
Rapport SGC 062

**PE-RÖRS TÅLIGHET MOT YTTRE
PÅVERKAN**

**Sammanställning över utförda praktiska
försök**

**Tomas Tränkner
Studsvik Material AB**

Augusti 1995



Rapport SGC 062
ISSN 1102-7371
ISRN SGC-R--62--SE

Rapport SGC 062

**PE-RÖRS TÅLIGHET MOT YTTRE
PÅVERKAN**

**Sammanställning över utförda praktiska
försök**

**Tomas Tränkner
Studsvik Material AB**

Augusti 1995



SGC:s FÖRORD

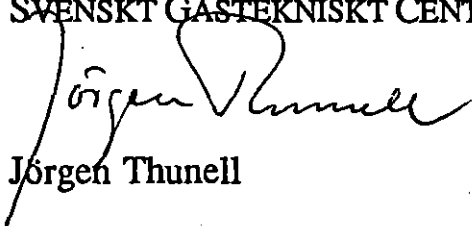
FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

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.

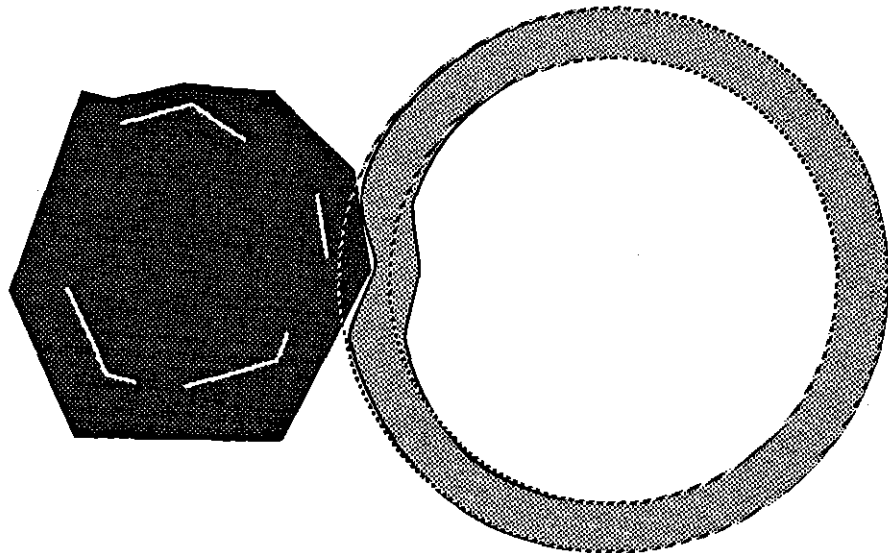
SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB


Jörgen Thunell

PE-RÖRS TÅLIGHET MOT YTTRE PÅVERKAN

Sammanställning över utförda praktiska försök

Tomas Tränkner



STUDSVIK MATERIAL AB
611 82 Nyköping
Tel 0155-22 14 87
Fax 0155-26 31 25

M-94/149f

1994-11-28

M-7352c

Tomas Tränkner

Svenskt Gastekniskt Center
SGC proj. 94.21

Programrådet för basforskning i Studsvik

PE-rörs tålighet mot yttre påverkan Sammanställning av utförda praktiska försök

Sammanfattning

Rapporten utgör en sammanställning över eventuella praktiska försök avseende PE-rörs tålighet mot yttre påverkan av repor, nötning och laster etc.. Information har sökts i databaser och genom direktkontakt med ett antal företag i Sverige och utomlands. 31 litteraturreferenser påträffades. Resultaten visar att omfattande data finns angående slagprovning av polyetenmaterial, beräkning av hoptryckning samt provning av långsam spricktillväxt i anvisade provstavar. Av litteraturreferenserna framgår att dagens PE-rör anses vara mycket tåliga mot repor men att äldre PE-rör är mindre tåliga mot repor. Inga undersökningar påträffades där praktiska försök har utförts på PE-ledning lagda i grusmaterial med skarpkantande stenar. Arbete utfördes på uppdrag av Svenskt Gastekniskt Center och inom Studsviks basforskningsprogram för polymerers livslängd.

Summary

The report presents a survey regarding investigations of the durability of PE-pipes towards external influences from scratches, wearing, loads etc.. Information was obtained by data base searches and by direct contact with industry in different countries. In total 31 literature references were found. Extensive data are available on the impact resistance of polyethylene, calculation of deflection and testing of slow crack growth in notched specimens. In the literature modern PE-pipes are considered as more scratch resistant compared to older PE-pipes. No investigation was found where practical test were performed on PE-pipes laid in gravel with sharp edged stones. The work was performed by commission from the Swedish Gas Technology Centre and the Basic Research Fund at Studsvik.

Godkänd av



Hans Lejström

Innehållsförteckning		sida
1	Inledning och målsättning	1
2	Genomförande	2
2.1	Databassökning	2
2.2	Direkta kontakter med företag	2
3	Resultat	3
3.1	Allmänt om polyeten	3
3.2	Direkta kontakter med företag	3
3.3	Databassökning	5
3.3.1	Undersökningar utförda av Gastech i Holland	5
3.3.2	Undersökningar utförda i USA	6
3.3.3	Undersökningar utförda av Osaka Gas m.fl.	7
3.3.4	Undersökningar utförda i Tyskland	7
3.3.5	Undersökningar utförda i England	7
3.3.6	SWAGE-lining med PE-rör	8
3.3.7	Undersökningar utförda i Sverige	9
4	Diskussion	10
5	Slutsatser	12
	Referenser	13
	Bilaga A	

1 Inledning och målsättning

Polyeten (PE) är det vanligaste plastmaterialet i plastledningar för distribution av naturgas upp till 4 bars tryck. För markförläggning av PE-ledningar finns föreskrifter för hur kringfyllnad och hantering av rören skall utföras. Då PE-rör är mer eller mindre känsliga för dels yttre och inre repor och dels böjspänningar och punktlaster krävs att PE-rören hanteras varsamt vid installation. Det är även nödvändigt att specificera kringfyllnadsmaterialet.

