
Rapport SGC 073

**LIVSLÄNGDSBESTÄMNING FÖR PE-RÖR
FÖR GASDISTRIBUTION**

Sammanfattning av ett internationellt
projekt - EVOPE

Tomas Tränkner
Studsvik Material AB

Juli 1996



Rapport SGC 073
ISSN 1102-7371
ISRN SGC-R--73--SE

Rapport SGC 073

**LIVSLÄNGDSBESTÄMNING FÖR PE-RÖR
FÖR GASDISTRIBUTION**

Sammanfattning av ett internationellt
projekt - EVOPE

Tomas Tränkner
Studsvik Material AB

Juli 1996

SGC:s FÖRORD

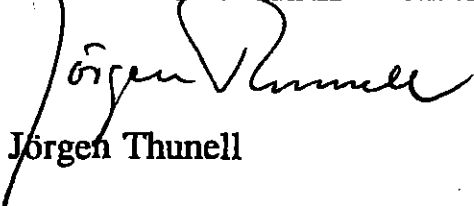
FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat e dyl i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns i slutet på denna rapport.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD). SGC har följande delägare: Svenska Gasföreningen, Sydgas AB, Sydkraft AB, Göteborg Energi AB, Lunds Energi AB och Helsingborg Energi AB.

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB

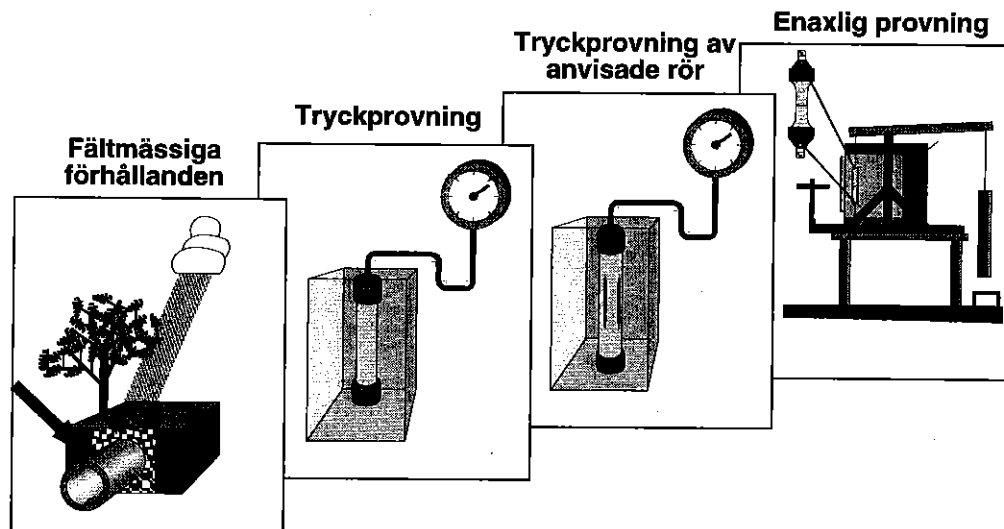


Jörgen Thunell

LIVSLÄNGDSBESTÄMNING FÖR PE-RÖR FÖR GASDISTRIBUTION

Sammanfattning av ett internationellt projekt - EVOPE

Tomas Tränkner



Livslängdsbestämning för PE-rör för gasdistribution Sammanfattning av ett internationellt projekt - EVOPE

Sammanfattning

Rapporten redovisar resultat från ett internationellt samarbetsprojekt med namnet "EVOPE" med parterna Vattenfall/SGC, Italgas, Gaz de France och Gas Research Institute. EVOPE har pågått från 1991 till 1994 och målsättningen har varit att ta fram en livslängdsmodell för polyetenrör för gasdistribution. Svenska deltagare i projektet var Studsvik Material AB, Vattenfall Mellansverige, Inst f polymerteknologi och Inst f hållfasthetslära vid KTH i Stockholm. Livslängden hos ett plaströr beror av material-, miljö- och belastningsfaktorer. Plaströr utsätts för kemisk nedbrytning och mekanisk nedbrytning. EVOPE behandlar framförallt mekanisk nedbrytning då gasrör av polyeten ej förmodas utsättas för signifikant kemisk nedbrytning under 50 års drifttid för svenska förhållanden. Nedan redovisas kort några av slutsatserna från projektet:

- * Fälthaveristatistik som sammanställts inom EVOPE-projektet visar att 84 % av alla rörledningshaverier i USA och Frankrike uppstod i svetsförband. I vissa fall erhöles snabb spricktillväxt tvärs röret vid tredjepartsskada på rören. Snabb spricktillväxt gynnas av stora rördimensioner, stor godstjocklek, låg temperatur och högt inre övertryck.
- * För långtidsbrott är långsam spricktillväxt (SCG) den vanligaste orsaken till brott. Inom projektet har provning av långsam spricktillväxt genomförts. Anvisade provstavar provades under konstant last och under konstant inre övertryck av anvisade polyetenrör. Resultaten visar att provning med anvisade provstavar (SCG-provning) förkortar tiden till brott med mer än 15 gånger jämfört med icke anvisade prov, förutsatt att provet inte blir kemiskt nedbrutet. Med SCG-provning tar det i allmänhet mindre än ett år, beroende på materialkvalitet, att göra en bedömning av PE-rörens motståndsförmåga mot långsam spricktillväxt. Av tre kommersiella materialkvaliteter (PE-rör från Frankrike, Italien och Sverige) uppvisade det svenska materialet längst tid till brott vid 80°C. En slutsats är att SCG-provning framstår som en bra metod för kontroll av livslängd.
- * Livslängden vid 20°C och "4 bars inre övertryck" (nominell dragspänning 2 MPa) bedöms vara mellan 30 och 600 år för två av materialkvaliteterna för anvisade prover. Med ledning av data från tryckprovning och anvisade prover bör livslängdsbedömningar vara konservativa, som baseras på provningsdata från anvisade provstavar.

Godkänd av


Mats Ifwarson

Lifetime extrapolation of PE-pipes for gas distribution Summary of an international project - EVOPE

Summary

Results are presented from the international collaboration project "EVOPE". Partners in the project were Vattenfall/Swedish Centre of Gas Technology, Italgas, Gaz de France and Gas Research Institute in the USA. The project was performed between 1991 and 1994. The aim of the work was to develop a lifetime model for PE-gas pipes. The Swedish work was performed by Studsvik Material AB, Vattenfall Mellansverige, Dept of Polymer Technology and Dept of Solid Mechanics at the Royal Institute of Technology in Stockholm. The lifetime of a plastic pipe depends on material, environmental and loading factors. Plastic pipes are exposed to chemical and mechanical degradation. The EVOPE project deals with the mechanical failure mechanisms exclusively since chemical degradation is not a matter of concern during normal Swedish service conditions for PE pipes gas distribution.

- * According to field failure statistics from France and the United States, 84 % of all field failures in PE-gas pipes occurred in welds. Third party damage initiated circumferential rapid crack propagation in some reported field failures. In general, rapid crack propagation is favored by large pipe diameter, large wall thickness, low temperature and high internal overpressure.
- * Slow crack growth (SCG) is the predominant failure mechanism for brittle long term failures. Within the EVOPE-project SCG-testing was done with notched specimens using dead loaded notched specimens or notched pipe specimens with a constant internal overpressure. Data show that SCG testing with notched specimens reduces the time to brittle failure 15 times compared to hydrostatic pressure testing of unnotched pipes if the specimens are not chemically degraded during testing. Estimation of the SCG-resistance was possible within a testing time of one year (depending on the pipe material) by using SCG-testing at 80°C in air. Of the three resins investigated within EVOPE (PE-pipes from France, Italy and Sweden) the Swedish gas pipe material had the longest failure time at 80°C in air. SCG testing is a good method for lifetime estimation and ranking of different PE-materials.
- * The lifetime for notched specimens at 20°C and "4 bar internal over pressure" (net stress 2 MPa) is estimated to be between 30 and 600 years. Based on data from pressure testing and from SCG testing, the above values are probably conservative with respect to real lifetime at service conditions.

