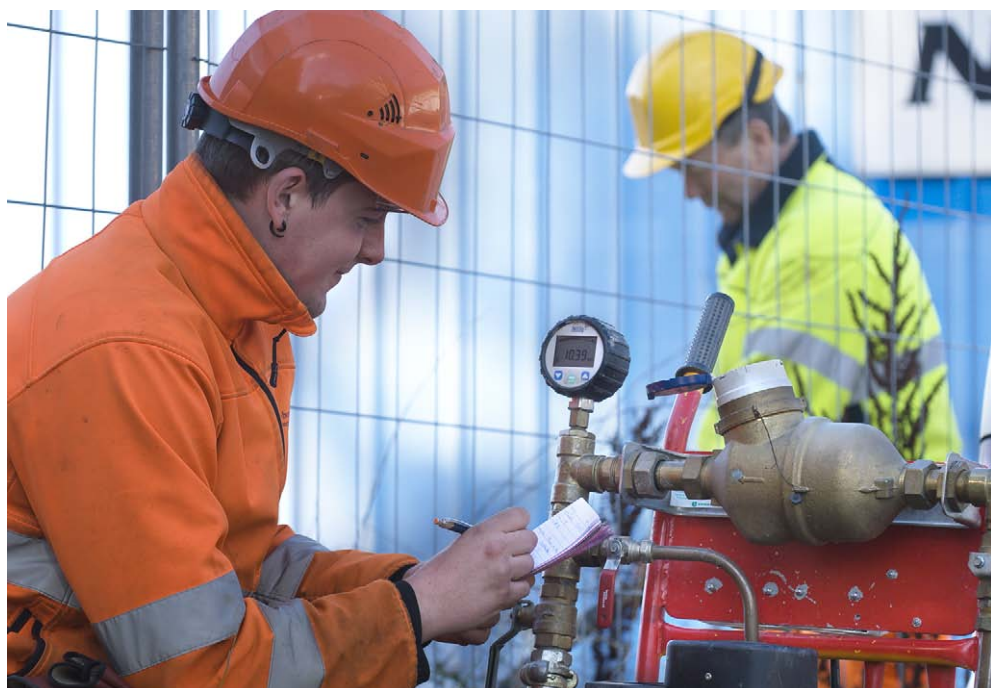


# Metoder för täthetsprovning av trycksatta polyetenledningar

*Linda Karlsson  
Hans Andersson*





## 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  
Ledningsnät  
Avloppsvatten  
Management

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

Agneta Granberg, ordförande	Göteborgs Stad
Daniel Hellström, sekreterare	Svenskt Vatten
Stefan Johansson	Skellefteå kommun
Charlotte Lindstedt	Göteborg Vatten
Lena Ludvigsson-Olafsen	Smedjebackens kommun
Margareta Lundin Unger	Kungsbacka kommun
Kenneth M. Persson	Sydvatten AB
Lars-Gunnar Reinius	Stockholm Vatten AB
Mats Rostö	Gästrik Vatten AB
Bo Rutberg	Sveriges Kommuner och Landsting
Lena Söderberg	Svenskt Vatten
Ulf Thysell	VA SYD
Fred Ivar Aasand, adjungerad	Norsk Vann

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

Svenskt Vatten Utveckling  
Svenskt Vatten AB  
Box 47 607  
117 94 Stockholm  
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.*

<b>Rapportens titel:</b>	Metoder för täthetsprovning av trycksatta polyetenledningar
<b>Title of the report:</b>	Methods for tightness testing of pressurized polyethylene pipelines
<b>Rapportnummer:</b>	2011-10
<b>Författare:</b>	Linda Karlsson och Hans Andersson, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
<b>Projektnummer:</b>	10-111
<b>Projektets namn:</b>	Förbättrade metoder för täthetsprovning i fält
<b>Projektets finansiering:</b>	Svenskt Vatten Utveckling och SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
<b>Rapportens omfattning</b>	
<b>Sidantal:</b>	36
<b>Format:</b>	A4
<b>Sökord:</b>	Polyeten, vattenledning, täthetsprovning, tryckprovning, täthetsprovningssmetod, VAV P78, EN 805
<b>Keywords:</b>	Polyethylene, water pipe, tightness testing, pressure testing, tightness testing method, VAV P78, EN 805
<b>Sammandrag:</b>	I rapporten sammanställs en kartläggning av erfarenheter från användare och utförare av täthetsprovning i Sverige. Metoderna som används för täthetsprovning i Sverige, Norge, Finland, Storbritannien och Tyskland går igenom och utvärderas.
<b>Abstract:</b>	A conclusion of the survey concerning experience from user and executer of tightness testing in Sweden are found in the report. The methods that are used for tightness testing in Sweden, Norway, Finland, Great Britain and Germany are worked through and evaluated.
<b>Målgrupper:</b>	VA-sektor, konsulter, industri, standardisering
<b>Omslagsbild:</b>	Täthetsprovning i fält Foto: Peter Svenson, P.S. Bild.
<b>Rapport:</b>	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida <a href="http://www.svensktvatten.se">www.svensktvatten.se</a>
<b>Utgivningsår:</b>	2011
<b>Utgivare:</b>	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

# Förord

Undersökningen som redovisas i denna rapport gjordes för att finna orsaker till de problem som finns vid täthetsprovning av rörledningar av plast och att om möjligt föreslå åtgärder. De visar sig främst i att ledningar som egentligen är acceptabelt täta blir underkända vid första provtillfället. Problemen har blivit vanligare i och med införandet av grövre dimensioner och tunnare rörväggar.

Vi har dels gjort en enkät bland ägare av ledningar och utförare av provning, för att få en bild av aktuell praxis och av upplevda problem, dels en granskning av standarder och metoder i ett antal länder. Här ingår den svenska metoden VAV P78 och den europeiska standarden EN 805. Granskningen har varit tekniskt sett ingående framför allt vad beträffar dessa.

Resultaten visar att grundproblemet, att kunna skilja ut läckflöde från den tidberoende expansionen hos ledningen, har angripits på väsentligen tre olika sätt. Beskrivningarna och kriterierna för godkännande är i vissa fall oklara, och det går att visa att metoder är känsliga för små fel just vid grövre dimensioner hos ledningen. Vi har kunnat specificera dessa brister och peka på några konkreta åtgärder för att förbättra situationen, vilket vi ser som ett positivt utfall.

Undersökningen har gjorts som ett projekt till huvuddelen finansierat av Svenskt Vatten Utveckling. Vi tackar för detta och riktar också ett särskilt tack till dem som deltagit i enkäten och gett kommentarer på rapporten samt till Ingemar Björklund, IBCO och Hans Bäckman, Svenskt Vatten, som följt arbetet och bidragit med råd och synpunkter.

Göteborg i februari 2011

Linda Karlsson och Hans Andersson



# Innehåll

<b>Förord</b> .....	<b>3</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>6</b>
<b>Summary</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Inledning</b> .....	<b>8</b>
1.1 Bakgrund.....	8
1.2 Syfte, målsättning och upplägg.....	9
<b>2 Kartläggning av branschen</b> .....	<b>10</b>
2.1 Täthetsprovningmetoder i Sverige .....	10
2.2 Täthetsprovning med vatten.....	10
2.3 Täthetsprovning med luft.....	13
<b>3 Genomgång av metoder</b> .....	<b>14</b>
3.1 Sverige – SS-EN 805 .....	14
3.2 Tyskland – DVGW Arbeitsblatt W400-2.....	17
3.3 Norge – Norsk rörcenter AS Miljöblad 25.....	17
3.4 USA – ASTM F2164.....	18
3.5 Finland – SFS 3115:E .....	19
3.6 Sverige – VAV P78 .....	19
3.7 Storbritannien – WRc "A Guide to Testing of Water Supply Pipelines and Sewer Rising Mains" .....	20
3.8 IGN 4-01-03 (Water Industry Information & Guidance Note).....	21
<b>4 Kommentarer och slutsatser</b> .....	<b>23</b>
<b>Referenser</b> .....	<b>25</b>
<b>Bilagor</b>	
Bilaga 1. Tillvägagångssätt för kartläggning av branschen.....	26
Bilaga 2. Tekniska synpunkter på genomgångna metoder .....	28
Bilaga 3. VAV P78 – Användning, problem och frågeställningar ....	31

# Sammanfattning

Under senare år har problem framkommit vid täthetsprovning av polymera tryckledningar, framför allt av långa ledningar och med grova dimensioner. Problemen yttrar sig i att ledningar som egentligen är acceptabelt täta blir underkända vid första provningen.

För att finna orsaken till detta och ge förslag till åtgärder har en undersökning i två delar genomförts. Den första delen var en enkät med användare och utförare av tryckprovning för att kartlägga erfarenheter av praktiskt utförande av provning. Det som framkommer, förutom den generella problembilden, är att den svenska metoden P78, VAV (1997), är den som nästan uteslutande används och att den betraktas som en praktiskt användbar metod. Vidare känner man sig tillfreds med processerna inom företaget och då det gäller kompetens, kalibrering av utrustning med mera. Upplärning sker mest genom att ”gå bredvid”. Utrustning byggs av företagen själva med komponenter tillgängliga på marknaden.

Den andra delen var en genomgång av metoder som används i andra länder; Norge, USA, Finland, Tyskland och Storbritannien. Förutom behandling av ett antal faktorer, som förläggning av ledningen, temperatur, avluftning, kalibrering med mera, som behandlas på olika sätt, så är den generella problematiken att genom mätning över tid skilja ut läckflöde från tidsberoende volymsökning av ledningen. Detta görs enligt några olika principer, var och en med sina styrkor och svagheter. Genomgående är att kravgränser och i viss mån metodelement inte motiveras tekniskt och därmed blir svåra att bedöma vid tillämpning på nya material och geometrier.

Det är särskilt noterbart att den europeiska metoden EN 805, SIS (2000) är komplex och ges nationell omtolkning i åtminstone Norge och Tyskland, även då det gäller vissa kravgränser. Detta indikerar att metoden skulle behöva revideras. Den svenska metoden visar sig genom sin utformning mycket känslig då det gäller grova ledningsdimensioner.

Huvudsakliga slutsatser som dras är de följande:

- 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.
- 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.
- 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.



# Summary

Problems are reported as regards tightness testing of plastic pipelines, particularly so for larger sizes and higher pressures. Pipelines that are in fact tight enough for acceptance are rejected when first tested.

A study in two parts was carried out in order to find the cause of the problems and suggest suitable actions. First, an enquiry was made to users of pipelines and suppliers of testing to find out about the practical performance of testing and the experiences from it. What appears, in addition to confirmation of the problem, is that the Swedish method P78, VAV (1997), is used with very few exceptions, and that it is considered suitable for use in practise. Further, there is confidence in the in-house competence and routines as regards calibration etc. Training is mostly by practical work under the supervision of experienced staff. Equipment is in general put together by the firms themselves from commercially available components.

