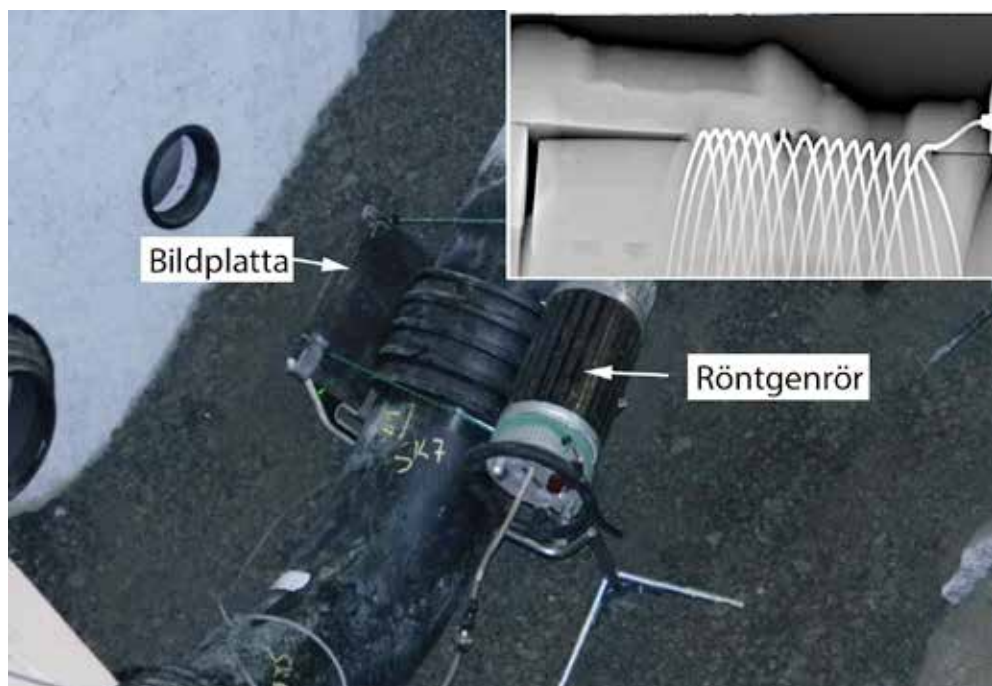


Att säkerställa täthet och kvalitet hos skarvar i PE-ledningar

*Gunnar Bergman
Thomas Blomfeldt*



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
Rönnät & Klimat
Avlopp & Miljö
Management

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

Agneta Granberg (m), Ordförande	Göteborg
Daniel Hellström, Utvecklingsledare	Svenskt Vatten
Henrik Aspegren	VA SYD
Per Ericsson	Norrvatten
Tove Göthner	Sveriges Kommuner och Landsting
Per Johansson (s)	Gävle kommun
Stefan Johansson	Skellefteå kommun
Annika Malm	Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad
Lisa Osterman	Örebro kommun
Kenneth M. Persson	Sydvatten AB
Carl-Olof Zetterman	SYVAB

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan återopas 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.

Rapportens titel:	Att säkerställa täthet och kvalitet hos skarvar i PE-ledningar
Title of the report:	To ensure tightness and quality of joints in polyethylene piping
Författare:	Gunnar Bergman, Bergman Polymer Corrosion AB; Thomas Blomfeldt, Swerea KIMAB AB
Rapportnummer:	2014-15
Antal sidor:	66
Sammandrag:	Rapporten kartlägger och analyserar olika tähetsprovningss procedurer varvid svällningseffekter i PE-materialet särskilt har studerats. Med digitalröntgen i kombination med ultraljud och mikrovågstekniker är det möjligt att på ett oförstörande sätt säkra skarvarnas kvalitet i en ny ledning.
Abstract:	The report identifies and analyzes different leak-proof pressure testing procedures wherein the swelling effects in the PE material have been specifically studied. With digital radiography combined with ultrasound and microwave NDT-techniques it is possible to secure the quality of the joints in a new piping.
Sökord:	Tryckvattenledning, etenplast, polyeten, kvalitetskontroll, provtryckning, svällningseffekter, digitalröntgen, radiografi, utraljud- och mikrovågstekniker, OFP, skarvar, svetsar, elektrosvetsmuffar, sadelgrenar
Keywords:	Pressurized water distribution, polyethylene piping, quality control, digital X-ray, radiography, ultra sonic and microwave based techniques of NDT, welded joints, electrofusion socket joints, saddle branches
Målgrupper:	VA-sektor, tillverkare och rör och rördelar av polyeten samt dess råvarutillverkare, konsulter, kommuner, provtrycknings- och inspektionsföretag, naturgassektorn, processindustrin, energiföretag, kraftverk
Omslagsbild:	Kvalitetskontroll i fält av en elektrosvetsmuff i en tryckvattenledning av etenplast med digital röntgenteknik, Foto: Thomas Blomfeldt Swerea KIMAB AB, Bildkomposition: Gunnar Bergman, Bergman Polymer Corrosion AB
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svenskvatten.se
Utgivningsår:	2014
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	12-124
Projektets namn:	Alternativa metoder och metodiker för att säkerställa tätheten och kvaliteten hos skarvar i nya markförlagda tryckvattenledningar av etenplast
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, Stockholm Vatten, Göteborg Stad Kretslopp och vatten, Kommunalförbundet Norrvatten

Förord

Detta projekt initierades inom 4S Ledningsnät, dvs den grupp som bildades 2012 av ett antal kommuner på initiativ av Stockholm Vatten för att sätta nödvändig press på utveckling av materialfrågor och reparationsmetoder kopplade till ledningsnätet. Gruppen består idag av medlemmar från bland annat kommuner i Stockholm, Norrköping, Växjö, Göteborg och Sundsvall. Kommunalförbundet Norrvatten, Sydsvatten AB och NSVA (Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp) ingår också i gruppen, liksom Oslo VAV. Den övergripande målsättningen är att säkerställa ledningsnätsägarnas 150-årsperspektiv för lång livslängd och problemfria ledningar genom att på olika sätt höja kvalitetsnivån och förbättra kravställningarna vid nyinstallationer.

Projektet har utformats och drivits av Gunnar Bergman, inledningsvis på Swerea KIMAB men sedan som pensionerad egenkonsult i företaget Bergman Polymer Corrosion AB, tillsammans med Thomas Blomfeldt som projektledare vid Swerea KIMAB. Arbetet har utförts vid Swerea KIMAB med stöd av en arbetsgrupp/referensgrupp som har bestått av följande personer: Fredrik Johansson, Göteborg Stad, Kretslopp och vatten (Ordf.)

Gunnar Bergman, Swerea KIMAB/Bergman Polymer Corrosion AB (Sekr.)

Thomas Blomfeldt, Swerea KIMAB (Projektledare)

Tomas Helenius, Stockholm Vatten

Tommy Giertz, Norrvatten

Margareta Mizgalewicz, Norrvatten

Frida Moberg, Göteborg Stad, Kretslopp och vatten

Steinar Nilo, Oslo VAV

Nicke Johansson, 3VA

Projektet har genomförts med bidrag från Svenskt Vatten Utveckling (SVU). Referensgruppens arbete har finansierats av de deltagande kommunerna själva, vilka varit Stockholm Vatten, Göteborg Stad Kretslopp och vatten och Norrvatten. Referensgruppsmötena har samordnats med mötena inom 4S Ledningsnät. Resultaten från projektet presenterades av Gunnar Bergman vid 4S-konferensen i Stockholm den 2 oktober 2013 inför ca 130 deltagare.

Vi vill tacka alla i referensgruppen samt Hans Bäckman vid Svensk Vatten för värdefulla upplysningar, synpunkter och diskussioner, samt alla andra som bidragit vid projektets genomförande. Ett speciellt tack vill vi också rikta till Thomas Henriksson på Inspecta Sweden AB för all den kunskap, engagemang och tid som han bidragit med och ägnat åt våra undersökningar med digitalröntgen.

Stockholm i juni 2014

Gunnar Bergman och Thomas Blomfeldt

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	7
1 Bakgrund	8
2 Syfte	10
3 Resultat	11
3.1 Nackdelar och risker med att använda en täthetsprovningssprocedur som samtidigt utgör en fullskalig hållfasthetsprovning	
3.2 Svällningseffekter vid provtryckning och under drift.....	14
3.3 Deltagande vid tre provtryckningar i fält – mätning av svällningar och erfarenheter allmänt.....	25
3.4 Alternativa metoder och metodiker för att säkerställa täthet och kvalitet hos skarvar	31
4 Diskussion	52
5 Slutsatser	56
6 Rekommendationer	59
7 Referenser	60

Sammanfattning

Rapporten kartlägger, analyserar och utvärderar problem, nackdelar och risker med att använda en täthetsprovningsprocedur för en etenplastledning i mark som samtidigt utgör en fullskalig hållfasthetsprovning. Olika provtryckningsförfaranden har simulerats genom att utsätta en provstav i laboratoriet för aktuell belastningshistoria samtidigt som töjningar (svällningar) och spänningar i materialet har kunnat mätas med stor noggrannhet och under kontrollerade former. Anmärkningsvärt är att det efter en tryckprovning kan uppkomma en permanent deformation i materialet som kan bli upp till ca 0,7 %, dvs en DN710 ledning ökar till DN715 efter provtryckningen. Provtryckningsproceduren i Göteborg gav dock obetydliga permanentade deformationer. Denna lämpar sig också för täthetsprovning av PE-ledningar i klena dimensioner, ≤ 50 mm. Rapporten ger även svar på följande intressanta frågor. Hur stor blir svällningen i en viss PE-ledning efter viss tid i drift vid vissa drifttryck? Hur skiljer sig PE-80 och PE-100 material i svällning? Hur skiljer sig olika PE-100 material i svällning? Hur inverkar temperaturen? Helt klart behövs andra kompletterande metoder än att endast provtrycka en PE-ledning med godkänt resultat för att kunna säkerställa att skarvarna är av god kvalitet. Speciellt problematiska synes skarvar vara som gjorts med elektrosvetsmuffar, och då inte bara sådana i grövre dimensioner. Pionjärbete med digitalröntgenteknik i projektet visar att man hos en elektromuffskarv/sadelgren enkelt kan detektera och avbilda hålrum såsom blåsor, spalter och sprickor i sammansmältningszonerna. Man kan få en geometrisk bild av rörändarnas lokalisering och utseende i muffen, dvs få tjocklekar och avstånd på olika detaljer, se hur rörändarna skjutits in i muffen och mäta upp effekter såsom ovalitet, toe-in och avvinklingar, samt se hur metalltrådarna ligger i svetszonen och detektera smuts i fogen i form av sand och grus. OFP-metoder som bygger på ultraljud med phased-array-teknik respektive mikrovågsteknik skulle kunna komplettera röntgentekniken på en viktig punkt, nämligen att kunna detektera fel och brister i sammansmältningsgraden hos en elektromuffskarv respektive hos en spegelsvetsad stumskarv i en etenplastledning. I framtiden bör man skilja mellan provningar som avser att kontrollera skarvarnas täthet och kvalitet och som avser att kontrollera/verifiera ledningens mekaniska integritet under specificerade eller väntade driftförhållanden. Kvaliteten och tätheten hos skarvarna bör bli föremål för kontroller redan under läggningens gång, och således säkras på ett så tidigt stadium som möjligt. Initiativ bör redan nu tas till ett större fördjupningsprojekt där röntgentekniken i kombination med mikrovågs- och ultraljudsteknikerna studeras närmare i syfte att finna den optimala OFP-metodiken för att kunna säkra, bedöma och godkänna/underkänna spegelsvetsade stumskarvar och elektromuffsvetsade skarvar i etenplastledningar under fältmässiga förhållanden.

Summary

The report identifies, analyzes and evaluates problems, drawbacks and risks of using a leak-proof testing procedure that simultaneously acts as a full-scale strength test of a buried polyethylene piping. Different pressure testing procedures have been simulated by subjecting a specimen in the laboratory for the actual load history while creep strains (swelling) and the stresses in the material have been measured very accurately and under controlled conditions. Remarkably, after a pressure test there may be a permanent deformation in the material of up to about 0.7 %, i.e., DN710 pipe may increase to DN715. The leak-proof testing applied in the Gothenburg community, however, didn't generate such issues. Their procedure is suitable for PE-piping also in small dimensions, ≤ 50 mm. The report also provides answers to the following interesting questions: How large is the swelling of a particular PE pipeline after some time in service at certain operating pressures? How do PE-80 and PE-100 materials differ and how do different PE-100 materials swell? How does the temperature influence? Clearly, there is a need for other complementary approaches rather than only a pressure test of a PE-line to ensure that the joints are of good quality. Especially problematic are joints made with electro-fusion sockets, and not just those in larger dimensions. Pioneering work with digital X-ray technology in the project shows that with an electro-fusion socket joint or saddle branch you may easily detect and image cavities such as pores, gaps and cracks in the fusion zone. One can get a geometric picture of the siting and appearance of the pipe ends in the socket, i.e., getting thicknesses and distances of different details, see how the pipe ends were pushed into the socket and measure effects such as ovality, toe-in and angle deviations, and see how the wires are located in the weld zone and detect dirt in the joint in the form of sand and gravel. NDT methods based on ultrasound phased array technology and microwave technology could complement X-ray technology in one important way, namely to detect poorly or insufficiently fused regions in mirror butt-fusion and electro-fused socket joints of polyethylene pipelines. For the future it would be favorable to distinguish between tests that intend to check and verify the quality and the tightness of the joints, and tests designed to check and verify the mechanical integrity of the line under specified or expected operating conditions. The quality and the tightness of the joints should be subject to controls while the line is built, and thus be secured as early as possible. Initiatives should be taken to a larger in-depth project in which X-ray technology in combination with microwave and ultrasonic techniques are studied in detail to find the optimal NDT scheme to evaluate, secure and approve/disapprove butt-welded joints and joints made with electro-fusion sockets and saddle-branches under field conditions.

1 Bakgrund

För skarvning av PE-rör finns det i huvudsak fyra metoder: 1) stumsvets även kallad spegelsvets, 2) elektromuffsvets, 3) flänsförband och 4) mekanisk koppling. Stumsvetsning innebär att man värmer upp rörändarna och pressar ihop dem så de smälts samman. Denna metod betraktas som den säkraste av ledningsnätsägare och fogen blir helt homogen. Svetsens kvalitet kan till viss del kontrolleras i efterhand genom att studera svetsvulstens storlek och utseende. Vid elektromuffsvetsning värmer man upp en tråd som åstadkommer en hopsmältning av material mellan rör och muff. Fel-frekvensen är som störst vid denna skarvmetod, men det finns inte någon oförstörande provningsmetod tillgänglig för att kunna detektera fel och brister. Ett flertal muffhaverier har uppkommit på ledningar i bland annat Stockholmsområdet. Problemen har medfört att Stockholm Vatten ganska nyligen har förbjudit användandet av elektrosvetsmuffar i dimensionerna DN400 och uppåt. Flänsförband och mekanisk koppling används betydligt mer sällan, men är heller inte oproblematiska. Exempelvis har SP i SVU-rapport 2011-17 visat att flänsförband av PE kan vara bekymmersamma i större dimensioner.

Vid läggning av tryckvattenledningar av plast rekommenderas i Sverige vanligen täthetsprovning enligt VAV-publikationen P78 "Anvisningar för täthetsprovning av tryckledningar". Den gavs ut 1997 och medgav en väsentlig förbättring av de tidigare rekommendationerna från 1964 enligt VA 17 från Kungl. Väg och Vattenbyggnadsstyrelsen. P78-anvisningarna har nu tillämpats i ca 15 år och erfarenheterna har varierat. Provingen är förhållandevis enkel att utföra, men provningsmetodikerna som sådan har ifrågasatts. Grundproblemet är att kunna skilja ut läckflöde från den tidsberoende expansionen av ledningen till följd av krypdeformationerna orsakade av dragspänningarna från det invändiga trycket vid provingen. Problemen har visat sig främst i att ledningar som egentligen är acceptabelt täta blir underkända vid första provtillfället. Problemen uppges ha blivit vanligare i och med införandet av grövre dimensioner och de tunnare rörväggar som PE100-materialen erbjuder. I syfte att finna orsaker till de problem som finns vid täthetsprovning och att om möjligt föreslå åtgärder till förbättringar har SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, med medel från främst Svensk Vatten Utveckling (SVU), gjort ett gott arbete för att kartlägga situationen genom ett särskilt projekt med titeln "Förbättrade metoder för täthetsprovning i fält", Rapport Nr 2011-10, från SVU. Projektet skulle ses som en förstudie till en revidering av publikationen P78. Arbetet innefattade bland annat en enkät bland ägare av ledningar och utförare av provingen för att få en bild av aktuell praxis samt en granskning av relevanta standarder i ett antal andra länder. Huvudsakliga slutsatser som drogs i projektet var följande: 1) För att undvika att smärre felkällor i utförandet, till exempel i kalibrering, adderas till de som finns i metoderna kan det vara av värde att gå igenom och uppdatera arbetsrutiner och vid upplevt behov införa kvalitetssystem, 2) Om man vill använda EN 805 på bred front, bland

annat i Sverige, med de fördelar detta kan ha för branschen, bör EN 805 undersökas och revideras. Detta indikeras av att metoden är komplex och av att de länder som använder den har infört nationella tolkningar. En start kan vara samverkan mellan norska och svenska intressenter, bland annat för att man i Norge har erfarenhet av metoden och 3) Vid fortsatt användning av den svenska metoden VAV P78, som har flera fördelar, bör den gås igenom. En enkel åtgärd är att överväga en större referensvolym, för att minska metodens känslighet vid tillämpning på grova ledningar och sådana med tunnare väggar. För dessa blir volymökningen under provningen annars så stor att beräkningsosäkerheten överstiger referensvolymen. Emellertid efterlyser ett flertal ledningsnätägare, däribland exempelvis Stockholm Vatten, Norrvatten, Göteborg Stad Kretslopp och vatten, Norrköping Vatten, Mitt Sverige Vatten och Växjö kommun, att man börjar inventera och undersöka möjliga alternativa metoder och metodiker för att säkerställa tätheten och kvaliteten i skarvar hos främst nylagda grova tryckvattenledningar av etenplast. Dessa skulle företrädesvis inte inbegripa en provning vid höga tryck såsom 1,3 ggr tryckklassen, som ju har karaktären mer av en fullskalig hållfasthetsprovning än kontroll av skarvarnas täthet och kvalitet. Detta har motiverat initiativet till föreliggande projekt. Det ligger i linje med det så kallade 150-årsperspektivet som i grunden innebär allmänt skärpta installationskrav från ledningsnätägarna och förbättrade kontrollmetoder för täthetsprovning och säkring av skarvarnas kvalitet. Projektet kan ses som ett kompletterande arbete till den gjorda förstudien. I förlängningen kan man redan nu också se behovet av ytterligare kompletterande studier av oförstörande metoder och metodik för att undersöka kvaliteten hos stumsvetsfogar och elektromuffskarvar. Önskvärt vore om täthetsprovningen och kvalitetskontrollen av skarvarna kunde göras samtidigt. Betydelsen av en provtryckning som sådan för att kontrollera ledningens hållfasthet eller mekaniska uppförande bör också ifrågasättas, analyseras och värderas med avseende på fördelar, nackdelar och risker.

2 Syfte

Syftet med projektet har varit dels att kartlägga, analysera och utvärdera problem, nackdelar och risker med att använda en täthetsprovningssprocedur som samtidigt utgör en fullskalig hållfasthetsprovning av ledningen med utgångspunkt från VAV-publikationen P78 och SVU Rapport Nr 2011-10 som "the-state-of-the-art", dels att inventera och undersöka möjliga alternativa metoder och metodiker för att säkerställa tätheten och kvaliteten i skarvar hos främst nylagda grova tryckvattenledningar av etenplast och som företrädesvis inte inbegriper en provning vid höga tryck såsom 1,3 ggr tryckklassen. Ett särskilt syfte i projektet har även varit att studera och analysera svällningseffekter vid provtryckningar av PE-ledningar på det sätt som görs vid exempelvis Norrvatten, Stockholm Vatten och Göteborg Stad. På önskemål från SVU har även frågan hur täthetsprovning skall gå till i klina dimensioner, < 50 mm, varit ett delsyfte att beläggas i projektet.

3 Resultat

3.1 *Nackdelar och risker med att använda en täthetsprovningsprocedur som samtidigt utgör en fullskalig hållfasthetsprovning*

Den främsta nackdelen med VAV P78 och olika modifikationer eller varianter av sådan täthetsprovning av nylagda ledningar eller ledningsavsnitt med förhållandevis höga tryck är att eventuella läckor inte detekteras genom direkta observationer utan indirekt. Vid icke godkänt resultat vet man inte med säkerhet om ledningen faktisk är tät eller inte. Och det kan vara besvärligt att hitta den eventuella läckan, i synnerhet om skarvpartierna redan lagts igen med fyllning. Ett godkänt resultat av tryck/täthetsprovningen innebär heller ingen garanti att skarvarna verkligen är täta. I provningsmetodiken som sådan accepteras enligt svensk praxis (KVVS Bestämmelser Bk21 av år 1952) en viss läckvattenmängd för en tryckvattenledning i liter per km och dygn som funktion av rörets innerdiameter. Det kan tyckas märkligt att man för en ny ledning inte kräver att den skall vara 100 % tät, och även verifierar detta. För en motsvarande energigasledning eller en ledning inom processindustrin skulle detta inte vara acceptabelt, varför ska det då vara det för en vattenledning som förväntas kunna användas driftsäkert under mer än 50 år? Vidare finns exempel på ledningar som blivit godkända vid tryck/täthetsprovningen och som senare efter olika tider i drift drabbats av besvärliga och kostsamma läckor i skarvområden. Den aktuella tryck/täthetsprovningen utgör således ingen garanti att skarvarna kommer att förbli täta under den önskade livslängden, som idag alltmer har perspektivet 150 år, dvs att skarvarna har god kvalitet.

Utöver ovan nämnda nackdelar finns det även farhågor att det höga trycket vid tryck/täthetsprovningen skulle kunna påverka ledningens livslängd negativt. Trycket kan även medföra olägenheter av varierande betydelse genom att exempelvis oönskade permanentade dimensionsförändringar uppstår hos ledningen. Stockholm Vatten fick erfara vid ett skarvhaveri på Nynäshamnsledningen i mars 2010, efter ca 6 mån drift, att röret hade "svällt" ca 25 mm, dvs dess ytterdiameter hade ökat från 630 till 655 mm. Ledningen hade tryckprovats med godkänt resultat. Diameterförändringen medför att man inte kan använda skarvmuffar för att reparera skadan, eller kan stumsvetsa ett nytt rör till det gamla. Detta är högst anmärkningsvärt, och ett problem som inte alls tycks vara uppmärksammat. Eftersom aktuella tryck medför spänningar/töjningar som ligger långt över gränsen för linjärt viskoelastiskt uppförande kan deformationerna vid avlastning bli permanentade i allt för stor grad eller ta alltför lång tid i återhämtning, att konventionella skarvmetoder inte går att använda. Man kan därför ifrågasätta om aktuell täthetsprovning över huvud taget är lämplig eller önskvärd. Totalt har tre stora skarvrelaterade driftstörningar uppkommit i den aktuella Nynäshamnsledningen från att den togs i drift 2009 fram till idag, 2014. Detta trots att den blev godkänd vid provtryckningen. För reparationerna blir man hänvisad till utvändiga kompressionskopplingar

och här finns behov av att veta vilka toleranser man måste ha på dessa med hänsyn till de inre-tryck-betingade svällningseffekter som kan förekomma.