Approved by



Mats Ifwarson

Innehållsförteckning

		<u>Sida</u>
1	Inledning	1
2	Vad påverkar livslängden hos ett plaströr?	2
3	Hur kan man bestämma livslängden?	3
3.1	Metoder för bestämning av livslängden hos gasrör	3
3.2	Tidsåtgång för livslängdsbestämning	5
4	Vad har gjorts inom EVOPE-projektet?	7
5	Resultat	7
5.1	Snabb spricktillväxt i PE-rör	7
5.2	Långsam spricktillväxt i PE-rör	8
5.2.1	Resultat från SCG-provningar utförda vid Studsvik	9
5.2.2	Resultat från övriga SCG-provningar inom EVOPE	10
5.3	Livslängdsbedömningar	10
5.3.1	Extrapolation av SCG-data genererade från Studsvik	10
5.3.2	Livslängdsmodell	11
5.4	Övriga resultat	12
5.4.1	Fälthaverier i PE-rör för gasdistribution	12
5.4.2	Datorprogram	13
6	Diskussion och slutsatser	14
	Erkännande	15
	Referenser	15

1 Inledning

Livslängden hos gasnät har avgörande betydelse för dess ekonomi och säkerhet. Det är därför av stort intresse att kunna förutsäga livslängden för ett gasdistributionsnät. Vid ett internationellt möte blev Vattenfall inbjudna av Gaz de France att delta i ett forskningssamarbete, EVOPE, angående förbättrade metoder för livslängdsbestämning. Övriga partners var Italgas och indirekt Gas Research Institute (USA). Projektet pågick under tiden 1991-1994.

Den svenska delen av projektet har finansierats av Vattenfall, Svenskt Gastekniskt Center (SGC) och NUTEK. Det praktiska arbetet (den svenska delen) har i huvudsak utförts vid Studsvik Material AB. Denna rapport utgör en kortfattad sammanfattning av EVOPE-projektet samt ett separat fortsättningsprojekt, benämnt EVOPE-2. EVOPE är även avrapporterat i form av fyra seminarier/symposier och två artiklar [1,2,3,4,20,21,22]. Till detta finns omfattande teknisk dokumentation. Sedan 1991 har sju internationella tekniska och forskningsmässiga möten hållits inom projektet.

EVOPE står för "Evaluation of Polyethylene" och det gemensamma målet för deltagande parter var att ta fram en livslängdsmodell för PE-rör för gasdistribution. Huvudman för EVOPE var Gaz de France. För svensk del har ett viktigt mål varit att få tillgång till det arbete som utförs vid Gaz de France, Italgas och Gas Research Institute och överföra det till svensk gasindustri. EVOPE var uppdelat i ett antal moment: Karakterisering av SCG-material, Reologiskt uppförande, Fältlastberäkningar, Fälthaverikatalog, Snabb spricktillväxt, Långsam spricktillväxt, Livslängdsmodell. Varje partner hade sitt ansvarsområde.

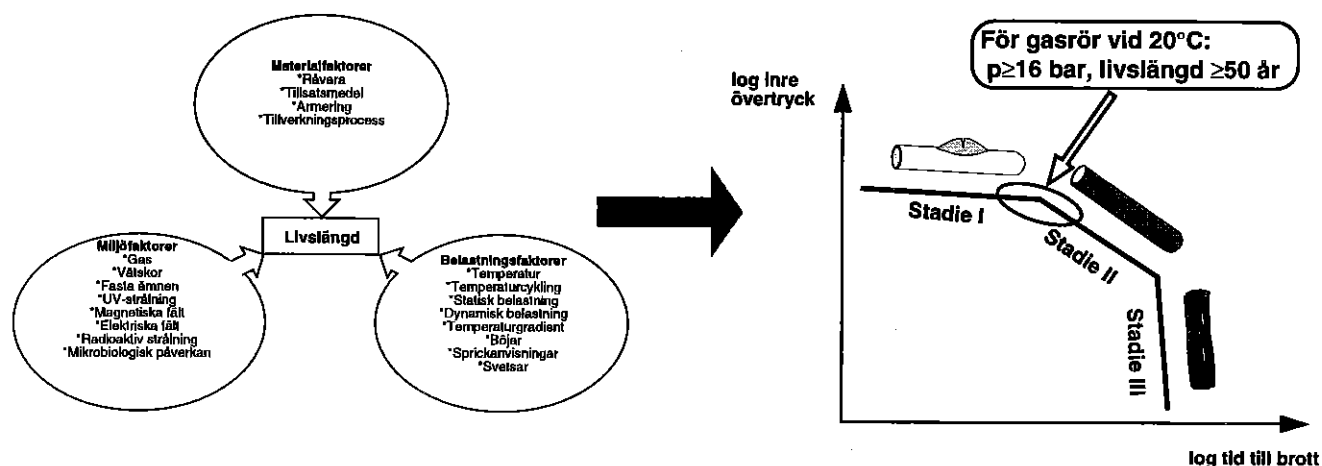
Inom respektive land finns forskningsinstitutioner och forskningsinstitut anknutna till EVOPE. Bo Berggren, Vattenfall, har varit projektkoordinator för den svenska delen och Tomas Tränkner, Studsvik Material, har varit experimentellt ansvarig i projektet. Inom den svenska delen har samarbete även skett med Inst f polymerteknologi och Inst f hållfasthetslära på KTH.

Föreliggande rapport redovisar ej hela EVOPE-projektets innehåll, utan enbart de delar som kan vara av störst intresse ur slutanvändarens synvinkel. De delar som inte redovisas är av mer vetenskaplig karaktär och omfattar reologiskt uppförande, karakterisering av provmaterial och brottmekanisk modellering (utgör en del i livslängdsmodellen). Mer information kan erhållas från referenslistan längst bak i denna rapport.

2 Vad påverkar livslängden hos ett plaströr?

Plaströr används idag i många olika applikationer, t.ex. tryckvattenrör, avloppsrör, kemikalie- och processrör samt inom olika energiapplikationer. För de flesta av dessa applikationerna krävs en livslängd på mer än 50 år. Med livslängd avses i detta fall tiden till dess att läckage uppstår genom att en spricka har vuxit tvärs genom rörväggen. En del av plaströerna har idag endast funnits i 10-20 år, och som gasrör i Sverige har plaströr endast förekommit sedan 1986. För distribution av gas används idag nästan uteslutande polyeten (PE)-rör [5, 6]. Materialet i plaströerna utvecklas ständigt mot allt bättre kvalitet och livslängd.

Rent allmänt gäller att livslängden hos ett plaströr styrs av material-, miljö- och belastningsfaktorer. Dessa olika huvudfaktorer kan indelas i ett stort antal underfaktorer, se figur 1.



Figur 1

Exempel på underfaktorer som påverkar krypbrottskurvan t.h. i figuren. Krypbrottskurvan kan schematiskt delas in i Stadie I, II och III. Stadie I -> sega brott, Stadie II och III -> spröda brott. PE-rör som är klassificerade som PE 80 eller PE 100 skall ha en livslängd på minst 50 år vid ett inre övertryck av 16 bar (PE 80) eller 20 bar (PE100).

Plaströr skiljer sig från stålrör i den mening att de kryper (töjer sig) vid konstant inre övertryck, även vid måttliga temperaturer, därav benämningen krypbrott. Vid höga inre övertryck (för ett 32x3 mm polyetenrör vid rumstemperatur måste trycket normalt vara högre än 16 bar) får detta till följd att segbrott (ballongliknande töjning) kan uppstå efter lång tid trots att det inre övertrycket är konstant. Om plaströr provas vid olika konstanta inre övertryck kommer brott att inträffa efter olika tider, det kan vara avsevärd skillnad i tiden till brott mellan olika rörprover. Om tiden till brott avsätts mot provningstrycket (räknas vanligen om till ringspänning) i ett diagram med logaritmiska axlar följer sambandet mellan brottid och provningstryck en rät linje så länge den huvudsakliga brottmekanismen ej ändras.

Vid tillräckligt långa brottider kommer krypbrottskurvans lutning att ändras (första "knäpunkten") på grund av ändring i brottmekanism (från segt till sprött). Den första flacka delen av krypbrottskurvan kallas Stadie I. Segbrott är vanligast inom Stadie I men även sprödbrott (brott orsakade av små

sprickor) kan förekomma. Efter första knäpunkten uppträder Stadie II. Stadie II kännetecknas av spröda brott som är orsakade av långsamt växande sprickor (slow crack growth = SCG). SCG påverkas av defekter i materialet och materialets generella seghet.