Secondly, a scrutiny was made of a number of methods used in other countries, Norway, USA, Finland, Germany, and Great Britain. The general technique, in addition to taking into account such things as backfilling, temperature differences, remaining air, calibration etc, is to distinguish, by measuring pressure or volume over time, the leakage and the time-dependent expansion of the pipeline. This is achieved by some different principles, each one with its strengths and weaknesses. A common feature is that requirements, and to some extent procedures, are not technically motivated. Hence their relevance is hard to assess for new materials and designs.

In particular the European method EN 805, SIS (2000), is complex and it is re-formulated in at least Norway and Germany, also as regards some requirement levels. This indicates that the method needs clarification and revising. The Swedish method appears to be very sensitive to small errors for larger sizes of pipelines due to a rather strict criterion for a reference volume.

Some main conclusions are:

- In order to minimize addition of minor errors in test performance, as e.g. calibration, to the uncertainties inherent in the methods, test performers should revise and update working procedures, and, if need be, introduce a quality assurance system.
- If, for European harmonisation, it is wished to use EN 805 generally, this method should be revised. This is indicated by the fact that the method is complex, and that countries using it have made modifications. A start of this work could be a co-operation between Norwegian and Swedish stakeholders, not least since there is some experience of the method in Norway.
- The VAV P78 has several advantages. If used as the principal method also in the future, it should be modified. One simple way is to increase the reference volume, in order to diminish the sensitivity of the method for large pipe sizes. For such pipes the increase in volume during testing is so large that small method uncertainties exceed the reference volume.

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Det finns för närvarande problem vid genomförande av täthetsprovning av polyolefina tryckledningar. Som en utgångspunkt för att reducera dessa behövs en sammanställning och jämförelse mellan nationella och internationella metoder och standarder. En sådan presenteras här, för att få bekräftande underlag till problembilden och för att kunna utveckla mer effektiva och precisa metoder för täthetsprovning av trycksatta polyetenledningar. Eventuellt kan även incitament till kompletterande forskning ges.

Metodikerna för självfallsledningar och tryckledningar av styva material är rättfram, det vill säga rören trycksätts med vatten varpå läckaget mäts och jämförs med tillåtna värden vid givna förutsättningar. I Sverige genomförs provningen på styva ledningar med vatten enligt Svenskt Vattens publikationer P79, VAV (1978) och för självfallsledningar med luft enligt P91, Svenskt Vatten (2005), se även Ekbäck (2006). Den europeiska standarden SS-EN 1610, SIS (1997), beskriver en liknande metodik som P91. Dessa ledningstyper behandlas inte vidare i föreliggande rapport.

Vid provning av tryckledningar av plast, speciellt polyeten- (PE), polypropen- (PP) och polybutenrör (PB), som vanligen görs med vatten som tryckmedium men även ibland med luft, uppstår speciella problem eftersom materialen har ett tidsberoende, kryper, det vill säga försätter expandera med tiden vid konstant belastning. Vid tryckprovning med vatten innebär att ett pålastat övertryck med tiden avtar om inte nytt vatten tillförs för att kompensera för rörets volymökning och hålla trycket uppe på grund av krypningen i ledningen. Svårigheten med täthetsprovning av polyolefina material är att skilja på den vattenmängd som tillförs för att kompensera läckage och den som åtgår för att fylla på den expanderande ledningen.

Normalt sett genomförs täthetsprovningar på polyolefina tryckledningar i Sverige enligt Svenskt Vattens publikation VAV P78, som bygger på principen att tillförd vattenmängd som krävs för att hålla ett konstant tryck i ledningen mäts. Hypotesen om krypningen som används för att beräkningsmässigt bedöma läckage är i huvudsak uppbyggd kring erfarenhet kring krypmätning av olika plastmaterial och den borde ges starkare underbyggnad vad avser till exempel förutsättningar för tid, initialtillstånd hos rörledningarna, startförlopp, temperatur och tryck. Problemet har visat sig framför allt i ledningar av grova dimensioner. Ledningar har underkänts, vilka senare visat sig vara täta och upprepade prov har visat olika resultat.

Den europeiska metoden EN 805 bygger i stället på att ledningen låts krypexpandera genom en förkonditionering vid ett förhållandevis stort övertryck. Efter en tids övertryck reduceras detta vilket innebär att ledningen drar sig samman och trycket åter stiger. Huvudkriteriet i standarden är att trycket stadigt ska öka efter tryckreduceringen. Principen bygger på att ledningen är tidigare obelastad så att teorierna om det viskoelastiska beteendet är giltiga. Metoden är även känslig för yttre förhållanden som till exempel

temperaturen hos vattnet, yttemperaturen och de mekaniska egenskaperna hos kringfyllningen och eventuell solinstrålning mot ledningen eller mot provutrustningen som starkt kan påverka ledningens krypdeformationer och därmed provresultatet.

Andra varianter av metoder brukas i länder som Finland, USA och Storbritannien. De bygger på olika sätt på principen att skilja ut läckflöde från volymsökning på grund av krypning.

Tolkningar av EN 805 har använts i Norge och Tyskland men med dålig erfarenhet av metoden i Norge. Vid flera tillfällen har ledningar underkänts vid första täthetsprovningen men godkänts vid en efterföljande omprovning. Med anledning av detta har Rörinspektion Norge framskridna planer på att genomföra fältförsök i Österrike med en av leverantörerna för täthetsprovningensutrustning.

I Norge ses täthetsprovningens operatörs- och utrustningsberoende som problematisk och där har frågan om kvalitetssäkring varit aktuell. Ett sätt att bidra till kvalitetssäkring är en automatisering av kontrollgenomförandet med tillhörande direktgenererade dataloggar. Sådan används på vissa andra håll som i England och Tyskland.

I Sverige genomförs även täthetsprovningar med luft som tryckmedium men i mindre utsträckning. Ledningarna trycksätts upp till ett givet tryck och tryckfallet mäts med jämna mellanrum. Den som utför provningen måste vara certifierad och metoden kontrollerad på grund av sprängrisken.

## **1.2 Syfte, målsättning och upplägg**

Studien utgörs av två delar där första delen innefattar en kartläggning av hur täthetsprovning utförs på trycksatta vattenledningar av polyeten i Sverige. Kartläggningen ska ge en samlad bild av problemen samt kunskaps- och erfarenhetsläget inom området.

Del två av projektet består av en genomgång med analyser och värdering av ett antal nationella och internationella metoder och standarder, främst europeiska, för täthetsprovning av trycksatta vattenledningar av polyeten. Detta ska ge ett underlag för rekommendationer om hur gängse metoder i Sverige bör användas, kompletteras och förtydligas, och eventuellt revideras. Resultaten är också tänkta att ge en vägledning för fortsatt kunskapsutveckling och kunskapsspridning.

## 2 Kartläggning av branschen

Kartläggning av vilka täthetsprovningmetoder som används i Sverige undersöktes genom att ett antal vattenbolag och entreprenörer som utför täthetsprovningar tillfrågades. Vattenbolagen valdes på ett sådant sätt att både större och mindre bolag representeras samt på ett sådant sätt att en geografisk spridning i hela landet uppnåddes. Svarsfrekvensen hos vattenbolagen var 67 % (åtta av tolv) och 43 % (tre av sju) hos entreprenörerna. Hos två stora vattenbolag tillfrågades flera personer inom samma bolag men med olika positioner. De som medverkat i undersökningen är:

Örebro kommun – Tekniska förvaltningen  
Norrköping Vatten AB  
Stockholm Vatten AB  
Karlskrona kommun  
Göteborg Vatten  
VA SYD  
Trollhättan Energi AB  
NSVA – Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp  
Dorotea kommun  
Pollex AB  
3 VA AB  
Skanska

Dessutom har VA-KONTROLL AB, TUMAB, Tekniska Verken i Kiruna AB och Tekniska Verken i Linköping ombetts att svara på frågeformuläret men avstått.

### 2.1 Täthetsprovningmetoder i Sverige

Kartläggningen visar på att täthetsprovning av tryckrör av polyeten för vattendistribution utförs nästan uteslutande enligt metoden VAV P78. Det förekommer dock en mycket förenklad variant av EN 805 som används av Göteborg Vatten. För närvarande ser Göteborg Vatten över sin rutin och överväger om en övergång till VAV P78 ska genomföras eller om ett mellanting mellan deras nuvarande förenklade variant av EN 805 och VAV P78 ska tillämpas. En annan metod för täthetsprovning, provtryckning med luft, brukas av NSVA Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp, se avsnitt 2.2.

### 2.2 Täthetsprovning med vatten

#### 2.2.1 Användning av täthetsprovning i Sverige

Vilka ledningsdimensioner och ledningstyper som täthetsprovas varierar mellan kommunerna. Samtliga kommuner tycks täthetsprova ledningar som är lagda på entreprenad och då det alltid står i upphandlingsavtalet att

ett täthetsprov med godkänt resultat ska genomföras. Vissa kommuner som till exempel Dorotea kommun utför inte täthetsprovning på ledningar som har lagts i egen regi men de flesta tillfrågade kommunerna uppger att de täthetsprovar alla nylagda ledningar innan de tas i bruk. Stockholm Vatten anger att de ibland, dock mycket sällan, även utför provtryckning efter en reparation av en ledning eller vid annan osäkerhet. Göteborg Vatten utför även täthetsprovning på re-linade ledningar.

3 VA AB som är ett företag som utför täthetsprovningar uppger att de ibland utför korta delsträckekontroller där provtrycket hålls i två timmar. När delsträckorna är lagda, kontrollerade och sammanfogade genomförs en fullständig täthetsprovning enligt VAV P78.

Göteborg Vatten anger att de provtrycker alla ledningsdimensioner för dricksvatten och tryckavloppsledningar, huvudledningar och stora serviser men att villaserviser endast provtrycks med arbetstryck medan Stockholm Vatten anger att de täthetsprovar alla ledningar på huvudvattennätet och distributionsvattennätet men aldrig servisledningar enligt VAV P78.

För de flesta kommuner förekommer täthetsprovning på samtliga rördimensioner och PE-material. Vissa hävdar däremot att VAV P78 inte kan användas för täthetsprovning av ledningar med en dimension under 63 millimeter. Flest provtryckningar tycks utföras på de mindre dimensionerna eftersom det läggs flest meter av dessa dimensioner.

