



Af Henrik Iskov,  
Dansk Gasteknisk Center a/s

## Field test af brint i naturgasnettet

Det danske naturgasnet ser ud til at kunne anvendes til ren brint-distribution uden problemer, fremgår det af forskningsprojektets fase II.

Litteraturundersøgelser [1] har vist, at der kun findes ganske lidt information om det eksisterende naturgasnets anvendelighed til transport af brint.

Derfor igangsatte man et projekt (under det daværende Energiforskningsprogram EFP-05), der i et forsøgsanlæg hos Dansk Gasteknisk Center i Hørsholm skulle undersøge brinttransport i naturgasnettet.

Projektet omfattede stålør fra det danske gastransmissionsnet og plastrør fra det danske og svenske gasdistributionsnet.

I projektet deltog Dansk Gasteknisk Center a/s (DGC), Borealis AB og FORCE Technology.

DGC var projektleder og ansvarlig for driften af fieldtestene.

Borealis - en af de største leverandører af råmateriale fra polyethylen (PE) til produktion af rør, fx gasdistributionsrør - medvirkede i projektet med analysearbejde mht. undersøgelse af evt.

kompatibilitetsproblemer mellem PE-rør og brint ved eksponering over lang tid.

Force Technology fokuserede på dynamisk afprøvning og analyse af stålørerne fra gastransmissionsnettet.

### Distributionsnet - plastrør - afprøvning og analyser

Størstedelen af naturgasdistributionsnettet består i dag af PE-rør, bl.a. pga. polyethylens dokumenterede egenskab som pålideligt rørmateriale med et minimum af vedligehold. Polyethylen er korrosionsfrit og meget smidigt, man kan bruge det til fuldt svejsbare systemer, og det kan også bruges ved lave temperaturer.

### Afprøvningsprogram

I testfasen blev PE-rørerne løbende eksponeret for ren brint i fire år ved et tryk på omkring 4 bar og en temperatur omkring 8 °C. Rørerne blev lagt som ved et normalt

gasdistributionsnet. (Se foto).

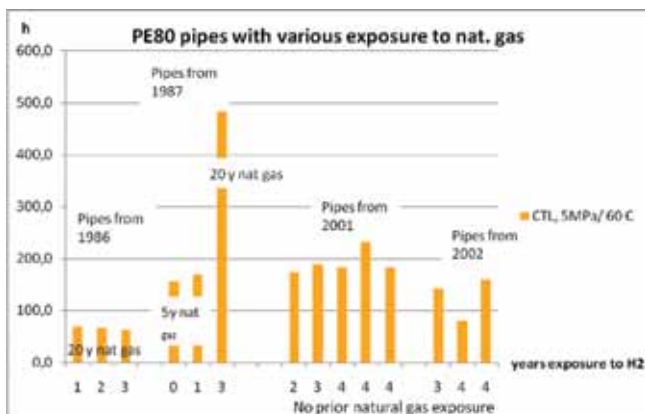
Testen af plastrørerne blev udformet således, at der en gang årligt (i fire år) blev udskåret en rørstump af samtlige testrør. Herefter gennemførtes en omfattende analyse for at afdække, hvorvidt plastrørerne blev degraderet af brinten.

### Analysemateriale

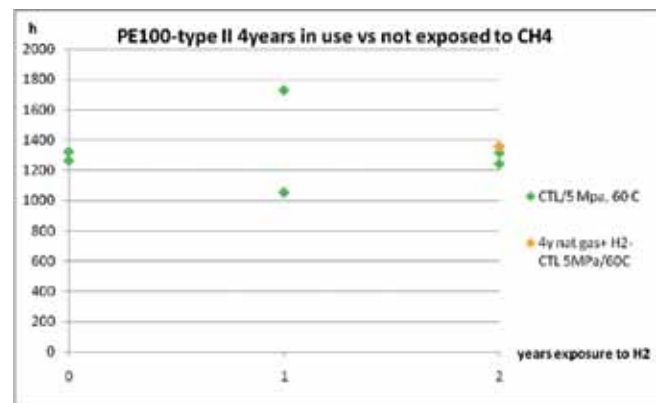
Analysematerialet bestod af tre helt forskellige materialer:

- Gul, PE 80 MDPE (medium densitet)
- Orange, PE100 HDPE (høj densitet), den såkaldte PE100 type I
- Ufarvet rør med et orange beskyttelseslag udvendigt. Det ufarvede materiale er PE100 HDPE (høj densitet), den såkaldte PE100 type II

For hvert materiale afprøvedes rørstumper fra forskellige produktionsår. Nogle af rørerne havde også tidligere været anvendt i det danske naturgasnet. De ældste



Figur 1: CTL-test, der viser modstandsdygtighed over for revnevækst hos PE80-rør fra forskellige produktionsår



Figur 2: CTL-test ved 5 MPa/60 °C vs. eksponeringstid i år for brint for rør, der ikke har været brugt til CH<sub>4</sub> og for et rør, der har været brugt i fire år i naturgasnettet



Test af plastrørnet blev gennemført hos DGC i Hørsholm over fire år.

rør havde været brugt som gasrør i 20 år, før de blev eksponeret for brint i det testede plastrørnet.

**Note:** I den følgende tekst og de følgende figurer skal  $\text{CH}_4$  forstås som dansk naturgas.

#### Analyseprogrammet

Hvert år blev følgende undersøgt:

- Strukturelle ændringer i plastrørnet.
- Forbrug af antioxidanter.
- Ændring i elasticiteten.
- Ændring i revnevæksten.
- Overfladeoxidering.

Grunden til at vælge netop disse parametre er, at hvis der ikke ses nogen ændring i disse egenskaber, så kan man formode, at plastrørene er kompatible med brint, og at det er sikkert at bruge dem, når man tager polymerstrukturegenskaber og røregenskaber i betragtning.

#### Generelle resultater

Nogle gange får man indtryk af, at forskelle i kvalitetsniveauet muligvis hænger sammen med den tid, et rør eksponeres for brint, eller hænger sammen med

tidligere anvendelse af røret som naturgasrør.

Men, som det ses nedenfor, viste vores undersøgelser, at der er basale forskelle i kvalitetsniveau mellem rør fra forskellige produktionsår. Se figur 1.

#### PE80-rør

I ESCR-afprøvningen var der ingen indikation om ændringer i CTL-test af modstandsdygtighed over for revnevækst i forhold til tiden i pilotanlægget. Se figur 1.

Alle variationer kan forklares ved hjælp af rørproduktionsdatoen og målevariationer, bortset fra den sandsynlige afvigelse fra 1987. Resultaterne afhænger ikke af tidligere anvendelse med naturgas.

#### PE100-rør

PE100 type I og type II følger mønsteret fra den tidligere analyse, dvs. der ses ingen negativ indflydelse i CTL i forhold til tiden i pilotanlægget med brint. Se figur 2. Alle materialer viser meget stor modstandsdygtighed over for revnevækst.

PE100 type II, der tidligere har været i brug i fire år i naturgasnettet, bliver i figur 2 sammenlignet med resultaterne for rør, der ikke har været brugt til  $\text{CH}_4$ . Ligesom ved PE80 påvirker tidligere eksponering for  $\text{CH}_4$  ikke resultaterne.

#### Undersøgelse af strukturelle ændringer

Alt efter produktionsår er der forskel i molekylvægt (MW), molekylvægtfordeling (MWD) og andel af høj molekylvægt.

De reologiske resultater viser tydeligt, at forskellige værdier beror på den grundlæggende forskel i materialekvalitet for polymerer produceret i forskellige år. Andre forandringer i hver gruppe kan antages at være normal variation i forhold til forskelle i produktionen af polymer og rør.