Efter mycket långa tider i kombination med förhöjd temperatur får krypbrottskurvan en brant lutning (andra knäpunkten) på grund av att röret har blivit kemiskt nedbrutet med sprödbrott som följd. Denna del av krypbrottskurvan benämnes Stadie III. För gasrör av plast är det främst Stadie I och II som är av intresse på grund av låga användningstemperaturer. Ett polyetenrör består av bulkpolymer, stabilisatormedel och pigment. Det är i huvudsak själva bulkpolymeren och tillverkningsprocessen som avgör när Stadie I och II inträffar.

En annan typ av brott som inte är ett krypbrott, men som kan föregås av ett krypbrott, är snabb spricktillväxt (eng. Rapid Crack Propagation = RCP). RCP är ett potentiellt problem för PE-rör eftersom om det uppträder kan orsaka stor förödelse. Se vidare avsnitt 5.1 angående RCP.

3 Hur kan man bestämma livslängden?

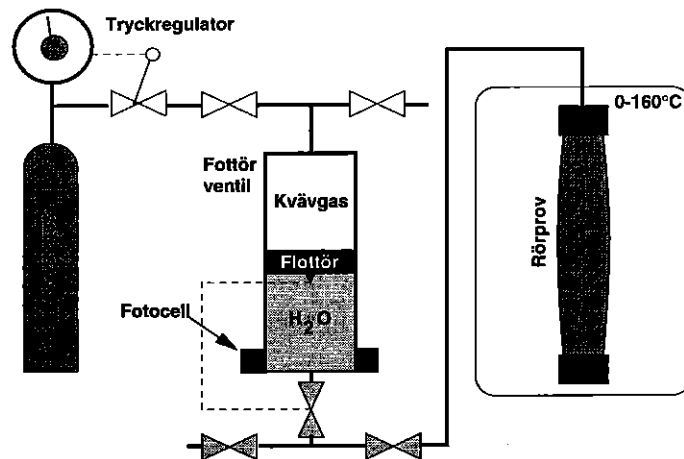
Bestämning av ett PE-rörs livslängd utförs i praktiken så att röret utsätts för onormala påfrestningar tills dess att brott inträffar. Tiden räknas sedan om (extrapoleras) till motsvarande tid vid normala påfrestningar, d.v.s. normalt driftstryck och normal driftstemperatur. Om t.ex. temperaturen under provningen ligger 10°C över normal driftstemperatur förkortas livslängden med en faktor 2 à 3.

3.1 Metoder för bestämning av livslängd hos gasrör

De vanligaste provningsmetoderna för extrapolation och kontroll av livslängd hos gasrör är följande:

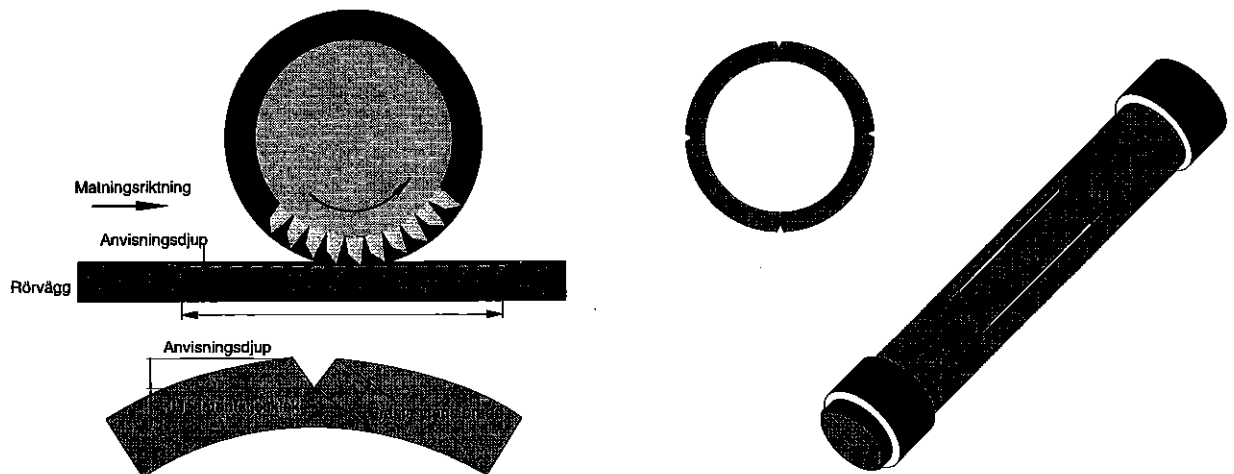
- * Tryckprovning av rör utan anvisning
- * Tryckprovning av rör med yttre anvisning
- * Enaxlig provning av anvisade provstavar
- * Tryckprovning av rör utan anvisning i ytspänningsnedsättande medel

Tryckprovning innebär att ett PE-rör under konstant inre övertryck normalt utsätts för invändigt stillastående vatten och utvändigt vatten, luft eller ytspänningsnedsättande medel. En typisk provningstemperatur är 80°C. Principen för tryckprovning visas schematiskt i figur 2.



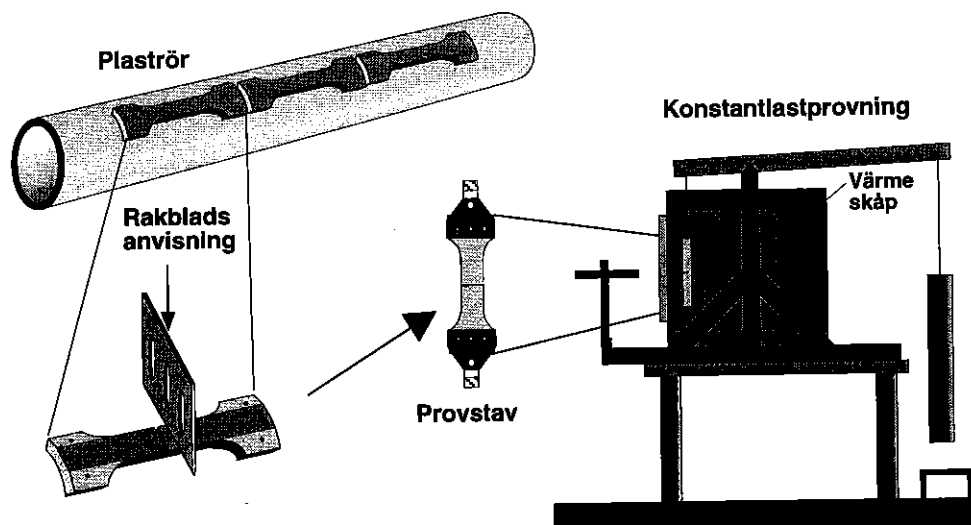
Figur 2
Schematisk skiss över tryckprovningsanläggningen vid Studsvik. Kvävgas leds via en tryckregulator in till en eller flera flottörventiler. I flottörventilerna överförs gastrycket till vattentryck.

För att påskynda tiden till brott kan PE-röret anvisas och sedan tryckprovas. Figur 3 visar schematiskt provpreparering av anvisade PE-rör (enligt ISO/DIS 13479). Typisk rördimension är 110x10 mm.

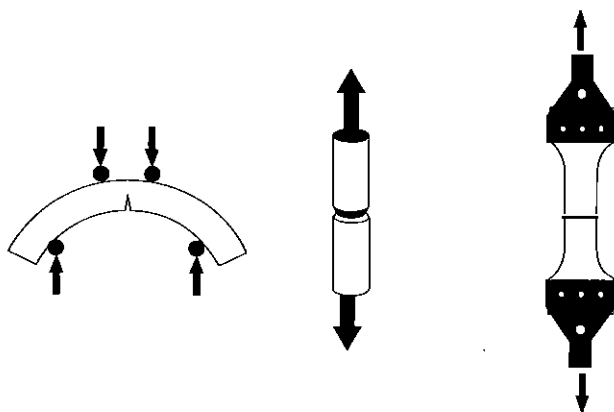


Figur 3
Anvisning av PE-rör enligt ISO/DIS 13479. PE-röret förses med fyra yttre anvisningar med ett djup av 20 % av väggjockleken.

