hela packningen blir det läckage.

Som en jämförelse har simuleringar med mindre dimensioner gjorts. Reducerad fläns Ø 355 mm och HP-fläns Ø 315 mm med packningen K+Z, G-ST-P/S har simulerats, se Figur 7-3. Rekafläns Ø 630 mm har simulerats med gummipackningarna K+Z, G-ST-P/S och K+Z, G-ST, se Figur 7-4. Storleken av de använda finita elementmodellerna ges i Tabell 7-1.

Tabell 7-1 Antal element och noder i de använda modellerna.

Typ av modell	Figur	Antal element	Antal noder
Kvartsmodell av reducerad fläns Ø 710	Figur 7-1	37 000	60 000
Tårtbit av reducerad fläns Ø 710	Figur 7-2	52 000	33 000
Tårtbit av HP-fläns Ø 630	Figur 7-2	35 000	55 000
Tårtbit av reducerad fläns Ø 355	Figur 7-3	43 000	60 000
Tårtbit av HP-fläns Ø 315	Figur 7-3	28 000	43 000
Tårtbit av Rekafläns Ø 630	Figur 7-4	67 000	89 000



Figur 7-1 Modell för simulering av åtdragning av reducerad fläns Ø 710 mm.

Olika elementtyper har använts i modellerna. För blindflänsen har andra ordningens element (Abaqustyp C3D20R) använts medan första ordning har använts i övrigt (C3D8R). För gummimaterialet har hybridelement (C3D8RH) använts, som har ytterligare en frihetsgrad för det hydrostatiska trycket. Detta behövs för att hantera det nästan inkompressibla beteende som gummi har. Klingersil C-4430 antas enbart visa ett elastiskt beteende.



Figur 7-2 Modeller för simulering av relaxation hos reducerad fläns Ø 710 mm (till vänster) och HP-fläns Ø 630 mm (till höger).



Figur 7-3 Modeller för simulering av relaxation hos reducerad fläns Ø 355 mm (till vänster) och HP-fläns Ø 315 mm (till höger).

Tabell 7-2	Använd förspänningskraft [kN] i simuleringar av täthet. För
	de stora dimensionerna används uppmätta medelkrafter från
	experiment och för de mindre används beräknade skruvkrafter.

	Integrerad o-ring	K+Z, G-ST-P/S, EPDM	K+Z, G-ST, EPDM	Klingersil, C-4430
Reducerad fläns Ø 710	17	13	24	45
HP-fläns Ø 630		15	26	43
Reka fläns Ø 630		40	45	
Reducerad fläns Ø 355		14		
HP-fläns Ø 315		14		



Figur 7-4 Modeller för simulering av relaxation hos Rekafläns Ø 630 mm med gummipackning.

I simuleringarna av de stora dimensionerna har skruvkrafter valts som medel av uppmätta krafter efter efterdragning. För de mindre dimensionerna har skruvkraften bestämts med Ekvation (2). Använda skruvkrafter ges i Tabell 7-2.

8 Resultat av simuleringar

Åtdragningsprocessen har simulerats för fallet med reducerad fläns Ø 710 mm med profilerad gummipackning, K+Z, G-ST-P/S, se Figur 8-1. I simuleringen dras skruvarna upp till 15 kN i fyra steg. I de tre första stegen utförs endast en åtdragningsrunda och sista steget utförs två åtdragningsrundor. En åtdragningsrunda sker i bokstavordning. I simuleringen dras fyra bultar samtidigt - en i varje kvart. Denna förenklade process motsvarar åtdragningsordningen som bör utföras i fält. Under en åtdragningsrunda i början kommer bultar att avlastas helt. Det är inte förrän i sista åtdragningsrundan i simuleringen som skruvkrafterna inte återgår till noll. När skruv (e) och övriga skruvar i de tre andra kvartarna dras åt, ökar kraften i två skruvar (a) och (d). Kraften i skruv (d) ökar över åtdragningsnivån 15 kN. I simuleringen blir de slutgiltiga krafterna väldigt olika men trots detta blir packningstrycket längs med packningen i ringled jämnt. Det konstanta packningstrycket i omkretsled bekräftar att det är korrekt att studera täthet för modeller av förbandet bestående av en tårtbit innehållande en halv skruv.