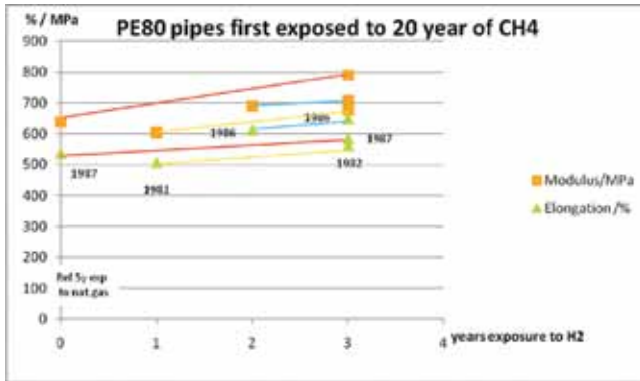
Der kan ikke påvises nogen forandringer, der skyldes eksponering for brint.

#### Undersøgelse af oxidering - forbrug af antioxidanter

Undersøgelserne viser ingen indflydelse fra brint på additivstofferne i plastrørnet, målt som Oxygen Induction Time (OIT) iht. EN1555 standarden.

Dette betyder, at der ikke blev fundet nogen aktivitet hos additivstofferne, der kunne bero på brinteksponering, og at langtidsholdbarheden for rørene dermed er sikret.

>>>



Figur 3: Brudforlængelse og elasticitetskoefficient vs. eksponeringstid i år for brint for rør, der tidligere har været brugt i 20 år i naturgasnettet.

### Field test af brint...

Lignende resultater blev fundet for PE100-rør og rør, der tidligere har været eksponeret for naturgas i op til 20 år.

I standarden for gasrør (EN 1555) vurderes en OIT på 20 minutter ved 200 °C at være tilstrækkelig til en 50-års levetid ved 20 °C.

### Undersøgelser af forandringer i elasticitetskoefficient og brudforlængelse

Målingerne blev vurderet som forandringer i elasticitet og strækforlængelse, elasticitetskoefficient og brudforlængelse.

Som det kan ses i figur 3 og Figur 4, er det ikke muligt at påvise nogen negativ indflydelse på brudforlængelsen.

En svag indikation af en øget elasticitetskoefficient kan spores, men hhv. forandringen i forhold til spredningen i testen og at prøver med forskellige produktionsår blev brugt, har gjort denne iagttagelse noget usikker.

### Konklusion for test af plastrør

Den overordnede konklusion er, at fire års vedvarende brinteksponering ikke har haft nogen indflydelse på PE80 eller PE100 naturgasrør.

Nedenfor ses delkonklusionerne:

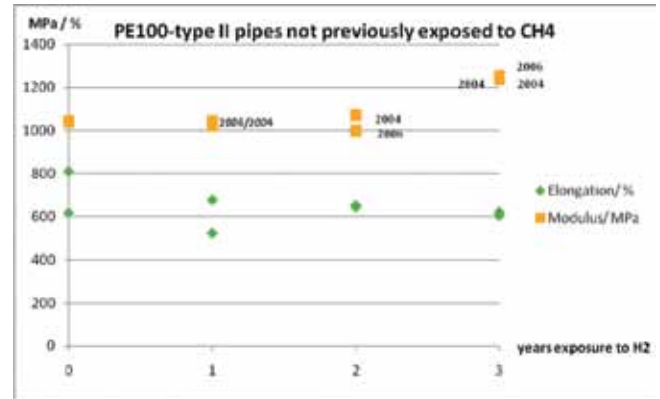
- Reologiske målinger iht. ASTM 4440-95a har ikke vist nogen påvirkning af den basale rørstruktur.