Enaxlig provning av anvisade provstavar innebär att provstavar tas ut från PE-röret som sedan anvisas och provas med enaxlig konstant last. Denna provningsmetod ger brott mer än 15 gånger snabbare än hydrostatisk tryckprovning av icke anvisade PE-rör. Principen för enaxlig provning framgår av figur 4. Provstavar tas från ett 110x10 mm PE-rör. Dragkraften i provstaven åstadkoms med en vikt och en hävarm. Inom EVOPE-projektet har olika provstavsgeometrier använts. Gaz de France använde en rund provstav och Italgas använde en böjd sektion av röret för 4-punktsböjning. De olika provstavsgeometrierna visas i figur 5.



Figur 4
Utrustning för provning av PE-provstavar i enaxlig konstant last.



Figur 5
Fyrpunktsböjning (utfördes av Italgas), enaxlig konstantlastprovning av cirkulära provstavar (full notch test, utfördes av Gaz de France) och enaxlig konstantlastprovning av anvisade rektangulära provstavar (utfördes av Studsvik Material).

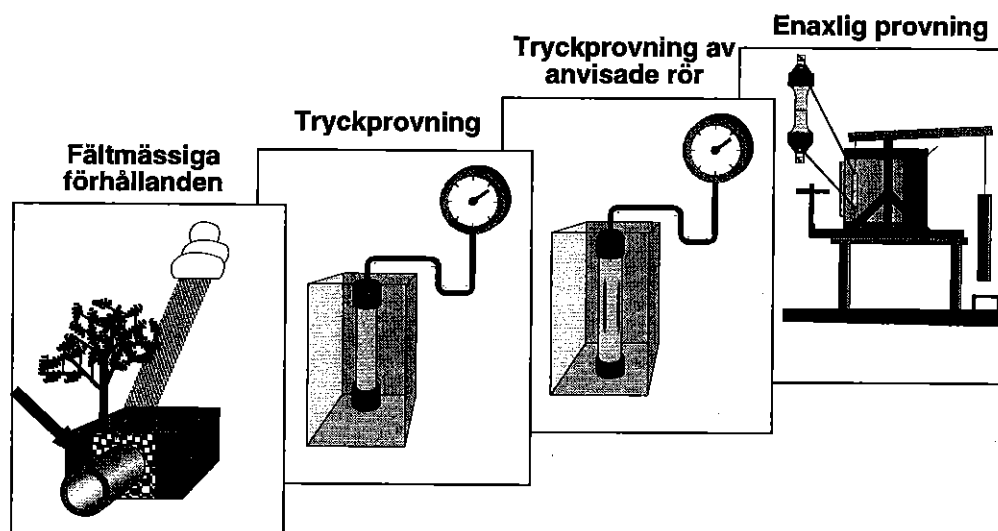
För små PE-rör eller PE-rör med svetsade anslutningar kan provning genomföras i ytspänningsnedsättande medel vid förhöjd temperatur. På Studsvik Material är 95°C och med 2 % lutensol löst i vatten som yttre medium en vanligt förekommande test för utvärdering av svetsade plaströr, sammanklämda rör och rör i små dimensioner ($D_y < 63$ mm). Lutensol gör att tiden till sprödbrott förkortas.

3.2 Tidsåtgång för livslängdsbestämning

Tidsåtgången för en säker bestämning av livslängd beror av vilken livslängdshorisont som är tänkt. Extrapolering av tryckprovningensdata enligt ISO-standard [17] kräver provningstider $> 9\ 000$ h för att kunna extrapolera till 50 år. För kvalitativ livslängdsbedömning enligt olika standarder är

provningstiderna kortare, typiskt 100 - 1 000 h vid 80°C. Tryckprovning av icke anvisade rör används idag både som kvalitetskontroll och för livslängdsextrapolering. För livslängdsextrapolering av data från anvisade prover finns idag ingen standard. Provning av anvisade prover enligt standard förekommer endast som kvalitativ bedömning av livslängden där provning skall utföras vid en viss belastning och temperatur. Brott skall då inte inträffa under en viss föreskriven tid.

Att anvisa PE-rör medför att avsteg görs från verkliga förhållanden. Provningstiden blir kortare men livslängdsbedömningen blir mer osäker. Figur 6 visar hur olika provningsmetoder "fjärrnar sig" från fältmässiga förhållanden.



Figur 6

Fältmässiga förhållanden- tryckprovning - enaxlig konstantlastprovning. Enaxlig provning av anvisade provstavar ger snabbast brott men är längst ifrån verkliga förhållanden. Tryckprovning är mer likt fältmässiga förhållanden men är mer tidskrävande.

4 Vad har gjorts inom EVOPE-projektet?

EVOPE är uppdelat i ett antal moment där deltagande parter har var sitt ansvarsområde. De olika momenten framgår av tabell 1. GRI deltar inte direkt i dessa moment utan genomför motsvarande program separat i koordination med övriga GRI-projekt avseende gasrör.

Tabell 1
Momentindelning av EVOPE-projektet.

Moment	Ansvarig
Karakterisering av SCG-material ¹⁾	Alla
Reologiskt uppförande ²⁾	Vattenfall/SGC
Fältlastberäkningar ³⁾	Gaz de France
Fälthaverikatalog ⁴⁾	Gaz de France
Snabb spricktillväxt ⁵⁾	Italgas
Långsam spricktillväxt ⁶⁾	Alla
Livslängdsmodell ⁷⁾	Gaz de France

- 1) Analys av mikrostruktur och mekanisk provning av korttidsegenskaper.
- 2) Litteraturstudie om polyetenmaterials deformationsegenskaper och viskoelastiska egenskaper.
- 3) Framtagning av modeller för fältlastberäkning.
- 4) Sammanställning och utvärdering av fälthaverier.
- 5) Provning av RCP med modifierat Robertsonförsök av EVOPE-materialen.
- 6) Varje part utför en provning av långsam spricktillväxt enligt egen metod. Data utbytes därefter för att jämföra olika provningsmetoder.
- 7) Modellering av livslängd. Knyta ihop information från projektets olika moment till en livslängdsmodell.

Inom den experimentella delen har Studsvik Material utfört tryckprovning av PE-rör med och utan anvisning och provning av långsam spricktillväxt under konstant enaxlig belastning. I samarbete med KTH har även strukturen hos polyetenmaterial studerats.

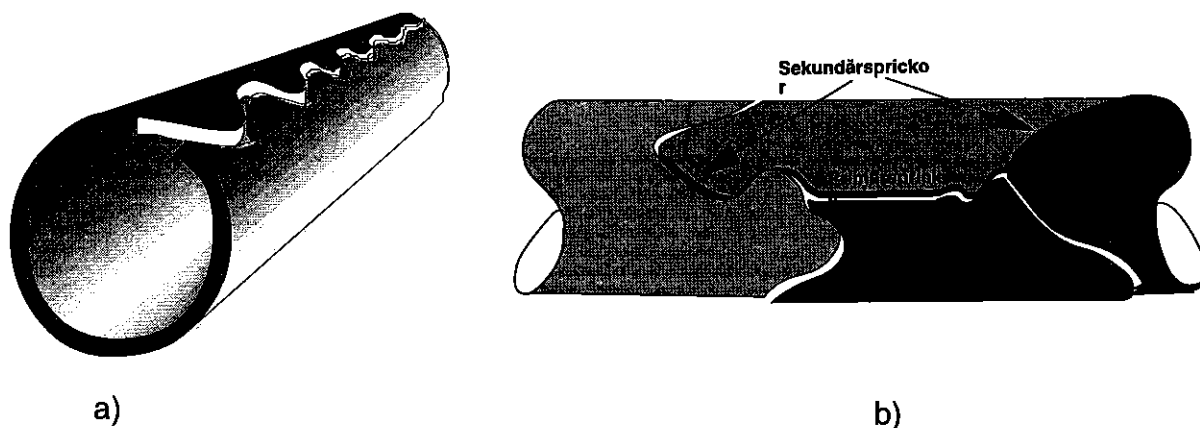
Gaz de France samarbetade med Ecole de Polytechnique (modellering) och Italgas samarbetade med SNAM (provningsslabb) och Politecnico di Milano (modellering och provning). Gas Research Institute samarbetade med Southwest Reserach Institute (modellering och provning).