### **2.2.2 Problematik i fält**

Enligt kartläggningen är det inte någon ovanlighet att täthetsprovningen får göras om för att uppfylla kraven i VAV P78 och flera orsaker till att ledningarna inte uppfyller kraven anges. Flera uttryckte att det är elsvetsmuffar och ventiler som inte sluter tätt eller att luftningen av ledningen inte varit tillfredsställande. Flera påtalar även att det är svårt att få långa ledningar i stora dimensioner framför allt tillverkade i PE100-material att uppfylla kraven i VAV P78. En av entreprenörerna angav att de inte har eller haft några problem alls med täthetsprovningar.

Vid de tillfällen rörledningen inte uppvisar godkänd täthetsprovning åtgärdas läckage och en ny provning utförs.

### **2.2.3 Utförare av täthetsprovningar**

Täthetsprovningar utförs i vissa fall av vattenbolagen själva medan andra vattenbolag i stället anlitar en entreprenör. I vissa fall anlitar entreprenören som lagt ledningen en underentreprenör för att utföra provningen.

I Stockholmstrakten tycks 3 VA AB och VA-KONTROLL AB vara etablerade inom täthetsprovning och anlitas av bland annat Stockholm Vatten. Enligt 3 VA AB utför de även uppdrag runt om i landet då förfrågan finns. Karlskrona Vatten anger att de anlitar Pollex AB som har sin bas i Nol, strax utanför Göteborg. VA SYDs entreprenörer anlitar ofta TUMAB, Svalöv för utförandet av täthetsprovning innan ledningen tas i bruk och Norrköping Vatten anlitar både Stadspartner och Skanska i Norrköping. Dessutom har det framkommit under kontakten med vattenbolagen och entreprenörerna att PEAB och NCC på vissa plaster i landet utför täthetsprovningar.

#### **2.2.4 Utbildning**

De som utför provtryckningar har erfarenhet inom VA-branschen men saknar polymerkunskaper. I vissa fall har provtryckarna genomgått en kurs i svetsning av polyetenrör. Kunskapen om hur täthetsprovningen ska utföras förs oftast vidare genom att efterföljaren närvarar under provningar.

#### **2.2.5 Utrustning och dokumentation**

Flera av provtryckarna anger att de själva har konstruerat sin provtryckningsutrustning innefattande pump, vattenmätare och manometer. Det finns färdiga manuella utrustningar att köpa hos WEJO AB och K2 Handel. Företaget TKIG har konstruerat och hyr ut helautomatiska provtryckningsapparater för provning som de anger på deras hemsida provtrycker enligt VAV P78 och VAV P79.

Utrustningen som används under täthetsprovningen anges vara kalibrerad. Vid närmare efterforskningar hur kalibreringen utförs hos några av provtryckarna framkom att en kalibrering utgörs av en jämförelse mellan manometern i fält och två andra som används som referensmanometrar. Referensmanometrarna skickas in till leverantören för kalibrering varje år. En annan provtryckare anger att kalibreringen av manometrarna som finns på företaget innebär att en jämförelse mellan dessa görs.

Täthetsprovningen dokumenteras på blanketten som finns i VAV P78 av utföraren. På ett fåtal platser övervakas provtryckningen av en representant från slutbeställaren. Detta tycks däremot vara ytterst sällsynt och tidsbrist anges som största orsaken.

#### **2.2.6 Åsikter och kommentarer från branschen**

Åsikter som framkom under kartläggningen var att det finns stora svårigheter att uppfylla kraven i VAV P78 för långa ledningar av stora dimensioner tillverkade av PE100 material. Vissa i branschen föreslår därför att VAV P78 ska anpassas till PE100 material eftersom rörledning av PE100 material expanderar mer i förhållande till PE80 material och en större volym vatten måste tillföras dessa ledningar för att trycket ska hållas uppe.

En europeisk standard för täthetsprovning av ledningar, EN 805 "Water supply – Requirements for systems and components outside buildings" har inte blivit accepterad i sin helhet i Sverige, Tyskland, Norge, England eller Finland. Norge har gått över från att använda den norska metoden NS 3551, NS (1986), till att använda en liten modifierad metod av EN 805 som beskrivs i Miljöblad 25, Norsk Rörcenter AS (2005). I Norge har det uppstått stora problem kring täthetsprovningen eftersom provningstiden inte anses tillräcklig lång för att uppnå stabila förhållanden och rören läcker. Eftersom rören anses läcka enligt metoden sker omprovningar tills rören blivit utsatta för efterföljande på och avlastningar. Det vill säga, om täthetsprovning utförs många gånger så blir ledningen till slut tät enligt Aquatools AS. I flera fall har detta fått konsekvensen att först har man täthetsprovat med ett automatiskt system och underkänt ledningen. Sedan har ett annat företag gjort täthetskontrollen med en manuell metod och godkänt ledningen. En önskan om att kvalitetssäkra täthetsprovningarna är att använda

automatiska system som man inte kan manipulera så lätt med vilket kan ske vid användning av en manuell metod. Aquatools AS har därför kontakt med en tysk leverantör av automatisk täthetsprovning, Sirko Sklartz.

### **2.3 Täthetsprovning med luft**

Som tidigare nämnts i rapporten utförs även täthetsprovning med luft, dock i betydligt mindre omfattning än enligt VAV P78. TUMAB är ett företag som utför täthetsprovning med luft av polyetenledningar är certifierade enligt sprängämnesinspektionens anvisningar och måste följa dessa regler. Ledningar som täthetsprovas med luft måste vara huvade i båda ändar och inga ventiler, servisledningar eller andra förgreningar får förekomma eftersom dessa kan förstöras vid provningen. Både ledning och provtryckningsutrustning ska vara övertäckta med grus under hela provningen för att minimera skador vid en eventuell explosion.

Vid täthetsprovning med luft höjs lufttrycket till 6 bar i ledningen. Därefter mäts tryckfallet i ledningen varannan timme. För godkänd täthetsprovning får inte trycket sjunka under en viss bestämd nivå som är angiven i metoden. Provningen tar mellan 12 och 15 timmar att genomföra och görs oftast nattetid.

En fördel med att täthetsprova ledningar med luft jämfört med vatten är att det är betydligt enklare att detektera en läcka i ledningen. Vid täthetsprovning med luft kan vätgas direkt föras in i ledningen för att detektera läckor. När det gäller läcksökning med spårgas går detta att genomföra även då ledningen varit provtryckt med vatten, även om det kan ta längre tid. Genom att trycka ut vattnet med spårgasen i borte ändan av ledningen påskyndas processen. Läckagelokalisering med spårgas är oftast den enda metod som är praktiskt tillämpbar när det gäller att lokalisera ett mindre läckage.

## 3 Genomgång av metoder

Följande metoder ingår i genomgången:

- Sverige – SS-EN 805, SIS (2000), speciellt momentet A27 för viskoelastiskt beteende.
- Tyskland – DVGW (2004), Technische Regel Arbeitsblatt W 400-2 (på tyska).
- Norge – Norsk Rørcenter AS (2005) Miljöblad 25 som ger en tolkning av NS-EN 805, NS (2000).
- USA – ASTM F 2164, ASTM (2007).
- Finland – SFS 3115:E, SFS (1976).
- Sverige – VAV P78, VAV (1997).
- Storbritannien – WRc (1999) ”A guide to testing of water supply pipelines...”.
- Storbritannien – UK Water Industry (2009) IGN 4-01-03 (Guidance note till WRc).

Metoderna bygger på så olika sätt att ta hänsyn till viskoelastiska effekter genom att mäta tryck- och volymsförändringar under vissa tider att de inte går att jämföra direkt. Den teoretiska bakgrunden anges inte, och därför har i vissa fall utförliga kommentarer utarbetats. Möjliga orsaker till att metoderna rapporteras fungera otillfredsställande vid praktisk användning diskuteras.

Tre huvudgrupper kan urskiljas.

1. I EN 805 och dess modifieringar i Tyskland och Norge ingår ett moment där man särskilt genom en trycksänkning undersöker förekomsten av luft i systemet och där huvudprovet består i att undersöka tryckförloppet efter detta moment.
2. I de finska och amerikanska metoderna, som är enklast, mäter man som huvudmoment det tryckfall som uppstår efter en viss tid.
3. I den svenska och brittiska metoden slutligen utgår man från antaganden om krypexpansionens tidsförlopp och räknar från mätning av volymer respektive tryck fram om läckage finns.

### 3.1 Sverige – SS-EN 805

Standarden, som är en direkt adoption av EN 805 och därför inte här ges en egen referens, används inte i Sverige, men borde inom EU vara gemensam norm, om arbetet med att utforma EU-standard ska vara meningsfullt. Därför är det viktigt att i detalj granska orsaker till upplevda problem i andra länder.

Täthetsprovningen utgör endast en del av denna standard (kap 11). Beskrivningen är knuten till provning av nya anläggningar, och förfaller ha sin utgångspunkt i ledningar som är utförda av gjutjärn, betong, fiberbetong, etc. där de tidsberoende egenskaperna spelar en underordnad roll.



För viskoelastiska material hänvisas till Appendix 27. Det utsågs att konstruktören kan avgöra vilket eller vilka provningsmoment som ska användas. Detta kan missförstås och leda till osäkerhet med åtföljande risk för brister i utförande och resultat.

De grundläggande momenten är som sagt utformade för material där tidsberoendet är ringa och har annan styvhet och hållfasthet än HDPE. Därmed blir förutsättningar för giltighet hos olika formler mera osäkra. Summan av ett antal mindre felkällor, och sådana fel som är operatörsberoende, och oundvikliga i fält, kan då bli stor och till och med avgörande.

Ett exempel på en sådan möjlig felkälla som kan ge bidrag är att formeln för förhållandet mellan utpumpat vatten och tryckförändring, som är central i standarden, dels förutsätter tunnväggiga rör, dels ändras ganska mycket som funktion av förhållandet mellan kompressionsmodulen för vatten och E-modulen för rörmaterial. Denna är väsentligt olika för polyolefiner och till exempel gjutjärn. Dessutom ändras en toleransfaktor från 1,5 till 1,2.

Principiella kritiska kommentarer till metoden är:

- Det anges att utrustning för mätning av tryck ska vara *kalibrerad*, men inte vad som menas med detta. Det kan bli viktigt för vissa provningsmoment, särskilt om det provade röravsnittet är kort och av relativt liten dimension.
- Man anger generellt att på- och avlastning ska vara långsam. I de särskilda momenten anges tryckändringar och in-/utpumpning av vatten under vissa tidsperioder. Osäkerhet i dessa förfaranden, liksom *den historia av relaxation och krypning* som ledningen varit utsatt för till exempel vid upprepade prov och felsökningar, kan tillsammans med övriga felkällor ha betydelse för utfallet av prov i ledningar av tidsberoende material.
- Det förutsätts generellt att *ledningen är förlagd och förankrad så att ingen deformation sker i längsled*. Detta innebär tveksamhet för provning av ledningar som till exempel är sjöförlagda.
- Genom att standarden är på engelska med nomenklatur på engelska, och har stor valfrihet och en *komplicerad struktur* med olika delmoment blir det lätt att fel uppstår i genomförandet som bidrar till ett mindre pålitligt resultat. I Appendix 26 finns till exempel en dubbeltydighet om hur tryckfall ska ingå i en avgörande formel.