- OIT-målinger iht. EN 728 har ikke vist nogen påvirkning af additivstofferne eller oxidering.
- Målinger af brudforlængelse iht. ISO 527 har ikke vist nogen klar påvirkning af rørene.
- En svag indikation af en øget elasticitetskoefficient kan spores
- CTL-målinger ved 5 MPa/60 °C iht. ISO 6252-1992/ASTM 1473F har ikke vist nogen påvirkning af revnevæksten.
- Rør, der tidligere havde været brugt i 20 år i det danske naturgasnet, viste sig ikke væsensforskellige fra friske, ubrugte rør mht. de ovennævnte egenskaber.
- Den største påvirkning af egenskaber fandtes ved rørens produktionsår og det underliggende produktionsår for råmaterialet til polymeret, som antydede variationer i kvalitetsniveau ved levering. Disse forskelle er dog ikke signifikante.

### Transmissionsnet - stålrør X70 - afprøvning og analyser

Formål: De fleste undersøgelser af udmattelsesgrænser for eksisterende rør til brintdistribution er baseret på brudmekaniske principper, og det blev fundet mindre nyttigt at prøve at reproducere dette arbejde. Det blev i stedet besluttet at foretage en række dynamiske fuldskalatest for brint.

Formålet var at analysere virkningen på udmattelsesgræn-

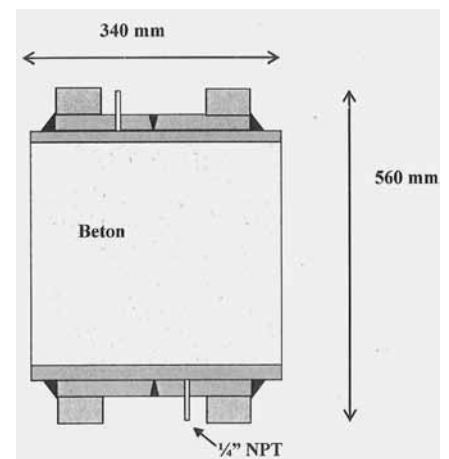


Figur 4: Brudforlængelse og elasticitetskoefficient vs. eksponeringstid i år for brint for rør, der ikke tidligere har været brugt.

serne for eksisterende gasrør fra transmissionsnettet, når de bliver brugt til brint i stedet. Afprøvnin-ger og analysearbejde fokuserede på, hvordan brug af brint ville påvirke dannelsen af udmattelsesrevner i rundsømmene på rørene.

Der blev udført fuldskalatest med API 5L X70 rørstumper i størrelse 20" med 7 mm godstyk-kelse (figur 7). De var taget ud af det eksisterende danske naturgas-net efter mere end 20 års drift.

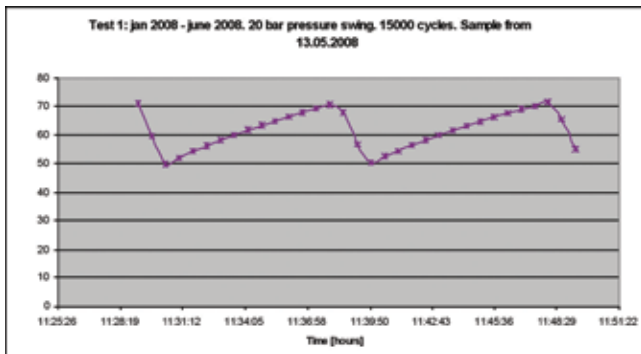
Rørstumperne indeholdt SMAW-svejsesømme tilbage fra nedlægningen af rørene i firserne. Svejsningernes kvalitet antages at være repræsentativ for det danske ledningsnet.



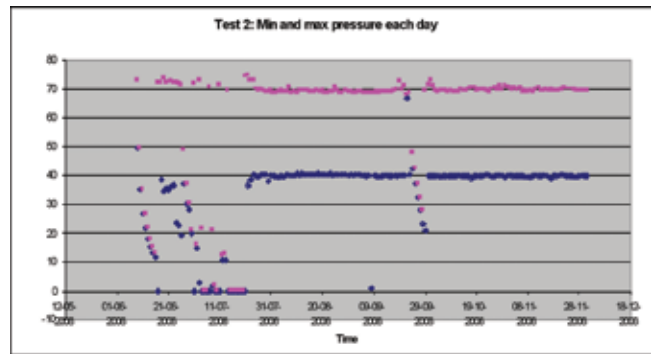
Figur 7: Testenhet til dynamisk stålrørsforsøg

Forsøgsrørene blev udsat for 100 % brint under varierende indvendige tryk, der repræsente-rede den daglige trykvariation i naturgasnettet.