5 Resultat

5.1 Snabb spricktillväxt i PE-rör

I plaströr kan det, under vissa ogynnsamma förhållanden, uppträda katastrofal instabil snabb spricktillväxt, RCP (Rapid Crack Propagation). RCP är ett fenomen där en spricka med ljudets hastighet kan propagera tiotals meter i axiell riktning, se figur 7. En annan snarlik typ av brott som propagerar i tangentialled (diametralklyvning av PE-röret) kallas ibland "kallbrott" eller "giljotinbrott". Detta har inträffat vid t.ex. avgrävning av stora rör vid låga temperaturer. I Frankrike har denna typ av brott rapporterats vid kapning

av rör då rören spruckit på grund av sin egentygnd och vid upprullning av rör då krökningsradien blivit för liten så att kraftiga spänningar införts i materialet. En översikt över olika typer av snabb spricktillväxt återfinns i Ref 11.



Figur 7

Olika utseende på en RCP spricka. a) är en längsgående spricka som kan propagera flera meter och b) är en spricka som svängt av och klyvt röret (giljotinbrott). Båda sprickorna har initierats av ett kraftigt yttre slag.

RCP startas framförallt av yttre påverkan, t.ex. om en grävmaskin skadar ett trycksatt plaströr. Stora rördimensioner ($\text{Ø} > 90$ mm), stor godstjocklek (> 10 mm), låg temperatur ($\leq 0^\circ\text{C}$) och högt inre övertryck ($p > 4$ bar) gynnar uppkomsten av RCP [11,12,13,14,15,16]. Alla moderna klassificerade PE-material måste genomgå RCP-provning.

Inom EVOPE-projektet har Italgas utfört RCP-provning enligt det s.k. Robertson-försöket. Resultat finns för HDPE-rör från Italgas. Av resultaten framgår att under provningstemperaturen -10°C erhöles mer än 0.6 m långa sprickor. Över -10°C blir spricklängden max 0.6 m. RCP-experiment från andra undersökningar visar att uppkomsten av långa RCP sprickor kan vara mycket olika för olika material. Resultaten från Italgas kan därför ej utan vidare generaliseras till andra rörmaterial. Se vidare i Ref 11.

5.2 Långsam spricktillväxt i PE-rör

Inom det internationella EVOPE-projektet har enaxlig konstantlastprovning genomförts med tre olika provningsgeometrier. Som komplement till den enaxliga provningen genomfördes även tryckprovning av anvisade rör (utfört vid Studsvik). Figur 5 visar de olika provningsgeometrierna för konstantlastprovning.

5.2.1 Resultat från SCG-provningar utförda vid Studsvik

Inom EVOPE-projektets svenska del har drygt 100 SCG-provningar genomförts, i huvudsak av tre kommersiella PE-kvaliteter. Provningsmetoden utfördes i luft vid olika temperaturer i intervallet 20-80°C. PE-rören var tillverkade enligt gängse kommersiella normer och kvalitetskontroll under 1991. Syftena med provningarna var att jämföra resultaten från SCG-provningen med övriga parters för att utvärdera olika provningsmetoder, jämföra olika kommersiella PE-kvaliteter och att möjliggöra livslängdsextrapolering av SCG-data. Provprepareringen beskrivs schematiskt i figur 4. Den största fördelen med provning av anvisade provstavar är att provningstiden kan förkortas avsevärt, mer än 15 gånger, jämfört med tryckprovning av icke anvisade PE-rör.

Relativa brottider vid olika temperaturer för tre PE-kvaliteter visas i tabell 2. Vid 80°C har MDPE-16 den längsta brottiden, 170 gånger längre. MDPE-17 och HDPE-2 uppvisar ej lika stor inbördes skillnad vid olika temperaturer. Den längsta brottiden vid 80°C och 4.7 MPa var cirka 6 000 h (MDPE-16). Det är således möjligt att göra livslängdsbedömning av PE-rör med SCG-provning av anvisade provstavar inom ett års provningstid.

Tabell 2
Rangordning av PE-kvaliteter baserat på SCG-provning vid olika temperaturer.

Råmaterial ¹⁾	Relativ brottid vid olika temperaturer			
	80°C ²⁾	60°C ³⁾	40°C ⁴⁾	20°C ⁵⁾
MDPE-17 (mediumdensitet)	1	1.2	1.8	1.8
HDPE-2 (högdensitet)	2.1	1	1	1
MDPE-16 (mediumdensitet)	170	>45 ⁶⁾	-7)	-8)

- 1) MDPE-17 är vanligt gasrörsmaterial i Sverige, HDPE-2 förekommer i Italien, MDPE-17 förekommer i Frankrike.
2) Nettospänning 4.70 MPa (motsvarar ett inre övertryck av 9 bar)
3) Nettospänning 6.09 MPa (motsvarar ett inre övertryck av 12 bar)
4) Nettospänning 8.35 MPa (motsvarar ett inre övertryck av 17 bar)
5) Nettospänning 8.70 MPa (motsvarar ett inre övertryck av 17 bar)
6) Provning pågår, löptid 14 500 h vilket ger en faktor >45
7) Inga prover är startade.

Inom EVOPE har en del data tagits fram angående korrelation mellan enaxlig SCG-provning och hydrostatisk tryckprovning av anvisade och icke anvisade rör av samma material. Tabell 3 anger en kvalitativ skillnad mellan provningsmetoderna för material HDPE-2 vid 80°C vid en och samma nettospänning.

Tabell 3

Skillnad i brottid för HDPE-2 mellan olika provningsmetoder vid 5 MPa (för 110x10 mm PE-rör motsvarar det cirka 10 bar) och 80°C.

Provningsmetod	Relativ brottid vid 80°C
Enaxlig provning av anvisade provstavar	1
Tryckprovning av anvisat rör	2-3
Tryckprovning av icke anvisat rör	15-20

Värdena i tabell 3 gäller vid standardprovningförhållanden som innebär relativt hög spänningsnivå. Vid lägre spänningsnivåer visar resultaten att skillnaden i tid till brott mellan enaxlig konstantlastprovning och tryckprovning ökar. Med ledning av dessa data bör livslängdsbedömningar, som baseras på provningsdata från anvisade provstavar, vara konservativa. Vid 3 MPa kan den relativa brottiden skilja upp till 60 gånger mellan tryckprovning och enaxlig konstantlastprovning.

EVOPE-projektet har visat att enaxlig provning av anvisade provstavar är tillämpligt för att rangordna olika PE-kvaliteter med avseende på SCG-motståndsförmåga. SCG-provning av denna typ är även utmärkt som kvalitetskontroll vid rörproduktion.

5.2.2 Resultat från övriga SCG-provningar inom EVOPE

Inom EVOPE-projektets internationella del finns provningsresultat tillgängliga från Italgas och Gaz de France. Kvalitativt gav de olika provningsmetoderna samma rangordning av HDPE-2, MDPE-16 och MDPE-17, som i tabell 2. Gaz de France fick liksom Studsvik mycket längre brottider för MDPE-16 än för övriga material. Metoderna gav snarlika brottider sinsemellan för ett och samma material. En utförlig presentation av alla resultat återfinns i Ref 20. Fyrpunktsböjprovning ger inte alltid brott utan snarare tiden till en viss grad av nedböjning.

5.3 Livslängdsbedömningar

5.3.1 Extrapolation av SCG-data från Studsvik

För att göra säkra uttalanden om livslängden vid normalt drifttryck och normal drifttemperatur krävs en omfattande experimentell datamängd från provning vid olika temperaturer. Om extrapolering skall ske med data från endast en temperatur är det nödvändigt att göra grova antaganden som resulterar i stor osäkerhet. För två av EVOPE materialen, MDPE-17 och HDPE-2, finns omfattande SCG-data framtaget från flera temperaturer. För MDPE-16 genomfördes provningen endast vid 80 och 60°C p.g.a. långa provningstider (>1.6 år) med få data som följd.

Extrapolering har utförts med multipel linjär regression (MLR) av brottidsdata. MLR innebär att tid till brott, belastning och provningstemperatur anpassas till en ekvation med tre eller fyra konstanter (A,B,C,D i ekv. 1).

$$\lg t_f = -A - \frac{B}{T} \lg \sigma + \frac{C}{T} + D \lg \sigma \quad (1)$$

t_f är tiden till brott (h), σ är spänningen (MPa) i röret eller provstaven och T är provningstemperaturen (K). Metoden finns presenterad i Ref 17. Brottidsdata analyseras statistiskt så att 97.5 % undre konfidensgränsen beräknas.

Resultaten från extrapolering av SCG-data finns presenterade i Ref 22 där data från SCG proj 91-10 och 94-05 har inkluderats. Resultaten visas i tabell 4. Extrapoleringen följer endast metodiken beskriven i Ref 17 (alla statistiska krav är ej uppfyllda).