Efter åtdragningen kommer en relaxations- och krypfas där packningstrycket minskar och rörets diameter ökar med tiden. I Figur 8-2 visas hur effektivspänningarna i förändras med tiden hos reducerad fläns Ø 710 mm med profilerad gummipackning, K+Z, G-ST-P/S. Initialt är det höga spänningar i underlaget vid skruven. Efter en vecka har området med spänningar över 12 MPa minskat i storlek och efter 1 år är spänningarna i polyetenmaterialet under 10 MPa. Efter 100 år har spänningarna ökat något tillföljd av förbandets deformation.

I Figur 8-3 visas hur deformationerna förändras med tiden hos samma konstruktion. Flänsen vrider sig med tiden och röret expanderar. Efter c:a en vecka uppstår kontakt mellan skruv och hål genom flänsen. Flänsförbandet är fortfarande tätt efter 100 år enligt simuleringen. Vid 100 år ser man att själva o-ringsdelen har rört sig mer radiellt utåt än resten av packningen.



Figur 8-1 Resultat från simulering av åtdragning av reducerad fläns Ø 710 mm med gummipackning K+Z, G-ST-P/S. Till vänster: Packningstryck efter åtdragning och till höger variation av skruvkrafter under simulerat åtdragningsförlopp.



Figur 8-2Resultat från simulering av relaxation av reducerad fläns Ø 710 mm med gummipackning K+Z, G-ST-P/S.
Effektivspänningar [MPa] vid fyra tidpunkter: Initialt samt efter 1 vecka, efter 1 år och efter 100 år.



Figur 8-3 Resultat från simulering av relaxation av reducerad fläns Ø 710 mm med gummipackning K+Z, G-ST-P/S. Storlek av radiella förskjutningar [mm] vid fyra tidpunkter: Initialt samt efter 1 vecka, efter 1 år och efter 100 år.

I Figur 8-4 och Figur 8-5 redovisas uppmätta och beräknade skruvkrafter för reducerad fläns Ø 710 mm med profilerad gummipackning, K+Z, G-ST-P/S. Ökningen av skruvkraft i simuleringen är kopplat till när kontakt uppstår mellan skruv och hål i bordringen. Några uppmätta skruvkrafter visar på ökande krafter med tiden under en del av provförloppet, vilket även påvisades i simuleringarna.



Figur 8-4 Krafter i skruvar i reducerad fläns Ø 710 mm med profilerad gummipackning K+Z, G-ST-P/S. Resultat från mätningar och simulering av relaxation efter åtdragning under 500 timmar.



Figur 8-5 Krafter i skruvar i reducerad fläns Ø 710 mm med profilerad gummipackning K+Z, G-ST-P/S. Resultat från mätningar och simulering av relaxation efter åtdragning under 100 år.

Spänningarna i HP-flänsen Ø 630 mm med profilerad gummipackning K+Z, G-ST-P/S visas i Figur 8-6 vid två tidpunkter: initialt och efter 100 år. I Figur 8-7 visas deformationerna vid samma tidpunkter. Höga spänningar i polyetenet uppstår initialt vid kontakten med lösflänsen. Spänningarna minskar med tiden men efter 100 år har kontakt uppstått mellan delarna på ett nytt ställe, vilket ger höga spänningar i polyetenet även här. Även denna kombination med HP-fläns och profilerad gummipackning förblir tätt efter 100 år enligt simuleringen.



Figur 8-6 Resultat från simulering av relaxation av HP-fläns Ø 630 mm med gummipackning K+Z, G-ST-P/S. Effektivspänningar [MPa] vid två tidpunkter: Initialt och efter 100 år.



Figur 8-7 Resultat från simulering av relaxation av HP-fläns Ø 630 mm med gummipackning K+Z, G-ST-P/S. Storlek av radiella förskjutningar [mm] vid två tidpunkter: Initialt och efter 100 år.