Det maksimale tryk var 70 bar,



Figur 5: Testserie 1 - stålør X70.



Figur 6: Testserie 2 - stålør X70.

mens den maksimale trykamplitude var 30 bar.

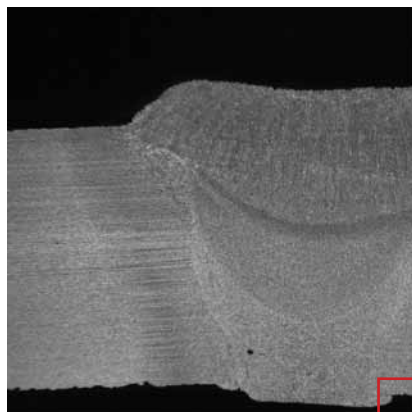
Der blev kørt to testserier med stigende trykamplitude fra 20 bar til 30 bar.

Trykvariationsfrekvensen i hver cyklus var mindre end 0,0017 Hz, og hver testserie løb over 15.000 eller 30.000 cykler. 15.000 cykler svarer til 40 års drift med en cyklus pr. dag.

#### Analyse

Rundsømmene blev undersøgt med ultralyd forud for hver test og igen efter hver testkørsel. Der blev ikke konstateret nogen revner, og testemnet fortsatte i test i den næste periode.

Rundsømmene blev analyseret og underkastet metallografisk og MPI-undersøgelse som supple-



Snit gennem svejsning. Udsnit vist i forstørrelse på nederste billede.

ment til ultralydsundersøgelse for at beskrive eventuelle skader og revnevækst i svejsningerne. Der blev ikke fundet nogen udmattelsesbrud.

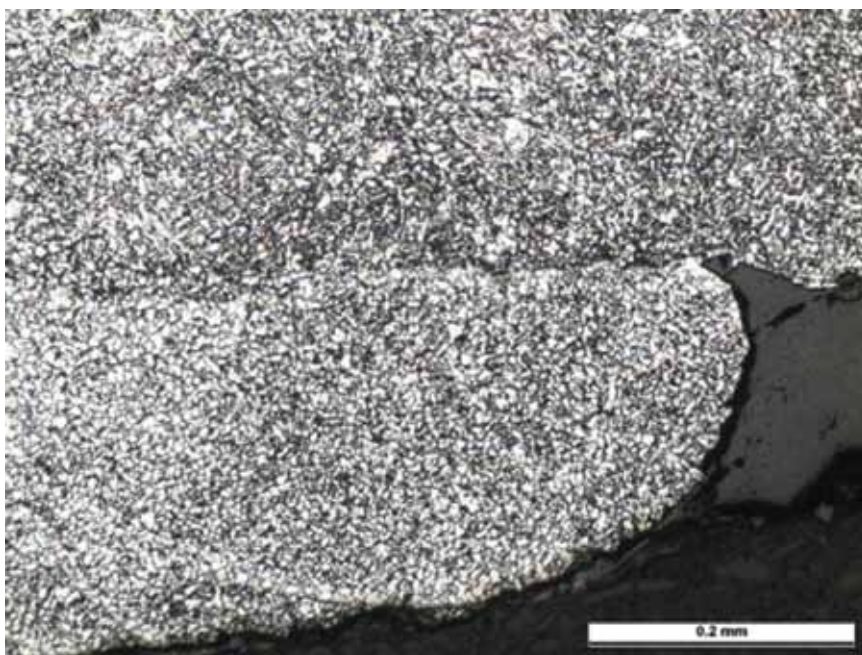
#### Konklusion for test af stålør

Denne dynamiske afprøvning svarede til 80 års drift med to gange den maksimale trykvariation i det danske transmissionsnet (dvs. 2 x 15 bar svarende til 40-70 bar i 30.000 cykler). Der blev ikke konstateret nogen revnevækst.