Målsättningen med litteraturstudien är att ta reda på om det gjorts praktiska försök för att kartlägga ett PE-rörs tålighet vad gäller yttre mekanisk påverkan, typ punktbelastningar från hårda, skarpkantade föremål, eller nötning med åtföljande repor o.s.v..

Följande frågeställningar skall om möjligt besvaras:

- a) Har det gjorts praktiska försök avseende vad en PE-ledning "tål"?
- b) Finns det undersökningar gjorda där en ledningsbit finns lagd i grusmaterial med skarpkantade stenar och belastat ledningen uppifrån eller dragit den fram och tillbaka?
- c) Eventuella förslag till fortsatta undersökningar.

Motivet bakom frågeställningen "Vad tål ett PE-rör?" är en misstanke att nuvarande specifikationer och krav avseende t.ex. fyllnadsmaterial, förstärkningar vid järnvägs korsningar etc. är för omfattande.

Projektet har genomförts på uppdrag av Svenskt Gastekniskt Center och ingår som en del i Studsviks basforskningsprogram för utvärdering av polymerers livslängd.

2 Genomförande

2.1 Databassökning

Databassökning genomfördes i följande databaser:

American Institute of Petroleum, Chemical Abstract, the Energy Data Base och RAPRA.

Följande sökprofil användes:

Polyethylene, PE, PE-pipes, MDPE, HDPE

Installation conditions

Impact behaviour, scratch, notches, tear resistance,
soil

third party damage

point loading

gravel

embedding, trench

laying technique

brittle

external forces, loads

Information har även sökts i dokumentation från olika symposier: Int. Gas Research Conference, Plastic Pipes Conference och Int. Plastic Fuel Gas Pipe Conference samt i befintlig litteratur vid Studsvik.

2.2 Diretkontakt med företag

En adressförteckning till respektive företag återfinns i bilaga A.1.

3 Resultat och diskussion

3.1 Allmänt om polyetenrörs "tålighet"

PE-rör för gasdistribution utsätts under installation och drift av ett antal olika faktorer som kommer att påverka livslängden hos rörsystemet. "Tålighet" är ett vitt begrepp och kan t.ex. innefatta:

nötningsresistens
styvhet
seghet vid olika temperaturer
brottöjning
hårdhet
känslighet för repor som kan initiera sprickor

tålighet mot: inverkan av böjspänningar och punktlaster
inverkan av yttre laster från kringfyllnad och rörelser i jorden
temperaturvariationer
miljöfaktorer (gasmedium, påverkan av fukt, närvaro av kemikalier)

3.2 Direkta kontakter med företag

En adressförteckning över kontaktade företag återfinns i bilaga A.1.

Enligt **Politecnico di Milano** och **Italgas** finns inga undersökningar genomförda i Italien avseende kringfyllnadsmaterial, punktlaster och yttre lasters inverkan på livslängden hos PE-rör för gasdistribution. Vissa undersökningar finns gjorda av **SNAM** i Milano på stålrör för naturgasdistribution men de resultaten är förmodligen av ringa intresse för PE-rör.

Gaz de France har utfört interna undersökningar med laboratoriemässigt utförda repor på rör som sedan har tryckprovats. De har sedan utvecklat modeller för beräkning av spricklängden. De finns ett projektförslag till vidare studier av sekundära lasters inverkan på PE-rörs livslängd, speciellt vad avser inverkan av böjning och punktlaster. I det tänkta projektet skall **Gaz de France** utföra provningar i en speciell fullskalrigg där plaströr utsätts för kontrollerade punktlaster och böjmoment under samtidig inverkan av inre övertryck. Inbjudan att delta i projektet har skickats ut till olika gasbolag i världen bl.a. **GRI**, **Tokyo Gas** och till **Sydskraft AB**. Bakgrunden till projektförslaget är att **Gaz de France** har konstaterat att fälthaverier i USA ofta är orsakade av punktlaster och böjmoment. Till viss del har de även konstaterat detta i sin egen fälthaveristatistik.