Detta och en generellt rörig framställning gör det lätt att göra fel. Man kan välja mellan tryckförlustmetod och vattenförlustmetod, och mellan generellt förfarande och specialförfarande för viskoelastiska material, och dessa och kopplingarna mellan dem är otydligt beskrivna. Här beskrivs därför bara metoden för viskoelastiskt material. Den ska ses i relation till beskrivningen nedan av den tyska metoden *DVGW Arbeitsblatt W 400-2* som är en förtydligande omarbetning av EN 805.

Den speciella metoden för viskoelastiska material i Appendix 27 genomförs enligt följande i två delar varav det sista har två integrerade moment.

*”Preliminary test”:*

Syftet med provmomentet sägs vara att åstadkomma de nödvändiga förutsättningarna för volymsändringar som beror på tryck, tid och temperatur.

- Minst 1 timmes avlastning vid atmosfärstryck; för att få bort alla tryckrelaterade spänningar.
- Snabb tryckhöjning, inom 10 minuter, till det bestämda STP (Standard Test Pressure) som behålls genom i görligaste mån kontinuerlig pumpning under 30 minuter. Kontroll av eventuellt läckage eller andra fel. (Krypning kommer då att ske i viss utsträckning, vilket torde påverka efterföljande tidsförlopp och beräkningar.)
- En timme med bibehållen vattenmängd. Här sker en komplicerad kryp-relaxations-process där spänningen också minskar. Provet är godkänt om trycket inte minskat mer än 30 %. (Detta krav skiljer sig från den tyska tolkningen *DVGW Arbeitsblatt W 400-2*.)

*”Integrated pressure drop test”:*

Första delen av detta ska säkra att luftinnehållet är rimligt lågt så att det direkt följande huvudprovet ska ge rätt resultat.

- Det aktuella trycket (från slutet av Preliminary test!) minskas genom att släppa ut en mätbar volym vatten,  $\Delta V$ , så att tryckfallet,  $\Delta p$ , blir cirka 10–15 % av STP.
- En tillåten utsläppt vattenmängd

$$\Delta V_{max} = 1,2V\Delta p \left( \frac{1}{E_w} + \frac{D}{eE_R} \right)$$

beräknas. Här är  $E_w$  bulkmodulen för vatten (cirka 2100 MPa),  $E_R$  elasticitetsmodulen för materialet i ringled (svår att specificera för ett material som kryper och relaxerar),  $D$  innerdiameter och  $e$  vägg tjocklek. Formeln förutsätter tunnväggigt rör, och för vissa HDPE-rör med lågt SDR-tal gäller inte detta, så att formler för tjockväggiga rör i vissa fall borde tillämpas. Se även Bilaga 2.

Om tiden för vattenutsläpp och mätning inte är mycket kort hinner materialet dra samman sig och öka trycket vilket påverkar huvudprovets resultat, se nedan. Vidare påpekas helt riktigt att man vid korta ledningar av liten dimension måste mäta tryckfall och utsläppt vatten noga.

Om detta moment (bestämning av tillåten utsläppt vattenmängd) ger godkänt utfall används som huvudprov registreringen av den tryckökning som inträder då ledningen drar samman sig efter den snabba tryckminskningen. Kravet är att det ska finnas en stigande tendens hos trycket under 30 minuter, eller att, om tryckminskning börjar, denna inte blir större än 25 kPa under ytterligare 60 minuter. Den tekniska grunden för dessa tider och villkor är inte angiven.

Sammanfattningsvis bedöms EN 805 som komplicerad, öppen för tolkningar som kan leda till fel och även behäftad med direkta fel som kan vara betydelsefulla. Godkännandegränser vid de olika momenten är inte motiverade och standarden innehåller inga referenser till teknisk bakgrund. Endast ungefärlig temperaturjämvikt krävs, vilket kan bidra till fel eftersom HDPE är starkt temperaturberoende.

### **3.2 Tyskland – DVGW Arbeitsblatt W400-2**

Metoden (på tyska) sägs inbegripa EN 805, men den avviker i viktiga avseenden och är mycket mera specifik och detaljerad. Den talar specifikt om godkännande av nya ledningar. Här liksom i övriga genomgångna metoder är det oklart hur metodens giltighet påverkas om den tillämpas på äldre ledningar.

I dokumentet krävs kalibrering och anges noga krav på mätområden och noggrannhet hos mätinstrument. Nivåskillnad, rekommenderad längd, temperatur (<20 grader) anges. Genom sådana specifikationer minskas osäkerheter. Val av provtryck är samma som i EN 805.

Provningsavsnittet omfattar 2×3 delar, dels för tryckfalls-, dels för volymsförlustprincipen; och för vardera av dessa finns tre avsnitt, ett för ett accelererat normalförfarande, ett för vissa plaströr och ett för normalförfarandet, som också är tillämpligt för vissa plaströr. Detta ger en mycket bättre tydlighet än EN 805, men även här är metoden komplex. Provningsavsnittet omfattar liksom i EN 805 tre moment, preliminärt test, tryckfallstest (för att kontrollera avluftning) och huvudtest (för att avgöra läckage). Ett automatiskt förfarande antyds.

För att visa på viktiga skillnader som finns ges i Bilaga 2 en uppställning över de provningsförfaranden som berör plaströr i EN 805 och i DVGW-dokumentet. Notera att stor valfrihet finns i EN 805 att välja metod och omfattning, medan DVGW talar om hur en viss ledning (dimension, material) ska provas.

Dokumentet bedöms som tillförlitligt. Motiv för skillnaderna i förhållande till EN 805 borde undersökas men inga källor har funnits.

### **3.3 Norge – Norsk rørcenter AS Miljøblad 25**

Dokumentet följer standarden EN 805 och frågar om det tekniska innehållet kvarstår alltså. Det är däremot klarare uppställt än standarden och mera koncist vilket gör det lättare att följa och därmed att undvika misstag. Till detta torde också bidra översättningen till norska; den engelska versionen uppfattas som i vissa fall oklar. Dokumentet är, till skillnad från EN 805 begränsat till provning.

Några skillnader som finns är att man exemplifierar med vanligen förekommande material och tryckklass (10 bar). Vidare ges trycksänkningen i antal bar och inte i % av STP. I stället för formeln för tillåtet samband mellan trycksänkning och volymminskning ges tabeller. För fall som inte täcks in hänvisas till den kompletta standarden. Detta ger konkretion men också begränsningar.

I en praktisk tillämpning torde detta dokument vara ett säkrare alternativ att använda. Dock saknas det illustrativa diagrammet A6 från standarden som visar exempel på tryck-tid-förloppet under provningen.

### 3.4 USA – ASTM F2164

Standarden är specifik för täthetsprovning av polyetenledningar. Måttenheter är de amerikanska vilket är en nackdel för europeiska användare. Den omfattar mycket bakgrundsbeskrivning, samt omfattande skrivningar (och disclaimers) om säkerhet. Dessa kan uppfattas som överdrivna, till exempel "Systems that are not suitable for pressure testing should not be pressure tested".

De är samtidigt mycket allmänt hållna ("sufficient", "reasonable"). Nomenklaturen skiljer från EN 805. Man talar om "system design pressure", SDP, och "maximum" (eller "required") provtryck, i stället för MDPa, MDPc (Maximum Design Pressure med olika sätt att bestämma tryckstötter och STP i EN 805). Kan sådana skillnader orsaka problem till exempel hos internationella tillverkare av utrustning? Även beskrivningen av utrustning är allmänt hållen. Dock nämns, som i de tre EN 805-relaterade standarderna, att maxtryck ska räknas från lägsta punkt och att anslutning av vattentillförsel etc. bör ske där.

Styrkor, som skiljer från EN 805, är att man tydligt nämner att provtemperatur är normalt omkring 23 °C och att man ska kompensera för avvikelser. Vidare ställs krav på onoggrannhet, skalindelning och kalibrering hos mätutrustning på ett bättre sätt än i EN 805. Man har också längre tider för olika moment vilket torde vara bra eftersom tidsberoendet är så starkt i början av krypprocessen. Till exempel ska relaxation inför (om-)test vara 8 timmar, och provtryckning ske under 8 (72 timmar).

Provningsen är enkel. Efter att provtrycket bestämts av ansvarig, det kan ligga från under SDP vid förhöjd temperatur upp till  $1,5 \times \text{SDP}$ , och man fyllt från lägsta punkt och avlägsnat vatten, samt uppnått temperaturjämvikt gör man på följande sätt:

- Trycket höjs till provtrycket (tid för detta anges ej) och bibehålls genom successiv inpumpning av vatten under 4 timmar.
- Om detta kan genomföras utan omfattande läckage eller andra tydliga fel sänks trycket marginellt ( $1,45 \text{ kPa} = 0,00145 \text{ MPa}$ ; översatt från 10 psi) och man registrerar utvecklingen av trycket i det slutna systemet under 1 timme.
- Provet är godkänt om trycket bibehålls inom 5 % från provtrycket. Eftersom provtrycket kan vara av samma storlek som i EN 805 (10–15 bar, 1–1,5 MPa) är det intressant att ställa två principiella frågor.
- I förhållande till EN 805:s inledande testmoment är detta hela provningen. I stället för att där hålla trycket uppe i 30 minuter och acceptera godkänd fortsättning om trycket sedan inte sjunker mer än 30 % under 1 timme då systemet slutes, så väljer man här att som hela provningen hålla trycket i 4 timmar och godkänna om det sedan inte sjunker mer än 5 %. Hur är denna skillnad kopplad till de skilda provningstiderna? Se även Bilaga 2.
- Varför fortsätter man i EN 805 med två ytterligare moment, plötslig trycksänkning och registrering av resulterande krävd tryckökning under 30 min? En avgörande fråga är om man kan vara säker på att ingen luft finns i systemet, genom inledande kontrollåtgärder, eller om detta måste undersökas genom ett prov.

### 3.5 Finland – SFS 3115:E

Metoden har samma, i förhållande till EN 805, förenklade karaktär som den amerikanska. Efter en startperiod med bara fyllt vatten, för att få temperaturjämvikt och möjligast eliminera luft i systemet, ökas och bibehålls trycket under en period genom inpumpning av vatten. Sedan sluts systemet under en period och efter denna avgörs godkännandet av den förändring som skett.