Sammanfattningsvis kan följande nackdelar nämnas med ett provtryckningsförfarande enligt VAV P78:

- Finns flera fall där PE-ledningar blivit godkända vid provtryckningen men som senare havererat eller uppvisat läckor efter varierande tider i drift.
- Ett godkänt resultat från provtryckningen kan ge sken av att lednings-skarvarna har godtagbar kvalitet, dvs att entreprenören har gjort ett fullgott jobb.
- En entreprenör kan hävda att problem med läckor hos ledningen under garantitiden, men även efter, beror på att ledningen egentligen inte tål påkänningar som motsvarar $1,3 \times PN$, dvs han anser att ledningen kan ta skada av att provtryckningen görs på det sätt som anges i P78. Det är svårt att motbevisa sådana påståenden.
- Ibland väljs PE-rör med väsentligt högre tryckklass än vad som motsvarar det normala drifttrycket i syfte att öka säkerhetsmarginalerna för vad ledningen kan komma att tåla med hänsyn till predikterad långtidshållfasthet och andra tänkbara påkänningar, exempelvis PN16 där drifttrycket inte är mer än 7–8 bar. Man vill säkerställa eller öka chanserna till långa livslängder. Varför då utsätta ledningen för en extrempåkänning av 20,8 bar redan innan den tas i drift?
- Ledningen kan vara otät, men ändå bli godkänd enligt P78. Proceduren tolererar/accepterar nämligen ett läckage $D (l/h) = (0,4 d_i - 20)L/24\ 000$, där d_i är ledningens innerdiameter i mm och L är provad ledningssträcka i m, dvs en muff på en sträcka av exempelvis 1 000 m, DN 730, SDR11 kan läcka upp till 9 l/h och ändå bli godkänd. Om sträckan vore 2 000 m tolereras upp till 18 l/h.
- Ledningen kan vara tät, men ändå inte bli godkänd enligt P78. Orsaken till detta är vanligen förekomst av luft i ledningen.
- Metoden är inte så lämplig för täthetsprovning av PE-ledningar av mindre dimensioner och/eller av korta längder då volymändringarna vid provtryckningen då kan bli alltför små och därmed osäkra.
- Svällningseffekter till följd av krypning medför att rörets diameter ökar.
- Risk finns att greppbleck släpper hos ändhuvor och att huven då blir en projektil. Detta problem ökar med snabb påfyllning av ledningen, höga tryck och om luft finns kvar i ledningen. Fler tillbud har inträffat inom 4S Ledningsnät medlemmar.
- Det finns risk för höga tryckslag om någon detalj brister hastigt vid provtryckningen, exempelvis en stumskarv som blivit kallsvetsad. Den uppkomna tryckvågen påverkar hela ledningsdelen som testas, och kan i värsta fall ge upphov till betydande skador. Vem tar ansvar för detta?

Extremfallet ur nackdelssynpunkt vid täthetsprovning av plastledningar med förhållandevis höga tryck är att hela ledningen förstörs. Detta kan hända om så kallade katastrofala RCP-brott (rapid crack propagation) initieras vid provtryckningen, dvs brott med spricklängder av flera hundra meter. Sådana brott kan inträffa om spänningsintensiteten i materialet, K_I , blir större än materialets brottseghet K_{IC} , dvs $K_I \geq K_{IC}$. Flera faktorer inver-

kar/påverkar/samverkar vid uppkomst av RCP-brott (1–3). Den största risken föreligger om någon detalj hastigt brister så att det blir ett kraftigt tryckslag i ledningen. Om trycket då överstiger ett visst kritiskt tryck, kan RCP-brott uppkomma. Tryckslagets storlek blir direkt proportionell mot det provtryckningstryck som används. I U.S.A. sker provtryckningen vanligtvis enligt ASTM F2164, varvid trycket kan uppgå till 1,5 x PN. Temperaturen inverkar också på riskerna. En lägre temperatur ökar risken för RCP-brott och uppträder vanligen endast under en viss kritisk temperatur. Risken ökar också med sprödheten hos materialet, med förekomsten av spänningskoncentrationer i form av exempelvis repor (4). Risken ökar också med andelen luft i ledningen (3). RCP-brott är ett brottmekaniskt fenomen och kan därför i princip uppkomma i alla typer av material. RCP-brott kan uppkomma i PE-ledningar men synes vara sällsynta. Enligt Palermo (5) har moderna PE-material, som är av så kallad bimodal typ, ca 6–10 ggr högre kritiskt tryck för RCP-brott vid 0 °C och luft, än PE-material av unimodal typ. För ledningar av styv PVC, som har en lägre brottseghet jämfört med PE-material, finns å andra sidan betydligt fler fall av katastrofala haverier rapporterade. Figur 3.1.1 visar några fall av RCP-brott som inträffat på senare tid vid provtryckning av grova PVC-vattenledningar i U.S.A. Ledningsdelarna som provtrycktes blev totalt förstörda. Sprickorna i respektive fall varierade i längd mellan 330 m och 660 m.



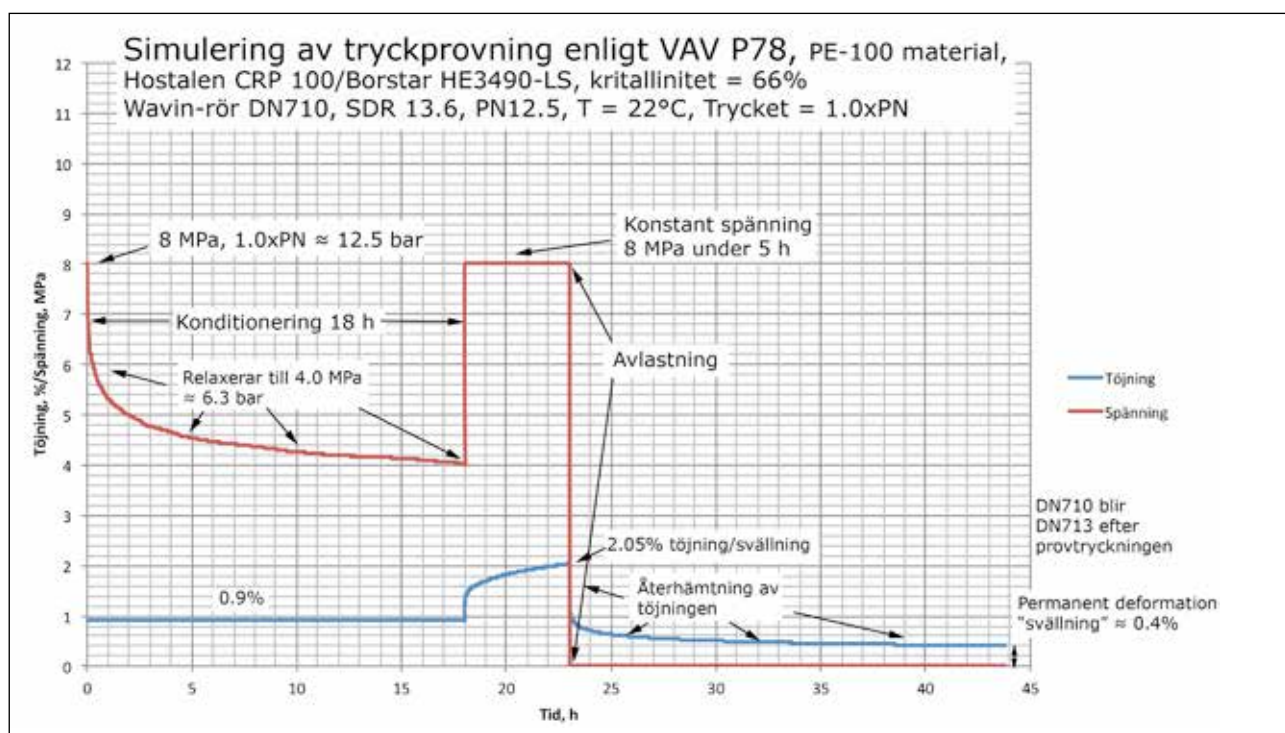
Figur 3.1.1 Några fall av RCP-brott som inträffat på senare tid vid provtryckning av grova PVC-vattenledningar i U.S.A. Ledningsdelarna som provtrycktes blev totalt förstörda. Sprickorna i respektive fall varierade i längd mellan 330 m och 660 m (3).

3.2 Svällningseffekter vid provtryckning och under drift

I projektet skulle det särskilt ingå redovisningar och analyser av svällningseffekter vid provtryckningar av PE-ledningar hos Norrvatten, Stockholm Vatten och Göteborg Stad. Detta var intressant med tanke på att man på respektive ställe provtrycker vid olika tryck, vilket ger tillfälle att kunna undersöka om teori och praktik stämmer överens. Genom en brilliant idé som lanserades redan vid det första referensgruppsmötet då projektet skulle detaljplaneras blev dessa planer överspelade. Det skulle nämligen vara bättre att simulera de olika provtryckningsförfarandena genom att utsätta en provstav i laboratoriet för exakt den belastningshistoria som man vid respektive ställe föreskrev för då skulle man kunna mäta aktuella töjningar (svällningar) i materialet med stor noggrannhet och under kontrollerade betingelser. Vid mätningar i fullskaleförsök kan det vara svårt att mäta töjningarna med samma precision och tillförlitlighet som i laboratoriet. I praktiken blir det också ganska ofta något ”strul” som medför att belastningshistorien kan bli lite olika vid olika provtryckningar, något som kanske inte påverkar utfallet vid själva provtryckningen om ledningen skall godkännas eller inte, men som skulle kunna påverka resultatet av en svällningsmätning. Detta fick Bergman och Blomfeldt själva erfara på ett tidigt stadium i projektet. De fick spendera åtskilliga timmar under en hel vecka i en provtryckningsgrop till följd av krånglande omständigheter då de skulle mäta svällningseffekter vid provtryckning av Norrtäljeledningen. Mer om detta längre fram. Arbetet med svällningseffekter inriktade sig därför till experiment i laboratoriet som kunde utföras under kontrollerade former och med hög precision och tillförlitlighet. Arbetet gjordes dessutom mer omfattande då det fanns behov att ge svar på många andra frågor såsom exempelvis följande: Hur stor blir svällningen i en viss PE-ledning efter viss tid i drift vid vissa drifttryck? – något som är viktigt att veta när och om ledningen någon gång skulle behöva lagas. Hur skiljer sig PE-80 och PE-100 material i svällning? Hur skiljer sig olika PE-100 material i svällning? Hur inverkar temperaturen? Hur blir svällningen vid upprepade provtryckningar? – det finns fall där man provtryckt över 10 ggr innan ledningen blivit godkänd. Svaren på alla dessa frågor var möjliga att ge genom att kombinera resultaten från förhållandevis enkla mätningar i laboratoriet med känd kunskap som inhämtades från den vetenskapliga litteraturen.

Belastningsexperimenten utfördes vid 22 °C i en Instron 5566 dragprovningssmaskin med en lastcell på 10 kN. Materialet som testades togs från ett av de PE-rör som Norrvatten i olika etapper håller på att installera i en ca 80 km lång ledning från Stockholm till Norrtälje. Rören var tillverkade av Wavin med PE-100 material av typen Hostalen CRP 100 från LyondellBasell Polymers alternativt Borstar HE3490-LS från Borealis. PE-materialet uppvisade en viktbaserad kristallinitet, bestämd genom DSC, av 66 %. Rören var av typen DN710, SDR 13.6, PN12.5. Provkropparna hade en längd av ca 135 mm och en tjocklek av 3 mm. De var försedda med en midja som hade en bredd av 10,0 mm över en längd av 35 mm. Töjningarna mättes med en trådtöjningsgivare (extensometer) av fabrikat Instron.

Figur 3.2.1 visar resultatet från en simulering av en provtryckning av Norrvattens Norrtäljeledning enligt VAV P78, men med trycket 1,0 x PN. Enligt kontraktet med entreprenören i den första läggningsetappen skulle provtryckningen göras med trycket 1,3 x PN enligt VAV P78, men detta följdes inte utan man använde trycket 1,0 x PN. Drifttrycket i ledningen kommer att vara endast ca 7–8 bar och den förhållandevis höga tryckklassen PN12.5 valdes för att ha extra goda säkerhetsmarginaler som förhoppningsvis ska betala sig genom högre driftsäkerhet och längre livslängd. Varför ska man då utsätta denna ledning för 1,3 x PN vid en provtryckning, dvs en extrempåkänning av 16,3 bar redan i nyskick bara för att se om den är tät? Som en konsekvens av ett sådant ifrågasättande ville Norrvatten fortsättningsvis provtrycka vid ett tryck av endast 1,3 ggr drifttrycket, dvs ca 10 bar, eller som mest 1 x PN, dvs 12,5 bar. Provtryckning enligt VAV P78 men vid ett lägre tryck lika med 1,0 x PN tillämpas av Stockholm Vatten varför spännings/töjningskurvorna vid deras provtryckningar också väntas vara enligt figur 3.2.1.

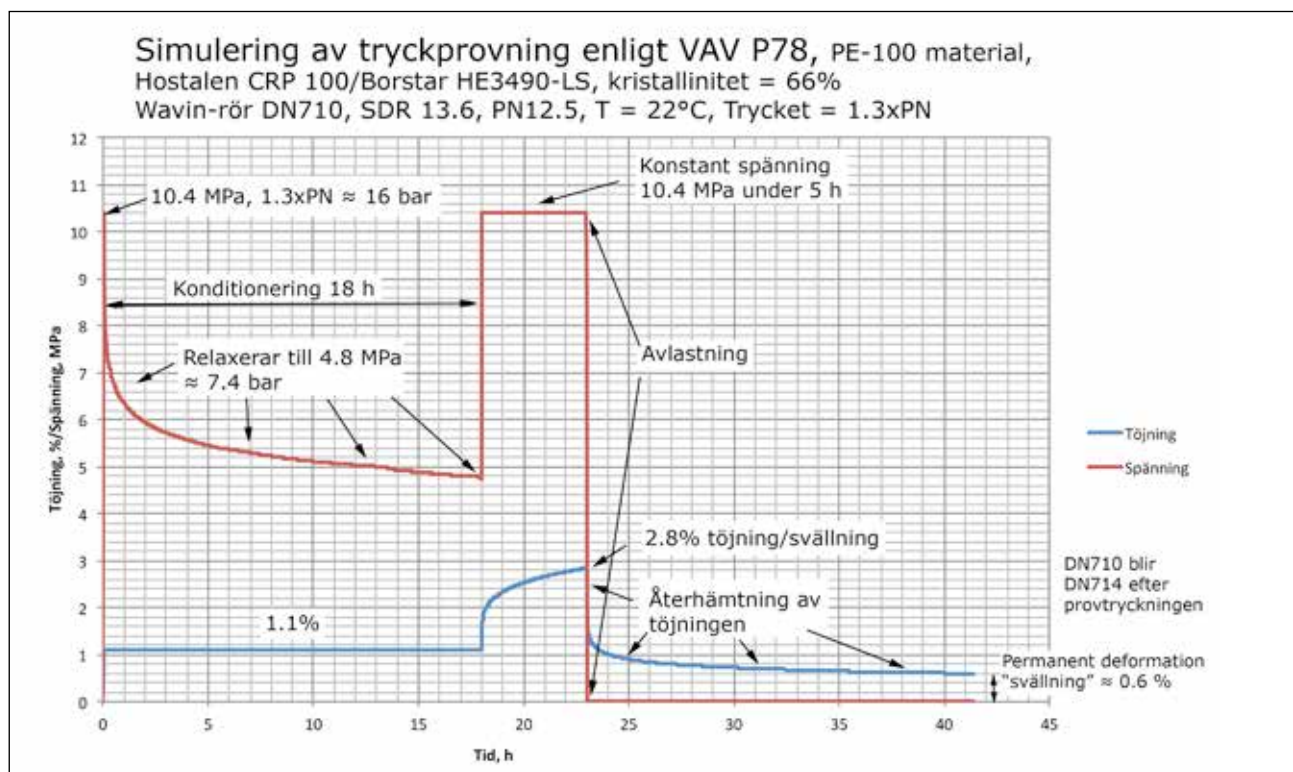


Figur 3.2.1 Spänningar och töjningar vid simulering av en provtryckning av Norrvattens Norrtäljeledning enligt VAV P78, men med trycket 1,0 x PN.

Av figuren framgår att spänningen i rörgodset vid konditioneringens början, 8 MPa ringspänning motsvarande 12,5 bar, minskar till följd av spänningsrelaxation till hälften, dvs 4 MPa motsvarande 6,3 bar, under den 18 h långa konditioneringen. Töjningen i materialet hålls då konstant, 0,9 %. Således är det fullständigt naturligt att trycket i ledningen sjunker till hälften under 18 h utan att för den skull vara otät. Efter konditioneringen ökas trycket åter till 12,5 bar och hålls här konstant under 5 h genom att successivt pumpa in mer vatten i ledningen. Man mäter då upp hur mycket vatten som man pumpar in mellan den 2:a och 3:e timmen och mellan den

4:e och 5:e timmen. Om volymen under den 5:e timmen, B, och volymen under den 3:e timmen, A, förhåller sig som $B = 0,550A$ följer svällningen det antagna logaritmiska sambandet för krypning i materialet. I så fall kan man med säkerhet säga att behovet av att pumpa in mer vatten för att hålla trycket inte beror av något läckage utan på krypningen (svällningen) i materialet. Nu är det kanske sällan som materialet/röret uppför sig "teoretiskt korrekt" varför man behöver en felgräns som ett kriterium för acceptans respektive icke acceptans. Därav kontrollvattenmängden D som bestäms ur uttrycket $D = (0,4 d_i - 20) \cdot L / 24\ 000$, där d_i är ledningen diameter och L är ledningssträckans längd. D anger således storleken hos ett tänkbart läckage i ledningen som kan accepteras. Om avvikelser mellan B – 0,550A som kallas referensvolymen, RN, är mindre än D, är ledningen godkänd varför trycket i så fall släpps, dvs materialet avlastas. Innan avlastningen uppgår töjningen i materialet till 2,05 %. Vid avlastningen sker en momentan elastisk (fjädrande) återhämtning av töjningen med 0,9 %-enheter. Därefter återhämtar sig 0,75 %-enheter av töjningen under en viss tid som teoretiskt är lika med den tidigare tiden för pålastning, dvs den så kallade viskoelastiska deformationen. Det uppstår också en plastisk/viskös deformation i materialet, dvs permanentad och ej återhämtningsbar som i detta fall blir 0,4 %-enheter. Av den icke elastiska delen av deformationen är ca 65 % viskoelastisk och 35 % plastisk. Rörets ytterdiameter efter provtryckningen väntas således bli 3 mm större än före densamma, dvs provtryckningen har förändrat röret från att vara ett DN710-rör till ett DN713-rör.

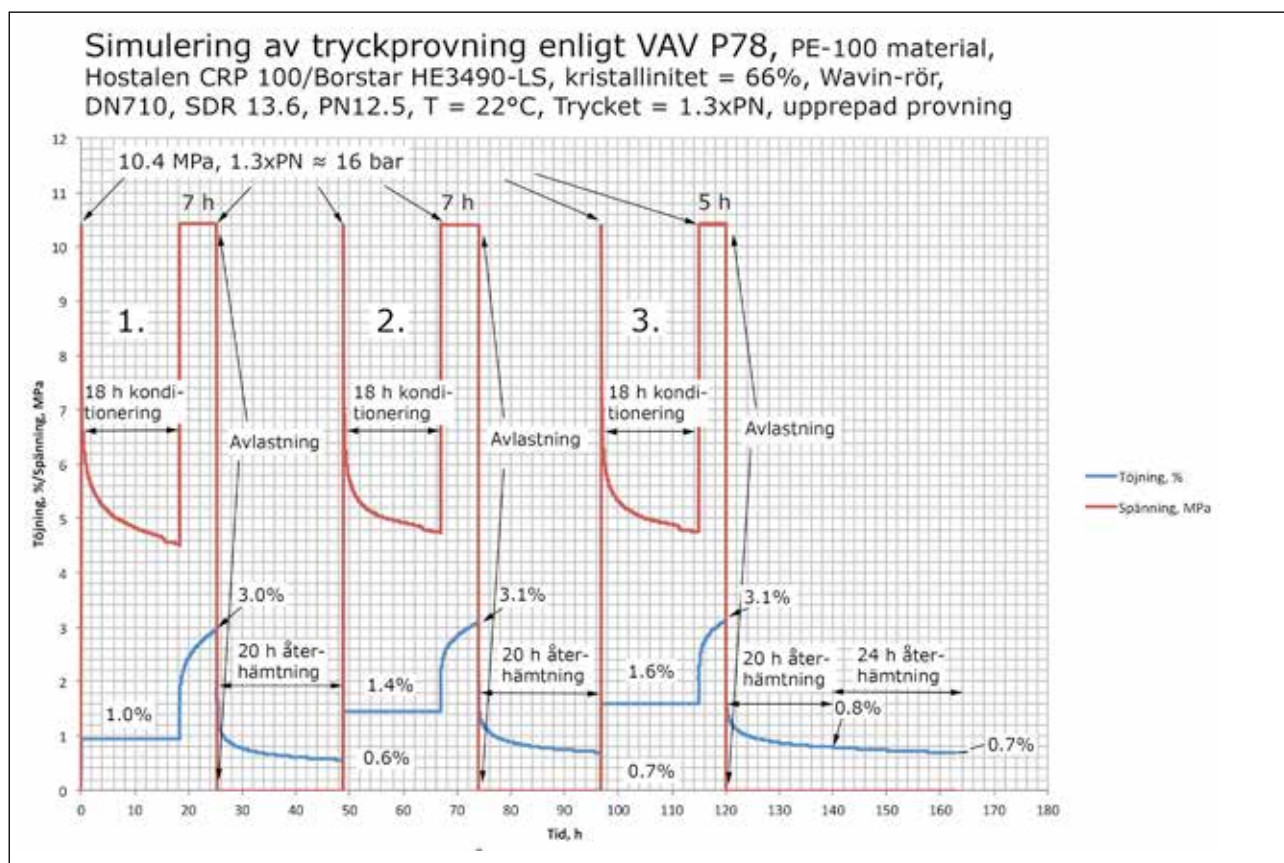
Figur 3.2.2 visar resultatet från en simulering av en provtryckning av Norrvattens Norrtäljeledning enligt VAV P78 med trycket 1,3 x PN. Av



Figur 3.2.2 Spänningar och töjningar vid simulering av en provtryckning av Norrvattens Norrtäljeledning enligt VAV P78 med trycket 1,3 x PN

den totala töjningen på 2,8 % är 1,1 %-enheter elastisk deformation, 1,1 %-enheter viskoelastisk deformation och 0,6 %-enheter viskös (plastisk) deformation. Av den icke elastiska delen av deformationen är ca 65 % viskoelastisk och 35 % plastisk. Rörets ytterdiameter efter provtryckningen väntas öka 4 mm dvs DN710-röret blir DN714-rör.

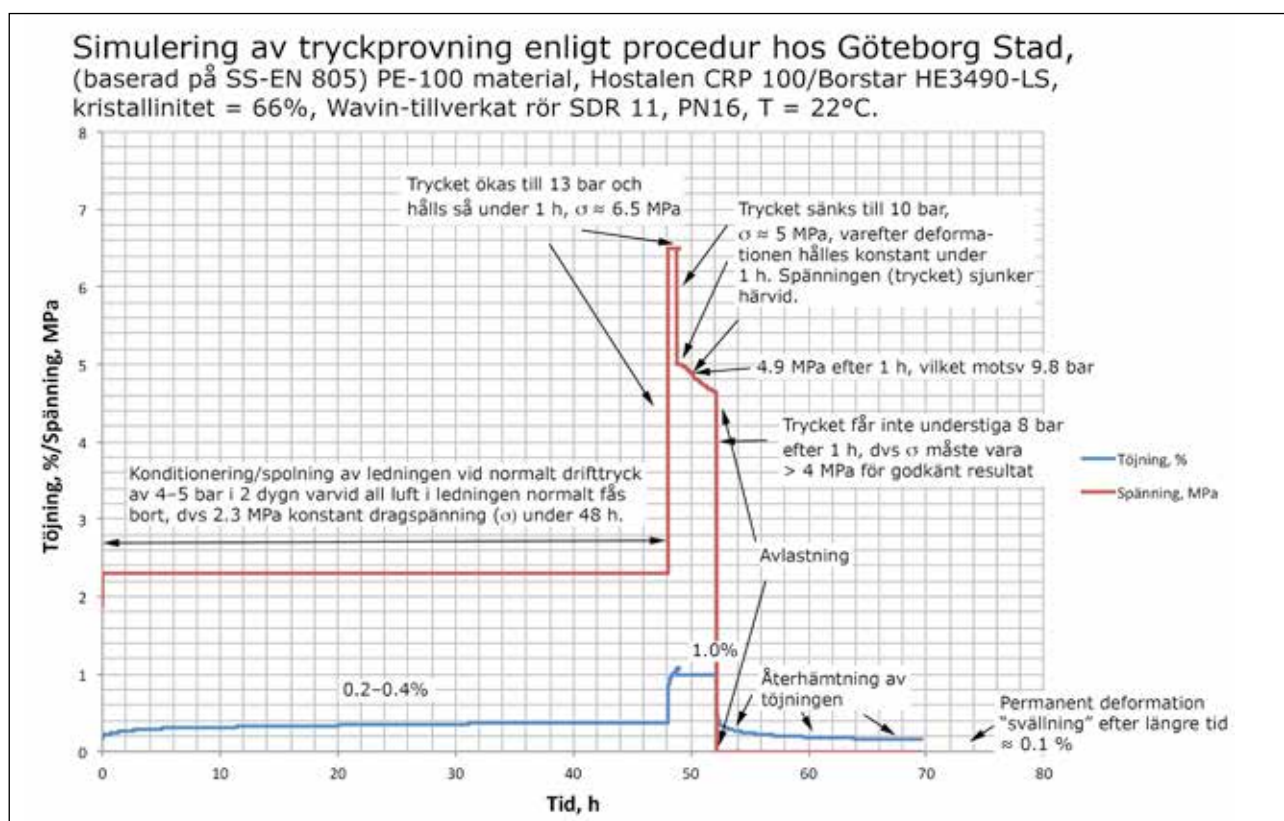
Figur 3.2.3 visar resultatet vid en provtryckssimulering av Norrvattens Norrtäljeledning enligt VAV P78 med trycket 1,3 x PN i händelse av att man i de två första provtryckningarna får underkänt och godkänt först vid den tredje provtryckningen, dvs visar inverkan av på varandra följande upprepade provtryckningar. Den sammanlagda tiden av belastning och återhämtning under total avlastning var 73 respektive 84 h. Intressant att notera är att den permanentade deformationen från en tidigare provtryckning inte ackumuleras/adderas i någon nämnvärd utsträckning vid upprepade på varandra efterföljande provtryckningar. I detta fall blev den permanentade deformationen efter tre provtryckningar 0,7 %, dvs rörets dimensionen ändrades från DN 710 till DN715.