Tabell 8-1 Simulerad tid [år] till läckage

	Integrerad o-ring	K+Z, G-ST-P/S, EPDM	K+Z, G-ST, EPDM	Klingersil, C-4430
Reducerad fläns Ø 710	100	100	18	0,8
HP-fläns Ø 630		100	100	100
Reka fläns Ø 630		100	100	
Reducerad fläns Ø 355		100		
HP-fläns Ø 315		100		

I Tabell 8-1 visas tid tills läckage uppstår under förbandets önskade livslängd 100 år. Om det inte blir något läckage anges livslängden för förbandet som 100 år. I Figur 8-8 – 8-11 visas deformationer vid läckage eller 100 år för de ytterligare kombinationer som har studerats. I Figur 8-12 visas deformationer med en mindre storlek på bordringar (flänsar). Här har reducerad fläns Ø 355 mm och HP-fläns Ø 315 mm med profilerad gummipackning, K+Z, G-ST-P/S, EPDM, studerats.



Figur 8-8 Resultat från simulering av relaxation av reducerad fläns Ø 710 mm. Storlek av radiella förskjutningar [mm] efter 100 år. Fläns med integrerad packning till vänster och fläns med profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S, EPDM) till höger.



Figur 8-9 Resultat från simulering av relaxation av reducerad fläns Ø 710 mm. Storlek av radiella förskjutningar [mm] efter 18 år respektive 0,8 år vid läckage. Fläns med gummipackning (K+Z, G-ST, EPDM) till vänster och fläns med Klingersil C-4430 till höger.



Figur 8-10 Resultat från simulering av relaxation HP-fläns Ø 630 mm. Storlek av radiella förskjutningar [mm] vid 100 år. Fläns med gummipackning (K+Z, G-ST, EPDM) till vänster och fläns med Klingersil C-4430 till höger.



Figur 8-11 Resultat från simulering av relaxation Rekafläns Ø 630 mm. Storlek av radiella förskjutningar [mm] vid 100 år. Fläns med profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S, EPDM) till vänster och fläns med vanlig gummipackning (K+Z, G-ST, EPDM) till höger.



Figur 8-12 Resultat från simulering av reducerad fläns Ø 355 mm och HP-fläns Ø 315 mm med profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S, EPDM). Storlek av radiella förskjutningar [mm] vid 100 år. Reducerad fläns Ø 355 mm till vänster och HP-fläns Ø 315 mm till höger.

I Tabell 8-2 ges tätningstrycket initialt och efter 20 år och i Tabell 8-3 ges säkerheten mot läckage. Säkerheten mot läckage definieras

$$S = \frac{p_{\rm s} - p_{\rm w}}{p_{\rm w}}$$

där p_s är packningstrycket och p_w är vattentrycket.

Vid måttlig åtdragning av en packning innehållande en o-ring tenderar tätningstrycket att bli något högre än det inre trycket. Detta bekräftas av simuleringar med lägre inre tryck. Den definierade säkerheten mot läckage blir därmed alltid liten om tätning sker vid o-ringen. I detta fall blir den definierade säkerheten inte ett speciellt bra mått. Att tätningstrycket endast blir något större än vattentrycket, har sin orsak i att ett hydrostatiskt tillstånd kan uppstå i nästan inkompressibla material.

För HP-fläns Ø 315 mm och Rekafläns Ø 630 mm uppkommer det högsta tätningstrycket längs med gummidelen med stålkärnan.

Reducerad fläns Ø 710 mm är tät efter 20 år endast om tätningen innehåller en o-ring. HP-fläns Ø 630 mm förblir tät med samtliga provade packningar efter 20 år.

Tabell 8-2 Simulerat tätningstryck [bar] vid belastning 13 bar initialt och efter 20 år.