De skillnader som finns i förhållande till den amerikanska metoden är:

- Man använder det lägsta av nominellt (märkvärde på röret) och designtryck för att inte ”onödigtvis” överlasta” röret.
- I stället för 4 timmar vid ett tryck används 2 timmar vid nominellt (se ovan) tryck och sedan 2 timmar vid ett med 1,3 gånger förhöjt tryck, innan det sänks till det nominella och systemet slutes.
- Efter en timme med slutet system avgörs godkännandet inte av tryckfallet utan av den mängd vatten som måste tillföras för att komma åter till nominellt tryck (water loss method i stället för pressure drop test, se EN 805 och den tyska metoden).
- Temperaturen kan vara vad som helst mellan 0 och 20 grader, i stället för ”nominellt” 23 som i den amerikanska metoden.

Noterbart från denna metod är följande:

- Instrumenten ska ha en, angiven, ”indicating accuracy”, det vill säga skalnoggrannhet, vilket inte innebär krav på kalibrering och därmed inte på mätosäkerhet.
- Längden på den provade sträckan begränsas till 500 meter, med angivna undantag.
- Höjdskillnad begränsas till 10 meter (trycket mäts från lägsta punkt, som vanligt är).
- Fyllningshastigheten anges specifikt (för att undvika turbulens och luft?).
- Godkänd vattenmängd som kan få tillföras vid slutet av provningen ges i form av ett diagram som ger denna i ett förhållande till godkänd läckvattenmängd (jämför VAV P78).

Metoden verkar robust och lätt att följa, och torde ge pålitliga resultat men den har egendomligheter som bör utredas, till exempel grunden för diagrammet.

### 3.6 Sverige – VAV P78

Denna metod är specifikt begränsad till PE-, PB- och PP-rör och det anges att det är på grund av deras typiska viskoelastiska egenskaper (se nedan). Den skiljer sig helt från övriga metoder och bygger på en annan princip.

Som i andra metoder anges först förutsättningar avseende temperaturjämvikt, nivåskillnad (10 meter), mätskala (inte kalibrering), eliminering av

luft/luftning och angivande av hur provtryck bestäms (normalt utgående från tryckklass, PN),  $1,3 \times PN$  eller  $1,3 \times$  överenskommet, lägre, arbetstryck.

Därefter förfäres enligt följande:

- Trycket höjs till provtrycket och ledningen lämnas orörd i minst 12 timmar.
- Trycket återställs genom att vatten (inom plus minus 3 graders temperaturskillnad) pumpas in och bibehålls konstant under 5 timmar genom successiv inpumpning. Det anges inte hur noga tryckkonstan- sen ska vara, men väl den nominella noggrannheten hos mätningen.
- Det vatten som pumpas in under tredje timmen (Volym A) och femte timmen (Volym B) mäts med en noggrannhet bättre än en procent av en standardiserad ”godkänd” kontrollvolym (läckvattenmängd) D under samma tid.
- Grundat på praktiskt funnet och därmed approximativt logarit- miskt samband mellan töjning och tid för dessa material (oberoende av belastningsnivå och temperatur vilket behöver diskuteras) ska  $B = 0,550A$  vid tät ledning.
- En referensvolym bestäms som  $RN = B - 0,55A$  och provet är godkänt om  $RN < D$ .
- Om provet inte blir godkänt får en förlängd provning genomföras. Där mäter man på likartat vis under den sjunde timmen en volym C och bestämmer ett  $RF = C - 0,691B$  som även detta ska vara  $< D$  för godkänt.

Även om denna metod sägs fungera väl bör den studeras och eventuellt revideras mot bakgrund av problem vid tillämpning på grova och långa ledningar. Några frågor som uppstår, se även särskild utredning i Bilaga 3, är:

- Hur påverkar temperatur och tryck det logaritmiska sambandet, och hur väl gäller detta samband? Vad betyder avvikelser och kan man ange det logaritmiska förhållandet med tre siffror, vilket egentligen behövs med den låga toleransen för läckflöde, speciellt för grova och långa ledningar?
- Måste man ha så höga tryck vid provet om det logaritmiska förhållan- det gäller vid alla tryck? Läckflödet ökar och blir större vid högre tryck.
- Förhållandet mellan kontrollvolym (läckvattenmängd) D (respektive C) och vattenvolymökningarna på grund av krypning ändras med dimension och därmed toleransen i kriteriet. Vid stora dimensioner blir mätta vattenvolymer stora och små metodfel ”äter upp” kontrollvo- lymen. Metoden blir därmed också känslig för mätfel.

### **3.7 Storbritannien – WRc “A Guide to Testing of Water Supply Pipelines and Sewer Rising Mains”**

Dokumentet är inriktat på provning av nya ledningar av alla förekommande material. Det har två huvuddelar, en för PE-rör och en för alla andra mate- rial. För de senare följer man EN 805, utom genom att man för vattenför- lustprincipen ger tabeller för tillåten vattenmängd för vissa materialtyper i

appendices, likt DVGW-dokumentet, som tillägg till den generella formel som finns i EN 805.

För PE-rör används en särskild teknik som bygger på att tryckfallet vid slutet system, efter trycksättning, är linjärt i ett dubbellogaritmiskt diagram över tid-tryckfall. Vidare antas att diagrammet har ökande lutning vid läckage, vilket är indikationen på detta. Med luft i systemet blir indikationen på läckage mindre tydlig. Efter en pålastning till provtryck, valt som i EN 805 och andra standarder, under tiden  $t_1$ , och stängning av systemet mäts tryck vid tre tider:

$$P1 \text{ vid } t1 = 1,4t_1$$

$$P2 \text{ vid } t2 = 7,4t_1$$

$$P3 \text{ vid } t3 = 15,4t_1 \text{ eller längre.}$$

Därefter beräknas två värden på lutning

$$n1 = (\log P1 - \log P2) / (\log t2 - \log t1)$$

$$n2 = (\log P2 - \log P3) / (\log t3 - \log t2)$$

För en acceptabelt tät, ”sound”, ledning ska bägge värdena ligga mellan 0,04 och 0,10. För värden utanför detta intervall finns ett ”troubleshooter”-avsnitt som anger åtgärder för olika värden (luft i systemet, kontroll av läckage med mera). Man ger också en formel för förväntat tryckfall som funktion av tiden

$$P = P_{\text{start}} (2,5t/t_1 + 1)^{-n}$$

där  $n = 0,04$  vid kompakterad återfyllning och  $n = 0,10$  vid fri ledning.

Dokumentet har omfattande rekommendationer och vägledning. Det är kopplat till följande.

### **3.8 IGN 4-01-03 (Water Industry Information & Guidance Note)**

Detta dokument är en ”Draft for comment”. Det är intressant ur två viktiga synpunkter.

Den ena är att det bekräftar de tveksamheter i EN 805 som noteras ovan, bland annat godtycket i val av angivna metoddelar, att kriterierna i vissa fall är mycket känsliga, och att standarden egentligen inte är naturligt anpassad till rör av PE eller andra polymerer.

Den andra är att den utvecklar och motiverar den metod som används i WRc ”A guide to testing of water supply pipelines and sewer rising mains”.

- Man använder dubbellogaritmiskt diagram, vilket harmonierar med antagandet om att ett tidshårdnande material, enligt

$$\frac{d\varepsilon_c}{dt} = \text{const } \alpha^m t^n$$

(och inte logaritmiskt som i VAV P78) bildar en rät linje. Vid läckage fås dessutom ett i tiden linjärt tryckfall som gör att den räta linjen i diagrammet börjar avvika då tiden ökar.

- Man påpekar att tider vid mätningen måste korrigeras för den viskoelastiska deformation som äger rum vid trycksättning före påbörjad mätning.

Detta är en väsentligt mindre känslig metod än VAV P78. Genom att man mäter tryckfall i slutet system, och inte erfordrad påförd vattenmängd för att hålla trycket, som indikator på viskoelastisk expansion blir de uppmätta volymerna mycket mindre, och jämförbara med tillåtna/mätbara kontrollvolymmer (läckvattenflöden) (dessa flöden är ungefär samma som i VAV P78).



## 4 Kommentarer och slutsatser

Även om kartläggningen av användning i Sverige är begränsad så ger de förhållandevis enhetliga svaren anledning att anta att de viktigaste faktorerna har kommit fram. Att de fristående företagen har låg svarsfrekvens kan bero på konkurrensskäl, man vill inte beskriva sina förfaranden i detalj.

De problem som leder till oprov, förutom faktisk otäthet, verkar i stor utsträckning bero på dels bristande avluftning, dels inneboende svårigheter med VAV P78 vid långa och grova ledningar av PE100. Det första problemet skulle i princip kunna avhjälpas av såväl EN 805 som den engelska metoden, men dessa är som sagt komplexa. Det senare problemet kan vara en konsekvens av kraven för godkännande i VAV P78, se Bilaga 3.

Kunskapen som används utgår i stor utsträckning från praktisk erfarenhet och upplärning genom att ”gå bredvid”. Utrustningen byggs av utförarna själva och kalibreringen genomförs på ett praktiskt sätt genom jämförelser. Detta torde i huvudsak ge förutsättningar för att provningar utförs korrekt och med den noggrannhet i mätningarna som krävs. Genom att systematisk kvalitetssäkring inte förfaller användas kan det inträffa att ett antal smärre ofullständigheter samverkar och påverkar utfallet, tillsammans med den inneboende känsligheten i metoden.

Det verkar som om metoden VAV P78 är allmänt accepterad som praktiskt användbar och tillförlitlig i sig, och att det finns en tveksamhet till att gå över till EN 805, genom att den är komplicerad. Detta borde annars vara ett naturligt steg, bland annat för utveckling, tillverkning och användning av hel- eller halvautomatisk utrustning.

Genomgången av metoder torde även den vara representativ då det gäller hur täthetsprovning utformas. Det grundläggande problemet, hur man skiljer mellan läckage och viskoelastisk expansion, hanteras på olika sätt. Gemensamt är att man är medveten om vikten av ett antal parametrar, som förläggning, ålder, temperatur, avluftning, höjdskillnader, kalibrering mm. Dessa parametrar behandlas däremot olika strikt, och generellt utan kvantifiering grundad på känslighetsanalys, det vill säga hur viktiga de olika avvikelserna kan bli för resultatet. Därmed får användaren själv bedöma detta.

Genomförandet av provning i de genomgångna metoderna sker enligt tre huvudlinjer.