Tabell 4 Extrapolering av livslängd med multipel linjär regression

PE-kvalitet	Extrapolerade brottider (år) vid 20°C och $\sigma=2$ MPa	
	97.5 % undre konfidensgräns ¹⁾	Medelvärde ²⁾
MDPE-17	161	618
HDPE-2	31	71
MDPE-16	-	-

1) 2.5 % sannolikhet för brott, konfidensgräns 97.5 %

2) 50 % sannolikhet för brott

Det är ej möjligt att ange ett värde för livslängden för MDPE-16 då brottider endast finns vid 80°C. Vid 80 och 60°C är emellertid brottiden för MDPE-16 betydligt längre än den för MDPE-17 och HDPE-2. Strikt gäller extrapoleringen endast för experimentuppställningen, d.v.s. för anvisade provstavar vid rumstemperatur i luftmedium. Om PE-materialet inte påverkas genom mjukgörning eller kemisk nedbrytning är en allmän uppfattning att en viss livslängd i luftmedium även kan anses gälla för naturgasmedium.

5.3.2 Livslängdsmodell

Den övergripande målsättningen med projektet var att ta fram en modell för beräkning av livslängd utgående från SCG-data (brottsdata från provning av långsam spricktillväxt). Inom EVOPE valde deltagande parter olika tillvägagångssätt för att ta fram en livslängdsmodell. Gaz de France valde en avancerad brottmekanisk modell som inte var färdigutvecklad vid projektslutet utan kommer att fortsätta utvecklas. Italgas valde att använda klassisk linjär brottmekanik för att beräkna livslängden från 4-punktsböjprovning. Inte heller Italgas har avslutat sitt arbete med livslängdsmodell. Studsvik valde en semi-empirisk modell (multipel linjär regression) för livslängdsextrapolering, se ekvation 1. Metoden ger även en statistisk behandling av mätadata.

5.4 Övriga resultat

5.4.1 Fälthaverier i PE-rör för gasdistribution

Inom EVOPE har Gaz de France sammanställt fälthaverier från Frankrike och USA. Dessa återfinns i Ref 8 och 9. Fälthaverierna från USA finns även rapporterade i Ref 10.

Med "haveri" avses att hål uppstår i rörväggen med gasläckage som följd. Av totalt 368 haverier har 309 (84 %) uppstått svetsade förband. Ingen information finns om fälthaverier i Italien och Sverige. Viss muntlig information har erhållits från Svenska Gasföreningen. Definitionen av "fälthaverier" har i vissa fall utsträckts till att även omfatta haveri vid provtryckning av PE-ledning och tangentiellt segbrott eller sprödbrott på grund av avgrävning eller annan yttre orsak.

För alla rapporterade haverier i Ref 8 och 9 finns uppgift om typ av haveri. Vissa fälthaverier är mer detaljerat studerade. För detaljerat undersökta fälthaverier finns mer eller mindre kompletta uppgifter på typ av haveri, orsak till haverierna, råmaterial, rördimension och/eller svetsförbandstyp, drifttid före haveri och kommentarer. GRI's fälthaverikatalog [10] omfattar även bilder på brottytor och i vissa fall kemiska och mekaniska analyser på havererat material.

Fälthaverikatalogen från **Gas Research Institute** omfattar 276 fall inrapporterade under perioden 1980-01-01 till 1989-08-01 [8,9,10]. Det är viktigt att poängtera att många av haverierna uppkom i första generationens PE-material med hög densitet och dålig motståndskraft mot långsam spricktillväxt. I genomsnitt inträffade ett fälthaveri per 2 174 km PE-ledning. Haverierna orsakades av dåligt material i rör eller svetsförband, monteringsfel (hopsättningsfel) eller tillverkningsfel (felaktigheter vid rörtillverkning o. dyl.) [8, 9]. Av alla rapporterade haverier kunde 88 % härledas till olika fel hos svetsförband. Den enskilt mest förekommande kategorin av haverier var fel vid servisledningsanslutning, vilka omfattar mer än 43 % av totalt antal haverier.

Gaz de France's fälthaverikatalog omfattar 92 fall. Av alla rapporterade haverier kunde 65 härledas till olika fel hos svetsförband. I genomsnitt inträffade ett fälthaveri per 540 km PE-ledning. Den enskilt mest förekommande kategorin av haverier var felaktigt svetsförband på grund av felaktiga svetsparametrar, vilka uppgick till 19 rapporterade fall. Svetsparametrarna har ändrats på grund av att utrustningen har påverkats eller till följd av variation i värmetrådarnas resistans. Felaktig användning av verktyg eller användning av fel typ av verktyg kan förekomma i de fall rörgraven är för trång för det korrekta (och mer utrymmeskrävande) verktyget. Fel vid skrapning av rör tycks framförallt uppstå då för mycket material skrapas bort. Då uppstår ett gap mellan svetsförbandet och röret som ej kommer att fyllas av smält material under svetsningen. En kavitet uppstår då med sprickinitiering som följd. Vätskeformig inneslutning kan uppstå om t.ex. fett eller lösningsmedel finns kvar i svetsförbandet då svetsningen påbörjas. Vid uppvärmning under svetsprocessen kommer gasbubblor att uppstå i vätskeformiga inneslutningar.

5.4.2 Datorprogram

Då arbetet med modellutvecklingen fortfarande pågick vid projektets slut hos Gaz de France och Italgas valde Studsvik att utveckla ett eget interaktivt datorprogram där mycket av informationen från EVOPE finns lagrad. Syftet med programmet är att möjliggöra enkel beräkning av livslängd med utgångspunkt från data som genererats inom EVOPE. Programmet omfattar även fältlastberäkningar och fälthaverikatalog [1,21]. Fältlastberäkningarna är framtagna baseras modeller framtagna av Lars-Eric Jansson och Jan Molin [24]. Datorprogrammet, som finns i en preliminär version, är utvecklat för Microsoft EXCEL 4.0. För mer information kontakta Studsvik eller SGC.

6 Diskussion och slutsatser

För att nå långt med forskningsverksamhet som gäller materials livslängd är samarbete helt nödvändigt. Inom detta projekt har samarbete etablerats med partners från Europa och USA. Nedan har vi försökt sammanfatta de viktigaste erfarenheterna/slutsatserna från EVOPE-projektet:

- * Tillgång till unika fälthaveridata från Gaz de France och Gas Research Institute.
- * Tillgång till data och modelleringskunskap från Southwest Research Institute (Texas, USA).
- * Samarbete inom EVOPE har resulterat i kontakter med Italgas, Gaz de France, Ecole de Polytechnique (Frankrike), Gas Research Institute (USA), SNAM (Italien), Politecnico di Milano (Italien), Southwest Research Institute (USA) och Univ of Illinois (USA).
- * Möjlighet att jämföra "svenskt" PE-gasrör med motsvarande i Frankrike, Italien och USA.

Några viktiga tekniska slutsatser var följande:

- * Fälthaveristatistik som sammanställts inom EVOPE-projektet visar att 84 % av alla rörledningshaverier i USA och Frankrike uppstod i svetsförband. I vissa fall erhöles snabb spricktillväxt tvärs röret vid tredjepartsskada på rören. Snabb spricktillväxt gynnas av stora rördimensioner, stor godstjocklek, låg temperatur och högt inre övertryck.
- * Inom projektet har provning av långsam spricktillväxt genomförts. Resultaten visar att provning med anvisade provstavar (SCG-provning) förkortar tiden till brott med mer än 15 gånger jämfört med icke anvisade prov, förutsatt att provet inte blir kemiskt nedbrutet. Med SCG-provning tar det i allmänhet mindre än ett år, beroende på materialkvalitet, att göra en bedömning av PE-rörens motståndsförmåga mot långsam spricktillväxt. Av tre kommersiella materialkvaliteter (PE-rör från Frankrike, Italien och Sverige) uppvisade det svenska materialet längst tid till brott vid 80°C. En slutsats är att SCG-provning framstår som en bra metod för kontroll av livslängd.
- * Livslängden vid 20°C och "4 bars inre övertryck" (nominell dragspänning 2 MPa) bedöms vara mellan 30 och 600 år för två av materialkvaliteterna för anvisade prover. Med ledning av data från tryckprovning och anvisade prover bör livslängdsbedömningar vara konservativa, som baseras på provningsdata från anvisade provstavar.