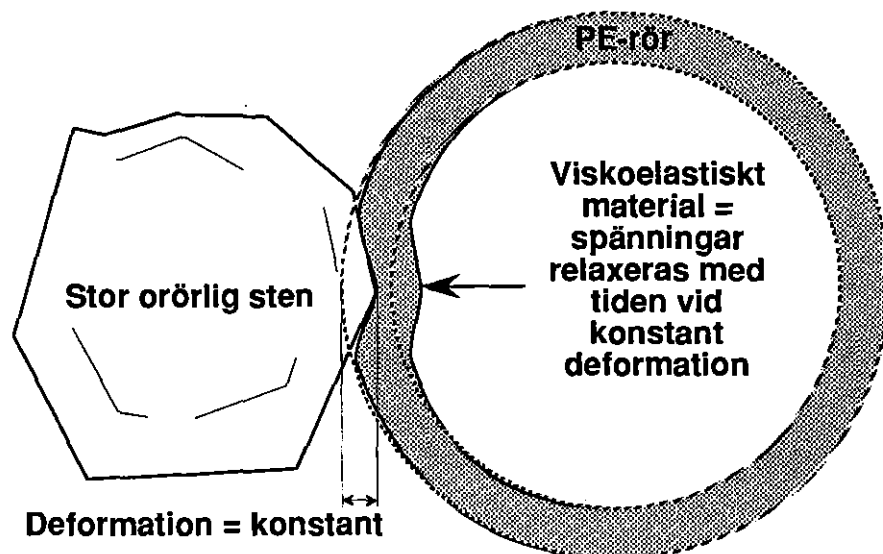
Nordisk Wavin i Danmark har inga egna erfarenheter från undersökningar av skador på PE-rör. Däremot har **Wavin R&D** i Holland genomfört ett antal projekt inom sekundära lasters påverkan på PE-rör. På **Gastec** gjordes för flera år sedan en undersökning av punktlasters inverkan på PVC och PE-rör. De fann att första generationens PE-rör sprack i de punkter de utsatts för kombinationen böjning och punktlast. De utvecklade ett datorprogram (**Wolters och Alferink**) för beräkning av livslängd. Detta finns avrapporterat på **IGRC**, se avsnitt 3.3.1. Denna modell applicerades på andra och tredje generationens material och då fann man att livslängden skulle bli flera hundra år. De är idag av uppfattningen att moderna PE-material har god talighet mot punktlaster. **Frans Alferink** på **Wavin R&D** poängterar att då töjningarna är små och tiderna är långa kommer alla inre spänningar att relaxera som är

orsakade av punktlaster. Frans Alferink rekommenderar att samma material som grävs upp också används för att lägga tillbaka materialet. Om material med annan densitet än kringliggande material används kommer detta antingen att sakta sjunka ned i marken, om det är tyngre, eller spolas bort om det är lättare. Grus/sten kan vara det bästa i bergterräng. Han tror inte att moderna PE-material är känsliga för repor. Det är mer riskfyllt med böjspänningar.

Melvin Kanninen (MK) på **Southwest Research Institute (SwRI)** i USA meddelar att Battelle på uppdrag av Gas Research Institute (GRI) har utfört en serie undersökningar av inverkan av yttre laster och mindre defekter på PE-rörs livslängd. MK känner inte till några undersökningar där PE-rörs livslängd har undersökts för olika typer av kringfyllnadsmaterial. MK anser att om en sådan undersökning skall genomföras bör det ske med utgångspunkt från en brottmekanisk beskrivning av långsam spricktillväxt.

SwRI har haft diskussioner med GRI angående undersökning av skarpkantade stenars inverkan på spricktillväxt i PE-rör. Det finns dock i dagens läge inte tillräcklig intresse inom industrin i USA för denna typ av undersökningar. MK tycker att problematiken är intressant och ställer frågan om intresse finns för detta i Europa för ett eventuellt samarbetsprojekt i någon form.

Ingemar Björklund på **Nordiska Plaströrgruppen** i Stockholm kan anses representera fabrikanter av plaströr för avloppsrör och vattenrör. Ingemar Björklund har under lång tid jobbat tillsammans med Lars Erik Jansson på **VBB Konsult**. Lars Erik Jansson har publicerat ett stort antal artiklar och rapporter inom plaströrskonstruktion, se vidare avsnitt 3.3.7. Enligt Ingemar Björklund anses punktlaster inte vara ett problem för vare sig PVC-rör eller PE-rör. Fram till 1973 förekom haverier i PVC-rör på grund av punktlaster. Materialutvecklingen har emellertid gjort att haverier i PE och PVC på grund av stenintryckning ej har konstaterats i Sverige sedan 1973. PVC är betydligt styvare än PE men har ändå utvecklats så pass att det är relativt tåligt mot punktlaster och långsam spricktillväxt. Eftersom en punktlast ofta kan vara en punktintyckning kommer intryckningskraften att avta med tiden på grund av spänningsrelaxation i rörmaterialet. Efter en viss tid kommer därför alla punktlaster att vara relaxerade i stor utsträckning.



Figur 1
Principskiss för ett rör som utsätts för en punktintyckning.

Ingemar Björklund tycker att finkornig kompakterad sand måste användas som kringfyllnad vid läggning av rör. Annars kommer röret att bli ovalt och detta kan orsaka läckor i kopplingar och påverka fallinjen för avloppsrör. Fyllnadsmaterialet måste kompakteras annars kommer röret att kunna röra sig med deformationsrisk som följd. IB anser att om alla gällande specifikationer följs för tillverkning och installation av PE-rör finns det ingen risk för att haverier skall uppstå.

3.3 Databassökning

Nedan följer en sammanställning över de artiklar som har påträffats med anknytning till frågeställningarna inom "Vad tål ett PE-rör?".

3.3.1 Undersökningar utförda av Gastech i Holland

Ref 1 presenterar en metod för att slagprova uPVC-rör för gasdistribution. Det är under vissa omständigheter möjligt att med en spade spräcka ett uPVC-rör. Gastec har därför utvecklat en provningsmetod där en fallande vikt slår mot ett uPVC rör under kontrollerade former. Den fallande vikten består av en spade och en vikt.