Den *första* är den som representeras av de tre EN 805-baserade metoderna (SS-EN 805, den tyska och den norska tolkningen). Det karakteristiska är momentet där man med ett snabbt tryckfall bedömer graden av avluftning, samt att det finns två huvudprinciper för mätning, vattenförlust- och tryckfallsmetodik. Svagheter är att metoderna är komplexa, samt att tider, tryckfall med mera varierar mellan tolkningarna och inte är motiverade, eller givna genom referenser i metoderna. Detta visas också genom att man i Norge och Tyskland har ansett sig tvungna att göra nationella tolkningar, som i och för sig innebär tydliga förbättringar, bland annat då det gäller att kunna undvika misstag i tillämpning på fältet.

Den *andra* är den förenkling som tillämpas i USA och Finland (ASTM F 2164 och SFS 3115:E), där man endast kräver visst största tryckfall respektive vattenförlust efter viss tid av trycksättning hos ledningen, och istället ger procedurer och krav för till exempel avluftning, temperatur och geometri. Dessa metoder verkar vara mera robusta och lätta att tillämpa.

Den *tredje* är VAV P78 och den brittiska metoden (beskriven genom WRc- och IGN- dokumenten). De förutsätter att materialets tidsutveckling sker enligt en antagen matematisk funktion (logaritmisk respektive i potensform) som bekräftats approximativt genom experiment. Genom att undersöka tidsutvecklingen av expansion i ledningen genom att mäta tillförd vattenmängd, och jämföra denna med den antagna ska läckage kunna detekteras som en skillnad. Här är den svenska metoden mycket känslig vid grova ledningar, se Bilaga 3.

För samtliga metoder är det en svaghet att man inte vet hur de satta godkännandegränserna är kopplade till nya material (PE 80  $\Rightarrow$  PE 100  $\Rightarrow$ ?) och geometrier (SDR 11  $\Rightarrow$  SDR 17  $\Rightarrow$ ?) genom att de inte är motiverade.

En mycket viktig notering görs sist i sista avsnittet av den finska metoden. Den vattenmängd som läcker ut från ett hål med en millimeters diameter (underförstått under provperioden en timme) är flera tiotals gånger större än den som svarar mot godkänd tillförsel, det vill säga man kan diskutera huruvida nuvarande marginaler för läckvatten är för stränga. Även en ökning av marginalen skulle innebära att det är möjligt att detektera ett läckage som är mycket mindre än läckaget genom ett hål på en millimeter.

Några principiella slutsatser som kan dras från undersökningarna är de följande.

- Det kan vara till hjälp för utförande organisationer att se över och uppdatera sina arbetsrutiner och rutiner för kalibrering, och att överväga införande av kvalitetssystem i fall där sådana inte finns eller inte följer vedertagna principer. Om det finns önskemål om att på sikt kunna införa en gemensam europeisk metod, vilket har fördelar för branschen bland annat genom en enhetlig marknad för utrustning och för internationella godkännanden av provningsresultat, bör EN 805 revideras. En utgångspunkt för detta i Norden kan vara samverkan mellan norska och svenska intressenter, eftersom erfarenhet finns i Norge.
- En fortsatt användning av VAV P78 skulle underlättas om kravet på tillåtet läckvattenflöde ändrades (gjordes mera generöst), speciellt för grova ledningar (> 400 millimeters diameter).

Några observationer av teknisk natur är:

- *Valet av provtryck*. Det bör undersökas om täthetsprovning i sig kräver höga provtryck, eller om dessa motiveras av man också vill tillförsäkra att nya ledningar är ”robusta”. (Jämför den finska metoden.)
- *Avluftning* före täthetsprov är central. Vissa metoder (till exempel ASTM) förutsätter att detta gjorts, andra att det kontrolleras (som EN 805), vilket sedan kan leda till omprov. En framgångsrik avluftning hänger samman med ledningslängd, nivåskillnader och teknik vid anslutning av utrustning och påfyllning av vatten, vilket beskrivs och begränsas på olika sätt.

## Referenser

- ASTM (2007). ASTM F 2164-02 Standard Practice for Field Leak Testing of Polyethylene (PE) Pressure Piping Systems Using Hydrostatic Pressure. ASTM International, PA, USA. 5 sidor.
- DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V) (2004). Technische Regel- Arbeitsblatt W 400-2. Bonn. 59 sidor.
- Ekbäck, D. (2006). Generella säkerhetsregler för täthetsprovning med luft av självfallsledningar. VA-Forsk 2006-03, Svenskt Vatten AB.
- Janson, L.-E. (2003). Plastics Pipes for Water Supply and Sewage Disposal (4th edition). Borealis, Majornas Copy Print AB. 302 sidor.
- Janson, L.-E. (1992). Method for Tightness Testing of Plastics Pressure Pipelines. Proceedings of Plastics Pipes VIII, 21–24 September 1992, Plastics and Rubber Institute. Koningshof. Pp III.1–III.9.
- NS (2000). NS-EN 805:2000, Vannforsyning – Krav til systemer og komponenter utenor bygninger.
- NS (1986). NS 3551:1986, Selvfallsledninger, kummer og trykkledninger – Tetthetsprøvning med vann.
- Norsk Rørsenter AS (2005). Miljøblad 25 – Trykprøving av trykkledninger. Stiftelsen VA/Miljø-blad. 6 sidor.
- SFS (Finlands Standardiseringsförbund)(1976). SFS 3115:E Plastic Pipes. Watertightness Test for Pressure Pipelines. Helsingfors. 7 sidor.
- SIS (2000). SS-EN 805: Water supply – Requirements for systems and components outside buildings. Stockholm. SIS Förlag AB. 64 sidor.
- SIS (1997). SS-EN 1610: Avlopp – Markförlagda ledningar – Läggningsanvisningar.
- Svenskt Vatten (2005). P91, Anvisningar för provning i fält av allmänna avloppsledningar för självfall.
- VAV (Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen) (1997). VAV P78 – Anvisningar för täthetsprovning av tryckledningar tillverkade av polyolefiner (polyeten, polypropen och polybuten). Stockholm. 12 sidor.
- VAV (Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen) (1978). VAV P79 – Anvisningar för täthetsprovning av tryckledningar enligt VoV Bk 21.
- UK Water Industry (2009). IGN 4-01-03 Pressure Testing of Pressure Pipes and Fittings. London. (Draft for comments.) Water UK. 55 sidor.
- WRc (1999). A Guide to Testing of Water Supply Pipelines and Sewer Rising Mains. WRc plc, Wiltshire, UK. 32 sidor.

# Bilagor

## **Bilaga 1 Tillvägagångssätt för kartläggning av branschen**

I ett första skede kontaktades tolv stycken vattenbolag, både stora och små via telefon runt om i Sverige för att bli informerade om projektet och dess syfte. Därefter tillsändes de ett frågeformulär som de ombads besvara. Frågeformuläret kan ses längre ner i bilagan. Efter att påminnelse både via telefon och e-post skickats ut svarade åtta av tolv vattenbolag vilket gav en svarsfrekvens på 67 %. Hos två stora vattenbolag tillfrågades flera personer inom samma bolag men med olika positioner. Utifrån svaren från vattenbolagens enkäter ringdes de angivna entreprenörerna upp och tillsändes ett frågeformulär. Likadant frågeformulär tillsändes både vattenbolag och entreprenör. Totalt tillfrågades sju olika entreprenörsföretag varav tre svarade. För att få reda på hur täthetsprovning med luft utförs utfrågades NSVA eftersom TUMAB inte velat medverka.

### **Kartläggning – Förbättrade metoder för täthetsprovning i fält**

Namn på företag/ kommun:

Namn:

#### *Täthetsmetoder*

I vilken omfattning används VAV P78 för täthetsprovning?

Finns det andra metoder för täthetsprovning som används?

Hur är i så fall förhållandet mellan dessa och vilka är de?

Vad avgör i så fall vilken täthetsprovningss metod som används?

Hur ofta genomförs täthetsprovningar?

Finns krav på täthetsprovning i upphandlingsavtalet?

#### *När och var*

På vilka ledningstyper och rörmaterial används metoden?

Vilka ledningsdimensioner berörs?

Vilka medie- och omgivningstemperaturer är aktuella?

#### *Genomförande*

Vem/vilka initierar täthetsprovningen?

Vem/vilka ansvarar för och utför täthetsprovningar, nämn dessa gärna vid namn?

Följs alltid tider, tryck och temperaturer i tidigare nämnd metod vid täthetsprovning?

Har det uppstått problem/läckage under täthetsprovningen, i så fall vilken typ av problem?

Vilka typer av ledningar och rördimensioner har det uppstått problem/läckage med?

Under vilken del av provningen har man upptäckt problemen?  
Hur går man vidare efter att problem/läckage upptäckts, alltid omprovning?  
Hur ofta uppfyller inte ledningarna kraven i VAV P78 vid första tryckningen?

#### *Kvalitetssäkring*

Hur dokumenteras provningen (tider, trycknivåer, temperatur...)?  
Dokumenteras läckage/problem när de uppstår och i så fall hur och av vem?  
Förs skadestatistik och i så fall hur och av vem?  
Vilken erfarenhet/utbildning/kunskap har de som utför täthetsprovningar?  
Finns polymerkunskaper hos de som utför täthetsprovningar?  
Finns det någon initial eller övervakande kontroll av genomförandet?  
Används kalibrerad utrustning?

#### *Tillverkare/leverantörer av täthetsprovningsutrustning*

Vilka tillverkare/leverantörer av utrustning finns?  
Vilka tillverkare/leverantörer anlitas?  
Manualer/tillämpningsanvisningar – hur verifieras dessa/vilka verifikationer finns?  
Skaderisker – hur bedöms dessa ur tillverkare-/leverantörsperspektiv?

#### *Övrigt*

Egna synpunkter och kommentarer?