EVOPE-projektet har medfört att data och metoder finns tillgängliga för säkrare underlag för livslängdsbedömning av PE-rör för gasdistribution. Inom EVOPE projektet har samband mellan provning av anvisade rör (eller provstavar) och icke anvisade rör tagits fram. Det medför att SCG-provning kan användas för mer kvalificerade livslängdsbedömningar än tidigare utan att ett omfattande provningsprogram behöver genomföras.

Erkännande

NUTEK och Vattenfall/Svenskt Gastekniskt Center tackas för finansieringen av detta projekt. Ett särskilt tack riktas till Jörgen Thunell, Svenskt Gastekniskt Center, och Bo Berggren, Vattenfall Mellansverige, för allt stöd och hjälp under projektets genomförande. Mats Ifwarson på Studsvik har under hela projektet varit till stor hjälp som diskussionspartner.

Referenser

- 1 TRÄNKNER, T., IFWARSON, M.
"EVOPE-Utvärdering av polyetenrör för gasdistribution, dokumentation till seminarium i Malmö den 21 april, 1994", Studsvik Material AB, 1994 (Studsvik/M-94/34).
- 2 Seminarium, "Information om aktuella projekt kring PE-material för gasledningar" med Svenskt Gastekniskt Center och Värmeforsk på Svenska Gasföreningen, Stockholm, 1993-04-20.
- 3 "Fracture Mechanics - A Tool for Lifetime Prediction of Polyethylene Gas Pipes?", Stockholm, 1993-04-26.
- 4 TRÄNKNER, T. , GEDDE, U. W.
Lifetime of Polyethylene Gas Pipes in Uniaxial Tension. Paper presented at the 14th International Plastic Fuel Gas Pipe Symposium, San Antonio, USA, 1993.
- 5 BERNDTSON, B.
Medium Density Polyethylene Piping Material for Elevated Temperature Use. 11th International Plastic Fuel Gas Pipe Symposium, 1989, p 214-225.
- 6 KIMURA, H.
City Gas Distribution Pipe Systems Built With Plastics in Europe. Japan Plastics Age, Nov. Dec. (1984), p 14-32.
- 7 DEWITT, R.
High Performance PE Compounds for Safer Gas and Water Transportation. Plastics Pipe VIII Symposium, 1992, p C2/2.
- 8 A Comparison of the Reports Collected by the DETN and GRI on Incidents Involving Pipes in the Polyethylene Gas Distribution Network. Gaz de France, 1992. (Doc. Evope No. 1993-035).
- 9 Failures in Joints in Gas Polyethylene Networks, Comparison Between Incidents Registered by DETN and GRI. Gaz de France, 1993. (Doc. Evope No. 1993-048).
- 10 Field Failure Catalogue for Polyethylene Gas Piping. First Edition, Jan 1980-Dec. 1984, GRI-84/0235.1 (Mars 1986) Addendum no.1, Jan 1987-June 1989, GRI-84/0235.2 (July 1989).

- 11 LEIS, B. N.
Rapid Crack Propagation in Polyethylene gas Piping Systems.
Presented at the 11:th International Plastic Fuel Gas Pipe
Symposium, 1989, p 354-363.
- 12 HULBERT, L. E. et al
Field Failure Reference Catalogue: Addendum 1. Battelle Final
Report to the Gas Research Institute (July 1988).
- 13 GdF's characterisation program for SCG samples, part 1, slit ring
opening, impact resistance, tensile properties.
Gaz de France, 1993. (EVOPE doc. no. 1993-039).
- 14 ISO/DIS 13477, prEN 33477
Thermoplastics pipe for the conveyance of fluids - Resistance to
crack propagation - Determination of the critical pressure for rapid
crack propagation (small-scale steady-state test (method S4)).
- 15 GREIG, J. M., EWING, L.
Fracture Propagation in Polyethylene. Proc of Plastic Pipes V,
conference paper, p 14.1-11.
- 16 ISO/DIS 13478, prEN 44378
Polyethylene (PE) pipes for the supply of natural gas - Resistance
to crack propagation - Determination of the critical hoop stress for
rapid crack propagation (full-scale test).
- 17 ISO TR 9080:1992(E). Teknisk rapport angående standardiserad
extrapoleringsmetodik, 1992.
- 18 LEIJSTRÖM, H.
SEM-Evaluation of the polyethylene pipe grade mentioned in
ISO/TR 9080:1992(E). Studsvik Material AB, 1993, (Studsvik/M-
93/126).
- 20 GUEUGNAUT D., et.al.
Collaborative Research on the Long-Term Service Integrity of
Polyethylene Gas Pipes. Proc of IGRC 95, Cannes, 6-9 Nov 1995.
- 21 TRÄNKNER T, IFWARSON M
EVOPE - Utvärdering av polyetenrör för gasdistribution,
slutrapport. Studsvik Report M-94/61.
- 22 TRÄNKNER, T.
EVOPE - Fortsatt provning av pågående försök. Studsvik
Arbetsrapport M-95/24.
- 23 TRÄNKNER, T.
Structure and Resistance to Crack Growth in Polyethylene Pipe
Materials. Akademisk Licentiatsavhandling, Tekniska Högskolan i
Stockholm, 1995.
- 24 JANSSON L-E, MOLIN J
Design and installation of buried plastic pipes. Stockholm, 1991,
ISBN 87-983636-0-3.

96-07-29

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
001	Systemoptimering vad avser ledningstryck	Apr 91	Stefan Grudén TUMAB	100
002	Mikrokraftvärmeverk för växthus. Utvärdering	Apr 91	Roy Ericsson Kjessler & Mannerstråle AB	100
004	Krav på material vid kringfyllnad av PE-gasledningar	Apr 91	Jan Molin VBB VIAK	50
005	Teknikstatus och marknadsläge för gasbaserad minikraftvärme	Apr 91	Per-Arne Persson SGC	150
006	Keramisk fiberbrännare - Utvärdering av en demo-anläggning	Jan 93	R Brodin, P Carlsson Sydkraft Konsult AB	100
007	Gas-IR teknik inom industrin. Användnings- områden, översiktlig marknadsanalys	Aug 91	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	100
009	Läcksökning av gasledningar. Metoder och instrument	Dec 91	Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
010	Konvertering av aluminiumsmältugnar. Förstudie	Sep 91	Ola Hall, Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
011	Integrerad naturgasanvändning i tvätterier. Konvertering av torktumlare	Sep 91	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	100
012	Odöranter och gasolkondensats påverkan på gasrörssystem av polyeten	Okt 91	Stefan Grudén, F. Varmedal TUMAB	100
013	Spektralfördelning och verkningsgrad för gaseldade IR-strålare	Okt 91	Michael Johansson Drifttekniska Institut. vid LTH	150
014	Modern gasteknik i galvaniseringsindustri	Nov 91	John Danelius Vattenfall Energisystem AB	100
015	Naturgasdrivna truckar	Dec 91	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
016	Mätning av energiförbrukning och emissioner före o efter övergång till naturgas	Mar 92	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	50
017	Analys och förslag till handlingsprogram för området industriell vätskevärmning	Dec 91	Rolf Christensen ÅF-Energikonsult Syd AB	100
018	Skärning med acetylen och naturgas. En jämförelse.	Apr 92	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100