Figur 3.2.3 Spänningar och töjningar vid provtryckssimulering av Norrvattens Norrtäljeledning enligt VAV P78 med trycket 1,3 x PN i händelse av att man i de två första provtryckningarna får underkänt och godkänt först vid den tredje provtryckningen.

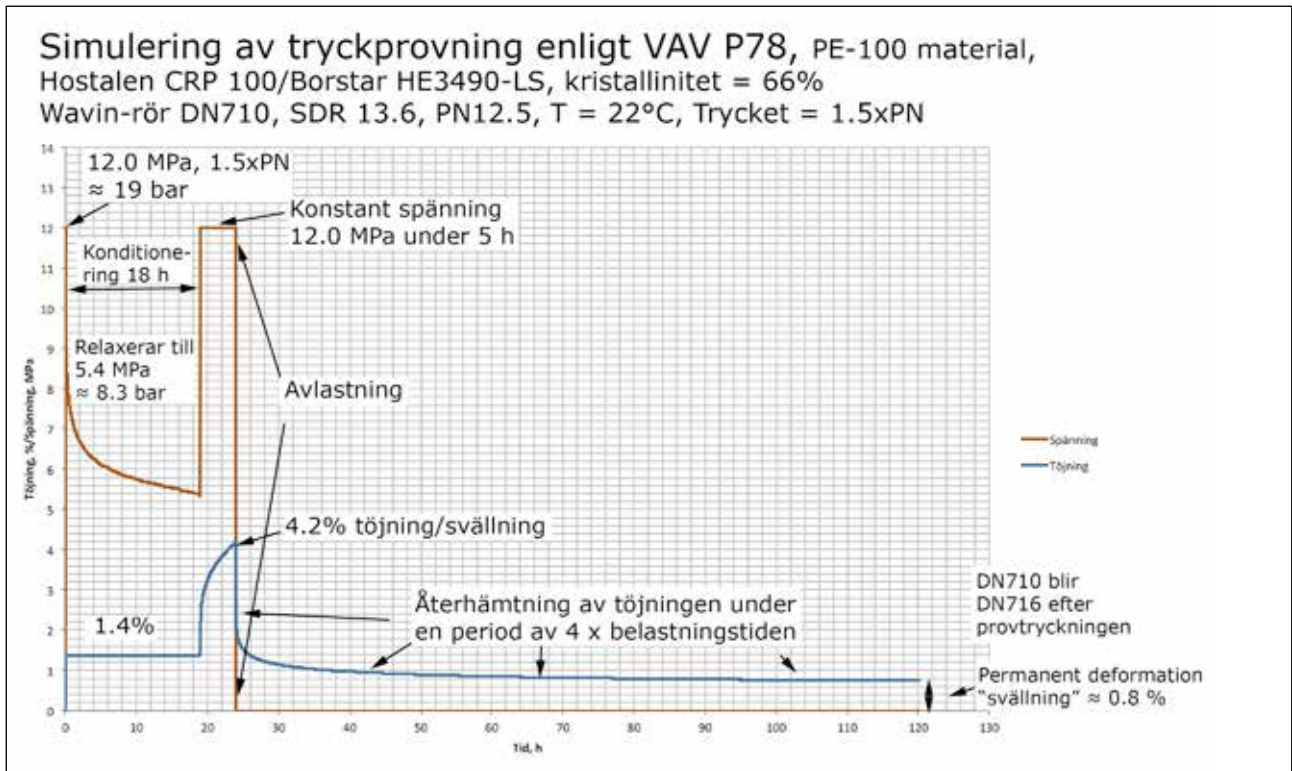
Figur 3.2.4 visar resultatet från en simulering av en provtryckning i enlighet med den procedur som tillämpas vid Göteborg Stad. Det är en förenklad variant av provtryckning som baseras eller åtminstone till viss del liknar provtryckning enligt den europeiska standarden EN 805. Man använder alltid PE-100 rör med SDR-talet 11, dvs rör av tryckklassen PN16. Enligt

uppgift har man mycket länge använt sig av den aktuella proceduren och erfarenheterna är mycket goda. Provtryckningen går till på följande sätt. Ledningen konditioneras genom spolning vid normalt drifttryck av 4–5 bar under två dygn varvid all luft i ledningen normalt fås bort, dvs rören utsätts för en konstant dragspänning i omkretsled av 2,3 MPa. Härvid får man en töjning (svällning) i materialet som ökar från 0,2 till 0,4 %. Härfter ökas trycket till 13 bar och hålls så under 1 h, dvs ringspänningen hålls vid 6,5 MPa. Sen sänks trycket till 10 bar varefter deformationen hålles konstant under 1 h. Härvid sjunker trycket till följd av spänningsrelaxation, men endast till ca 9,8 bar. Kravet för godkännande är att trycket inte får understiga 8 bar. Töjningen i materialet är innan avlastningen 1,0 %. Vid avlastningen minskar den elastiska töjningen på ca 0,6 % momentant och den viskoelastiska gradvis med tiden till en permanentad deformation av endast ca 0,1 %.



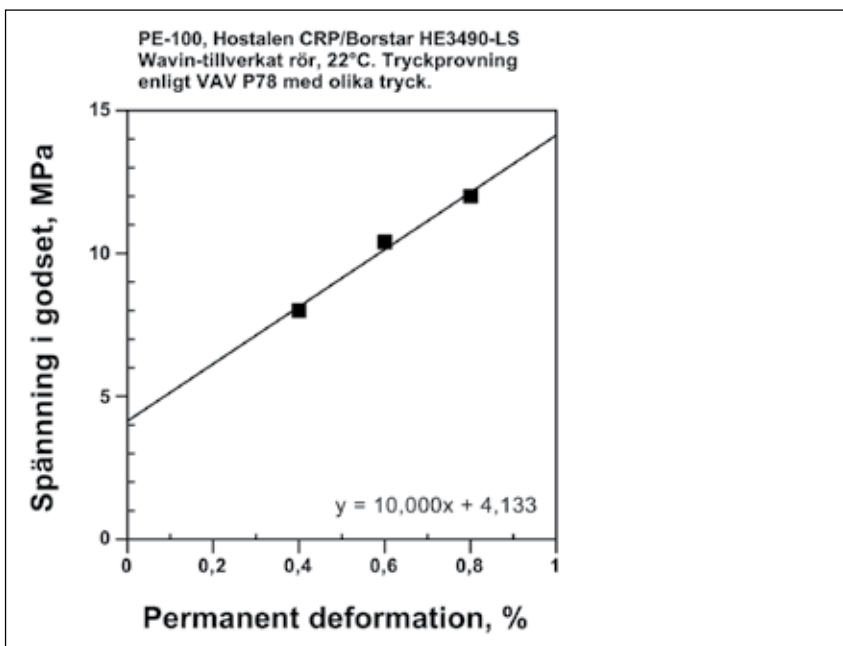
Figur 3.2.4 Spänningar och töjningar vid en simulering av en provtryckning i enlighet med den procedur som tillämpas vid Göteborg Stad.

En del standarder för provtryckning specificerar användning av ett tryck så högt som 1,5 x PN eller PN+5 bar. För att se effekten av svällningen vid så höga spänningar utfördes även en simulering av en provtryckning enligt VAV P78 med trycket 1,5 x PN varvid en PE-ledning av samma slag som tidigare antogs. Resultatet visas i Fig 3.2.5. Den totala svällningen innan avlastning uppgår till 4,2 %. Efter avlastning och en återhämtningstid som var fyra gånger längre än belastningstiden kunde en permanentad deformation av 0,8 % noteras. Av den icke elastiska delen av deformationen var ca 70 % viskoelastisk och 30 % plastisk.



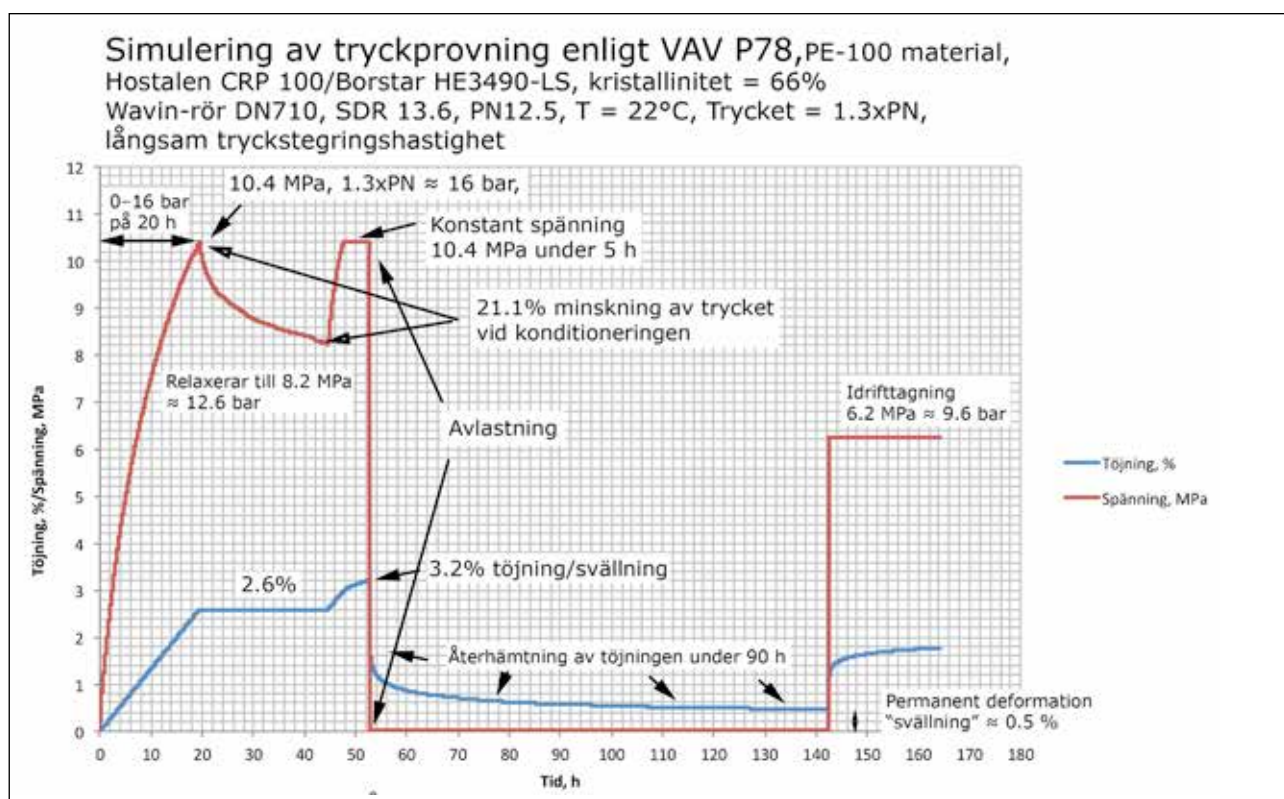
Figur 3.2.5 Spänningar och töjningar vid simulering av en provtryckning av Norrvattens Norrtäljeledning enligt VAV P78, men med trycket 1,5 x PN

Figur 3.2.6 visar att den permanenta deformationen efter provtryckning av en PE-100 ledning enligt VAV P78 vid olika tryck ökar linjärt med dragspänningen i rörväggen men endast över en viss spänningsnivå av ca 4,1 MPa. Under denna spänning predikterar diagrammet att ingen permanent deformation erhålls, dvs om trycket vid en provtryckning enligt VAV P78 är lägre än 8 bar hos en SDR 11 ledning eller lägre än 5 bar i en SDR 17 ledning erhålls inga kvarstående effekter av svällning.



Figur 3.2.6
Uppskattad permanent deformation som funktion av spänningen i godset hos ett PE-100, Hostalen CRP 100/Borstar HE3490-LS, Wavin-tillverkat rör vid 22 °C efter provtryckning enligt VAV P78 med olika tryck, 1,0 x PN, 1,3 x PN och 1,5 x PN.

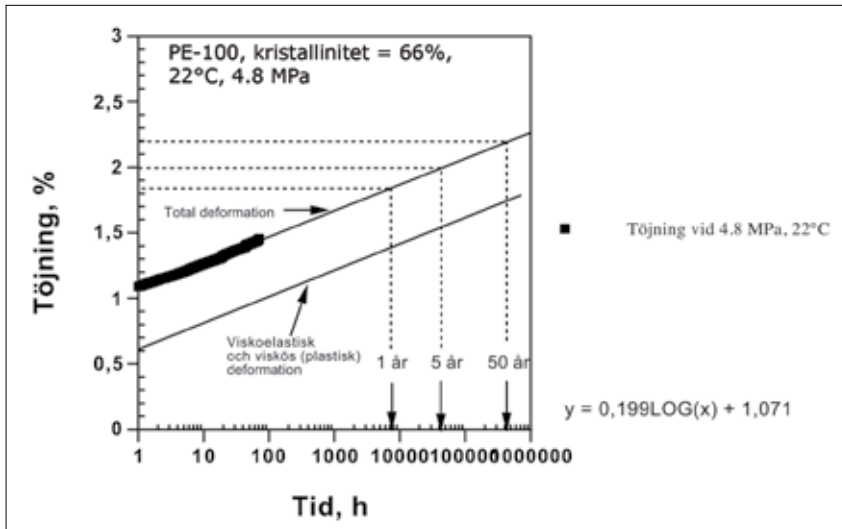
Figur 3.2.7 visar hur en långsam stegring att nå konditioneringstrycket av 16 bar (under 20 h) inverkar på minskningen av trycket under själva konditioneringen vid simulering av en provtryckning av en PE-ledning av samma slag som tidigare enligt VAV P78 med trycket 1,3 x PN. Trycksänkningen blir här endast ca 21 % jämfört med 50 % som erhöles då tryckstegringen gjordes snabbt, jmf fig 3.2.1. Sålunda kan trycksänkningens storlek vid konditioneringen påverkas väsentligt av ledningens tidigare belastningshistoria – något man bör veta då provtryckningsprocedurer eller standarder tillämpas som bygger på tryckminskningskriterier vid konstant deformation för att avgöra om en PE-ledning är tät eller inte. Detta har dock inte beaktats i den europeiska standarden EN 805, varför den "sågats" av Dr Ingham m fl vid Exova i Storbritannien. Denna allvarliga brist i den europeiska standarden medförde att man arbetade fram en egen provtryckningsstandard för vattenproducenterna i landet (6).



Figur 3.2.7 Spänningar och töjningar vid simulering av en provtryckning av Norrvattens Norrtäljeledning enligt VAV P78 med trycket 1,3 x PN, och där tryckstegringen för att nå konditioneringstrycket 16 bar utförts långsamt under 20 h.

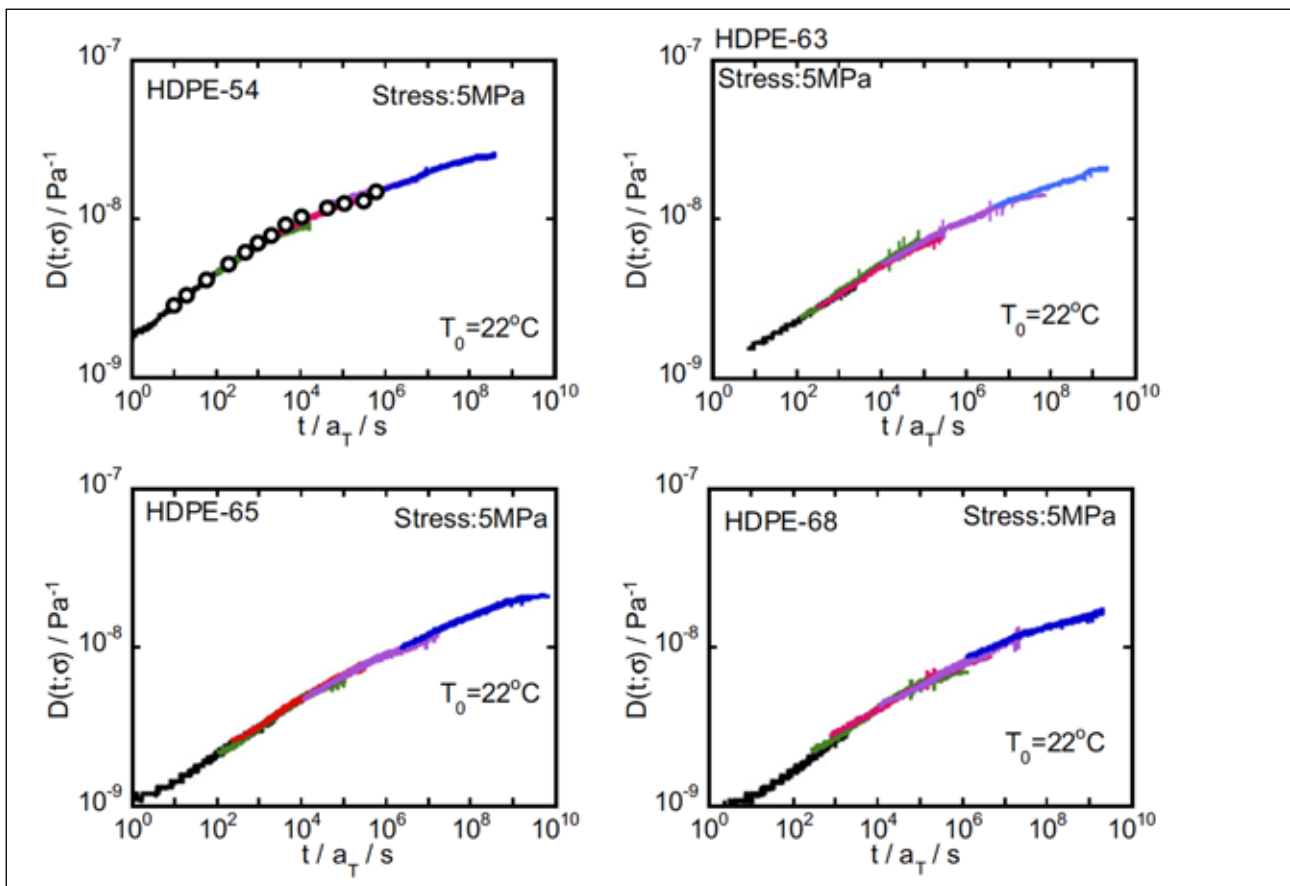
Figur 3.2.8 visar det predikterade långtidskrypuppförandet för PE-100-material Hostalen CRP 100/Borstar HE3490-LS i Wavin-rör DN710, SDR 13,6, PN12,5 vid 22 °C och dragspänningen 4,8 MPa motsvarande trycket 0,6 x PN, efter provtryckning enligt VAV P78 vid 1 x PN. Här indikeras att svällningen efter exempelvis 5 års drift kan uppskattas till 2 %, men som efter avlastning sjunker till ca 1,5 %. Till detta ska man addera den permanentade deformationen på 0,4 % som uppkom vid provtryckningen, om svällningseffekterna ska utvärderas. I verkligheten har temperaturen på

vattnet varit betydligt lägre än 22 °C, varför uppgifter skulle behövas som beskriver hur temperaturen inverkar på krypförloppet. En sökning i litteraturen gav vid handen att de japanska forskarna Nitta och Maeda publicerat resultat som visar inte bara temperatursambandet för krypkompliansen hos aktuella PE-material utan även hur materialets kristallinitet inverkar på kryppförändret (7), Figurerna 3.2.9–3.2.12.

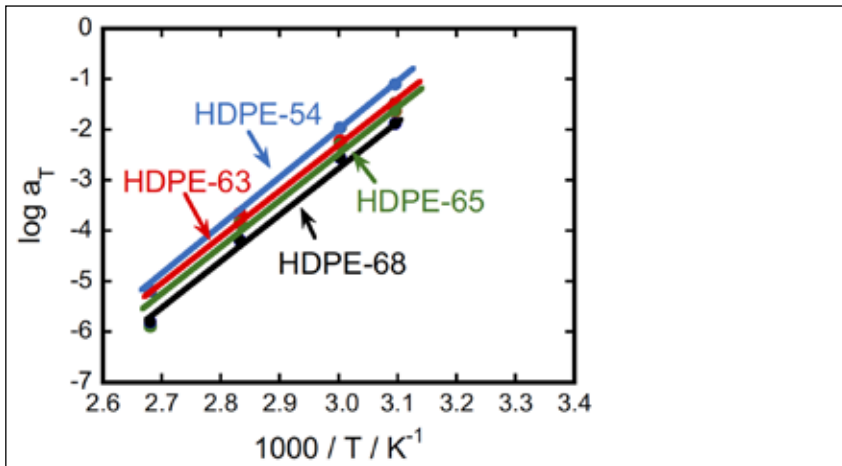


Figur 3.2.8

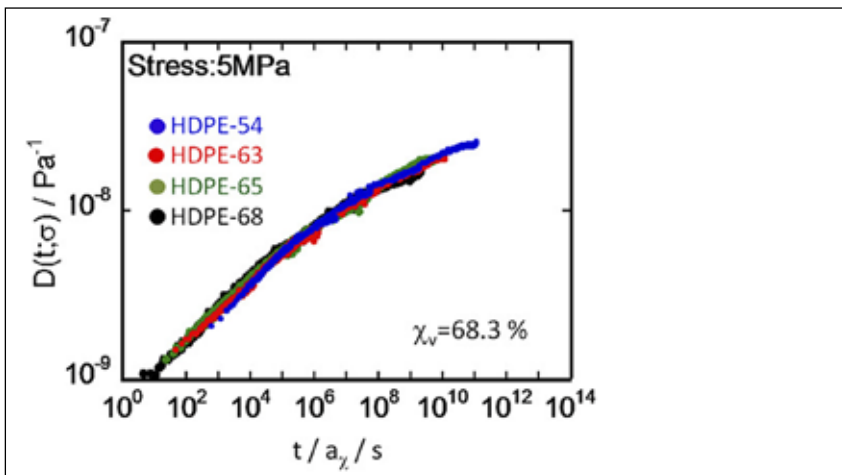
Predikerad töjning som funktion av belastningstiden vid en konstant dragspänning av 4,8 MPa motsvarande trycket 0,6 x PN hos PE-100-material Hostalen CRP 100/Borstar HE3490-LS i Wavin-rör DN710, SDR 13,6, PN12,5 vid 22 °C. Den permanenta deformationen på 0,4 % som uppkom vid provtryckningen är inte medtagen i kurvorna utan skall adderas om svällningseffekter skall utvärderas.



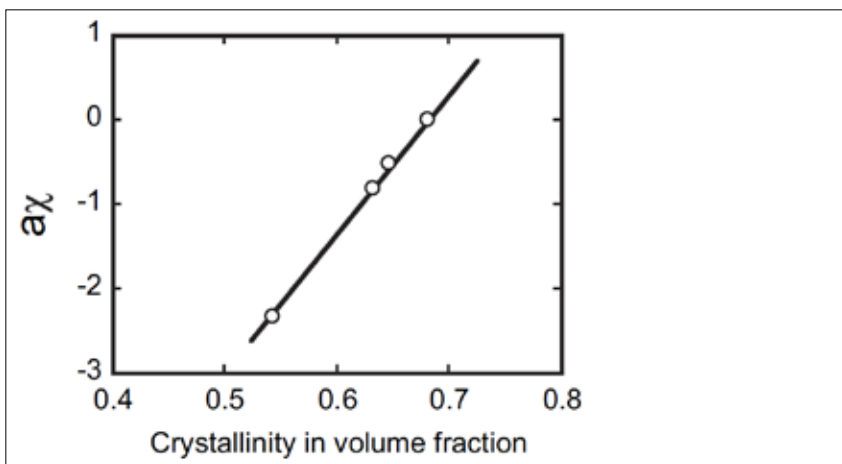
Figur 3.2.9 Masterkurvor för krypkompliansen hos HDPE-material av olika kristallinitet vid en referenstemperatur av 22 °C och en dragspänning av 5 MPa (7).