I Ref 2 har finita elementberäkningar genomförts av yttre lasters inverkan på PVC-rör. Kompakteringen och kvaliteten på kringfyllnadsmaterialen har avgörande betydelse för hur röret trycks ihop.

Ref 3 redovisar beräkning av livslängd hos PE-rör med hänsyn till yttre påverkan av fyllnadsmaterial. Resultaten visar att livslängd som beräknas enbart utgående från tryckprovingsdata ger längre extrapoleringstider jämfört med då eventuella effekter av kringfyllnadsmaterial beaktas.

Hoptryckning av ett plaströr påverkas ej av trafiklasten direkt [4]. Det är istället fyllningen runt röret som påverkas. Ref 4 redovisar ett antal faktorer som påverkar hoptryckningen av ett plaströr.

I Holland uppträdde sprödbrott i PE-rör som var installerade före 1975 [5]. Alla dessa haverier berodde på punktlaster av olika slag, t.ex. stenar som pressas mot PE-röret, kontakt med andra rör eller andra hinder i jorden runt PE-röret. Alla havererade PE-rör tillhörde den s.k. första generationens material. Extrapolering av livslängden hos dessa PE-rör utan punktlast skulle ge en livslängd på 511 år, se tabell 1. Med punktlast blev livslängden 6.2 år. För moderna PE-material av andra och tredje generationen (PE-rör tillverkade på 80- och 90-talet) kommer livslängden enligt beräkningar i Ref 5 ej påverkas av punktlaster. Livslängden blir minst 500 år både med och utan punktlaster [5].

Tabell 1
Beräknad livslängd för fyra olika PE-typer [5].

Typ av polyeten	Livslängd i år Utan punktlaster		Med punktlaster	
	Medelvärde	LCL ¹⁾	Medelvärde	LCL ¹⁾
Generation 1 PE	>500	275	511	6.2
Generation 2 HDPE	>500	>500	>500	500
Generation 2 MDPE	>500	>500	>500	>500
Generation 3 MDPE	>500	>500	>500	>500

1) 95 % undre konfidensgräns.

Kompaktering av fyllnadsmaterialet är den viktigaste installationsfaktorn [6]. Om kompakteringen sker dåligt kan i värsta fall hoptryckningen av röret bli mer än 5 % vilket i sin tur kan leda till att läckage uppstår i svetsfogar.

3.3.2 Undersökningar utförda i USA

Ref. 7 visar med en matematisk modell att stora böjningsradier, skarpa anvisningar och höga temperaturer medför förkortad livslängd. Modellen utgår från en brottmekanisk beskrivning av långsam spricktillväxt. Generellt sett rekommenderas att maximal böjningsradie är 20 ggr ytterdiametern för osvetsade rör och 125 ggr ytterdiametern för svetsade rör [7].

Ref 8 har undersökt hur olika typer av anvisningar (rakbladstryckning, skärning med skalpell och fräsning) inverkar på livslängden hos PE-rör. Skarpa anvisningar är mest kritisk ur livslängdssynpunkt. Enaxlig dödviktsprovning utfördes vid 80°C med provstavar med olika typ av anvisning. Mest kritiskt är om ett rakblad långsamt trycks in (brottid 468 h vid 80°C), mindre kritiskt var om en anvisning skärs med skalpell (brottid 1 110 h vid 80°C). Längst brottid erhöles för prover som var anvisade med fräsning (brottid 3 330 h vid 80°C).

PE-rör som kopplats med klämringskopplingar havererade i sprödbrott på grund av långsam spricktillväxt i kopplingarna [9]. Haverierna hade uppstått i PE-rör av äldre typ. Det har inte rapporterats om liknande haverityper i Europa.

Ref 10 redovisar brottmekaniska modeller för beräkning av livslängd i spröda PE-kvaliteter med hänsyn tagen till böjmoment och inverkan av yttre laster. En mängd olika provningsmetoder presenterades för att studera yttre lasters inverkan på PE-rörs brottegenskaper.

Polyetenlining uppvisade god erosionsbeständighet i en erosiv miljö bestående av grov sand och vatten [11].

Tredjepartsskada är den viktigaste faktorn för livslängden hos ett PE-rörssystem i och med att nya PE-rör har god resistens mot långsam spricktillväxt [12]. Ref 12 ger en presentation av olika alternativ till att göra ett plaströr som är mycket reptåligt och starkt genom hybridkonstruktion bestående av en nötningsbeständig ytterlining kring MDPE-röret. Det visade sig emellertid att inget av de tio olika alternativ som undersöktes var mer tåligt än MDPE-rör utan lining [13].

Det är möjligt att från en brottmekanisk utgångspunkt beräkna böjspännings inverkan på långsam spricktillväxt och därmed dess livslängd [14,15]. Beräkningsmetodiken bygger dock på att materialet uppför sig sprött. Förmodligen är modellen i Ref 14 och 15 inte enkelt tillämpbar på moderna PE-kvaliteter.

3.3.3 Undersökningar utförda av Osaka Gas m.fl.

Osaka Gas har utvecklat en modell för beräkning av hoptryckning av PE-rör [16]. Det visar sig att jordtrycket (soil.pressure) påverkar rörets hoptryckning i stor utsträckning. I Japan använder man PE-rör med högre SDR (mer tunnväggiga PE-rör) i stora dimensioner på grund av pris och hanterbarhetsfördelar. Därför kan hoptryckning vara en kritisk faktor för livslängden hos PE-rör för gasdistribution [16].