## Bilaga 2 Tekniska synpunkter på genomgångna metoder

### Kommentar till EN 805

För ett tjockväggigt elastiskt rör ( $E, \nu$ ) med ytterradien  $R$  och innerradien  $\alpha R$  utsatt för ett inre övertryck  $p$  gäller för spänningar i radiell och periferiell led

$$\sigma_r = \frac{p\alpha^2}{(1-\alpha^2)} \left[ 1 - \frac{R^2}{r^2} \right]$$

$$\sigma_\varphi = \frac{p\alpha^2}{(1-\alpha^2)} \left[ 1 + \frac{R^2}{r^2} \right]$$

där  $r$  är en radie i röret  $\alpha R \leq r \leq R$ . Med förhindrad expansion i längsled erhålles en spänning i längsled

$$\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\varphi) = 2\nu \frac{p\alpha^2}{(1-\alpha^2)}$$

oberoende av  $r$ . Detta ger enligt Hookes lag en töjning i periferiell led vid innerradien

$$\varepsilon_\varphi = \frac{p\alpha^2}{E(1-\alpha^2)} \left[ 1 + \frac{1}{\alpha^2} - \nu \left( 1 - \frac{1}{\alpha^2} \right) - 2\nu^2 \right]$$

Den relativa volymsexpansionen blir

$$\frac{\Delta V}{V} = 2\varepsilon_\varphi$$

Formeln i standarden innebär för tunnväggigt rör och jämn spänningsfördelning att

$$2\varepsilon_\varphi = 2 \frac{p\alpha R}{E(1-\alpha)R} = \frac{pD}{eE}$$

och

$$\varepsilon_\varphi = \frac{p\alpha}{E(1-\alpha)}$$

Jämförelse mellan detta uttryck och det korrekta för typiska värden på  $\nu$  (0,45–0,50) och  $\alpha$  (0,8–0,9) för HDPE-rör ger avvikelser om något 10-tal procent, vilket kan ha påverkan på resultatet.

### Kommentar till DVGW Arbeitsblatt W 400-2

För *tryckförlustprincipen* ges här en tabell över de moment som är tillämpliga för plaströr. De två kolumnerna till vänster är normalförfarandena och de två till höger är speciella för viskoelastiska material. I EN 805 finns valfrihet, men inte i den tyska metoden.

	EN 805 Normalförfarande	DVGW Normalförfarande (16.7.3)	EN 805 För plaströr (App A27)	DVGW För vissa plaströr (16.7.2)
Preliminärprov	Avluftning, fyllning. Höjning till provtryck. Kontroll av att inga rörelser eller tydliga läckage finns.	Avluftning, fyllning. Tryckhöjning under upp till 12 tim enligt tabell, med bibehållande av tryck genom pumpning. Kontroll av ledningen.	Avluftning, fyllning. Vila 1 tim under högst 10 min. upp till provtryck, som behålles i 30 min. Systemet stängs. Efter 1 tim får trycket inte ha sjunkit mer än 30%	Avluftning, fyllning. Vila 1 tim under högst 10 min upp till provtryck, som behålles i 30 min. Systemet stängs. Efter 1 tim får trycket inte ha sjunkit mer än 20%.
Tryckfallsprov	(App26) Höj trycket till provtryck. Ta ut ett mätbart $\Delta V$ , mät $\Delta p$ . Krav $\Delta V > 1,5 V \Delta p (1/E_w + D/eE_r)$ (tveksamhet i text om $\Delta p$ ).	(Under prel.provn.) Ta ut och mät $\Delta V$ så att $\Delta p$ blir $> 0,5$ bar (för små ledn. $> 1$ bar). Krav $\Delta V < X V \Delta p (1/E_w + D/eE_r)$ , där $X = 1,5$ utom för PE-rör där $X = 1,05$ .	Sänk snabbt trycket från det som resulterat i prel. prov, med 10–15% av provtrycket ( $\Delta p$ ). Mät uttappat $\Delta V$ . Krav $\Delta V > 1,2 V \Delta p (1/E_w + D/eE_r)$	Sänk snabbt trycket (2 min) enligt tabell för $\Delta p$ . Mät uttappat $\Delta V$ . Krav $\Delta V < V_k L$ med $L$ i m och där $V_k$ ges i tabell för material och dimension.
Huvudprov	Höj till provtrycket. Under 1 tim (ev. längre) krävs regressiv tendens och slutligt tryckfall $< 20/40$ kPa.  För PE krävs vid successiva återpumpningar till provtryck regressiv tendens.	Höj till provtrycket. Enligt tabell för material och provtid ges tillåtet tryckfall.	Efter trycksänkningen, mät under 30 min tryckförloppet. En ökande tendens krävs. Om minskning inträder så får under 90 min denna inte vara $> 25$ kPa, och totalt ska trycket ha ökat.	Efter trycksänkningen, mät under 30 min tryckförloppet. En ökande tendens krävs. Om minskning inträder så får under 90 min denna inte vara $> 25$ kPa, och totalt ska trycket ha ökat.

### Kommentarer till ASTM F 2164

Vid kryptöjningshårdnande material blir töjningsändringen mindre och mindre för varje tidsintervall, till exempel en timme. Därmed är det naturligt att töjningshastigheten efter fyra timmar är mindre än efter en eller två och att tryckreduktionen efter den därpå följande kontrollperioden blir mindre. Dock bör förhållandet 5% i förhållande till 30% i EN 805 studeras, bland annat för materialtyper tryck och temperaturer. Ett sätt kan vara med en modell för materialet.

Med en standardmodell för töjningshårdnande material, där  $\varepsilon$  betecknar töjningar och  $\sigma$  spänningar,

$$\frac{d\varepsilon_c}{dt} = B \sigma^m \varepsilon_c^{-n}$$

och där  $B$ ,  $m$  och  $n$  är materialkonstanter, fås för konstant spänning  $\sigma_0$  (tryck i ledningen)

$$\varepsilon_c = [t(n+1)B\sigma_0^m]^{1/(n+1)}$$

När sedan volymen hålls konstant gäller att töjningsökningen svarar mot ändrad kompression i vattnet och därmed minskat tryck, vid tät ledning.

$$\frac{\Delta p}{E_w} + 2\varepsilon_\varphi = 0$$

Härur kan i princip sedan töjning och tryckfall bestämmas med modellen (och tillåttna nivåer checkas) genom att integrera (inte lätt)

$$\frac{d\varepsilon_c}{dt} = B[\sigma_0 - CE_w(\varepsilon_c - \varepsilon_{c0})]^m \varepsilon_c^{-n}$$

där  $\varepsilon_0$  är töjningen vid volymkonstantens början och  $C$  är en konstant som kan beräknas ur geometrin.

Ett annat sätt är genom jämförelse med experiment, där det dock är svårt att finna sådana med ett blandat kryp-/relaxationsförlopp. Troligen har nivåerna för godkända tryckfall i de olika standarderna bestämts genom experiment, som nu är svåra att få referenser till.



### **Bilaga 3 VAV P78 – Användning, problem och frågeställningar**

Metoden är den som till övervägande del används i Sverige vid täthetsprovning av tryckrör av polymera material. Den skiljer sig principiellt från EN 805 som är den metod som, med modifieringar, används i flera andra länder i Europa. Genom att tillämpningen av VAV P78 i ett antal fall har upplevts som problematisk finns det anledning att göra en särskilt noggrann genomgång av hur metoden används och av dess tekniska förutsättningar.

#### **Användning och problem (se även avsnitt 2)**

Vid en telefonenkät hos åtta representativa brukare framkom följande:

- Tryckprovning är krav och utförs alltid vid nyanlagda tryckledningar (bland annat PE80, PE100, SDR 11). Metoden är VAV P78 utom i ett fall där principerna i EN 805 används i ett förenklat förfarande.
- Kraven på tider och tryck följs enligt anvisningar i metoden. Då det gäller temperaturer är svaren mera differentierade och oklara, bland annat avseende omgivningstemperaturer och vattentemperatur och i vilken grad temperaturjämvikt uppnås (och vid vilken temperatur). *Inverkan av obalans i temperatur eller olika nivå på temperaturen är en faktor att undersöka.*
- Ett upplevt problem är kvarvarande luft i systemet efter fyllning. Till detta kommer frågor om placering (bör vara lägsta punkt) och typ av utrustning. Denna utgörs i allmänhet av egna hopbyggen av köpta komponenter. Problem med luft i systemet är inte knutet till metoden utan bör klaras av med utbildning eller tydligare anvisningar.
- Personalen anses ha erforderlig utbildning (ingenjör) och erfarenhet; dock ej inom polymerområdet. Det markeras att upplärning sker genom att ”gå bredvid” (vilket kan fortplanta och förstärka fel som uppstår genom att använda ”rutinmässiga” genvägar). *Sättet att tillämpa metoden är en faktor att undersöka, till exempel genom studiebesök vid provningar.*
- Kvalitetssäkring sker genom hur den till metoden hörande blanketten fylls i med data. Om man gör detta fullständigt anses man ha behövt utföra nödvändiga provmoment; att det gjorts korrekt kan i och för sig ifrågasättas, ibland sker övervakning och kontroll på plats men detta är en oklar punkt.
- Kalibrering. Utrustning sägs vara kalibrerad till onoggrannhet inom de gränser som metoden kräver.
- Problem yttrar sig genom att mer vatten än tillåtet behöver pumpas in. Ibland klaras kraven vid omprovning (förlängd provning enligt metoden nämns inte).
- En analys behöver göras av förutsättningarna för metodens funktion vid omprovning, då kryptöjningar redan uppstått.
- Problemen uppträder vid långa och vid grova ledningar (> 400 mm), vid PE100-material, och ibland vid sjöförlagda ledningar. Det bör undersökas hur marginaler och storlekar på ingående mätstorheter förändras då dimensioner och förläggningssätt ändras.

Det noteras att en deltagare i enkäten inte upplever problem med användning av metoden. Det bör kontrolleras om detta kan kopplas till att denne inte gör provningar på grova ledningar.

### Frågeställningar kring metoden

För att finna möjliga orsaker till problemen görs här en genomgång av metoden.

#### *Logaritmiskt töjningssamband*

I det vetenskapliga arbete, Jansson (1992), som ligger till grund för metoden är en grundpelare antagandet om att töjningens tidsberoende är logaritmiskt med tiden, det vill säga

$$\varepsilon(t, \sigma) = f(\sigma) \log t$$

efter en initial period om enstaka timmar. Argumentet för detta är att detta är det enda samband som inte leder till antingen en vertikal eller horisontell asymptot. Sådana skulle leda till att töjningen går mot oändligheten för begränsad tid, eller att töjningens tillväxt stannar av helt.

Detta argument är tveksamt. Det finns många funktionssamband som leder till att töjningen fortsätter att växa och går mot "oändligheten" först när tiden gör detta. Exempel är alla funktioner

$$\varepsilon(t, \sigma) = f(\sigma)t^a$$

och där det är fysikaliskt rimligt att  $a < 1$ . Emellertid visar redovisade experiment att krypkompliansen

$$\varepsilon(t)/\sigma \text{ vid konstant } \sigma.$$

Det vill säga inversen av krypmodulen, då den ritas som funktion av logaritmen av tiden ger god anpassning till en rät linje. Detta samband är alltså inte en naturlag utan en experimentell erfarenhet. Det finns ingen anledning att inte använda sambandet för metoden, så länge man har tider längre än den initiala perioden för respektive material och så länge man är medveten om att det kan finnas (små) avvikelser, som bör tas med i en känslighetsanalys.