Figur 3.2.10
Skiftfaktorn för temperatur som funktion av inversen av den absoluta temperaturen hos HDPE-material med olika kristallinitet vid krypning med en konstant dragspänning av 5 MPa (7).

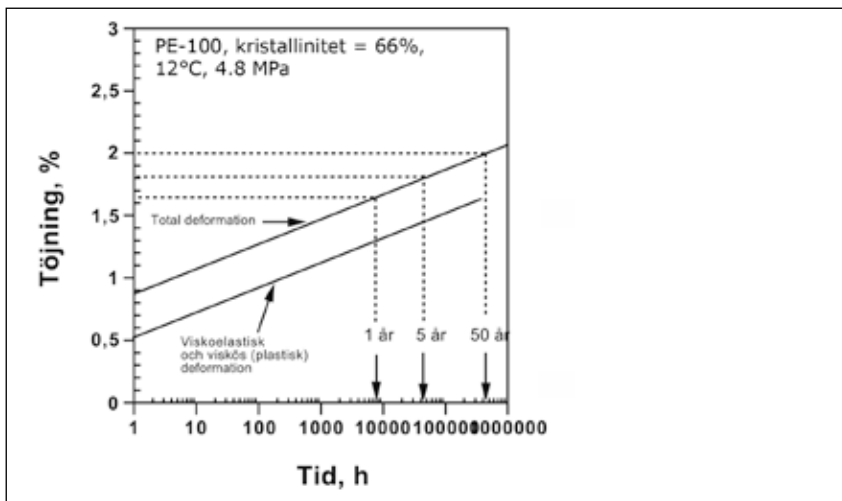


Figur 3.2.11
Masterkurva av krypkompliansen vid 22 °C och 5 MPa för kristalliniteten. Referenskristalliniteten har valts till 68,3 % (7).



Figur 3.2.12
Skiftfaktorn för kristalliniteten som funktion av kristalliniteten som volymfraktion hos HDPE-material vid krypning under en konstant dragspänning av 5 MPa (7).

Genom att använda temperatursambandet för krypkompliansen enligt Nitta och Maeda (7) kan den predikterade töjningen vid 22 °C enligt figur 3.2.8 enkelt transformeras till 12 °C, varvid krypuppförandet blir enligt Figur 3.2.13. Svällningen vid 5 års drift kan då predikteras till 1,8 %, men som efter avlastning sjunker till ca 1,4 %. Till detta kommer ca 0,3 % permanent deformation från provtryckningen, dvs totalt 1,7 %. Således kan man räkna med att det 5 år gamla DN710-röret har en ytterdiameter av ca 722 mm vid en reparation, om ledningen kontinuerligt använts vid ett inre tryck av 0,6 x PN, dvs i detta fall vid 7,5 bar.

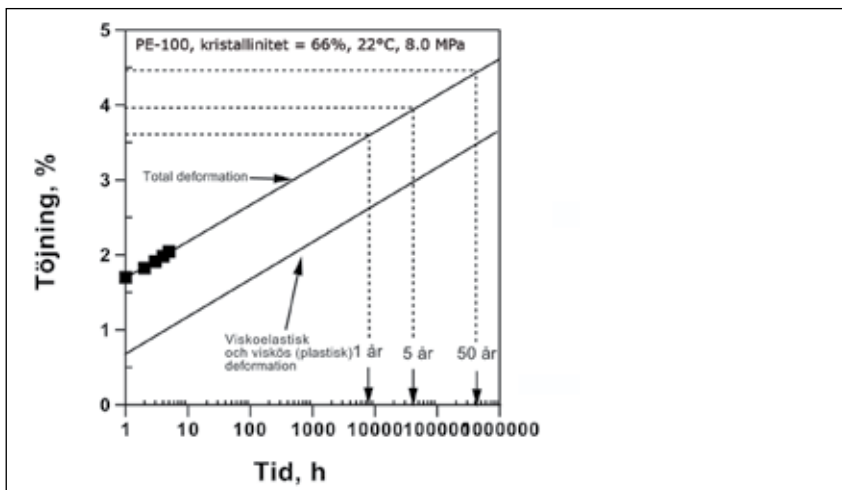


Figur 3.2.13

Predikterad töjning som funktion av belastningstiden vid en konstant dragspänning av 4,8 MPa motsvarande trycket 0,6 x PN hos PE-100-material Hostalen CRP 100/Borstar HE3490-LS i Wavin-rör DN710 vid 12 °C. Den permanentade deformationen på 0,3 % som uppkom vid provtryckningen är inte medtagen i kurvorna utan skall adderas om svällningseffekter skall utvärderas.

Predikterade svällningsvärden för huvudvattenledningen från Stockholm till Nynäshamn, som är ca 5 år gammal och typen PE-100, SDR 17, DN630, DN560 och DN500, har visat sig haft god överensstämmelse med vad som mätts upp i praktiken. Att ha uppgift om aktuell ytterdiameter hos en ledning kan vara betydelsefullt i händelse av att lagningar måste göras.

Figur 3.2.14 visar det predikterade kryppuppförandet vid 22 °C och trycket 1,0 x PN, dvs 10 bar i en PN10-ledning. Svällningen efter 5 års drift är 4 %, vilken sjunker till ca 3 % vid avlastning. Till detta kommer 0,4 % permanentad deformation från provtryckningen, dvs totalt 3,4 %. Motsvarande värde vid 12 °C kan uppskattas till 3 %. Man kan i detta fall räkna med att ett 5 år gammalt DN710-rör kommer att uppvisa en ytterdiameter av ca 731 mm vid en reparation. Motsvarande värde vid 50 år är 735 mm.



Figur 3.2.14

Predikterad töjning som funktion av belastningstiden vid en konstant dragspänning av 8 MPa motsvarande trycket 1,0 x PN hos PE-100-material Hostalen CRP 100/Borstar HE3490-LS i Wavin-rör DN710 vid 22 °C.

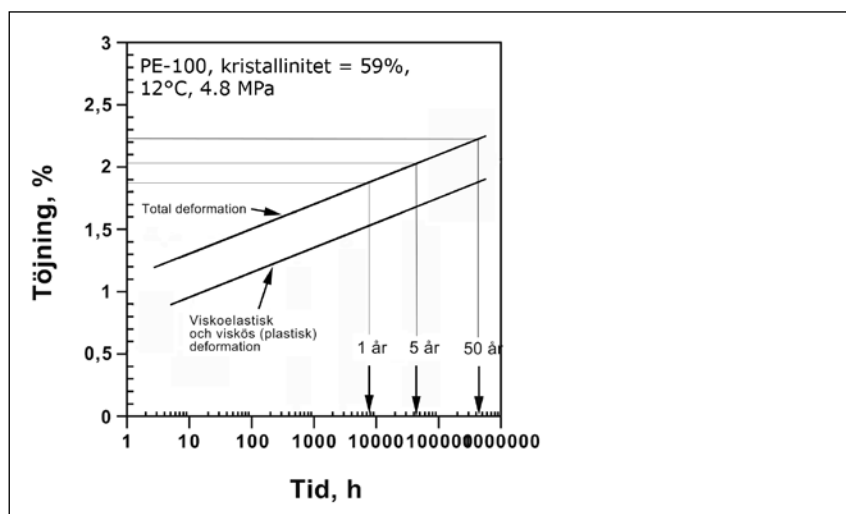
Svällningseffekterna vid användning av PE-100 rör med andra fabrikat på polyetenråvara än Hostalen CRP 100 och Borstar HE3490-LS eller som tillverkats av andra rörtillverkare än Wavin, eller som är av PE-80 kvalitet kan enligt resultaten från forskarna Nitta och Maeda (7) uppskattas enbart genom att känna till etenplastens kristallinitet i rören, dvs genom sambanden i figurerna 3.2.11 och 3.2.12. Tabell 3.2.1 visar kristalliniteten i mate-

rialet hos några olika PE-rör som analyserats. Uppgifter saknas till stor del om både fabrikat på råvaran och rörtillverkaren, men om kvaliteten är av typen PE-100 eller PE-80 har indikerats. Figur 3.2.15 visar den predikterade töjningen som funktion av belastningstiden vid en konstant dragspänning av 4,8 MPa motsvarande trycket 0,6 x PN hos ett PE-100 material som har kristalliniteten 59 %. Som synes kryper detta material något snabbare jämför med det som har 66 % kristallinitet, jmf figur 3.2.13.

Som tidigare indikerats skulle det vara möjligt att prediktera svällnings-effekterna för i princip alla råvarukvaliteter av HDPE material och fabrikat av rörtillverkning vid olika temperaturer och tryck enbart utifrån data från några enkla krypförsök i laboratoriet och resultaten från forskarna Nitta och Maeda (7). Detta är givetvis något som borde verifieras i något framtida projekt.

Tabell 3.2.1 Kristallinitet hos några olika PE-rör som bestämts genom DSC (Differential Scanning Calorimetry).

PE-material/Tillverkare	Kristallinitet, %
PE-100 Hostalen CRP100/Borstar HE 3490-LS, Wavin DN 710, SDR 13.6, PN 12.5	66
PE-100 okänt fabr. Tillverkare 1	63
PE-100 okänt fabr. Tillverkare 2	59
PE-80 okänt fabr. Tillverkare 1	49
PE-80 okänt fabr. Tillverkare 3	54

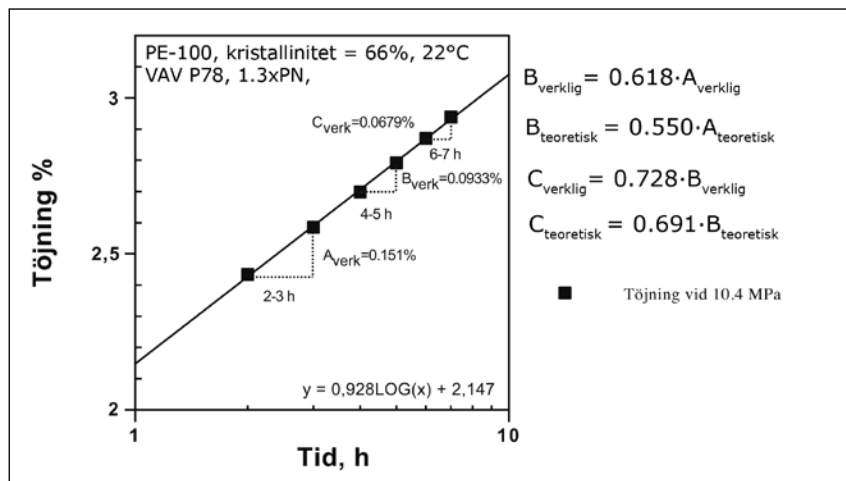


Figur 3.2.15

Predikterad töjning som funktion av belastningstiden vid en konstant dragspänning av 4,8 MPa motsvarande trycket 0,6 x PN hos PE-100 material med kristalliniteten 59 % vid 12 °C.

Figur 3.2.16 visar töjningen som funktion av belastningstiden vid enaxlig krypbelastning av en provstav i laboratoriet med en dragspänning av 10,4 MPa för att simulera en provtryckning av en PE-100 ledning enligt VAV P78 med trycket 1,3 x PN vid 22 °C efter konditionering 18 h. Töjningsökningarna, motsvarande volymökningarna i ledningen, mellan 2:a och 3:e timmen (A), 4:e och 5:e timmen (B) och mellan 6:e och 7:e timmen (C) har indikerats. Resultaten visar att det föreligger en viss avvikelse mellan det verkliga kryppufförändret och det teoretiska logaritmiska sambandet som antas enligt VAV P78. I verkligheten var förhållandet mellan töjningsökningarna B och A lika med 0,618 dvs 12 % högre än det som förutsatts

vid logaritmiskt samband enligt P78. Motsvarande värde för C var ca 5 % högre. Sålunda kan man inte utesluta att en sådan olinjäritet möjligen skulle kunna medföra att en ledning inte blir godkänd vid provtryckningen trots att den är tät. Detta förorsakar dock sällan några större problem annat än att man får utföra provtryckningen ytterligare en gång. Vanligen upprepas nämligen provtryckningarna tills ledningen blir godkänd.



Figur 3.1.16

Töjning som funktion av belastningstiden vid enaxlig dragning av en provstav i laboratoriet vid en dragspänning av 10,4 MPa för att simulera en provtryckning av en PE-100 ledning enligt VAV P78 med trycket 1,3 x PN vid 22 °C efter konditionering 18 h. Töjningsökningarna, motsvarande volymökningarna i ledningen, mellan 2:a och 3:e timmen (A), 4:e och 5:e timmen (B) och mellan 6:e och 7:e timmen (C) har indikerats.

Figur 3.2.17 på nästa sida visar protokoll från fyra stycken provtryckningar av Norrvattens Norrtäljeledning. Samtliga medförde godkänt resultat. Intressant att notera är dock att de framräknade referensvolymerna (RN), dvs $RN = B - 0,550A$, är negativa, varvid förhållandet mellan B- och A-volymerna varierar mellan 0,138 och 0,400, dvs avviker stort från det teoretiska värdet 0,550. Varför det blivit så är svårt att förstå, och kan här inte förklaras.

3.3 Deltagande vid tre provtryckningar i fält – mätning av svällningar och erfarenheter allmänt

Bergman och Blomfeldt deltog tidigt i projektet, den 13–19 maj 2013, vid tre provtryckningar av Norrvattens Norrtäljeledning. Den första delsträckan som skulle provtryckas var 1 113 m lång. Den utgjordes av en PE-100 ledning DN710, SDR 13.6, PN12.5. Den andra delsträckan var 489 m lång och anslöt till den första. PE-ledningen i denna var av samma typ men dimensionen DN560. Den tredje delsträckan var 569 m lång och utgjordes av en PE-80 ledning, DN75, SDR 11, PN10. Provtryckningen skulle göras enligt VAV P78, men med trycket 1,0 x PN.

Vid provtryckningarna var ledningsdelarna igenlagda förutom vid två gropar där svällningsmätningarna skulle utföras. Omkretsförändringen mättes dels med måttband dels genom fotografering av ett pålagt ruttmönster. Mätningarna skulle göras 1) före konditionering, 2) efter konditionering, 3) vid provtryckning under 5 h och 4) vid återhämtning under 18 h. Temperaturen på ledningen mättes med yttertermometer och med laserstråletermometer, Figurerna 3.3.1–3.3.2.

Proving i fört enligt VAV P 78 av plastförledningar, tryckledningar av polyolefina material (PE, PB, PP)

PROVNINGSPROTOKOLL

Beställare: Norrvatten

Arbetsplats: Etapp 4

Ledningsstråcka: 0/600 - 1/947

Arbetet utfört av: LGM

Längd L, m	1947	Tryckklass PN, bar	13,6
Innerradien d, mm	605,6	Provttryck, bar	13
Typ av plast (PE, PB eller PP)	PE	Kontrollvattenmängd D, literh. D = (0,4 d · 20) L/24 000	18,03

Vid provtryckningen var ledningen helt blottad överfylld utom vid skarvarna
 helt överfylld nedsläckt under vatten

Normalprovning:

Vattenvolym A, liter (under tredje timmen)	800	Referensvolym RN, liter RN = B - 0,550A	-240
Vattenvolym B, liter (under femte timmen)	200	Provfall G (RN ≤ D) U (RN > D)	G

Förlängd provning (om underkäänd, U, vid normalprovning enligt ovan)

Vattenvolym C, liter (under sjunde timmen)		Referensvolym RF, liter RF = C - 0,691B	
		Provfall G (RN ≤ D) U (RN > D)	

Anmärkning: B/A = 200/800 = 0.250

Datum: 121101 Kontrollant:

Arbetsledare:

Denna sida kan kopieras för att användas som protokoll i samband med tätetsprovning.

VAV P78-9

Proving i fört enligt VAV P 78 av plastförledningar, tryckledningar av polyolefina material (PE, PB, PP)

PROVNINGSPROTOKOLL

Beställare: Norrvatten

Arbetsplats: Etapp 4

Ledningsstråcka: 1/947 - 4/433

Arbetet utfört av: LGM

Längd L, m	2486	Tryckklass PN, bar	13,6
Innerradien d, mm	605,6	Provttryck, bar	13
Typ av plast (PE, PB eller PP)	PE	Kontrollvattenmängd D, literh. D = (0,4 d · 20) L/24 000	23,02

Vid provtryckningen var ledningen helt blottad överfylld utom vid skarvarna
 helt överfylld nedsläckt under vatten

Normalprovning:

Vattenvolym A, liter (under tredje timmen)	2500	Referensvolym RN, liter RN = B - 0,550A	-575
Vattenvolym B, liter (under femte timmen)	800	Provfall G (RN ≤ D) U (RN > D)	G

Förlängd provning (om underkäänd, U, vid normalprovning enligt ovan)

Vattenvolym C, liter (under sjunde timmen)		Referensvolym RF, liter RF = C - 0,691B	
		Provfall G (RN ≤ D) U (RN > D)	

Anmärkning: B/A = 800/2500 = 0.320

Datum: 121114 Kontrollant:

Arbetsledare:

Denna sida kan kopieras för att användas som protokoll i samband med tätetsprovning.

VAV P78-9

Proving i fört enligt VAV P 78 av plastförledningar, tryckledningar av polyolefina material (PE, PB, PP)

PROVNINGSPROTOKOLL

Beställare: Norrvatten

Arbetsplats: Etapp 4

Ledningsstråcka: 8/510 - 9/498

Arbetet utfört av: LGM

Längd L, m	988	Tryckklass PN, bar	13,6
Innerradien d, mm	605,6	Provttryck, bar	13
Typ av plast (PE, PB eller PP)	PE	Kontrollvattenmängd D, literh. D = (0,4 d · 20) L/24 000	9,15

Vid provtryckningen var ledningen helt blottad överfylld utom vid skarvarna
 helt överfylld nedsläckt under vatten

Normalprovning:

Vattenvolym A, liter (under tredje timmen)	290	Referensvolym RN, liter RN = B - 0,550A	-195
Vattenvolym B, liter (under femte timmen)	40	Provfall G (RN ≤ D) U (RN > D)	G

Förlängd provning (om underkäänd, U, vid normalprovning enligt ovan)

Vattenvolym C, liter (under sjunde timmen)		Referensvolym RF, liter RF = C - 0,691B	
		Provfall G (RN ≤ D) U (RN > D)	

Anmärkning: B/A = 40/290 = 0.138

Datum: 121101 Kontrollant:

Arbetsledare:

Denna sida kan kopieras för att användas som protokoll i samband med tätetsprovning.

VAV P78-9

Proving i fört enligt VAV P 78 av plastförledningar, tryckledningar av polyolefina material (PE, PB, PP)

PROVNINGSPROTOKOLL

Beställare: Norrvatten

Arbetsplats: Etapp 4

Ledningsstråcka: 6/123 - 8/510

Arbetet utfört av: LGM

Längd L, m	2387	Tryckklass PN, bar	13,6
Innerradien d, mm	605,6	Provttryck, bar	13
Typ av plast (PE, PB eller PP)	PE	Kontrollvattenmängd D, literh. D = (0,4 d · 20) L/24 000	22,10

Vid provtryckningen var ledningen helt blottad överfylld utom vid skarvarna
 helt överfylld nedsläckt under vatten

Normalprovning:

Vattenvolym A, liter (under tredje timmen)	3000	Referensvolym RN, liter RN = B - 0,550A	-450
Vattenvolym B, liter (under femte timmen)	1200	Provfall G (RN ≤ D) U (RN > D)	G

Förlängd provning (om underkäänd, U, vid normalprovning enligt ovan)

Vattenvolym C, liter (under sjunde timmen)		Referensvolym RF, liter RF = C - 0,691B	
		Provfall G (RN ≤ D) U (RN > D)	

Anmärkning: B/A = 1200/3000 = 0.400

Datum: 121114 Kontrollant:

Arbetsledare:

Denna sida kan kopieras för att användas som protokoll i samband med tätetsprovning.

VAV P78-9

Figur 3.2.17 Protokoll från fyra stycken provtryckningar av Norrvattens Norrtäljeledning. Samtliga medförde godkänt resultat. De framräknade referensvolymerna (RN), dvs $RN = B - 0,550A$, är negativa, varvid förhållandet mellan B- och A-volymer varierar mellan 0,138 och 0,400, dvs avviker stort från det teoretiska värdet 0,550.



Figur 3.3.1 Bilder tagna i gropen där svällningsmätningarna skulle göras i samband med provtryckningen av DN710-ledningen. Omkrets-förändringen mättes dels med måttband dels genom fotografering av ett pålagt rutmönster.



Figur 3.3.2 Bild visande gropen där svällningsmätningarna skulle göras i samband med provtryckningen av DN560-ledningen.

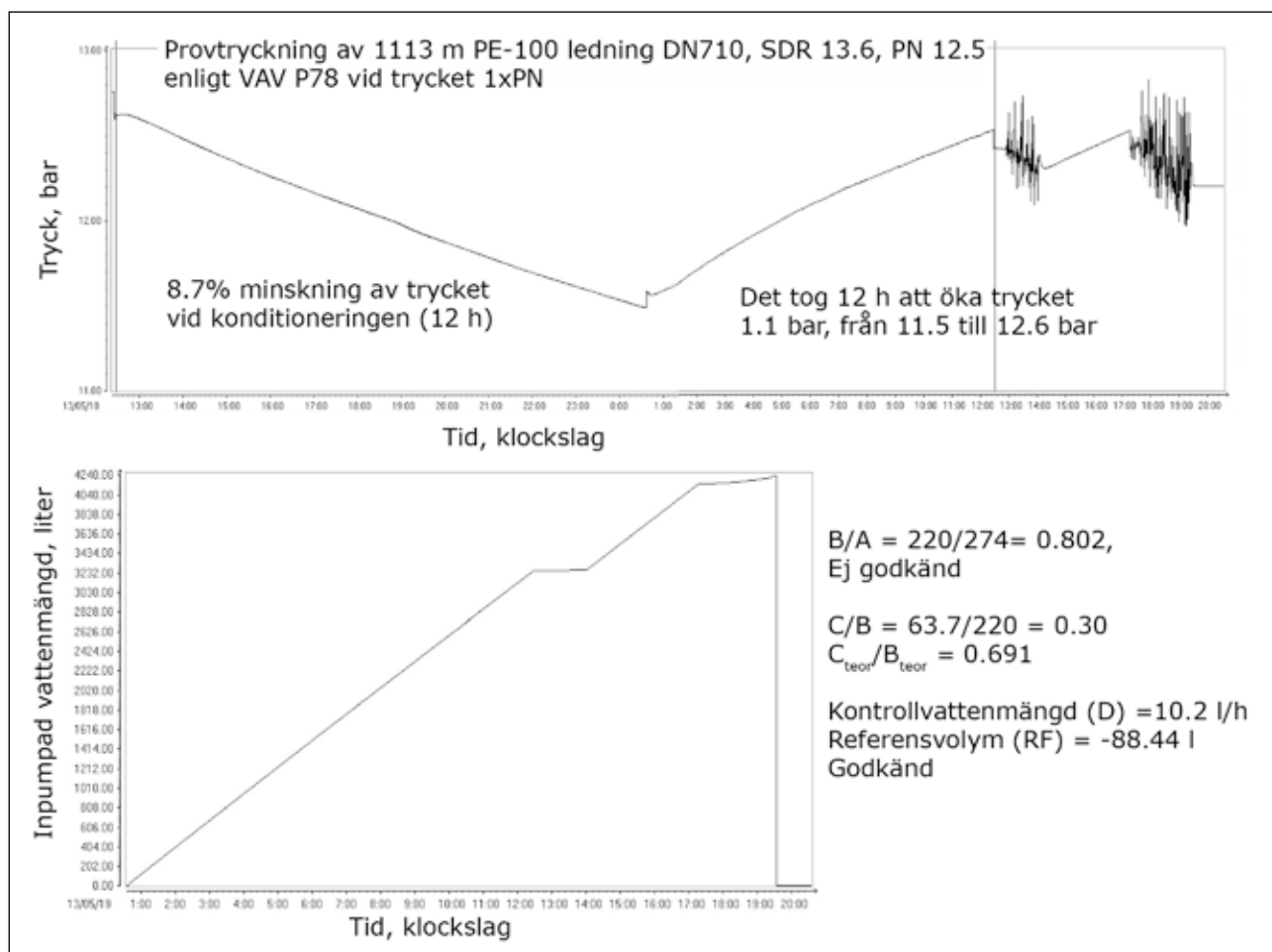
Resultaten visade att töjningsmätningarna genom fotografering av rutnäten uppvisade alltför stor onoggrannhet, främst till följd av att fotograferingen skedde på fri hand och inte kunde göras från ett stativ med exakt samma kamerauppställning vid varje tillfälle. Töjningsmätningarna med måttband gick i stor sett bra, men det är svårt att få en noggrannhet bättre än +/- 1 mm. Före konditioneringen hade ledningen en omkrets av 2244–2245 mm vilket motsvarar en ytterdiameter av ca 715 mm. En ytterdiameter av 710 mm ger en omkrets av 2229 mm. En bortkapad rörpipa uppvisade en diameter av 2240 mm, vilket motsvarar diametern 713 mm. Rören hade således ursprungligen en större ytterdiameter än den nominella 710 mm. Detta hade enligt uppgift givit upphov till stora problem vid elektromuffsvetsningen. Upplysningsvis kan nämnas att toleranskraven enligt tillverkningsstandarderna tillåter en ytterdiameter upp till 716,4 mm. Tabell 3.3.1 visar resultaten från svällningsmätningarna. Den permanentade deformationen uppgick till i medeltal 0,3 %, Noggrannheten i mätningarna var inte så stor, men svällningsvärdena synes ändå ha relativt god överensstämmelse med

vad som väntades enligt figur 3.2.1 om man beaktar att temperaturen på vattnet var mycket lägre än 22 °C.