	Integrerad o-ring		K+Z, G-ST-P/S, EPDM		K+Z, G-ST, EPDM		Klingersil, C-4430	
Tid [år]	0	20	0	20	0	20	0	20
Reducerad fläns Ø 710	37	16	48	14	79	0	240	0
HP-fläns Ø 630			54	14	89	38	220	110
Rekafläns Ø 630			150	120	180	150		
Reducerad fläns Ø 355			62	14				
HP-fläns Ø 315			65	28				

Tabell 8-3Säkerhet mot läckage ges som simulerat tätningstryck genom inre
övertryck initialt och efter 20 år.

	Integrerad o-ring		K+Z, G-ST-P/S, EPDM		K+Z, G-ST, EPDM		Klingersil, C-4430	
Tid [år]	0	20	0	20	0	20	0	20
Reducerad fläns Ø 710	1,9	0,2	2,7	0,1	5,1	-1,0	18	-1,0
HP-fläns Ø 630			3,2	0,1	5,9	1,9	16	7,4
Rekafläns Ø 630			11	7,9	13	11		
Reducerad fläns Ø 355			3,8	0,04				
HP-fläns Ø 315			4,0	1,1				

9 Slutsatser och rekommendationer

Täthet hos flänsförband vid ventiler har undersökts. Två bordringar av polyeten och en Rekafläns har använts vid de experimentella och numeriska undersökningarna. I samtliga fall är bultcirkeldiametern Ø 725 mm. Bordringar med en mindre bultcirkeldiameter Ø 400 mm har undersökts numeriskt. Fyra olika packningar har använts i undersökningarna: integrerad o-ring tillsammans med reducerad fläns, profilerad och vanlig gummipackning (EPDM) med stålkärna med respektive utan o-ringsdel (K+Z, G-ST-P/S och G-ST) samt plan packning av fibrer och NBR (Klingersil C-4430). Förbanden (hålgeometrin) är avsedda för 10 bar, men kortsiktig täthet har undersökts med 16 bar och mer långsiktig täthet med 13 bar vid försök och simuleringar.

Stora variationer i skruvkrafter har uppmätts med i vissa fall relativa standardavvikelser på 0,19. I experimenten har gängor och övriga glidytor smorts för att uppnå jämnare fördelning och mindre friktionsförluster, vilket anges i rekommendationer. En simulering av åtdragningsprocessen tyder även på stora variationer, men gummipackningar med stålkärna leder trots detta till konstanta tätningstryck i ringled. Vid experimenten har det konstaterats att i alla fall utom två finns det mer än 70 % av skruvkrafterna kvar efter avlastning av inre tryck efter minst åtta dygns relaxation. Lägre krafter erhölls för reducerad fläns Ø 710 mm med integrerad o-ring respektive profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S).

Experimenten visade att för profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S) krävdes det mindre än 60 % av rekommenderat moment för att uppnå täthet. Detta gäller även för reducerad fläns Ø 710 mm med integrerad o-ring. I experimenten visade sig den reducerade flänsen tätad med profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S) ge ett tät förband trots resulterande låga skruvkrafter. För de provade bordringarna av polyeten tillsammans med vanlig gummipackning (K+Z, G-ST) krävdes 120 % av rekommenderat moment för att uppnå täthet. I samtliga experiment förblev förbanden täta under testperioden på drygt en vecka.

Materialdata för aktuell polyetenkvalitet och packningsmaterialen har tagits fram med experiment. Simuleringarna visar att täthet bevaras i 100 år för samtliga studerade förband med profilerad gummipackning (K+Z, G-ST-P/S). HP-fläns Ø 630 mm förblir tät i 100 år med samtliga studerade typer av packningar. I det senare fallet har åtdragningsmomentet för vanlig gummipackning (K+Z, G-ST) valts till 120 % av rekommenderat moment.

När profilerad gummipackning används kan täthet upprätthållas antingen genom att kontakt med komponenter etableras på delen med stålkärna eller vid o-ringsdelen. Vid initialt relativt höga skruvkrafter och liten krypning som ger vridning av flänsen kan höga kontakttryck återstå efter 20 år vid delen av gummipackningen med stålkärnan.