3.3.4 Undersökningar utförda i Tyskland

Ref 17 beskriver en metod för renovering av avloppsrör med HDPE Hostalen GM 5010T2.

Technische Hochschule Darmstadt i Tyskland har utvecklat en provningsmetod för nötningsbeständighet [18]. Provet består av att ett 1 m långt PE-rör kapas axiellt i två halvor. Den ena halvan dras 21 ggr per minut i ett medium bestående av sand, småsten och vatten med ungefär 46 vol% kvartssand med en partikelstorlek av 0-20 mm. Reduktionen i godstjocklek efter 400 000 cykler (210 h provningstid) är ett mått på PE-rörets nötningsmotstånd. Hostalen GM 5010T2 har en mycket god nötningsbeständighet, endast 0.3 mm enligt ovan beskriven test.

3.3.5 Undersökningar utförda i England

Ref 19 visar att HDPE och MDPE kan mäta sig med stål i nötningsbeständighet vid transport av vatten som innehåller finkornigt grus. Ref 20 beskriver en provningsmetod för bestämning av nötningsbeständighet i en roterande trumma. Resultaten visade sig vara extremt reproducerbara. Tabell 2 anger värden på nötningsresistensen för olika material i en erosiv miljö av ECLP grus, storlek cirka 9-25 mm, (ECLP= English Clays Lovering Pochin Limited conditions).

Tabell 2

Nötningsbeständighet för olika material utsatta för ECLP grus [20].

Material	Nötningshastighet µm/h
Polyuretan	0
Rostfritt stål	0.035
UHPE (ultrahög molekylvikts PE)	0.068
MDPE	0.078
Tvärbunden PE	0.101
HDPE	0.113
Mjukt kolstål	0.122
Polypropen	0.181
PVC	0.283
ABS	0.352
Fylld epoxy	0.365
Glasfylld epoxy	0.365
Glasfylld polyester	0.408
Perspex (PMMA)	0.552

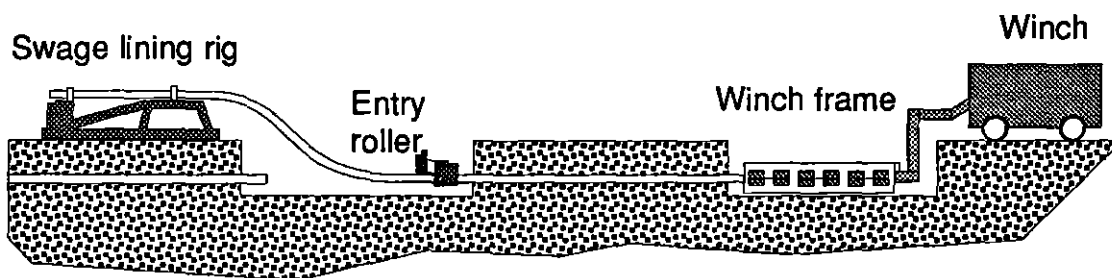
Det är känt sedan tidigare att böjar och yttre repor kan orsaka långsam spricktillväxt i PE-rör med sprödbrott som följd. Även i samband med att PE-rör används för renovering av metalliska gasledningar finns ett stort intresse av att kunna mäta rören tålighet mot yttre repor. I England har kravet på att visa att rören klarar en viss reptålighet medfört att British Gas har utvecklat en speciell hydrostatisk tryckprovningssmetod. Provningssmetoden, det s.k. "Notch pipe test", är mycket etablerad och väl utprovad och kommer att bli en ISO/CEN standardmetod. Ett PE-rör förses med fyra yttre anvisningar som fräses till en längd lika med rörets ytterdiameter och till ett djup av 20 % av godstjockleken [21]. 20 % anvisningsdjup anses vara värsta fallet som kan tänkas förekomma i verkligheten. Fördelarna med denna provningssmetod är att en stor del av röret provas till skillnad mot t.ex. PEN-testet (Norman Brown) och FNC-testet (Japansk metod) där endast en liten del av röret provas.

Ref 22 beskriver en metod för att mäta slagseghet och snabb spricktillväxt i MDPE-material. Snabb spricktillväxt (RCP) är ett potentiellt problem för PE-rör för gasdistribution som måste beaktas [22]. Inga RCP-haverier har dock konstaterats i moderna distributionsledningar. Från Ungern har det emellertid rapporterats att RCP uppträtt i ett PE-rörssystem första generationens PE-rör (PE-rör tillverkade på 70-talet eller tidigare). Risken för snabb spricktillväxt ökar med ökad godstjocklek, lägre temperatur och vid ökat inre övertryck [23]. Snabb spricktillväxt kan inträffa vid en plötslig mekanisk påverkan på ett trycksatt rör, t.ex. en grävskopa som åstadkommer ett slag mot röret. Kontroll av snabb spricktillväxt kommer att ingå i en kommande ISO/CEN standard för PE-rör för gasdistribution.

3.3.6 SWAGE-lining med PE-rör

Då PE-rör dras genom ett befintligt äldre stålrör i s.k. SWAGE-lining utsätts PE-röret för en kraftig mekanisk påverkan i form av repor och nötning [24]. Metoden går ut på att PE-röret värms upp och dras genom en dysa så att dess diameter reduceras med cirka 10 %. PE-röret dras sedan igenom det gamla järnröret. Den kunskap som finns av hur PE-rör påverkas av SWAGE-lining

är därför intressant för denna undersökning. Figur 1 visar en schematisk skiss på SWAGE-lining förfarandet enligt Ref 24.