Tabell 3.3.1 Resultat från omkretsmätningarna vid provtryckningen av DN710-ledningen.

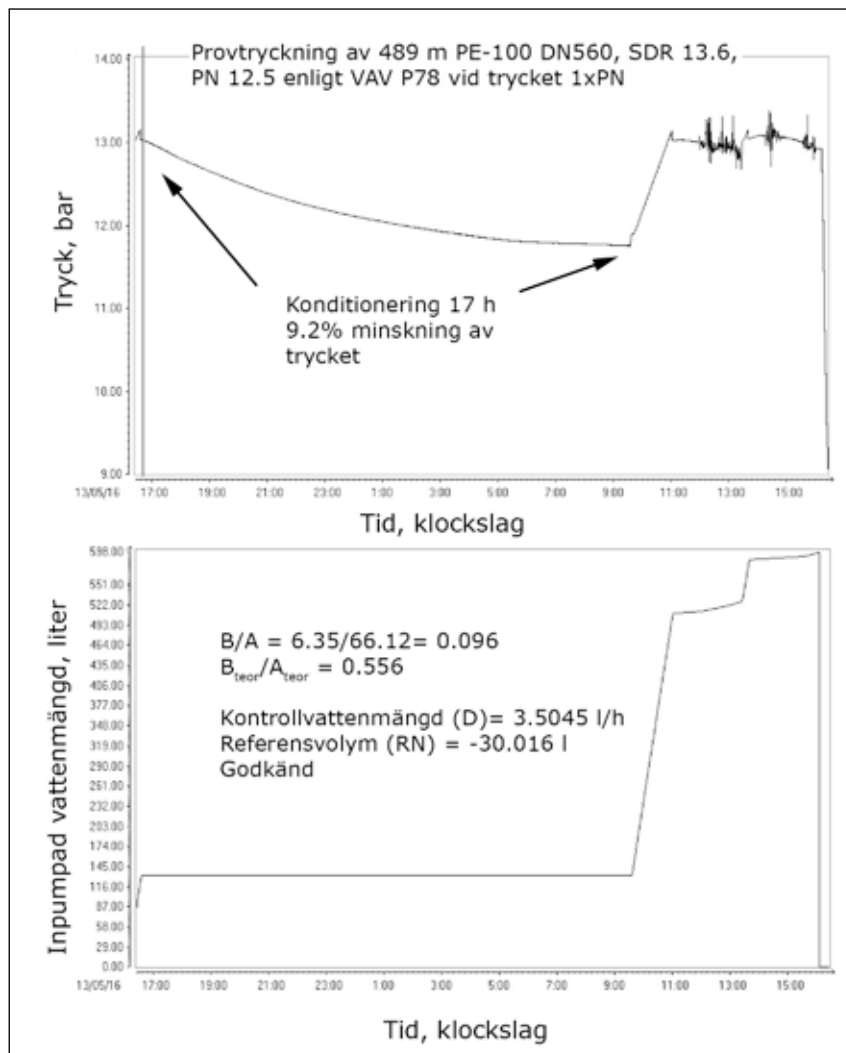
Position	○ före	○ efter konditionering (svällning)	○ 2 h tryck (svällning)	○ 4 h tryck (svällning)	○ återhämtad (permanent deformation)
1	2 245	2 267 (1,0 %)	2 269 (1,1 %)	2 269 (1,1 %)	2 247, 0,1 %
2	2 244	2 277 (1,5 %)	2 277 (1,5 %)	2 277 (1,5 %)	2 255, 0,5 %

Figur 3.3.3 visar resultatet av provtryckningen av den 1 113 m långa ledningsdelen. Minskningen av trycket vid konditioneringen var endast 8,7 %. Detta förklaras av att det tog mycket lång tid att få upp trycket till 12,5 bar. Som en jämförelse kan nämnas att det tog hela 12 tim att öka trycket 1,1 bar från 11,5 till 12,6 bar då själva provtryckningen påbörjades. Volymen B blev 220 liter vilket var 69 liter för mycket för att godkännas. Provingen fortsatte därför till sju timmar. Volymen C blev då endast 63,7 liter av tillåtna 152 liter, varför ledningen kunde godkännas.



Figur 3.3.3 Resultatet av provtryckningen av den 1 113 m långa DN710-ledningsdelen.

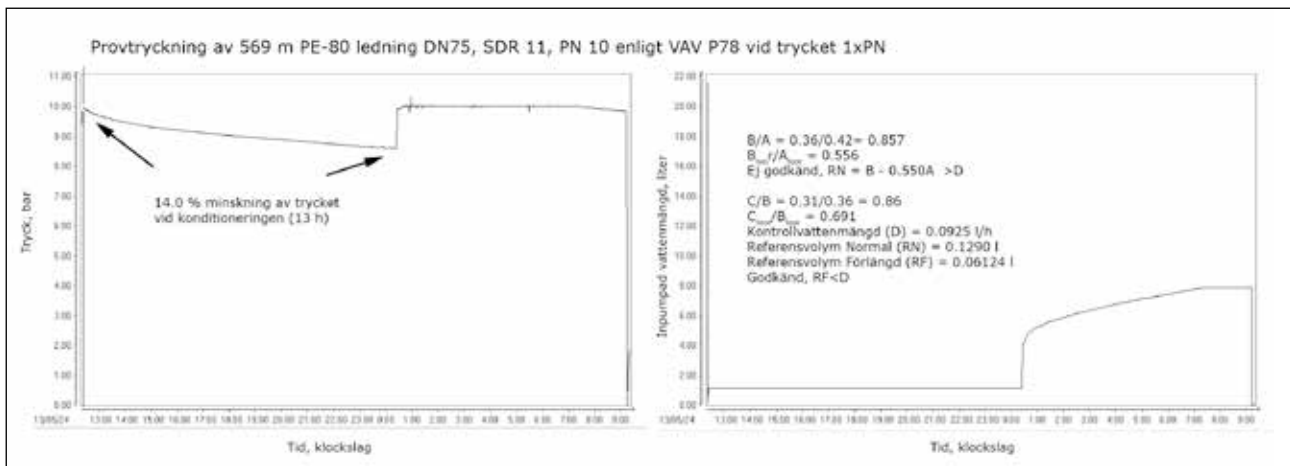
Figur 3.3.4 visar resultatet av provtryckningen av den 489 m långa ledningsdelen. Minskningen av trycket vid konditioneringen var även här ganska liten, endast 9,2 %, och förklaringen härtill torde vara densamma som tidigare indikerats. Volymen B var endast 6.35 liter jämfört med de 36,8 liter som teoretiskt väntades, dvs kvoten B/A var endast 0,096 mot det teoretiskt väntade 0,556 för logaritmisk krypning.



Figur 3.3.4

Resultat från provtryckningen av den 489 m långa DN560-ledningsdelen.

Figur 3.3.5 visar resultatet vid provtryckningen av den 569 m långa PE-80 DN75, SDR 11, PN10 ledningen. Minskningen av trycket vid konditioneringen var 14,0 %. Volymen B uppgick till 0,36 liter vilket var 0,129 l för mycket för att bli godkänd. Kvoten av B/A uppgick till 0,857. Vid den förlängda provtryckningen uppgick volymen C till 0,31 liter. Kvoten C/B uppgick till 0,86 vilket var något högre än det teoretiska värdet av 0,691. Referensvolymen vid den förlängda provningen uppgick till 0,06124 l, vilken var mindre än kontrollvattenmängden D, 0,0925 l/h. Ledningen kunde därför godkännas. Detta fall visar att det kan vara svårt att använda den aktuella provtryckningsproceduren enligt VAV P78 om ledningen är alltför liten eller kort. I sådana fall skulle det vara bättre att använda en metod enligt Göteborg Stad.



Figur 3.3.5 Resultat från provtryckningen av den 569 m långa PE-80 DN75, SDR 11, PN10 ledningen.

Alla de aktuella ledningsdelarna hos Norrtäljeledningen blev således godkända vid provtryckningarna. I syfte att härutöver försöka säkra kvaliteten hos främst skarvarna längs ledningen har Norrvatten anlitat kontrollanter under läggningens gång. I groparna som lämnats för provtryckningen och mätningen av svällningseffekterna kunde man i två fall notera påtagliga vinkelavvikelser hos röret i muffen, Fig 3.3.6. Man ser här att man har haft problem med passningen mellan rör och muff. Märken, jack och deformationer efter slag med slägga kan noteras i en av muffarna.



Figur 3.3.6

Påtaglig vinkelavvikelse kunde noteras i två av muffarna i groparna som lämnats för provtryckningen. Man önskar sig röntgensyn för att kunna kontrollera fogarnas kvalitet

Vad mer har man gjort för att säkerställa skarvarna kvalitet? Jo, man lät entreprenören göra en elektomuffskarv i huvuddimensionen DN710 vid sidan om som sedan skulle skickas till SP för kontroll och godkännande. Muffen gjordes inte i en ledningsgrop utan i ett förråd under närmast ideala förhållanden. Innan denna skickades till SP hade Bergman och Blomfeldt ordnat så att muffen skulle kunna bli föremål för en oförstörande kontroll genom digitalröntgning. Man hade nämligen idéer om att denna metod skulle kunna vara användbar för kvalitetskontroll av bland annat elektro-

muffskarvar. För detta ändamål hade man kontaktat Thomas Henriksson vid Inspecta Sweden AB, som har utrustningen och tillika stor erfarenheten av röntgning av främst metallkonstruktioner i olika industriella anläggningar. Detta blev upptakten till del 2 av föreliggande projekt som avsåg att inventera och undersöka möjliga alternativa metoder och metodiker för att säkerställa tätheten och kvaliteten i skarvar hos främst nylagda grova tryckvattenledningar av etenplast och som företrädesvis inte inbegriper en provning vid höga tryck såsom 1,3 ggr tryckklassen. Något som behandlas i de följande avsnitten.



Figur 3.3.7
DN710 muff från Norrvattens Norrtäljeledningsprojekt som anlänt hos Inspecta Sweden AB för att inspekteras med digitalröntgning.

3.4 Alternativa metoder och metodiker för att säkerställa täthet och kvalitet hos skarvar

3.4.1 Radiografi – Digital röntgenteknik

Den 24 april 2013 ordnade Bergman och Blomfeldt en workshop hos Inspecta Sweden AB i Bergshamra, Solna för att kunna testa och utvärdera möjligheterna att använda digital röntgenteknik som en oförstörande provningsmetod (OFP) till att detektera olika fel och defekter i elektrosuffsvetsade etenplaströr och få underlag till att kunna bedöma deras kvalitet, Figur 3.4.1.1 Vid detta tillfälle skulle den grova DN710 elektroskarvmuffen från Norrvattens Norrtäljeprojekt undersökas. För ändamålet hade också Bergman och Tomas Helenius vid Stockholm Vatten gjort ett antal skarvar med elektrosuffsmuffar där olika medvetna fel byggdes in eller simulerades under fogningen. Bland annat gjordes svetsning med perfekt förbehandlade rörändar respektive med smutsiga rörändar som varken skrapades eller rengjordes med sprit, med rören/muffarna utsatta för vatten under svetsförloppet, och med muffen/rören utsatta för brytning vid svetsningen. Vidare undersöktes ett par skadefall från praktiken där muffarna läckt. Digitalröntgentekniken är egentligen ganska enkel. Utrustningen består av ett röntgenrör som alstrar stålningen, en bildplatta som tar upp röntgenbilden, samt en dator där bilderna samlas in och kan bearbetas. Den bildplatta som Inspecta har i Bergshamra är den största möjliga på marknaden. Den har en bredd av 432 mm och en höjd av 342 mm. Utrustningen är fältmässig och portabel, och kan därför enkelt tas med ut i en rörgrav, Figur 3.4.1.2



Figur 3.4.1.1

Bilder från workshopen den 23/4 2014 där digitalröntgning av PE-rör som skarvats med elektrosvetsmuffar skulle testas.

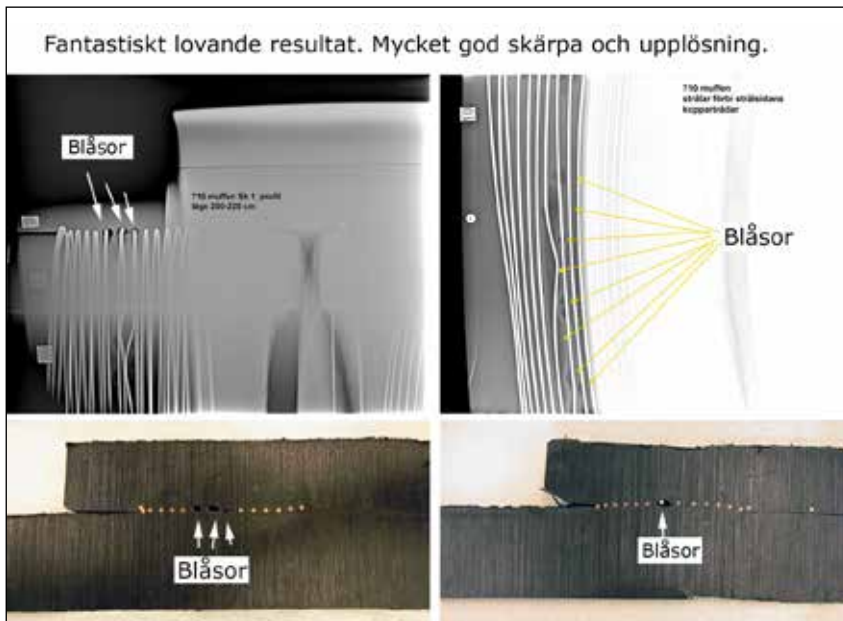


Figur 3.4.1.2

DN710 elektroskarvmuffen från Norrtäljeprojektet vid förberedelserna att undergå inspektion med digitalröntgning.

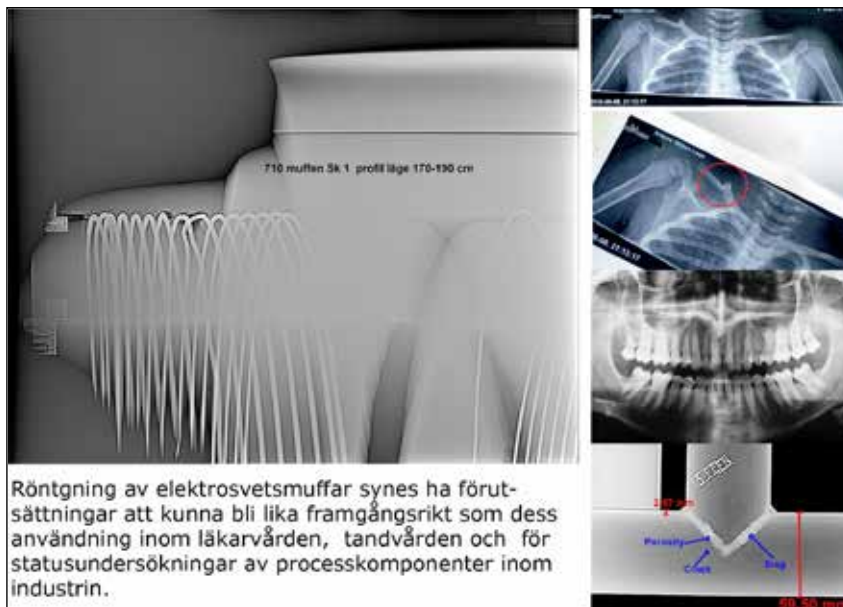
PE-100 DN710-rör som elektromuffskarvades i Norrtäljeprojektet

Figur 3.4.1.3 visar ett par av de första bilderna från röntgningen av DN710-muffen, dels en bild av godset i profil, dels en bild som tagits rakt framifrån men med ena sidan överskjuten av strålning för att undvika att väggen från både fram- och baksidan av objektet kommer med i samma bild. Resultatet ser fantastiskt lovande ut. Bilderna var mycket skarpa och hade god upplösning. Densitetsskillnaderna i materialet ger konturerna i kontrasten. Koppartrådarna ser man mycket tydligt och även olika partier med luft såsom bubblor, blåsor och spalter. Man vågar nog redan från dessa goda resultat säga att röntgning av elektromuffsvetsade PE-rör har förutsättningar att kunna bli lika framgångsrikt och standardbetonat som dess användning inom läkarvården, tandvården och för statusundersökningar av processkomponenter inom industrin, Figur 3.4.1.4.



Figur 3.4.1.3

Ett par av de första bilderna från röntgningen av DN710-muffen – en bild av godset i profil, och en bild som tagits rakt framifrån men med ena sidan överskjuten av strålning för att undvika att väggen från både fram- och baksidan av objektet kommer med i samma bild. De undre bilderna visar i jämförande syfte tvärsnitt av godset.



Figur 3.4.1.4

De goda resultaten medger bedömningen att röntgning av elektromuffsvetsade PE-rör har förutsättningar att kunna bli lika framgångsrikt och standardbetonat som dess användning inom läkarvården, tandvården och för statusundersökningar av processkomponenter inom industrin.

Profilröntgning utfördes runt hela muffens omkrets. Resultaten visade att fogen var tät och inga kritiska luftspalter fanns mellan muff och rör, till följd av exempelvis toe-in eller ovalitet. Röret konstaterades också vara väl inskjutet i muffen. Inga föroreningar i form av sand, grus eller liknande fanns i fogen. Kopparrådarna hade inte förskjutits nämnvärt under själva svetsningen. Däremot kunde man notera förekomst av luftblåsor av olika storlek i sammansmältningsområdet. Vid fläktestet enligt ISO 13954:1997 som senare utfördes av SP med prov från denna muff konstaterades sprödbrott till 100 % i två av provstavarna. Figur 3.4.1.5 visar de fullständiga resultaten i ett utdrag från rapporten. Svetsfogen blev sålunda inte godkänd enligt kraven i EN 12201-3. Resultaten från röntgenundersökningarna medgav inga kritiska anmärkningar, och det kan ju då vara förvånande att muffen inte blev godkänd. Den troliga orsaken till det underkända resultatet vid fläkprovet är att röret inte hade skrapats innan muffningen. Att

man glömt skrapningen framgår ju tydligt av exempelvis figur 3.3.7, och för detta behöver man inte ha någon röntgensyn för att kunna konstatera, utan det räcker med ett vanligt öga.

Fläckhållfasthet hos elektromuff				
Provkropp betecknad	Max. dragspänning	Andel sprödbrott	Avstånd mellan rör och muff	Brottets placering
	N	%		
Sida A 1	*	100	Max	I svets
Sida A 2	*	37	Min	I svets
Sida A 3	*	100		I svets
Sida A 4	*	51		I svets
Sida B 1	*	88	Max	I svets
Sida B 2	27590	0	Min	I rör
Sida B 3	23620	0		I svets
Sida B 4	*	21		I svets

Provningsmetod: ISO 13954:1997
Provningstemperatur: 23±2°C
Mått på provstav: Bredd 55-60 mm, fri rörlängd 125 mm
Draghastighet: 25 mm/minut
Provningsdatum: 2013-06-18

* Brotten utlöste en så kraftig rekyl att dragprovningssmaskinen nödstoppades. Vid dessa tillfällen registreras inte maximal kraft.

Sammanfattning

Provkroppar från elektromuffsvetsen uppvisade > 33% sprödbrott vilket innebär att svetsningen *inte* uppfyller kravet i EN 12201-5.

Figur 3.4.1.5

Utdrag ur SP-rapport som visar resultaten från fläckprovningen av prover från den röntgade DN710-muffen i Norrtäljeprojektet.

PE-100 DN250-rör med elektromuffsvets som läckte vid provtryckningen

Figur 3.4.1.6 visar en DN250-muff som upptäcktes läcka vid en provtryckning i ett projekt på Värmdö. Muffen var av fabrikatet Durafuse, dvs från Staffordshire i Storbritannien. I genomskärning kunde man enkelt se att spalten mellan rör och muff syntes vara alltför stor. Även vid en okulär besiktning utvändigt kan man notera detta, men det är svårt eller knäppast möjligt att säga om det aktuella glappet medfört någon försämring av svetsen mellan muff och rör. Röntgenbilderna som togs i profil gav dock ett entydigt och klart svar. Det finns en spalt som sträcker sig utefter hela muffens längd över ett ganska brett område. Om muffen skulle ha röntgats ute i



Figur 3.4.1.6

En DN250-muff som upptäcktes läcka vid en provtryckning i ett projekt på Värmdö. Röntgenbilderna som togs i profil visade att det fanns en spalt som sträckte sig utefter hela muffens längd över ett ganska brett område. Om muffen skulle ha röntgats ute i fält vid läggningen av ledningen hade det varit lätt att upptäcka att den inte var tät. Vid röntgning rakt på kan grus och sand noteras.

fält vid läggningen av ledningen hade det varit lätt att upptäcka att den inte var tät. Att göra samma upptäckt under provtryckningen kan bli en betydligt dyrare historia än vad en röntgning av muffarna vid läggningen skulle ha kostat. Vid röntgning av muffen rakt på kunde man notera förekomsten av sand och grus i hela spalten mellan muff och rör. För att kunna skilja mellan den smuts som satt utvändigt och den som satt inne i spalten mellan rör och muff blev man tvungen att först tvätta ren ytan utvändigt. Närvaron av sand/grus i spalten verifierades då muffen efteråt kapades upp.

PE-100 DN250-rör med elektromuffsvetsar där olika medvetna fel byggdes in eller simulerades under fogningen

Figur 3.4.1.7 visar PE-100 DN250-rör som fogas med en elektrosvetsmuff. Änden hos det ena röret var perfekt förbehandlat med avskalning och spritning samt instuckat rakt och svetsad under i övrigt ideala förhållanden. Den andra röränden svetsades på samma sätt, men skrapades inte och gjordes heller inte ren.



Figur 3.4.1.7

PE-100 DN250-rör som fogas med en elektrosvetsmuff. Röränden hos det ena röret var perfekt förbehandlat med avskalning/skrapning och spritning samt instuckat rakt och svetsad under i övrigt ideala förhållanden. Den andra röränden svetsades på samma sätt men skrapades inte och gjordes heller inte ren.

Röntgenbilderna visar i bägge fallen att rören synes vara perfekt svetsade. Det är svårt att från röntgenbilderna se att den ena röränden inte hade skrapats eller gjorts ren från smutsen på ytan. Som tidigare indikerats har detta mindre betydelse eftersom man med blotta ögat kan se om sådan avskalning/skrapning har skett. Förekomsten av smuts i svetsfogen som härrör från tunna lager av oorganiskt finkornigt damm på rörens yta synes vara svårt att detektera med röntgen.

Figur 3.4.1.8 visar muffsvetsning med rörändar som var perfekt förbehandlade med avskalning/skrapning och spritning samt instuckna rakt och svetsade under i övrigt ideala förhållanden bortsett från att muffen utsattes utvändigt för vatten under svetsningen. Vid röntgningen av muffen kunde man konstatera att vattnet syntes ha gett upphov till viss blåsbildning i sammanfogningsskiktet mellan muff och rör. Figur 3.4.1.9 visar muffsvetsning med rörändar som också var perfekt förbehandlade men som utsattes för "brytning" under svetsningen, dvs utsattes för en viss vinkelavvikelse till följd av böjning. Röntgenstudierna av denna muff visade att svetsen inte

syntes ha påverkats negativt på annat sätt än att man kan konstatera att en viss vinkelavvikelse föreligger. Sådana fel kan vara betydelsefulla att upptäcka då de möjligen kan ge upphov till ogynnsamma och kanske också kritiskt höga spänningar i svetsen då ledningen sätts under tryck.