Tätningstrycket vid o-ringsdelen tenderar att bli något högre än det inre trycket efter 20 år enligt simuleringarna. Detta tolkas som o-ringsdelen har en självtätande effekt, dvs tätningstrycket anpassas till det inre trycket. Tätningstrycket blir så stort som det behövs när packningen fungerar som det är tänkt.

Tätheten hos vanlig gummipackning med stålkärna (K+Z, G-ST) och plan packning (Klingersil C-4430) bygger på att tätningstrycket i förbandet inte försvinner på grund av relaxation eller vridning av flänsen kopplat till krypning hos röret. För reducerad fläns Ø 710 mm tätad med vanlig gummipackning (K+Z, G-ST) eller plan packning (Klingersil C-4430) har enligt simuleringar läckage uppstått före 20 års användning. I det senare fallet uppstår läckage redan före ett års användning.

En översyn av rekommenderade åtdragningsmoment för bordringar av polyeten tillsammans med vanlig gummipackning med stålkärna (K+Z, G-ST) kan vara befogad. Det finns även anledning att se över åtdragningsmoment för Rekaflänsar tätade med båda typerna av provade gummipackningar.

Vidare talar rekommendationer och redovisade resultat för att kontaktytor i gängor och mellan mutter och underlag bör smörjas med t ex smörjmedel innehållande molybdensulfid. Orsakerna är att rätt och jämn nivå hos skruvkrafterna eftersträvas. I denna studie har dock ingen jämförande undersökning gjorts med icke-smorda kontaktytor.

För att erhålla täta förband stödjer denna undersökning användandet av profilerade gummipackningar (K+Z, G-ST-P/S) eller alternativt integrerad o-ring. Fördelar med framförallt den profilerade gummipackningen är att

- Den blir initialt tät vid låga skruvkrafter
- Den verkar vara mindre känslig mot varierande åtdragning
- Den har en självtätande funktion, som ger ett anpassat tätningstryck
- Den är tålig mot rörelser mellan flänsar

För de studerade fallen har HP-flänsen tätande förmåga mot en stålfläns visa sig vara god. Simuleringar visar att täthet består i 100 år för samtliga packningar.

Referenser

Broberg, Hans & Gustafsson, Claes-Göran (1983) Skruvförband – dimensionering & montering, IVF resultat 82611, Stockholm: IVF.

ESA/FSA Publ 009/98 (1998) Guidelines for safe seal usage- Flanges and gaskets, Part 1 – guidelines for maintenance operators/engineers / fitters, *Wayne: Fluid seals association and Tregarth: European sealing association*.

Frank, Thomas (red) (2015) *DVS Technical Codes on Plastic Joining Technologies, English edition*, Volume 3, 4:e upplagan, Düsseldorf: DVS MediaI.

ISO 9624 (1997) Thermoplastics pipes for fluids under pressure – Mating dimensions of flange adapters and loose backing flanges, Genève: *International organization for Standardization*.

ISO 527-1 (2012) Plastics – Determination of tensile properties – Part 1: General principles, Genève: *International organization for Standardization*.

ISO 527-2 (2012) Plastics – Determination of tensile properties – Part 2: test conditions for moulding and extrusion plastics, Genève: *International organization for Standardization*.

ISO 604 (2002) Plastics – Determination of compressive properties, Genève: *International organization for Standardization*.

Jacobsson, Lars & Andersson, Hans (2011), Undersökning av täthet hos flänsförband i grova plaströr med beräkningar och experiment, Stockholm: *Svenskt Vatten Utveckling*, Rapport Nr 2011–17.

Klinger (2016), www.klinger.se.

Kroll & Ziller (2009), Seal tight!, product catalogue, www.kroll-ziller.de.

PPI TN-38 (2011), Bolt torque for polyethylene flange joints, Irving: *Plastic pipes institute.*



Box 14057 • 167 14 Bromma Tfn 08 506 002 00 Fax 08 506 002 10 svensktvatten@svensktvatten.se www.svensktvatten.se