Figur 1
Schematisk skiss av SWAGE-lining proceduren [24].

Laboratorieundersökningar visar att det är viktigt att ha högkvalitativa PE-material i samband med SWAGE-lining [25]. Med det underförstås att det föreligger stor risk för haveri om mindre bra PE-kvaliteter används. Inga tryckprovningsdata redovisas dock.

En kritisk faktor vid SWAGE lining tycks vara yttre repor som uppstår på röret i samband med renoveringen [26]. Undersökningen visade att livslängden var kortare för relinade PE-rör än för icke relinade PE-rör vid hydrostatisk tryckprovning i ett ytaktivt medium [26].

3.3.7 Undersökningar utförda i Sverige

Lars Erik Jansson har genomfört ingående undersökningar av hur kringfyllnadsmaterial påverkar ett plaströrs hoptryckning. Ref 27 och 28 är exempel på rapporter från dessa arbeten. Ref 27 konstaterar att den praktiska livslängden är minst 100 år för dagens högkvalitativa markavloppsrör av PVC och polyeten förutsatt att de används enligt gängse anvisningar. Ref 28 ger en utförlig presentation över beräkningsmetoder och materialdata för PE och PVC-rör i allmänhet.

Experimentella provningar som utförts inom EVOPE-projektet (SGC-proj 91-10) av anvisade rör och anvisade provstavar visar att tiden till brott kan förkortas med 10 gånger eller mer vid närvaro av djupa anvisningar [29,30,31].

4 Diskussion

Kunskapssammanställningen har visat att många arbeten finns genomförda som har anknytning till ett PE-rörs tålighet. Dagens PE-rör anses ha god tålighet mot punktlaster och eventuella böjmoment som kan tänkas förekomma i fält. Gastec och Battelle är de institut som skrivit mest om kringfyllningens påverkan på livslängden hos PE-rör för gasdistribution och hur en rörgrav skall utföras för bästa resultat. Rapporterna ger många avancerade mekaniska beräkningsmodeller för beräkning av deformation och spricktillväxt. Ur sprödbrottsynpunkt anses det finnas goda marginaler till haveri för moderna PE-kvaliteter under förutsättning att gällande föreskrifter följs.

Moderna PE-kvaliteter är mycket tåliga mot repor, nötning och påverkan av yttre laster. Repkänsligheten kan i princip mätas genom att kontrollera PE-rörets motståndsförmåga mot långsam spricktillväxt. Det krävs dock att kvalitetskontrollen av PE-rören följs till punkt och pricka för att egenskaperna skall kunna garanteras. Rörtillverkning och svetsning utgör kritiska faktorer för PE-rörens livslängd. Det är viktigt att kvalitetskontrollmetoderna för PE-rör utvecklas med materialen om t.ex. kravet på kringfyllnad och förekomst av stenar och övriga hinder skall kunna mjukas upp.

Troligen är kontroll av motståndsförmåga mot långsam spricktillväxt den provningsmetod som bör införas som standardkrav för att kunna garantera PE-rörs kvalitet. Det finns flera olika typer av provningsmetoder förslagna som standardmetoder varav det s.k. Notch Pipe Test står närmast att bli en ISO standard. På Studsvik finns emellertid även mycket goda erfarenheter av enaxlig dödviktsprovning av anvisade provstavar för att kontrollera ett PE-rörs motståndsförmåga mot långsam spricktillväxt.

Nedan görs en summering av vad som framkommit från de frågor som ställdes i inledningen till denna rapport:

a) Har det gjorts praktiska försök avseende vad en PE-ledning "tål"?

Många rapporter har påträffats där PE-rör har undersökts mekaniskt. Provingarna har omfattat slagseghetsprovning, provning av snabb spricktillväxt, krypprovning, nötningens resistens, reptålighet och motståndsförmåga mot långsam spricktillväxt.

Dagens PE-kvaliteter är i allmänhet mycket tåliga mot repor och nötning. Risken för sprickinitiering ökar dock om PE-röret är dåligt extruderat eller om en svetsfog är felaktigt utförd. Äldre PE-kvaliteter som installerades under 70-talet uppvisar generellt sett större känslighet mot repor. Flera referenser påtalar att risken för haveri i lagda rör är mycket liten så länge som gällande specifikationer följs.

b) Finns det undersökningar gjorda där en ledningsbit finns lagd i grusmaterial med skarpkantade stenar och belastat ledningen uppifrån eller dragit den fram och tillbaka?

Inga arbeten av ovanstående slag har påträffats. Gaz de France har nämnt att de har utfört snarlika undersökningar men inga resultat är tillgängliga. Det är

noterbart att SwRI i USA tycker att frågeställningen är intressant men än så länge finner industrin i USA inte problemet tillräckligt angeläget för att starta ett projekt.

Gaz de France har bjudit in olika gasbolag runt om i världen till att delta i ett projekt där punktlaster och böjmoment på PE-rör skall undersökas. Ytterligare information om detta projektförslag finns inte i dagens läge.

c) Eventuella förslag till fortsatta undersökningar

Fortsatta undersökningar av ett PE-rörs tålighet bör inledas med att ställa en diagnos på de faktorer som PE-röret kommer att utsättas för i värsta fallet, specifikt för gasrör i Sverige. Dels bör projektförslaget från Gaz de France bevakas vidare och dels bör hydrostatisk tryckprovning utföras vid förhöjd temperatur eller i ytspänningsnedsättande medel då PE-rören utsätts för olika kombinationer av punktlaster, anvisningar och böjpåkänningar. Det är viktigt att även svetsförband inkluderas i undersökningen.