Figur 3.4.1.8

PE-100 DN250-rör som fogas med en elektrosvetsmuff. Rörändarna var perfekt förbehandlade med avskalning/skrapning och spritning samt instuckna rakt och svetsade under i övrigt ideala förhållanden bortsett från att muffen utsattes utvändigt för vatten under svetsningen.



Figur 3.4.1.9

Muffsvetsning med rörändar som också var perfekt förbehandlade, men som utsattes för "brytning" under svetsningen, dvs utsattes för en viss vinkelavvikelse till följd av böjning.

PE-100 DN710-ledning med elektrosvetsmuff som läckte vid provtryckningen

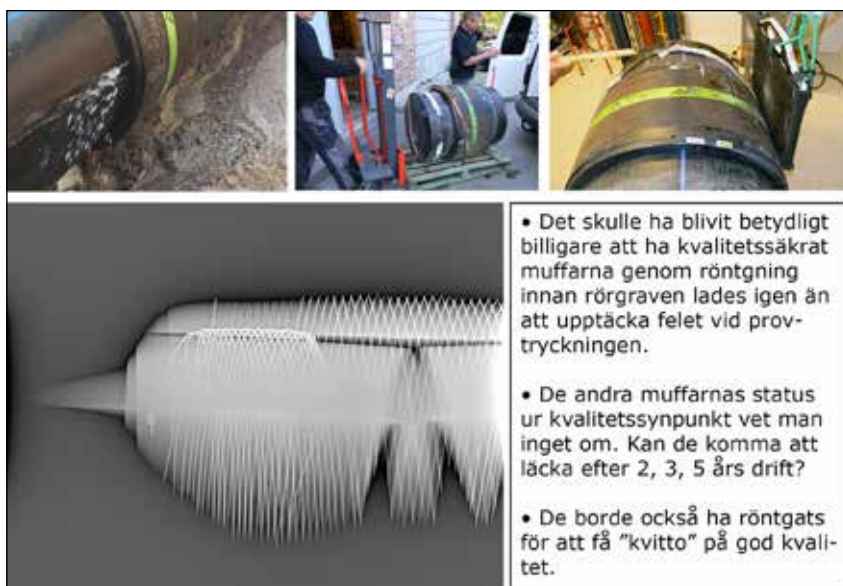
Figur 3.4.1.10 visar en PE-100 ledning, DN710, PN12.5 som läckte vid provtryckningen. Man provtryckte enligt VAV P78 men med trycket 1,0 x PN. Man kunde inte komma upp i provtrycket 12,5 bar, varför man misstänkte att ledningen då läckte. Turligt nog var läckan relativt stor varför den gick att hitta genom att det blev blött på marken ovanför ledningen.

Om läckan skulle ha varit mindre hade den varit besvärligare att hitta, och om läckan vore tillräckligt liten skulle ledningen ändå kunnat bli godkänd eftersom ett visst läckage accepteras enligt VAV P78. Figur 3.4.1.11 visar resultatet från röntgningen av muffen. Det finns en spalt mellan rör och muff där materialet inte har smält samman. Röränden hade dock ingen nämnvärd toe-in, kritiska repor, otillräckligt instickningsdjup, smuts i fogen eller påtaglig avvinkling. Den uppkomna spalten kunde dock misstänkas ha uppstått till följd av en tydligt ovalitet hos röret. Spalten som medgivit läckan hade uppkommit där ovaliteten varit som störst och där skrapverktyget skrapat som minst. Enligt entreprenören hade det inte varit några problem att svetsa rören, utan tvärtom gått mycket bra. Det skulle ha blivit betydligt billigare att ha kvalitetssäkrat muffarna genom röntgning innan rörgraven lades igen än att upptäcka felet vid provtryckningen. De andra muffarnas status ur kvalitetssynpunkt vet man inget om. Kan de komma att läcka efter 2, 3, 5 års drift? De borde nog också ha röntgats för att få ett



Figur 3.4.1.10

En PE-ledning, DN710, PN12.5 som grävts fram efter att den läckte vid en VAV P78 provtryckning med trycket 1,0 x PN. Turligt nog var läckan relativt stor varför den gick att hitta genom att det blev blött på marken ovanför ledningen.

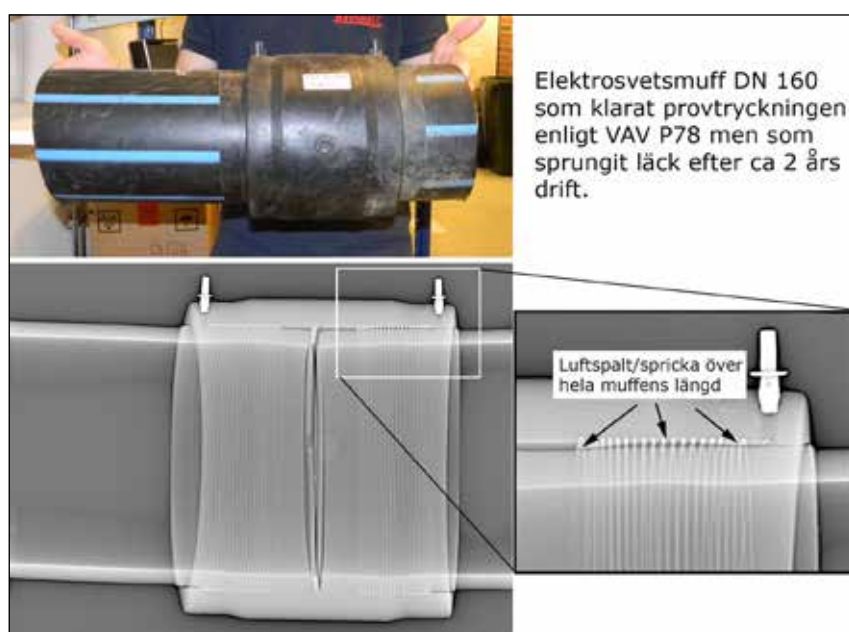


Figur 3.4.1.11 Resultatet från röntgningen av muffen. Det finns en spalt mellan rör och muff där materialet inte har smält samman. Felet har troligen uppkommit genom en ovalitet i röret.

”kvitto” på muffskarvarnas kvalitet. Att ledningen klarar tryckprovningen enligt VAV P78 utgör som tidigare nämnts ingen garanti på god kvalitet.

Elektromuffsvets DN 160 som klarat provtryckningen enligt VAV P78 men som sprungit läck efter ca 2 års drift

Figur 3.4.1.12 visar en elektromuffskarv i dimensionen DN160 som upptäcktes läcka efter ca 2 år i drift. Enligt uppgift har ledningen blivit provtryckt med godkänt resultat då den var ny. Vid röntgningen av den läckande detaljen noterades inga defekter i svetsfogarna förutom sprickan som gav upphov till läckan. Dock noterades en påtaglig vinkelavvikelse hos rören i muffen. Möjligen har denna avvikelse medfört att svetsen blivit utsatt för alltför höga dragpåkänningar under drift till följd av böjning. Andra effekter som toe-in och otillräcklig värme under svetsningen kan också ha bidragit till att fogen försvagats så att den kunnat spricka upp.



Figur 3.4.1.12

En elektromuffskarv i dimensionen DN160 som upptäcktes läcka efter ca 2 år i drift. Enligt uppgift har ledningen blivit provtryckt med godkänt resultat då den var ny.

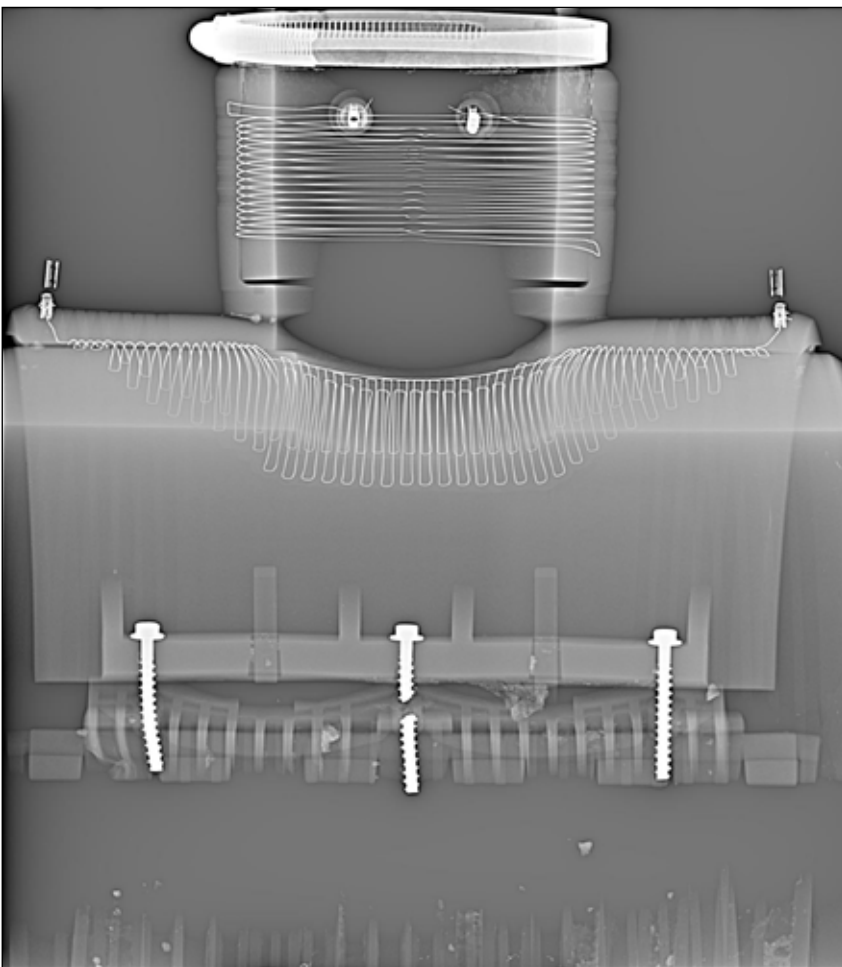
Läckande sadelgren av okänd ålder monterat på ett rör med dimensionen DN250

Figur 3.4.1.13 visar en sadelgren som efter ett okänt antal år upptäcktes läcka. Den var monterad på ett DN250 rör och hade ett avstick av DN110. Röret hade tidigare en skyddsmantel av blå PP (propenplast). Man kunde notera att smältindikatorn hade pressats ut genom indikatorhålet på sadelgrenen vid svetsningen. Figur 3.4.1.14 visar en röntgenbild av sadelgrenen i sin helhet, och Figur 3.4.1.15 visar en delförstoring av området där läckaget uppkommit. Bilderna demonstrerar röntgenteknikens förträfflighet att enkelt och snabbt kunna kontrollera sadelgrenens kvalitet.



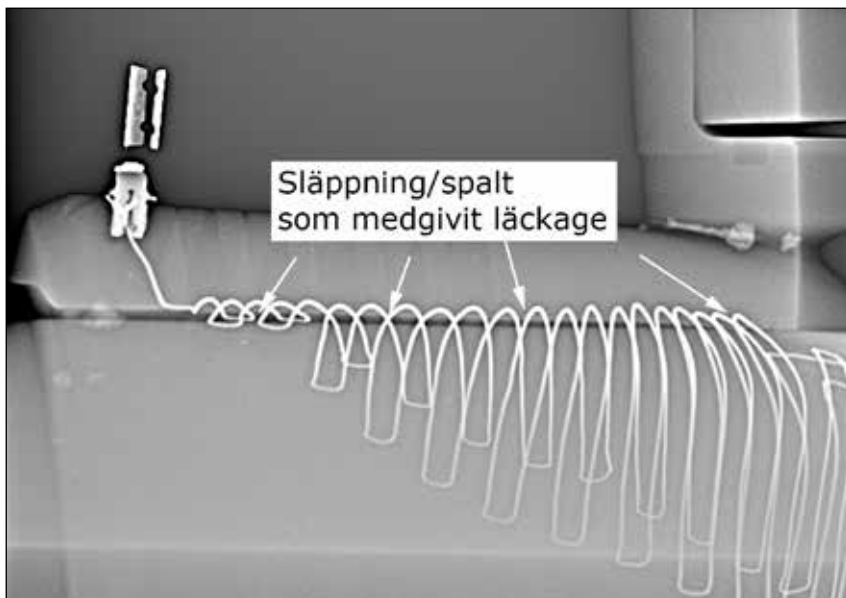
Figur 3.4.1.13

En sadelgren som efter ett okänt antal år upptäcktes läcka. Den var monterad på ett DN250 rör och hade ett avstick av DN110. Detaljen blev föremål för digitalröntgning.



Figur 3.4.1.14

En röntgenbild av sadelgrenen i sin helhet.



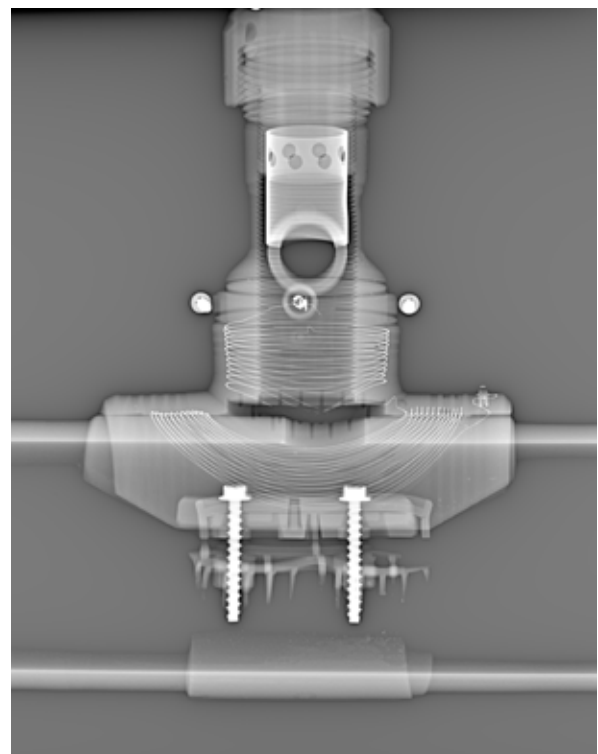
Figur 3.4.1.15
Delförstoring visande området i profil där läckaget uppkommit.

Läckande sadelgren av okänd ålder monterat på ett rör med dimensionen DN110

Figur 3.4.1.16 visar en annan sadelgren som också drabbats av läckage efter viss tid i drift. Den har monterats på ett DN110 rör. Figur 3.4.1.17 visar en röntgenbild av detaljen i sin helhet. Denna indikerar att sadelgrenen har släppt från röret, och sitter mestadels fast endast med skruvförbandet.



Figur 3.4.1.16
En annan sadelgren som också drabbats av läckage efter viss tid i drift.

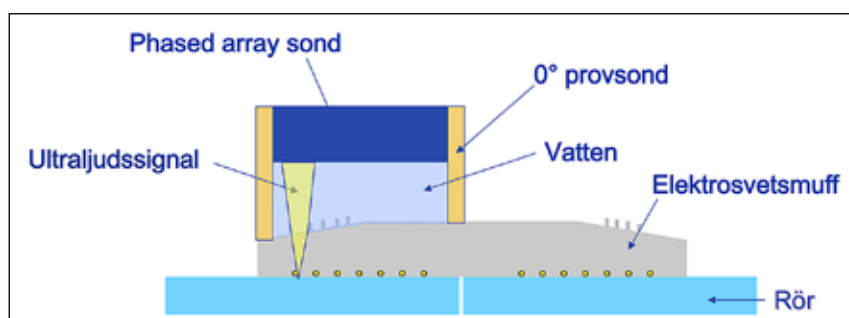


Figur 3.4.1.17
En röntgenbild av detaljen i sin helhet. Denna indikerar att sadelgrenen har släppt från röret, och sitter mestadels fast endast med skruvförbandet.

elektrosvetsmuff måste röntgentekniken kombineras med andra tekniker. Visuell inspektion lämpar sig för att kontrollera att rörändarna skrapats och gjorts rena vid svetsningen. För att kunna detektera och kontrollera förekomsten av områden med undermålig sammansmältning, ”kallsvets”, måste tekniker som phased-array-ultraljud och/eller mikrovågsskanning användas. Dessa tekniker beskrivs i de två följande avsnitten.

3.4.2 Ultraljudsprovning – Phased-array-teknik

Vid ultraljudsprovning med så kallad phased-array-teknik använder man en sökare som består av flera små element som kan pulseras individuellt och både skicka och ta emot signaler. Genom att variera tiden för de pulserande elementen kan ljudpulsens riktning och fokus styras och ett stort område kan skannas av. Med konventionellt ultraljud skulle man behöva vrida sökaren fysiskt för att uppnå samma effekt. Genom att kombinera olika sökarvinklar i en och samma avsökning är metoden både tids- och kostnadseffektiv samtidigt som sannolikheten att upptäcka defekter kan ökas. Position och storlek på eventuella defekter kan tydligt presenteras i färgbilder eller i 3D. TWI Ltd i Storbritannien är den forskningsorganisation/institut som lär ha både störst kunnande och längst erfarenhet av att använda ultraljud med phased-array-teknik för kvalitetsundersökningar och kontroller av skarvar hos PE-rör som utförts genom spegelsvetsning eller elektromuffsvetsning. I april 2013 avslutade TWI ett stort treårigt europeiskt projekt (EU:s 7:e ramprogram) som syftade till att utveckla tekniker och apparatur för att kunna kvalitetskontrollera stum- och elektromuffsvetsningar hos PE-ledningar med hjälp av just denna ultraljudsteknik. Projektet hade femton deltagare från sju länder och en budget på ca 30 MSEK. I projektet testade man skarvar i dimensionerna 180–710 mm diameter, 62 st stumskarvar och 102 st elektrosvetsmuffar. Man har ganska nyligen kommersialiserat sitt kunnande på området och erbjuder sen en tid tillbaka sina tjänster för kvalitetskontroll av PE-skarvar i dimensioner mellan 100 och 800 mm i utvändigt diameter (9). Man har utvecklat ett portabelt och fältmässigt system som är anpassat till provningar ute i verkligheten, dvs i rörgravar. Man har även utvecklat acceptanskriterier för olika typer av defekter och fel i fogarna som kan tillämpas vid ett godkännande/underkännande av en skarv. Figur 3.4.2.1 visar en principskiss av själva mät huvudet vid provning av en elektromuffsvets. Vatten används som medium för att föra in och ta emot ultraljudssignalerna i materialet. För att täta mellan mätsonden och föremålet används en flexibel packning (kjol), Figur 3.2.2.2.



Figur 3.4.2.1
Principskiss av själva mät huvudet vid provning av en elektromuffsvets. Bild från TWI (9).



Figur 3.4.2.2

Ett mät huvud för ultraljudsprovning av en elektrosvetsmuff. En flexibel packning (kjol) används som tätning för vattnet i sonden. Bild från TWI (9).

Figur 3.4.2.3 visar bilder som illustrerar utrustningen/arrangemanget vid ultraljudsprovning av dels en elektrosvetsmuff dels en spegelstumsvets, och Figur 3.4.2.4 visar hur det kan se ut då respektive provning görs i en rörgrav. Flera typer av defekter kan detekteras med denna ultraljudsteknik. Det kanske mest intressanta är att man kan detektera storleken/djupet hos den värmepåverkade zonen (HAZ = Heat Affected Zone) vid svetsningen. Detta



Figur 3.4.2.3

Bilder som illustrerar utrustningen/arrangemanget vid ultraljudsprovning av en elektrosvetsmuff (till vänster) respektive en spegelstumsvets. Bilder från TWI (9).

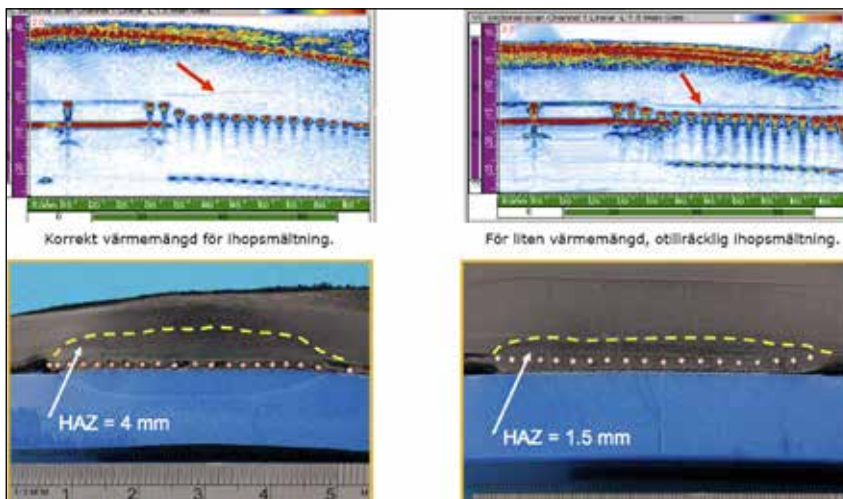


Figur 3.4.2.4

Kvalitetskontroll med phased array ultraljudsteknik av en elektrosvetsmuff i en DN710 PE-ledning i norra Wales (till vänster) och av en spegelstumsvets i en DN355 PE-ledning i Sheffield. Bilder från TWI (9).

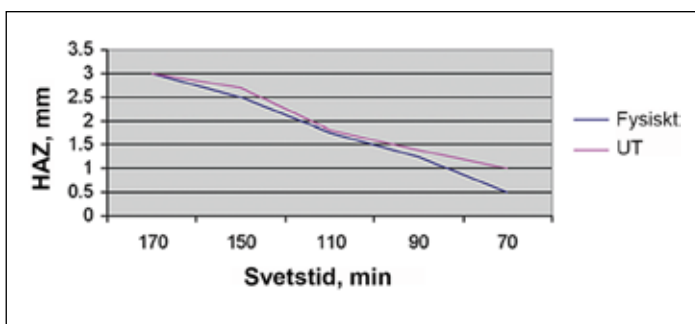
djup indikerar om värmemängden vid svetsningen varit OK, eller inte, dvs tekniken tycks kunna vara möjlig att användas för att indikera kallsvets.

Figur 3.4.2.5 visar resultatet från ultraljudsprovning av en muffskarv där värmemängden vid ihopsmältningen varit korrekt respektive varit otillräcklig. Vid korrekt svetsning är den värmepåverkade zonens djup 4 mm. I fallet med otillräcklig värmemängd är den endast 1,5 mm. Caravaca, Bird och Kleiner (10) har visat att det föreligger mycket god överensstämmelse mellan HAZ bestämd med ultraljud och med fysiska metoder såsom polering av tvärsnitt, framkallande värmebehandling och mikroskopiering, Fig 3.4.2.6. Figur 3.4.2.7 visar djupet hos den värmepåverkade zonen, HAZ, i ett tvärsnitt hos den tidigare beskrivna röntgade elektromuffskarven i dimensionen DN160 som upptäcktes läcka efter ca 2 år i drift, jmf figur 3.4.1.12. Djupet uppgår till endast 2,5 mm, dvs man undrar om värmemängden/svetstiden allmänt eller lokalt varit otillräcklig vid svetsningen. En ultraljudsprovning med phased array skulle här ha varit ett värdefullt komplement till röntgenundersökningarna för att ge svar på detta.



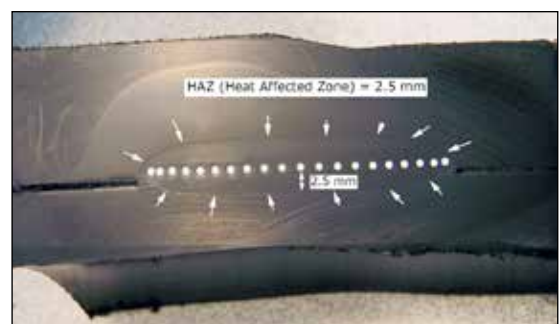
Figur 3.4.2.5

Resultatet från phased array ultraljudsprovning av en muffskarv där värmemängden vid ihopsmältningen varit korrekt respektive varit otillräcklig. Vid korrekt svetsning är den värmepåverkade zonen djup 4 mm. I det andra fallet endast 1,5 mm. Bilder från TWI (9).



Figur 3.4.2.6

Djupet hos den värmepåverkade zonen, HAZ, bestämt genom ultraljudsprovning respektive genom fysiska metoder, som funktion av svetstiden vid elektromuffsvetsning av PE-rör (10).



Figur 3.4.2.7

Djupet hos den värmepåverkade zonen, HAZ, i ett tvärsnitt hos den tidigare beskrivna röntgade elektromuffskarven i dimensionen DN160 som upptäcktes läcka efter ca 2 år i drift.