96-07-29

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
019	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Glostorp, Malmö. Uppföljningsprojekt	Maj 92	Fallsvik J, Haglund H m fl SGI och Malmö Energi AB	100
020	Emissionsdestruktion. Analys och förslag till handlingsprogram	Jun 92	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
021	Ny läggningsteknik för PE-ledningar. Förstudie	Jun 92	Ove Ribberström Ove Ribberström Projekt. AB	150
022	Katalog över gastekniska FUD-projekt i Sverige. Utgåva 4	Aug 92	Svenskt Gastekniskt Center	150
023	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Lillhagen, Göteborg. Uppföljningsproj.	Aug 92	Nils Granstrand m fl Göteborg Energi AB	150
024	Stumsvetsning och elektromuffsvetsning av PE-ledningar. Kostnadsaspekter.	Aug 92	Stefan Grudén TUMAB	150
025	Papperstorkning med gas-IR. Sammanfattning av ett antal FUD-projekt	Sep 92	Per-Arne Persson Svenskt Gastekniskt Center	100
026	Koldioxidgödsling i växthus med hjälp av naturgas. Handbok och tillämpn.exempel	Aug 92	Stig Arne Molén m fl	150
027	Decentraliserad användning av gas för vätskevärmning. Två praktikfall	Okt 92	Rolf Christensen ÄF-Energikonsult	150
028	Stora gasledningar av PE. Teknisk och ekonomisk studie.	Okt 92	Lars-Erik Andersson, Åke Carlsson, Sydkraft Konsult	150
029	Catalogue of Gas Techn Research and Development Projects in Sweden (På engelska)	Sep 92	Swedish Gas Technology Center	150
030	Pulsationspanna. Utvärdering av en demo-anläggning	Nov 92	Per Carlsson, Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	150
031	Detektion av dräneringsrör. Testmätning med magnetisk gradiometri	Nov 92	Carl-Axel Triumf Triumf Geophysics AB	100
032	Systemverkn.grad efter konvertering av vattenburen elvärme t gasvärme i småhus	Jan 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem AB	150
033	Energiuppföljning av gaseldad panncentral i kvarteret Malörten, Trelleborg	Jan 93	Theodor Blom Sydkraft AB	150
034	Utvärdering av propanexponerade PEM-rör	Maj 93	Hans Leijström Studsvik AB	150

96-07-29

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
035	Hemmatankning av naturgasdriven personbil. Demonstrationsprojekt	Jun 93	Tove Ekeborg Vattenfall Energisystem	150
036	Gaseldade genomströmningsberedare för tappvarmvatten i småhus. Litteraturstudie	Jun 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem	150
037	Verifiering av dimensioneringsmetoder för distributionsledningar. Litt studie.	Jun 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
038	NOx-reduktion genom reburning med naturgas. Fullskaleförsök vid SYSAV i Malmö	Aug 93	Jan Bergström Miljökonsulterna	150
039	Pulserande förbränning för torkändamål	Sep 93	Sten Hermodsson Lunds Tekniska Högskola	150
040	Organisationer med koppling till gasteknisk utvecklingsverksamhet	Feb 94	Jörgen Thunell SGC	150
041	Fältsortering av fyllnadsmassor vid läggning av PE-rör med lägningsbox.	Nov 93	Göran Lustig Elektro Sandberg Kraft AB	150
042	Deponigasens påverkan på polyetenrör.	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
043	Gasanvändning inom plastindustrin, handlingsplan	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
044	PA 11 som material ledningar för gasdistribution.	Dec 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
045	Metoder att höja verkningsgraden vid avgaskondensering	Dec 93	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	150
046	Gasanvändning i målerier	Dec 93	Charlotte Rehn et al Sydkraft Konsult AB	150
047	Rekuperativ aluminiumsmältugn. Utvärdering av degelugn på Värnamo Pressgjuteri.	Okt 93	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	150
048	Konvertering av dieseldrivna reservkraftverk till gasdrift och kraftvärmeprod	Jan 94	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult AB	150
049	Utvecklad teknik för gasinstallationer i småhus	Feb 94	P Kastensson, S Ivarsson Sydgas AB	150
050	Korrosion i flexibla rostfria insatsrör (Finns även i engelsk upplaga)	Dec 93	Ulf Nilsson m fl LTH	150

96-07-29

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
051	Nordiska Degelugnsprojektet. Pilöt- och fältförsök med gasanvändning.	Nov 93	Eva-Maria Svensson Glafo	150
052	Nordic Gas Technology R&D Workshop. April 20, 1994. Proceedings.(På engelska)	Jun 94	Jörgen Thunell, Editor Swedish Gas Center	150
053	Tryckhöjande utrustning för gas vid metallbearbetning -- En förstudie av GT-PAK	Apr 94	Mårten Wärnö MGT Teknik AB	150
054	NOx-reduktion genom injicering av naturgas i kombination med ureainsprutning	Sep 94	Bent Karll, DGC P Å Gustafsson, Miljökons.	100
055	Trevägskatalysatorer för stationära gasmotorer.	Okt 94	Torbjörn Karlelid m fl Sydkraft Konsult AB	150
056	Utvärdering av en industriell gaseldad IR-strålare	Nov 94	Johansson, M m fl Lunds Tekniska Högskola	150
057	Läckagedetekteringssystem i storskaliga gasinstallationer	Dec 94	Fredrik A Silversand	150
058	Demonstration av låg-NOx-brännare i växthus	Feb 95	B Karll, B T Nielsen Dansk Gasteknisk Center	150
059	Marknadspotential naturgaseldade industriella IR-strålare	Apr 95	Rolf Christensen Enerkon RC	150
060	Rekommendationer vid val av flexibla insatsrör av rostfritt i villaskorstenar	Maj 95	L Hedeem, G Björklund Sydgas AB	50
061	Polyamidrör för distribution av gasol i gasfas. Kunskapssammanställning	Jul 95	Tomas Tränkner Studsvik Material AB	150
062	PE-rörs tålighet mot yttre påverkan. Sammanställning av utförda praktiska försök	Aug 95	Tomas Tränkner Studsvik Material AB	150
063	Naturgas på hjul. Förutsättningar för en storskalig satsning på NGV i Sverige	Aug 95	Naturgasbolagens NGV- grupp	150
064	Energieffektivisering av större gaseldade pannanläggningar. Handbok	Aug 95	Lars Frederiksen Dansk Gasteknisk Center	200
065	Förbättra miljön med gasdrivna fordon	Aug 95	Göteborg Energi m fl	150
066	Konvertering av oljeeldade panncentraler till naturgas. Handbok.	Nov 95	Bo Cederholm Sydkraft Konsult AB	150

96-07-30

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
067	Naturgasmodellen. Manual för SMHI:s program för beräkn av skorstenshöjder	Dec 95	Tingnert B, SKKB Thunell J, SGC	150
068	Energigas och oxyfuelteknik	Dec 95	Ingemar Gunnarsson Energi-Analys AB	150
069	CO2-gödsling med avgaser från gasmotor med katalysator	Dec 95	Bent Karll Dansk Gasteknisk Center	150
070	Utvärdering av naturgasförbränning i porösa bäddar	Mar 96	Henric Larsson Lunds Tekniska Högskola	150
071	Utvärdering av naturgasdrivna IR-boostar i ugn för pulverlackering	Nov 95	Ole H Madsen Asger N Myken	150
072	Sammanställning av emissionsdata från naturgas-, biogas- o motorgasdrivna fordon	Jun 96	Hans-Åke Maltesson Svenskt Gastekniskt Center AB	150
073	Livslängdsbestämning för PE-rör för gasdistribution (EVOPE-projektet)	Jul 96	Tomas Tränkner Studsvik Material AB	100
A01	Fordonstankstation Naturgas. Parallellkoppling av 4 st Fuel Makers	Feb 95	Per Carlsson Göteborg Energi	50
A02	Uppföljning av gaseldade luftvärmare vid Arlövs Sockerraffinaderi	Jul 95	Rolf Christensen Enercon RC	50
A03	Gasanvändning för färjedrift. Förstudie (Endast för internt bruk)	Jul 95	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult	0
A04	Bussbuller. Förslag till mätprogram	Jun 95	Ingemar Carlsson Ecotrans Teknik AB	50
A05	Värmning av vätskor med naturgas - Bakgrund till faktablad	Okt 95	Rolf Christensen Enerkon RC	50
A06	Isbildning i naturgasbussar och CNG-system (Endast för internt bruk)	Nov 95	Volvo Aero Turbines Sydgas, SGC	0
A07	Större keramisk fiberbrännare. Förstudie	Jan 96	Per Carlsson Sydkraft Konsult	50
A08	Reduktion av dioxin, furan- och klorfenoler vid avfallsförbränning	Maj 96	H Palmén, M Lampinen et al Helsingfors Tekniska Högskola	50
A09	Naturgas/mikrovågsteknik för sintring av keramer	Maj 96	Anders Röstin, KTH	50

96-07-30

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
A10	NOx-reduktion genom naturgasinjektion o reburning. Demoprojekt på Knudmoseverket	Apr 96	Jan Flensted Poulsen Völund R & D Center	50
A11	Direktorkning av socker med naturgas (Endast för internt bruk)	Jul 96	Rolf Christensen	0



Svenskt Gastekniskt Center AB

S-205 09 MALMÖ
Telefon: 040-24 43 10
Telefax: 040-24 43 14

KFS AB, LUND