5 Slutsatser

- Stor erfarenhet finns angående hur kringfyllnad inverkar på PE- och PVC-rörs hoptryckning. Gastec, Battelle, Osaka Gas och Lars Erik Jansson i Sverige har utvecklat modeller för beräkning av hoptryckning av plaströr.
- Fälthaverier i USA och delvis även i Frankrike är ofta orsakade av tredjepartsskada, punktlaster eller böjmoment.
- I Holland anses punktlaster inte var ett problem på grund av att laster relaxeras om intryckningsdjupet är konstant.
- Första generationens PE-rör som installerades på 1970-talet är känsliga för punktlaster och repor. Dagens moderna PE-kvaliteter anses däremot vara relativt motståndskraftiga mot repor och yttre laster.
- PE-rör och PE-lining har mycket god nötningsbeständighet.
- PE-rörs känslighet mot repor kan undersökas i det s.k. Notch Pipe Testet.
- I dagens läge anses livslängden hos moderna PE-rör och PVC-rör ej påverkas av yttre laster och fyllnadsmaterial under förutsättning att gällande föreskrifter följs.
- Anvisning av PE-rör är ett experimentellt sätt att utföra accelererad provning. Djupa anvisningar (>35 %) kan förkorta tiden till brott med 10 gånger eller mer.

Referenser

- 1 F VAN DER GRINTEN AND H J M RIJPKEMA
Determination and analysis of impact behaviour of plastic pipes by means of a service related test method. 13:th Int. Plastic Fuel Gas Pipe Symp. proc., American Gas Association, San Antonio, USA (1993).
- 2 F J M ALFERINK, et al
Stresses and strains in buried flexible pipes. 11:th Int. Plastic Fuel Gas Pipe Symp. proc., American Gas Association, San Francisco, USA (1989).
- 3 F J M ALFERINK, M WOLTERS
The effect of material and installation quality on the lifetime of buried PE pipes. 12:th Int. Plastic Fuel Gas Pipe Symp. proc., American Gas Association, Boston, USA (1991).
- 4 F J M ALFERINK AND M WOLTERS
Effect of installation conditions on buried plastic pipes: Results of specific field trials. 8th Int. Conf. on Plastic Pipes, Eindhoven, The Netherlands. Plastics and Rubber Institute (1992).
- 5 F J M ALFERINK, M WOLTERS
Design of plastic pipeline systems based on internal and external loading. Int. Gas Research Conf. proc., Orlando, USA (1992).
- 6 P W M WICHERS AND F MUTTER
The influence of installation conditions on the deformation of buried plastic pipes. 13:th Int. Plastic Fuel Gas Pipe Symp. proc., American Gas Association, San Antonio, USA (1993).
- 7 T FORTE AND B LEIS
Analytical investigation of the service life of PE pipe bent during installation. 12:th Int. Plastic Fuel Gas Pipe Symp. proc., American Gas Association, proc., Boston, USA (1991).
- 8 X LU, R QIAN, N BROWN
Notchology - the effect of the notching method on the slow crack growth failure in a tough polyethylene. Journ. of Mat. Sci. 26 (1991), p. 881-888.
- 9 R JONES AND W L BRADLEY
The effect of pinch clamping on subsequent service lifetime. Proc of the GRI annual plastic piping materials workshop, Chicago, USA, PB89-231633 (1985).
- 10 F S URALIL, et al
Effects of load on the structural and fracture behaviour of polyolefin gas piping. Battelle Columbus Labs., Gas Research Institute, USA, PB82-180654 (1981).
- 11 H JOHNS
Erosion studies of pipe lining materials fifth progress report. REC-ERC-84-3, NTIS PB85-174282 (1985).

- 12 S EDWARD, et al
Preliminary design concepts for an advanced gas distribution. Battelle, Gas Research Institute, PB91-178939 (1991).
- 13 E S LIPINSKY, G NEWAS, N SWAROOP
Preliminary design concepts for an advanced gas distribution system - Final phase: Evaluation of impact resistance. Gas Research Institute, PB94-129988 (1992).
- 14 T P FORTE, et al
Volume 2: Technical reference on bending limits for polyethylene gas pipes. Gas Research Institute, PB92-190099 (1992).
- 15 T P FORTE, et al
Volume 1: Users' guide on bending limits for polyethylene gas pipes. Gas Research Institute, PB92-190081 (1992).
- 16 T AOKI, et al
Evaluation of long-term deformation of polyethylene pipes buried in the ground. 13:th Int. Plastic Fuel Gas Pipe Symp. proc., American Gas Association, San Antonio, USA (1993).
- 17 R MELDT
The strength of HDPE pipes for the renovation of pipelines by sliplining. 5th Int. Conf. on Plastic Pipes, York, U.K. Plastics and Rubber Institute (1982).
- 18 R MELDT
Transportation of solids through plastic pipes. 5th Int. Conf. on Plastic Pipes, York, U.K. Plastics and Rubber Institute (1982).
- 19 D LOWE AND G P MARSHALL
The abrasion resistance of polymers in slurry environments. 6th Int. Conf. on Plastic Pipes, U.K. Plastics and Rubber Institute (1985).
- 20 D LOWE AND G P MARSHALL
The abrasion resistance of polymers used in slurry transport systems. 7th Int. Conf. on Plastic Pipes, U.K. Plastics and Rubber Institute (1988).
- 21 W J ALLWOOD AND S H BEECH
The development of the Notch Pipe Test for the assessment of the slow crack growth resistance of polyethylene pipe. 8th Int. Conf. on Plastic Pipes, Eindhoven, The Netherlands. Plastics and Rubber Institute (1992).
- 22 J M GREIG AND I C SKIPLORNE
Impact fracture toughness (K_C) measurements of polyethylene gas pipes. Int. Conf on Impact Testing and Performance of Polymeric Materials, 1985. Guildford (England), PB86-209384 (1985).
- 23 T TRÄNKNER
EVOPE - Utvärdering av polyetenrör för gasdistribution, slutrapport. Studsvik Report (M-94/61), 1994.