3.4.3 Mikrovågsteknik – Low voltage microwave imaging

Företaget Evisive Inc. i U.S.A. har utvecklat en mikrovågsbaserad teknologi som vunnit framgång för oförstörande provning av dielektriska material, såsom plaster och gummi. Tekniken patenterades redan i början av 1990-talet, men har först på senare tid rönt uppmärksamhet för att kunna användas till att detektera kallsvetsade områden i etenplaströr som skarvats genom spegelsvetsning och elektromuff-svetsning (11–13). Inom Europa är det i dagsläget endast företaget Exova Ltd i Storbritannien som har licens att använda tekniken. Där har man också i ca 2–3 år, sedan 2011, regelmässigt och med framgång praktiserat tekniken som en kompletterande QA-metod att säkerställa kvaliteten hos stumsvetsade och elektromuffsvetsade etenplaströr. Främst har det varit fråga om nyinstallerade ledningar av kritisk natur, dvs där konsekvenserna av ett haveri skulle kunna bli förödande, exempelvis kylvattenledningar på ett kärnkraftverk som måste ha dokumenterat god kvalitet. De grövsta rören man hittills inspekterat i fält med denna teknik har haft en diameter av 810 mm, men rör upp till 1 000 mm skulle också kunna klaras av. Begränsningarna ligger inte i rörens diameter utan i tjockleken. Vid kontroll av stumsvetsar måste svetsvulsterna först avlägsnas. Vid kontroll av skarvar som gjorts med elektrosvetsmuffar kan teknikens användbarhet i vissa fall begränsas av muffens utformning/design (14).



Figur 3.4.3.1

Bild visande den principiella utrustningen vid inspektion av en elektromuffskarv i PE-material (12). Själva skanningen av svetsområdet görs på liknande sätt som vid ultraljudsprovning med phased array.

Själva skanningen av svetsområdet görs på liknande sätt som vid ultraljudsprovning med phased array. I detta fall innefattar sonden som går över skarven och runt röret en sändare av mikrovågor och två stycken mottagare som tar upp responssignalerna för vidare bearbetning och analys i en dator, Fig 3.4.3.1. Resultatet presenteras grafiskt med olika färger med en horisontell axel vars skala motsvarar sondens läge utefter omkretsen, och en vertikal axel som anger sondens läge i den axiella riktningen. Inget kontaktmedium behövs mellan sonden och plastytan såsom vid ultraljud.

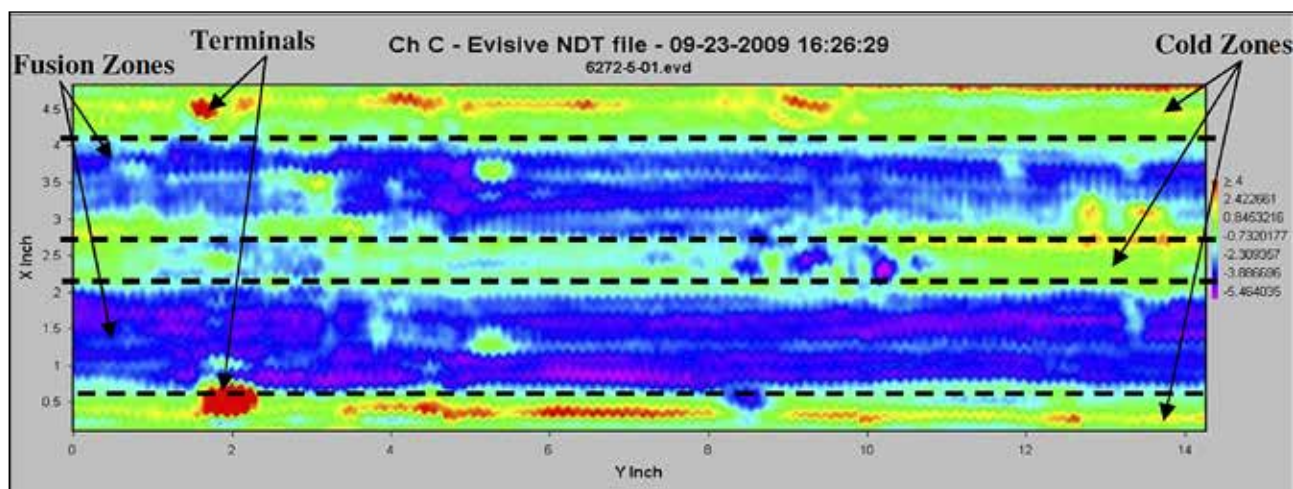
Murphy och Lowe (12) har närmare utvärderat den patenterade mikrovågstekniken enligt Evisive Inc. genom att tillämpa den på ett antal skarvar som kapades bort från olika etenplastledningar i drift. Både skarvar som

gjorts med spegelsvetsning och med elektrosvetsmuffar ingick i studien och resultaten jämfördes sedan med mekaniska tester av respektive skarvar. Figur 3.4.3.2 visar uppgifter om de 12 elektrosvetsmuffar som ingick i studien och resultaten från den mekaniska provningen som gjordes enligt Appendix C i den brittiska standarden WIS 4-32-08 (15).

Exova Code	Description	Year Installed	New / Rehab	Pressure, Bar (min - max)	DCB Result	Minimum Kc MPaM ^{0.5}
6272-1	90mm SDR11, PE80 pipe & coupler	1986	New	3.2 - 4.7	Non critical fail	1.6
6272-2	90mm SDR17 PE80 pipe & coupler	1987	New	5.3 - 7.3	Critical fail	0.7
6272-3	90mm SDR17 / SDR11 PE80 pipe and coupler	2004	New	4.1 - 5.8	Non critical fail	1.8
6272-4	90mm SDR11, PE80 pipe & coupler	1985	New	3.9 - 4.1	Pass	1.7
6272-5	90mm SDR17, PE80 pipe & coupler	1999	New	2.8 - 3.3	Pass	2.5
6272-6	90mm SDR17, PE100 pipe & coupler	1994	New	4.0 - 4.3	Critical fail	0.5
6272-7	90mm SDR17, PE100 pipe & coupler	2007	Rehab	2.8 - 4.0	Non critical fail	1.7
6272-8	110mm SDR17, PE80 pipe & coupler	2002	New	4.2 - 4.7	Pass	2.1
6272-9	110mm SDR17, PE80 pipe & coupler / PE100 stubb	2003	New	5.1 - 6.1	Non critical fail	1.4
6272-10	125mm SDR17, PE80 pipe & coupler / PE80 stubb	1999	New	3.7 - 3.9	Pass	1.8
6272-11	125mm SDR11, PE80 pipe & coupler	1989	New	3.5 - 4.6	Critical fail	0.4
6272-12	125mm SDR17, PE100 pipe / PE80 coupler	1995	Rehab	3.4 - 5.5	Critical fail	0.6

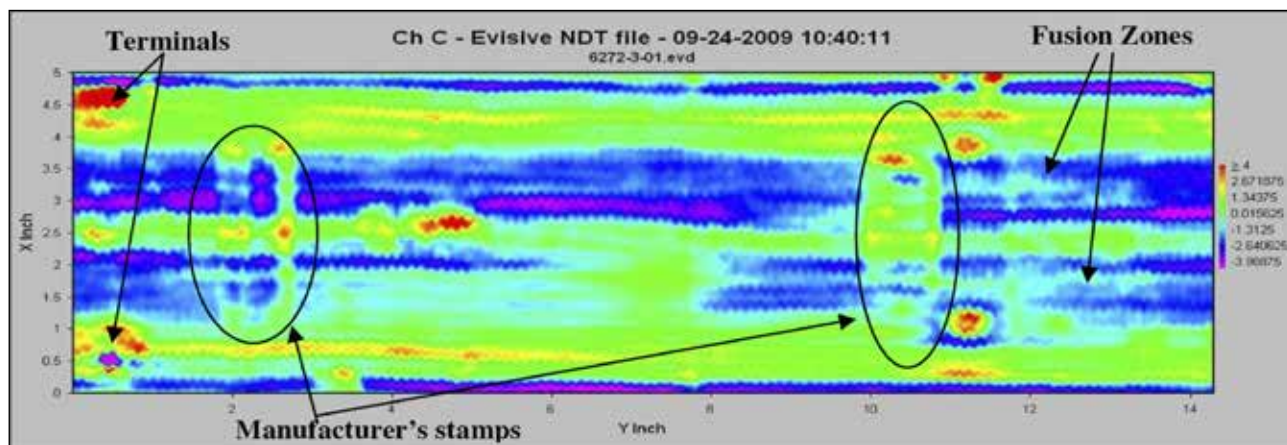
Figur 3.4.3.2 Uppgifter om de 12 elektrosvetsmuffar som ingick i studien (12) och resultaten från den mekaniska provningen som gjordes enligt Appendix C i den brittiska standarden WIS 4-32-08.

Figur 3.4.3.3 visar resultatet av den mikrovågsskannade skarven med beteckningen 6372-5. Skarven kom från en PE-80, DN90, SDR 17 ledning som installerades 1999. Den hade utan problem varit i drift i ca 10 år vid ett tryck av 2,8–3,3 bar. Skarven blev godkänd i det mekaniska DCB-testet (Double Cantilever Beam) och uppvisade där ett brottseghetsvärde, K_{Ic} , av 2,5 MPaM^{0.5}. För att kunna skanna muffen måste man skära bort pluggarna för den elektriska anslutningen till muffen (terminalerna). Dessa indikeras på bilden som röda fläckar och kan tjänstgöra som referenspunkter. Fem olika zoner kan identifieras i bilden, varav tre stycken är kalla zoner som befinner sig på ömse sidor av de två smältzonerna. Färgerna är ganska jämna inom de respektive två smältzonerna vilket indikerar att samman-smältningen varit utan anmärkning, vilket också styrks av de mekaniska provningarna där skarven uppvisade sega brott.



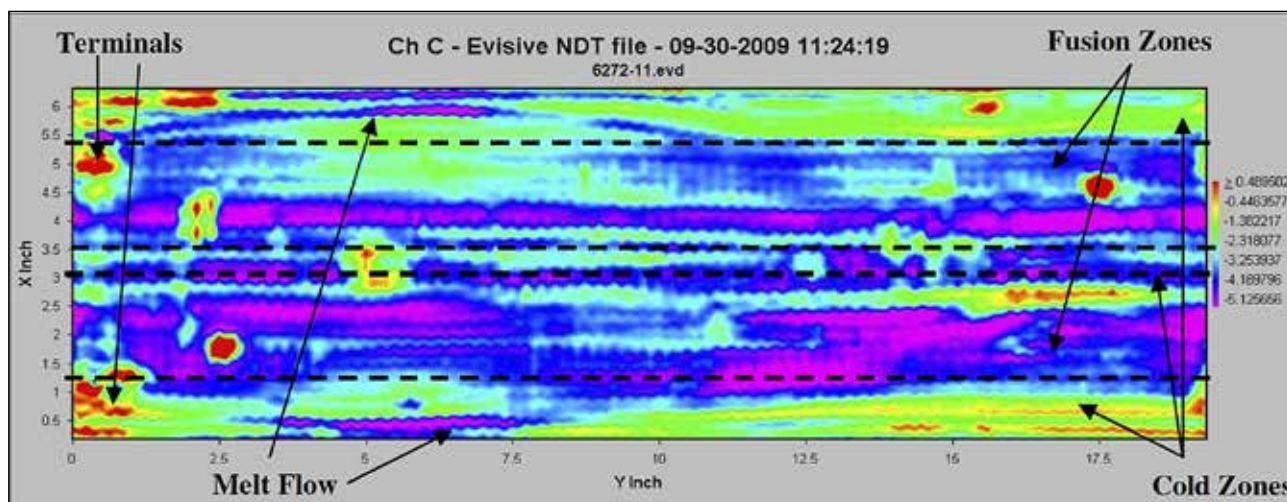
Figur 3.4.3.3 Resultatet av den mikrovågsskannade skarven med beteckningen 6372-5. Fem olika zoner kan identifieras i bilden, varav tre stycken är kalla zoner som befinner sig på ömse sidor av de två smältzonerna. De bortskurna pluggarna för den elektriska anslutningen (terminalerna) indikeras också i bilden (12).

Figur 3.4.3.4 visar resultatet av den mikrovågsskannade skarven med beteckningen 6372-3. Den kom från en PE-80, DN90, SDR 17/11 ledning som installerades 2004. Den hade utan problem varit i drift i ca 5 år vid ett tryck av 4,1–5,8 bar. Skarven bedömdes inte uppvisa kritiska brott i det mekaniska DCB-testet. Den uppvisade där ett brottseghetsvärde, K_{IC} av 1,8 MPam^{0.5}. I bilden indikeras terminalerna, samt störningar som orsakats av mufftillverkarens märkning i ytan. I den nedre svetszonen indikeras färgvariationer som tyder på lokalt sämre sammansmältning. I de mekaniska provningarna noterades också en lokal sprödhet i skarven hos vissa provstavar även om det minimala brottseghetsvärdet uppgick till 1,8 MPam^{0.5}. Detta indikerar att mikrovågstekniken kan användas för att urskilja områden med lokalt sämre sammansmältning.



Figur 3.4.3.4 Resultatet av den mikrovågsskannade skarven med beteckningen 6372-3. I bilden indikeras terminalerna, samt störningar som orsakats av mufftillverkarens märkning i ytan. I den nedre svetszonen indikeras färgvariationer som tyder på lokalt sämre sammansmältning (12).

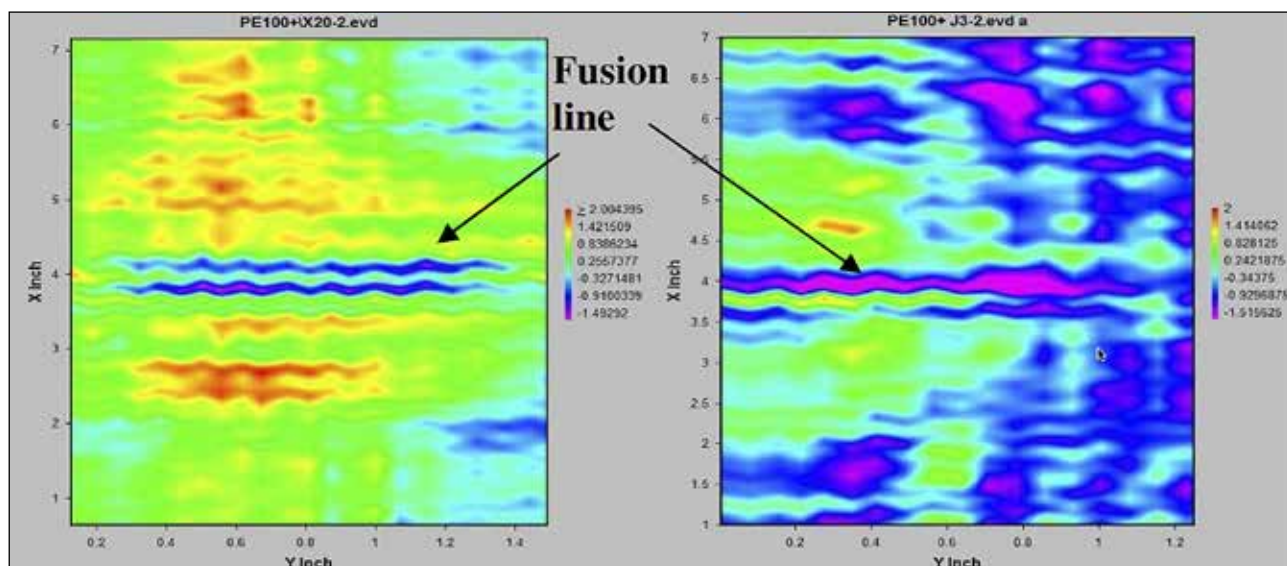
Figur 3.4.3.5 visar resultatet av den mikrovågsskannade skarven med beteckningen 6372-11. Den kom från en PE-80, DN125, SDR 11 ledning som installerades 1989. Den hade utan problem varit i drift i ca 20



Figur 3.4.3.5 Resultatet av den mikrovågsskannade skarven med beteckningen 6372-11. Bilden uppvisar extrema variationer i signalerna från de två smältzonerna, vilket indikerar undermålig kvalitet. Även utflytning av smälta och metalltrådar i kylzonerna kan noteras (12).

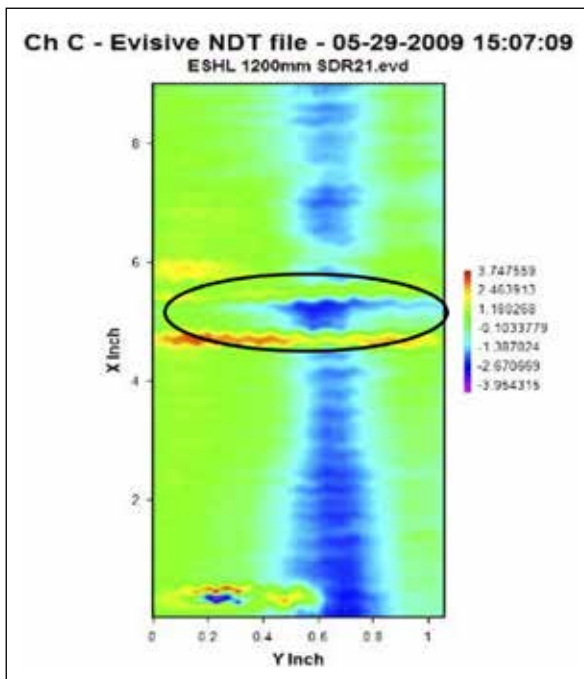
är vid ett tryck av 3,5–4,6 bar. Skarven bedömdes uppvisa kritiska brott i det mekaniska DCB-testet. Den uppvisade där ett brottseghetsvärde, K_{IC} , av endast 0,4 MPam^{0.5}. Bilden uppvisar extrema variationer i signalerna från de två smältzonerna, vilket indikerar undermålig kvalitet. Även utflytning av smälta och metalltrådar i kylzonerna kan noteras. Resultatet synes stämma bra med de som indikerades från den mekaniska provningen, nämligen att skarven uppvisar påtaglig sprödhet. Trots den dåliga kvaliteten har skarven ändå fungerat i drift under ca 20 års tid. En förklaring till detta kan vara att drifttrycket endast har legat på ca 30 % av ledningens tryckklass PN16.

Figur 3.4.3.6 visar resultatet av mikrovågsskannade 50 mm tjocka stumskarvar som gjorts med spegelsvetsning. Skarven till vänster var spröd och den till höger var seg. Smältzonerna indikeras i bilderna. Den spröda svetsen uppvisar två linjer i smältområdet. Detta är ett tydligt tecken på undermålig sammansmältning. En bra svets utmärker sig genom att uppvisa endast en singular linje i smältområdet. En svets som inte alls uppvisar någon linje i smältområdet, indikerar också undermålig kvalitet, dvs kallsvets och sprödhet. Figur 3.4.3.7 visar mikrovågsbilden hos en sådan skarv. Den upptäcktes vid en inspektion i fält av en DN1200 SDR 21 ledning av PE-material. Vid en mekanisk provning av svetsen sprack den sprött.



Figur 3.4.3.6 Resultatet av mikrovågsskannade 50 mm tjocka stumskarvar som gjorts med spegelsvetsning. Skarven till vänster var spröd och den till höger var seg. Smältzonerna indikeras i bilden. Den spröda svetsen uppvisar två linjer i smältområdet. Detta är ett tydligt tecken på undermålig sammansmältning. En bra svets utmärker sig genom att uppvisa endast en singular linje i smältområdet (12).

Arbete har påbörjats för att standardisera metoden med mikrovågsteknik för att kontrollera kvaliteten hos stum- och elektromuffsvetsar i PE-ledningar. Inom ASTM bildade man den 28/1 2013 standardiseringsgruppen WK40655 – ”New Practice for Microwave Examination of High Density Electrofusion Joints and Couplings Used in Piping Applications” (10). Enligt uppgift (14), skulle även en mikrovågsmetodkommitté sammankallas inom ASNT (The American Society for Nondestructive Testing) vid deras konferens i november 2013. Metodiken kan även komma att inkluderas som en alternativ testmetod inom ISO TC138.



Figur 3.4.3.7

Mikrovågsbild av en stumsvets i en DN1200 SDR 21 ledning av PE material. Ingen linje registreras i smältområdet, vilket indikerar undermålig kvalitet, dvs kallsvets och sprödhet (12).

3.4.4 Andra metoder/metodiker för att kontrollera täthet i skarvarna

I kritiska applikationer för PE-rör såsom i gasledningar, men även för rörledningar inom industrin, skulle det inte eller sällan vara acceptabelt att använda en indirekt metod för att kontrollera tätheten i skarvarna. Här skulle sålunda en täthetsprovning enligt VAV P78 inte vara acceptabel, utan man vill/måste säkerställa och ha ”kvitto” på att varje enskild skarv är tät, liksom rörledningen i övrigt. Kraven på täthet i skarvar hos vattenledningar i mark har av tradition varit betydligt lägre än hos exempelvis energigasledningar eller ledningar inom industrin. Så synes det alltid ha varit, både i Sverige och i resten av världen. En starkt bidragande orsak till skillnaderna vad gäller inställningen av betydelsen av ett läckage torde vara myndighetskraven. Dessa är främst satta med hänsyn till arbetarskydd och säkerhet för omgivningen i övrigt, och då anses en läckande vattenledning i mark inte vara något problem. Läckande vattenledningar har dock stor ekonomisk betydelse varför kraven på täthet och kvalitet hos skarvarna i ledningarna här givetvis borde vara minst lika höga som inom andra områden. Ett sätt att höja kvalitetsnivån och förbättra kravställningarna vid nyinstallationer av trycksatta etenplastledningar i mark är att säkerställa att varje enskild skarv är tät såsom vid installationer av exempelvis gasledningar. En sådan åtgärd eller ambition ligger i linje med vattenledningsnätägarnas 150-års-perspektiv för lång livslängd och problemfria ledningar. Därför kan det vara av intresse att nämna något om de metoder och metodiker som används eller skulle kunna användas för att kontrollera tätheten i varje enskild skarv hos en ledning i allmänhet, eller i enbart en PE-ledning som läggs i mark.

Det finns otaliga sätt att kontrollera tätheten i skarvar. Metodiken är vanligen att man lägger på ett visst övertryck av ett visst medium invändigt i röret samtidigt som man utvändigt i skarvområdet inspekterar/detekterar

eventuella läckage visuellt eller med något hjälpmedel. Man kan trycksätta en längre del av ledningen eller endast varje enskilt skarvområde. För detta ändamål behöver området som skall provas stängas av, antingen genom befintliga ventiler och/eller genom uppblåsbara pluggar. Figur 3.4.4.1 visar ett exempel på en sådan anordning (17). Den finns med huvudpluggarna i dimensionerna DN 250–800, och med plugg för sidokanal i dimensionen DN100–150, samt är förberedd för anslutning till provtryckningsutrustning. Den är också försedd med kamera och kan monteras på en vagn. Det medium som vanligen används vid täthetsprovning är vatten och luft, men även spårgas skulle kunna användas. Spårgas kan med fördel användas vid läcksökning i befintliga ledningar, men skulle på samma sätt givetvis kunna användas även vid täthetsprovning av en ny ledning. Olika gaser eller blandningar av gaser kan användas som spårgas. Hamafo Teknik AB i Huddinge använder sig exempelvis av en blandning av 10 % vätgas och 90 % kvävgas i sin spårgas vid läcksökning (18). Vid täthetsprovning med luft eller spårgas skall/bör/får trycket i ledningen inte vara större än 1 bar. I princip behövs endast ett mindre övertryck appliceras. Vid luft som invändigt medium används vanligen en såplösning för att visuellt detektera eventuella läckage, Fig 3.4.4.2. Vid spårgas används speciella instrument för att detektera läckorna.



Figur 3.4.4.1 Exempel på anordning med uppblåsbara pluggar som finns i dimensionerna DN250–800 för huvudkanalen och med plugg för sidokanal i dimensionerna DN100–150. Den är förberedd för anslutning till en provtryckningsutrustning och är försedd med kamera. Anordningen kan monteras på en speciell vagn för att lätt kunna förflyttas i en ledning.



Figur 3.4.4.2 Vid luft som invändigt medium vid täthetsprovningen används vanligen en såplösning utvändigt för att visuellt detektera eventuella läckage.

Vid användning av vatten som invändigt medium behövs egentligen inte några högre tryck användas vid en täthetsprovningen. Det är dock vanligt förekommande att man kombinerar täthetsprovningen med en funktionsprovning av ledningen, varvid ledningen eller delar därav utsätts för mycket höga tryck. Vanligt förekommande tryck vid sådan provning är 1,30–1,43

ggr ledningens designtryck, vilket har samband med historiskt betingade bestämmelser/rutiner/tradition vad gäller provtryckning av tryckkärl i metall som sedermera överförts till krav enligt rådande tryckärldirektiv, men som inte tar hänsyn till typen av material i konstruktionen.