#### *Startpunkt för tidmätningen*

Initialbelastningen under minst 12 timmar påverkar materialet genom att kryptöjning sker. Vid början av initialbelastningen har vattnet komprimerats och ledningen töjts elastiskt. Då systemet lämnas orört sker ett komplicerat förlopp där kryptöjningen växer, trycket i vattnet avtar och den elastiska töjningen minskar. Kryptöjningen ersätter minskningen i elastisk töjning och ökningen i vattenvolym då trycket minskar.

Efter lång tid, då trycket närmar sig 0 gäller att kryptöjningen också är lika med totaltöjningen och

$$\varepsilon_{c,\infty} = \varepsilon_{e,0} \left( 1 + \frac{tE}{2RK} \right)$$

där  $\varepsilon_{e,0}$  är den elastiska töjningen vid initialbelastningens början,  $t$  är vägg-tjocklek,  $R$  ytterradie,  $E$  elasticitetsmodul hos röret och  $K$  kompressionsmodul hos vatten. Här är  $t/R$  ungefär 0,1,  $E/K$  ungefär 0,5, så den totala töjningsökningen under förloppet är blygsam.

För 12-timmarsperioden med initialbelastning gäller samma förhållanden. Det innebär att kryptöjningen som uppstår blir ungefär lika med minskningen i elastisk töjning, vilket i sin tur svarar mot minskningen i tryck. Om trycket minskar från  $p$  till  $ap$  blir kryptöjningen  $(1-a)\varepsilon_{e,0}$ .

När trycket därefter höjs till provtrycket och provningen börjar blir därmed totaltöjningen

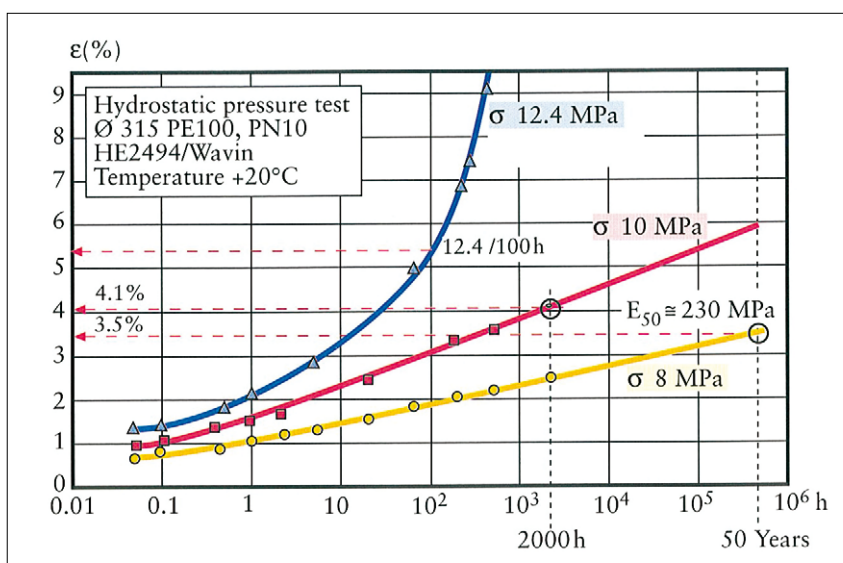
$$\varepsilon_{e,0}(1 + (1 - a)) = \varepsilon_{e,0}(2 - a).$$

Kompliansen  $C$  blir i motsvarande grad högre vid starttidpunkten, som svarar mot en tid  $t_i > 0$ . Detta innebär att man i stället för tider 2, 3, 4 och 5 timmar bör använda  $2 + t_i$ ,  $3 + t_i$  etc. Tiden  $t_i$  erhålls genom att avläsning i  $C$ -kurvan för det  $C$  som är  $(1-a)$  gånger högre än  $1/E$ .

En uppfattning om storlekar kan fås från figur B3-1, som visar utvecklingen av töjning i rör vid konstanta tryck från en serie experiment, genom normalisering av töjningar till complianser genom division med spänningen. Om till exempel tryckfallet vid initialbelastningen är 20 % ska tiden  $t_i$  avläsas vid  $C = 1,2E-3$  och blir 0,2–0,3 timmar. Balansfaktorn i standarden 0,550 blir då i stället 0,580. Innebörden av detta vid grova och klena ledningar behandlas nedan. Även om skillnaden är liten får den betydelse genom att metoden är så känslig.

(Det är värt att notera att  $C = \varepsilon/\sigma$  måste vara ett olinjärt samband i ett lin-log-diagram för korta tider eftersom det finns en horisontell asymptot  $C = 1/E_{\text{elast}}$  då  $t \rightarrow 0$  och  $\log t \rightarrow -\infty$ .)

Övergången mellan asymptoterna synes ske mellan 0,1 och 1 timme med de experimentella data som finns (längre tider för andra material såsom MDPE och PVC, enligt Janson [1992]). Även detta leder till att  $\log t_i$  är ungefär 0,5 och  $t_i$  ungefär 0,3 timmar. Balansfaktorn blir då, som ett exempel,  $\log(5,3/4,3)/\log(3,3/2,3) = 0,580$ .



Figur B3-1.  
Hydrostatiska tryckförsök på Ø 315 mm PE100-rör, PN10 vid 20°C. (Bild med tillstånd från L-E Jansson & Borealis.)

### Betydelse av storlekar hos mätta volymer

Figur B3-1 ger töjningen  $\varepsilon_\phi$  i ringled för PE100/PN10-försök vid 10 MPa. Vid nivån 1,3 MPa i provtryck (13 bar) fås en spänning i rörväggen ungefär 10 MPa (9,6) så data passar bra för en analys. Ur figuren fås att

$$\varepsilon_\phi = 1,6 \cdot 10^{-2} + 0,73 \cdot 10^{-2} \log t,$$

med  $t$  i timmar. För femte respektive tredje timmen ger detta, enligt metoden

$$\varepsilon_\phi(5) - \varepsilon_\phi(4) = 0,73 \cdot 10^{-2} \log(5/4) = 0,0707 \cdot 10^{-2}$$

och

$$\varepsilon_\phi(3) - \varepsilon_\phi(2) = 0,73 \cdot 10^{-2} \log(3/2) = 0,1285 \cdot 10^{-2}$$

Generellt gäller att  $\Delta V/V = 2\varepsilon_\phi$ . (För fast inspänd ledning gäller

$$\varepsilon_z = 0 = \frac{1}{E}(\sigma_z - \nu\sigma_\phi), \text{ som vid } \nu=0,5 \text{ ger } \sigma_z = 1/2 \sigma_\phi$$

För fri ledning, till exempel sjöförlagd, gäller för jämvikt av trycklaster också

$$\sigma_z = 1/2 \sigma_\phi.$$

Eftersom detta ger samma spänningar blir även i detta fall töjningen i z-led liten och man kan approximativt bortse från denna.) Då blir till exempel

$$V(5) - V(4) = 2 \frac{\pi d_i^2}{4} L \cdot 0,0707 \cdot 10^{-2}$$

Man får slutligen

$$V(5) - V(4) = 0,110 \cdot 10^{-5} d_i^2$$

$$V(3) - V(2) = 0,202 \cdot 10^{-5} d_i^2$$

med  $d_i$  i millimeter och volymer liter per timme och meter ledning. Kontrollvattenmängden blir, i samma dimensioner

$$D = (0,4d_i - 20)/24000 = 4,16 \cdot 10^{-5} (0,4d_i - 20).$$

Denna blir mycket mindre. Vidare växer mätvolymerna kvadratisk medan kontrollvolymen bara växer linjärt med  $d_i$ . Se tabellen.

	200	300	400	500	600
V(5)-V(4)	0,044	0,099	0,176	0,275	0,396
V(3)-V(2)	0,080	0,180	0,320	0,500	0,720
D	0,002	0,004	0,006	0,008	0,009

Detta innebär stora krav på den teoretiska faktorn 0,55 eftersom man ställer krav på att skillnaden mellan två stora tal ska vara liten.

Ta som exempel dimensionen 300 millimeter. Om volymen 0,099 är 4% större (svarar mot faktisk balansfaktor 0,57) fås villkoret

$$0,099 \times 1,04 - 0,550 \times 0,180 = 0,004$$

det vill säga lika med kontrollvolymen, som alltså helt "äts upp" av detta fel vid helt tät ledning. Vid grövre ledningar blir känsligheten ännu större.

Två faktorer bidrar dock till att ge mindre känslighet.

Vid PE80/PN10 ledning blir spänningen mindre, cirka 7,5 MPa (vid 315 millimeters ledning). Detta i det närmaste halverar kryptöjningarna, och man har också mindre problem med dessa ledningar (som inte "sväller som ballonger").

Den andra faktorn är inverkan av jordtryck och grundvatten. Vid nylagd ledning är det osäkert hur stora dessa är men de torde ge en gynnsam effekt genom att minska kryptöjningar från det inre övertrycket i ledningen.

#### *Tolerans för faktiskt läckage*

Om det finns ett läckage  $L$  i ledningen blir formeln i metoden

$$[(V(5) - V(4)) + L] - 0,55[(V(3) - V(2)) + L] \leq D.$$

Om det logaritmiska sambandet gäller perfekt ger detta att

$$0,45L \leq D, \text{ dvs. } L \leq 1,8D,$$

det vill säga det läckage som accepteras blir 1,8 gånger tillåtet läckage! För blandningar av läckage, smärre luftmängder i ledningen och avvikelser från det perfekta logaritmiska sambandet fås ett komplext samspel.

Det blir också lättare att klara kraven vid den förlängda provningen. Balansfaktorn ökar och detta innebär dels att känsligheten för starttiden blir mindre, dels att läckagetoleransen blir större, när faktorn blir 0,691 i stället för 0,550.

#### **Slutsatser**

Genomgången bekräftar problembilden. Det är inte onaturligt att problem med metoden uppstår vid grova ledningar av PE100 och speciellt SDR 17. Detta beror på att metoden då är känslig för små avvikelser från det antagna perfekta logaritmiska sambandet mellan töjning och tid.

Detta samband kan ifrågasättas, även om det experimentellt är approximativt verifierat, liksom tillämpningen då det gäller när tiden ska börja räknas. Formeln för godkänt resultat innebär en extra tolerans för läckage.

Metoden är praktisk och användbar om den modifieras för nämnda avvikelser. Temperaturkrav bör införas liksom mera precisa krav på kalibreringen.







Box 47607, 117 94 Stockholm  
Tel 08 506 002 00  
Fax 08 506 002 10  
E-post [svensktvatten@svensktvatten.se](mailto:svensktvatten@svensktvatten.se)  
[www.svensktvatten.se](http://www.svensktvatten.se)