- 24 H LEIJSTRÖM
SWAGE-LINING, en förstudie.
Studsvik Report M-92/26 (1994).
- 25 L MAINE AND J ROSS
Swagelining - A pipeline renovation technique. 8th Int. Conf.
on Plastic Pipes, Eindhoven, The Netherlands.
Plastics and Rubber Institute (1992).
- 26 H LEIJSTRÖM
Renovering av befintliga ledningsnät för gasdistribution med
hjälp av SWAGE-LINING. Studsvik Report M-94/131 (1994).
- 27 L J JANSSON
Plastic pipes for water supply and sewage disposal. Lars-Eric
Jansson, Neste, Uponor, 1989.
- 28 L J JANSSON
Hur gammalt kan ett plaströr bli? Informationsskrift från
Kontrollrådet för plaströr, okt. 1987.
- 29 T TRÄNKNER, M IFWARSON
EVOPE - Utvärdering av polyetenrör för gasdistribution,
Seminariedokumentation, Malmö, 1994-04-21.
Studsvik Report (M-94/34), 1994.
- 30 T TRÄNKNER, U W GEDDE
Lifetime of Polyethylene Gas Pipes in Uniaxial Tension. Proc.
of 13:th Int. Plastic Fuel Gas Pipe Conf.,
San Antonio, USA, 1993.
- 31 T TRÄNKNER
Hur bestämmer man livslängden hos plaströr för gasdistribu-
tion? Posterkonferens vid Svenska Gasföreningens Årsmöte
1994. Stockholm 12 oktober, 1994.

Adressförteckning över kontaktade företag

Giuseppe Bernardini
Italgas
101 52 Torino
Largo Regio Parco, 11, Italien
tel 3911 23 94 632
fax 3911 23 94 865

Prof. Andrea Pavan
Politecnico di Milano
Dipartimento di Chimica Industriale e
Ingegneria Chimica
Piazza Leonardo da Vinci 32
I-20133 Milano, Italy
tel 39 223 99 3200
fax 39 270 63 8173

Henning Espersen
Nordisk Wavin A/S
Wavinvej 1, Hammel
DK-8450, Danmark
tel 45 86 96 20 00
fax 45 86 96 94 61

Frans Alferink
Wavin R&D
Rollepaal 20, 7701 BS
P.O. Box 110
770 AC Dedemsvaart
The Netherlands
tel 31 5230 24706
fax 31 5230 24700

Dr. Melvin F. Kanninen
Southwest Research Institute
6220 Culebra Road
Post Office Drawer 28510
San Antonio, Texas, USA 78228-0510
tel 1 210 522 2203
fax 1 210 647 5001

Björn Berndtson
Borealis Polyeten AB
444 86 Stenungsund
tel 0303-862 69
fax 0303-81 227

Dominique Gueugnaut
Gaz de France
361, Avenue du President Wilson
BP 33 - 93211 La Plaine Saint Denis Cedex,
Frankrike
tel 33 149 22 59 54
fax 33 1 49 22 58 91

Ingemar Björklund
Nordiska Plaströrgruppen
Box 105
101 22 Stockholm
tel 08-402 13 79

95-08-15

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

95-08-15

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 ÅF-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 Triumph Triumpf 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

95-08-15

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 distributionsledning. 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 Miljökonserterna	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 läggingsbox.	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

95-08-15

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
051	Nordiska Degelugnsprojektet. Pilot- 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 Wärmö 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	Trevägs-katalysatorer för stationära gasmotorer.	Okt 94	Torbjörn Karlelid m fl Sydkraft Konsult AB	150
056	Utvärdering av en industriell gaseldad IR-strålar	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-strålar	Apr 95	Rolf Christensen Enerkon RC	150
060	Rekommendationer vid val av flexibla insatsrör av rostfritt i villaskorstenar	Maj 95	L Hedeén, G Björklund Sydgas AB	0
061	Polyamidrör för distribution av gasol i gasfas. Kunskaps-sammanställning	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
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 (Konfidentiell)	Jul 95	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult	0
A04	Bussbullen. Förslag till mätprogram	Jun 95	Ingemar Carlsson Ecotrans Teknik AB	50

STUDSVIKM-94/1491

PE-RÖRS TÄLIGHET MOT YTTRE PÅVERKAN
Sammanställning över utförda praktiska försök

Thomas Tränkner

Studsvik Material

Studsvik Material AB 611 82 NYKÖPING
Telefon 0155-22 14 00 Telefax 0155-26 31 50 Telex 64013 studs s



Svenskt Gastekniskt Center AB

Box 19011, 200 73 MALMÖ
Telefon: 040- 37 55 90
Telefax: 040- 37 55 96

KFS AB, LUND