4 Diskussion

Undersökningens resultat visar helt klart att det behövs andra kompletterande metoder till att endast provtrycka en PE-ledning med godkänt resultat för att kunna säkerställa att skarvarna är av god kvalitet, och därmed kan ha förutsättningar att nå samma livslängd som rören i övrigt. Godkända resultat från provtryckningar utgör således ingen garanti att skarvarna kommer att förbli täta under den önskade livslängden, som idag alltmer har perspektivet 150 år. Speciellt problematiska synes skarvar vara som gjorts med elektrosvetsmuffar, och då inte bara sådana i grövre dimensioner.

En hel del skadefall med elektrosvetsmuffar, problem med läckage i muffar redan vid provtryckningen eller konstaterad undermålig kvalitet hos muffskarven på annat sätt i andra sammanhang, visar att kvalitetsproblemen även finns i klena dimensioner, dvs de synes gälla mer generellt oavsett dimension. Visst är det lättare att elektrosvetsa ett PE-rör i en förhållandevis klen dimension, exempelvis \leq DN250, än i en grov dimension som exempelvis DN710. Men det behöver nödvändigtvis inte innebära att kvaliteten alltid skulle vara bättre hos skarvar i klena dimensioner. Därför synes det vara motiverat och önskvärt att säkerställa tätheten och kvaliteten hos samtliga skarvar vid nyläggning av tryckvattenledningar av etenplast i mark.

Ibland beskylls entreprenören för att ha gjort fel om elektrosvetsmuffarna inte uppvisar tillräcklig god kvalitet, vilket kanske inte alltid är rätt då man kan konstatera att kvaliteten hos fogen vid elektrosvetsning ibland kan bli undermålig trots att skarvningen görs under ideala förhållanden och helt enligt instruktionerna. Därför kan det vara både viktigt och lämpligt att procedursvetsprov utförs med de fabrikat och dimensioner av elektrosvetsmuffar som är tilltänkta att användas i ett visst läggningssprojekt. Härvid kan det också vara motiverat att testa olika fabrikat på elektrosvetsmuffarna för att utvärdera vilka som verkar fungera bäst och ge bästa svetsresultat kvalitetsmässigt. För detta ändamål behövs också andra metoder än de förstörande fläktester på provstavar som idag står till buds. Kvalitet och tätheten i skarvarna bör sedan bli föremål för kontroller redan under läggningens gång, och således säkras på ett så tidigt stadium som möjligt, liksom hela rörleveransen som sådan.

Resultaten från föreliggande projekt visar att det finns flera intressanta tekniker och metoder som med fördel skulle kunna användas som oförstörande provning (OFP) och kontroll av kvaliteten hos skarvar av etenplaströr. Den kanske mest intressanta är digitalröntgen, som ägnats förhållandevis stor arbetsinsats i projektet och också redan rönt/väckt stort intresse bland ledningsnätägare, entreprenörer och leverantörer/tillverkare av PE-rör och elektrosvetsmuffar. Projektets insatser här har blivit något av ett pionjärbete, och då inte bara ur svenskt perspektiv utan även internationellt. Det finns en gammal föreställning eller uppfattning, som nog råder än i dag, att det är svårt att med bra resultat röntga plastmaterial. Men detta gällde på den tiden innan digitalröntgen fanns att tillgå. Om man då röntgade plast på samma sätt som metall blev resultatet ofta värdelöst. För att lyckas behövdes bland annat en speciell fotografisk film, något som få kände till.

Röntgentekniken torde kunna bli lika självklar att användas i framtiden för att identifiera och lokalisera olika fel och brister i en plastkomponent, och för att säkra kvaliteten hos exempelvis elektromuffsvetsar och sadelgrenar i etenplastledning, som inom sjukvården och tandvården där den används för samma syfte men på andra objekt. Röntgen är ju också en väl beprövad och accepterad teknik för att detektera och avbilda olika typer av defekter i metalliska material. Successivt och under en följd av år har acceptanskriterier för defekternas storlek och art med hänsyn till deras kritiska natur arbetats fram som underlag till att kunna godkänna/underkänna svetsskarvar i sådana material. Inom plastsvetsområdet och röntgning behöver framgent motsvarande insatser göras.

Med digitalröntgentekniken kan man hos en elektromuffskarv/sadelgren enkelt detektera och avbilda hålrum såsom blåsor/porer, spalter och sprickor i sammansmältningszonerna. Man får en geometrisk bild av rörändens lokalisering och utseende i muffen. Man kan således bestämma tjocklekar och avstånd på olika detaljer. Exempelvis kan man bestämma muffens och rörets tjocklek. Man kan se och avgöra hur långt som rörändarna skjutits in i muffen. Vidare kan man se och mäta upp effekter såsom ovalitet, toe-in och avvinklingar hos röret i förhållande till muffen. Man kan se hur metalltrådarna ligger i svetszonen. Man kan se om och hur de eventuellt har förskjutits under svetsningen. Vidare kan man detektera smuts i fogen i form av sand och grus. Det man inte kan se/detektera eller avgöra med röntgentekniken är hur pass väl materialet i rör respektive muff är sammansmälta, dvs om det är fråga om en kallsvets. Inte heller kan man i sammansmältningszonen se eller avgöra om röret skrapades innan svetsningen eller ej, eller om ändarna rengjordes med sprit. Ett kritiskt fel som inte kan accepteras är om rörytan som skall svetsas inte först skrapas/skalas. Om detta fel föreligger eller inte kan dock mestadels enkelt kontrolleras genom en visuell inspektion, varför röntgen egentligen inte behövs för detta ändamål.

Digitalröntgning kan användas också för att kontrollera stumskarvar hos etenplaströr som gjorts genom spegelsvetsning. Härvid kan fogens geometriska utseende och olika mått och avvikelser registreras, såsom toe-in, kantförskjutning av rörändarna och svetsvulsternas utseende. Eventuella hålrum, såsom blåsor, spalter och sprickor torde också lätt kunna detekteras, liksom smuts i form av sand, grus och liknande. Om sammansmältningen av materialet i respektive rörände blivit tillräcklig i svetsområdet, eller inte, kan inte avgöras med röntgen, även om svetsvulsternas utseende i en röntgenbild kan ge en viss indirekt antydning härom.

OFP-metoderna som bygger på ultraljud med phased-array-teknik respektive mikrovågsteknik skulle kunna komplettera röntgentekniken på en viktig punkt, nämligen att kunna detektera fel och brister i sammansmältningsgraden i fogområdet hos en elektromuffskarv respektive hos en spegelsvetsad stumskarv i en etenplastledning. Enligt informationen från de källor som anlitas i detta projekt, ser dessa tekniker mycket lovande ut. De är kommersiellt tillgängliga och kan praktiseras under fältmässiga former i en rörgrav. Vad som saknas är svenska erfarenheter och egna närmare utvärderingar av deras praktiska användbarhet i fält och tillförlitlighet vad gäller att tolka resultaten. Initiativ bör redan nu tas till ett större

fördjupningsprojekt där röntgentekniken i kombination med mikrovågs- och ultraljudsteknikerna studeras närmare i syfte att finna den optimala OFP-metodiken, dvs kombinationer av OFP-tekniker, för att kunna säkra, bedöma och godkänna/underkänna spegelsvetsade stumskarvar och elektro-muffsvetsade skarvar i etenplastledningar under fältmässiga förhållanden. Härigenom skulle kompetenserna inom mikrovågs- och ultraljudsteknikerna kunna föras in, byggas upp och utvecklas vidare i Sverige men även i de andra nordiska länderna om intresse finns. Samtidigt kan den framgångsrika röntgentekniken få tillfälle att praktiseras mer omfattande, och också utvecklas vidare.

Om man skulle säkra kvaliteten och tätheten i skarvarna allteftersom läggningen av rören sker, så behövs ju egentligen ingen speciell avslutande täthetsprovning av ledningen. Problemet med provtryckningarna av en etenplastledning såsom de görs enligt olika standarder och guidelines, inte bara i Sverige, är, enligt vår mening, att man inte skiljer mellan en täthetsprovning och en funktionsprovning av ledningen. För metalliska material och kanske också för andra icke termoplastiska material, kan man utan farhågor att förstöra materialet acceptera att provtryckningar görs med ett tryck av storleksordningen 1,3–1,5 ggr tryckklassen, eller designtrycket. Men om det bara var frågan om att göra en täthetsprovning så motiverar det egentligen inga nämnvärda tryck. Därför får man betrakta provtryckningarna vid de höga trycken som en sorts fullskalig hållfasthetsprovning av ledningen, som den då skall tåla och samtidigt vara tät. Frågan om ett tryck av 1,3–1,5 ggr PN vid en provtryckning av en etenplastledning inte kan komma att påverka ledningens framtida livslängd eller prestanda negativt är inte enkel att besvara, i synnerhet inte om man skall ta hänsyn till de många andra spänningar i materialet som kan adderas från olika påkänningar i ledningen utöver de som skapas av det inre trycket. Osäkerheten här motiverar motfrågan vad man skulle missa i kvalitetshänseende om provtryckningen i stället gjordes vid 1 x PN? Upplysningar hämtade från vissa större projekt med etenplastledningar indikerar att man ibland provtrycker med lägre tryck än exempelvis 1,3 x PN, dvs att man gör avsteg från exempelvis rekommendationerna enligt VAV P78.

Vår rekommendation för etenplastledningar är att man i framtiden bör skilja mellan provningar och tester som avser att kontrollera skarvarnas täthet och kvalitet och provningar som avser att kontrollera/verifiera ledningens mekaniska integritet under specificerade eller väntade driftförhållanden, dvs ett funktionsprov i form av något slags trycktest. Ett funktionsprov av en etenplastledning i mark skulle med fördel exempelvis kunna utformas som provtryckningsproceduren i Göteborg Stad. Här använder man alltid eller mestadels etenplaströr av typen SDR 11, dvs tryckklassen PN16, även om de nominella drifttrycken sällan är mer än 4–6 bar. Trycket vid provtryckningen är inte mer än 13 bar, dvs ca 0,8 x PN. Härvid får man ett test på ledningen där trycket är mer än det dubbla nominella drifttrycket, vilket bör räcka för att täcka in dynamiska belastningar som kan uppkomma vid öppning/stängning av ventiler och vid uppstart/stängning av pumpar. Kriteriet att trycket vid konstant deformation efter att ha sänkts från 13 till 10 bar, inte får minska till mindre än 8 bar på en timme har enligt Göteborg

Stad fungerat bra för att avgöra om ledningen är tät, eller inte. Resultaten från gjorda simuleringar av det aktuella provtryckningsförfarandet indikerar att tryckminskningen på grund av spänningsrelaxation blir mycket liten – trycket sjunker från 10 till 9,8 bar. Provtryckningar som gjorts i Göteborg vid tre tillfällen 1) Nya Allén den 22/3 2010, 2) PE DN560, Parkgatan etapp 1 den 12/10 2012 och 3) Per Dubbsgatan, den 9/1 2013, uppvisade trycksänkningar från 10 bar till 9,5, 10 respektive 9,8 bar. Dessa resultat har således god överensstämmelse med det teoretiska väntade värdet av 9,8 bar vid helt tät ledning. En annan fördel med ett provtryckningsförfarande enligt Göteborg Stad är att det inte är några problem att också provtrycka etenplastledningar i mindre dimensioner. Detta besvarar således frågan från SVU om hur täthetsprovning skall gå till i klena dimensioner, < 50 mm, vilket varit ett delsyfte att belysas i projektet. Ytterligare en fördel med provtryckningsproceduren i Göteborg är att den inte ger upphov till några nämnvärda permanenta deformationer, dvs ledningens diameter förblir i stort sett oförändrad efter provtryckningen.

Avslutningsvis bör följande nämnas. Då flera personer utför täthetskontroll samt har andra uppgifter inom sin organisation är det tveksamt om varje täthetsprovning blir utförd enligt den beskrivning och den kravställning som skall gälla (19). I detta projekt har Bergman och Blomfeldt förutsett att täthetskontrollerna har utförts eller utförs enligt redovisad beskrivning.

5 Slutsatser

Projektet medger bland annat följande övergripande slutsatser.

- Helt klart behövs det andra kompletterande metoder till att endast provtrycka en PE-ledning med godkänt resultat för att kunna säkerställa att skarvarna är av god kvalitet, och därmed kan ha förutsättningar att nå samma livslängd som rören i övrigt. Godkända resultat från provtryckningar utgör således ingen garanti att skarvarna kommer att förbli täta under den önskade livslängden, som idag alltmer har perspektivet 150 år. Speciellt problematiska synes skarvar vara som gjorts med elektrosvetsmuffar, och då inte bara sådana i grövre dimensioner.
- En hel del skadefall med elektrosvetsmuffar, problem med läckage i muffar redan vid provtryckningen eller konstaterad undermålig kvalitet hos muffskarven på annat sätt i andra sammanhang, visar att kvalitetsproblemen även finns i klena dimensioner, dvs de synes gälla mer generellt oavsett dimension. Därför synes det vara motiverat och önskvärt att säkerställa tätheten och kvaliteten hos samtliga skarvar vid nyläggning av tryckvattenledningar av etenplast i mark.
- Ibland beskylls entreprenören för att ha gjort fel om elektromuffskarvarna inte uppvisar tillräcklig god kvalitet, vilket kanske inte alltid är rätt då man kan konstatera att kvaliteten hos fogen vid elektromuffsvetsning ibland kan bli undermålig trots att skarvningen görs under ideala förhållanden och helt enligt instruktionerna. Därför kan det vara både viktigt och lämpligt att procedursvetsprov utförs med de fabrikat och dimensioner av elektrosvetsmuffar som är tilltänkta att användas i ett visst läggingsprojekt. Härvid kan det också vara motiverat att testa olika fabrikat på elektrosvetsmuffarna för att utvärdera vilka som verkar fungera bäst och ge bästa svetsresultat kvalitetsmässigt. För detta ändamål behövs också andra metoder än de förstörande fläktester på provstavar som idag står till buds.
- Det finns flera intressanta tekniker och metoder som med fördel skulle kunna användas som oförstörande provning (OFP) och kontroll av kvaliteten hos skarvar av etenplaströr. Den kanske mest intressanta är digitalröntgen, som ägnats förhållandevis stor arbetsinsats i projektet och också redan rönt/väckt stort intresse bland ledningsnätsägare, entreprenörer och leverantörer/tillverkare av PE-rör och elektrosvetsmuffar. Projektets insatser här har blivit något av ett pionjärbete.
- Röntgentekniken torde kunna bli lika självklar att användas i framtiden för att identifiera och lokalisera olika fel och brister i en plastkomponent, och för att säkra kvaliteten hos exempelvis elektromuffsvetsar och sadelgrenar i etenplastledningar, som inom sjukvården och tandvården där den används för samma syfte men på andra objekt.
- Röntgen är en väl beprövad och accepterad teknik för att detektera och avbilda olika typer av defekter i metalliska material. Successivt och under en följd av år har acceptanskriterier för defekternas storlek och art med hänsyn till deras kritiska natur arbetats fram som underlag till att kunna

- godkänna/underkänna svets skarvar i sådana material. Inom plastsvetsområdet och röntgning behöver framgent motsvarande insatser göras.
- Med digitalröntgentekniken kan man hos en elektromuffskarv/sadelgren enkelt detektera och avbilda hålrum såsom blåsor/porer, spalter och sprickor i sammansmältningsszonerna. Man får en geometrisk bild av rörändens lokalisering och utseende i muffen. Man kan således bestämma tjocklekar och avstånd på olika detaljer. Exempelvis kan man bestämma muffens och rörets tjocklek. Man kan se och avgöra hur långt som rörändarna skjutits in i muffen. Vidare kan man se och mäta upp effekter såsom ovalitet, toe-in och avvinklingar hos röret i förhållande till muffen. Man kan se hur metalltrådarna ligger i svetszonen. Man kan se om och hur de eventuellt har förskjutits under svetsningen. Vidare kan man detektera smuts i fogen i form av sand och grus.
 - Det man inte kan se/detektera eller avgöra med röntgentekniken är hur pass väl materialet i rör respektive muff är sammansmälta, dvs om det är fråga om en kallsvets. Inte heller kan man i sammansmältningssonen se eller avgöra om röret skrapades innan svetsningen eller ej, eller om ändarna rengjordes med sprit.
 - Ett kritiskt fel som inte kan accepteras är om rörytan som skall svetsas inte först skrapas/skalas. Om detta fel föreligger eller inte kan dock mestadels enkelt kontrolleras genom en visuell inspektion, varför röntgen egentligen inte behövs för detta ändamål.
 - Digitalröntgning kan användas för att kontrollera stumskarvar hos etenplaströr som gjorts genom spegelsvetsning. Härvid kan fogens geometriska utseende och olika mått och avvikelser registreras, såsom toe-in, kantförskjutning av rörändarna och svetsvulsternas utseende. Eventuella hålrum, såsom blåsor, spalter och sprickor torde också lätt kunna detekteras, liksom smuts i form av sand, grus och liknande. Om sammansmältningen av materialet i respektive rörände blivit tillräcklig i svetsområdet, eller inte, kan inte avgöras med röntgen, även om svetsvulsternas utseende i en röntgenbild kan ge en viss indirekt antydning härom.
 - OFP-metoderna som bygger på ultraljud med phased-array-teknik respektive mikrovågsteknik skulle kunna komplettera röntgentekniken på en viktig punkt, nämligen att kunna detektera fel och brister i sammansmältningsgraden hos en elektromuffskarv respektive hos en spegelsvetsad stumskarv i en etenplastledning. Enligt informationen från de källor som anlitats i detta projekt, ser dessa tekniker mycket lovande ut. De är kommersiellt tillgängliga och kan praktiseras under fältmässiga former i en rörgrav. Vad som saknas är svenska erfarenheter och egna närmare utvärderingar av deras praktiska användbarhet i fält och tillförlitlighet vad gäller att tolka resultaten.
 - Ett funktionsprov av en etenplastledning i mark skulle med fördel exempelvis kunna utformas som provtryckningsproceduren i Göteborg Stad. Här använder man alltid eller mestadels etenplaströr av typen SDR 11, dvs tryckklassen PN16, även om de nominella drifttrycken sällan är mer än 4–6 bar. Trycket vid provtryckningen är inte mer än 13 bar, dvs ca 0,8 x PN. Härvid får man ett test på ledningen där trycket är mer än det dubbla nominella drifttrycket, vilket bör räcka för att täcka in dynamiska

belastningar som kan uppkomma vid öppning/stängning av ventiler och vid uppstart/stängning av pumpar.

- Kriteriet att trycket vid konstant deformation efter att ha sänkts från 13 till 10 bar, inte får minska till mindre än 8 bar på en timme har enligt Göteborg Stad fungerat bra för att avgöra om ledningen är tät, eller inte. Resultaten från gjorda simuleringar av det aktuella provtryckningsförfarandet indikerar att tryckminskningen på grund av spänningsrelaxation blir mycket liten – trycket sjunker från 10 till 9,8 bar. Provtryckningar som gjorts i Göteborg vid tre tillfällen uppvisade trycksänkningar från 10 bar till 9,5, 10 respektive 9,8 bar. Dessa resultat har således god överensstämmelse med det teoretiska väntade värdet av 9,8 bar vid helt tät ledning.
- En annan fördel med ett provtryckningsförfarande enligt Göteborg Stad är att det inte är några problem att också provtrycka etenplastledningar i mindre dimensioner. Detta besvarar frågan från SVU om hur täthetsprovning skall gå till i klena dimensioner, < 50 mm, vilket varit ett delsyfte att belysas i projektet. Ytterligare en fördel med provtryckningsproceduren i Göteborg är att den inte ger upphov till några nämnvärda permanenta deformationer, dvs ledningens diameter förblir i stort sett oförändrad efter provtryckningen.

6 Rekommendationer

Projektet medger bland annat följande rekommendationer:

- I framtiden bör skilja mellan provningar och tester som avser att kontrollera skarvarnas täthet och kvalitet och provningar som avser att kontrollera/verifiera ledningens mekaniska integritet under specificerade eller väntade driftförhållanden, dvs ett funktionsprov i form av något slags trycktest.
- Skarvarnas kvalitet och täthet bör bli föremål för kontroller redan under läggningens gång, och således säkras på ett så tidigt stadium som möjligt, liksom hela rörleveransen som sådan.
- Initiativ bör redan nu tas till ett större fördjupningsprojekt där röntgentekniken i kombination med mikrovågs- och ultraljudsteknikerna studeras närmare i syfte att finna den optimala OFP-metodiken, dvs kombinationer av OFP-tekniker, för att kunna säkra, bedöma och godkänna/underkänna spegelsvetsade stumskarvar och elektromuffsvetsade skarvar i etenplastledningar under fältmässiga förhållanden. Härigenom skulle kompetenserna inom mikrovågs- och ultraljudsteknikerna kunna föras in, byggas upp och utvecklas vidare i Sverige men även i de andra nordiska länderna om intresse finns. Samtidigt kan den framgångsrika röntgentekniken få tillfälle att praktiseras mer omfattande, och också utvecklas vidare.

7 Referenser

- 1) Palermo, Gene, Michie, William och Chang, Dane (2008). "Increasing Importance of Rapid Crack Propagation (RCP) for Gas Piping Applications – Industry Status". *Plastics Pipe Conference XIV*, Budapest, Ungern, september 2008.
- 2) Palermo, Gene (2010). *How to Design Against Long Running Cracks in Plastic Pipe for Water Applications*. Palermo Plastics Pipe Consulting. www.plasticpipe.com.
- 3) Palermo, Gene (2012). *Correlating Plastic Pipe RCP Field Failures with RCP Critical Pressure for Water Pipe Applications*. Presentation vid konferensen ASCE, Miami, Florida, U.S.A. den 22 augusti 2012.
- 4) Morena, L och Leever, P. S. (2004). *Effect of axial surface scores on rapid crack propagation in polyethylene pipe*. *Plastics, Rubbers and Composites*, Vol 33 (4), 2004.
- 5) Palermo, Gene (2013). *Correlating Plastic Pipe RCP Field Failures with RCP Critical Pressure for Water Pipe Applications*. Presentation vid möte FL AWWA, Florida, U.S.A. den 3 december 2013.
- 6) *Pressure testing of pressure pipes and fittings for use by public water supplier*, Water Industry Information & Guidance Note, IGN 4-01-03, March 2011: Issue 1, ISSN 1353–2529, UK Water Industry.
- 7) Nitta, Koh-hei och Maeda, Hirohito (2010). *Creep behavior of high density polyethylene under constant true stress*. *Polymer Testing*, Vol 29, ss. 60–65.
- 8) PolyTest™, *Non-destructive evaluation of welded joints in polyethylene pipe*, TWI Ltd, kontaktperson: Fredrik Hägglund, fredrik.hagglund@twi.co.uk
- 9) *Material/uppgifter från Scott Andrew och Mike Troughton* (2014), TWI Ltd, Granta Park, Great Abington, Cambridge, Storbritannien, maj 2014
- 10) Caravaca, S, Bird, C och Kleiner, D (2006). *Ultrasonic phased array inspection of electrofusion joints in polyethylene pipes*. 45th Annual British Conference on NDT, Stratford-upon-Avon, UK, september 2006.
- 11) Stakenborghs, Robert och Little, Jack (2009). *Microwave based NDE inspection of HDPE pipe welds*. Proceedings of the 17th International Conference on Nuclear Engineering, ICON17, 12–16 juli 2009, Bryssel, Belgien.
- 12) Murphy, Ken och Lowe, David (2010). *Evaluation of a novel Microwave based NDT inspection method for Polyethylene joints*. Poster vid konferensen Plastic Pipe XV, 20–22 september 2010, Vancouver, Kanada.

- 13) Stakenborghs, Robert (2012). New method to detect cold fusion joints in high density polyethylene pipe, Society of Plastics Engineers, ANTEC@NPE2012, April 2–4, Orlando, Florida, U.S.A.
- 14) Material/uppgifter från Ken Murhy (2013), Exova Ltd, Salford, Lancashire, Storbritannien, september–oktober 2013.
- 15) Water Industry Specification WIS 4-32-08. Specification for the fusion jointing of polyethylene pressure pipeline systems using PE 80 and PE 100 materials, April 2002, Issue 3. UK Water Industry.
- 16) ASTM WK40655 – New Practice for Microwave Examination of High Density Electrofusion Joints and Couplings Used in Piping Applications. Standardiseringskommitte bildad den 28/1 2013.
- 17) Hamafo Teknik AB, Huddinge.
- 18) Malmgren, Matz, ”Läcksökning på vattenledningar med spårgas”. Föredrag vid Swecos DUF-dagar den 7/11 2012, Avesta.
- 19) Uppgifter från Fredrik Johansson, Göteborg Stad, Kretslopp och vatten, juni 2014.



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