Dette giver grundlaget for at antage en vis sikkerhed for at kunne tilsætte brint til det eksisterende danske naturgas-transmissionsnet, for så vidt nettet ikke har væsentlige fejl i svejsningerne.

#### Medforfattere

Artiklen er baseret på bidrag fra Mats Backman, Borealis AB og Hans Peter Nielsen, FORCE Technology.



Forstørret udsnit af øverste billede, inderside til højre. Der kan ikke konstateres nogen tegn på udmattelsesrevner.



Af Jens Utoft, Gasteknik

## Holstebro får verdens største biogasanlæg

Energiselskaber bag Maabjerg BioEnergy A/S har omsider sat byggeriet af et anlæg til 375 mio. kroner i gang efter otte års forberedelser.

Fødevareminister Henrik Høegh tog det første, symbolske spadestik under overværelse af 400 indbudte gæster, da Maabjerg BioEnergy A/S ved Holstebro mandag den 16. august indledte opførelsen af verdens hidtil største biogasanlæg.

Der bliver tale om en samlet investering på 375 mio. kroner inden anlægget efter planen skal stå klar til drift i 2. kvartal 2012.

Maabjerg BioEnergy Drift A/S er ansvarlig for finansiering, etablering og varetagelse af driften samt vedligeholdelse af anlægget. Selskabet er stiftet og ejet af de to forsyningsselskaber Vestforsyning Fjernvarme A/S og Struer Forsyning Fjernvarme A/S.

Selskabet opgav ellers projektet i 2009 på grund af økonomien, men en ny udbudsrunde reducerede prisen med 51 mio. kr.

Dermed sikres fjernvarmebrugere i bl.a. Struer og Holstebro ifølge bestyrelsesformand for Maabjerg BioEnergy, Arne Lægaard, attraktive og stabile varmempriser de næste mange år.

### 200 landmænd leverer gylle

Projektet er udviklet i tæt parløb med godt 200 lokale landmænd og pelsdyravlere, der er organiseret i en leverandørforening.

De skal via omladestationer og et unikt transportnet af rørledninger levere gylle til Maabjerg BioEnergy og modtage afgasset gylle retur til deres landbrug.

Desuden anvendes affald fra fødevareindustrien.



Fødevareminister Henrik Høegh (t.h.) gør klar til det første spadestik. T.v. Maabjerg BioEnergy's bestyrelsesformand Arne Lægaard. (Foto: Maabjerg BioEnergy)

Økonomien i projektet hænger sammen via indtægter fra landmændene, som betaler for at komme af med gyllen. Desuden hentes indtægter fra salg af el, - som støttes med 76,2 øre pr. kWh – salg af biogassen og salg af varme til forskellige nærliggende fjernvarmeværker.

Endelig skal fiber-delen af den afgassede gylle sælges til DONG Energy's affaldsforbrændingsanlæg, der ligeledes er placeret i Maabjerg.

### Systemopbygning

Transporten af næsten 400.000 tons gylle om året fra de enkelte

landbrug frem til Maabjerg BioEnergy er en stor udfordring.

Beregninger viser, at hvis transporten udelukkende består af lastbiler, vil der være behov for et sted mellem 40 og 50 vogn-tog i døgnet til og fra Maabjerg BioEnergy.

Derfor har Maabjerg BioEnergy valgt en kombination af omfattende rørsystemer og lastbiltransport. Der arbejdes derfor med muligheden for at etablere et rørsystem i grenstruktur fra anlægget og ud i oplandet.

Undervejs på strækningerne vil der være en række knudepunkter, hvor leverandørerne kan aflevere gyllen.

Ved at anvende rørtransport forhindres lugtgener og den omfattende lastvognstrafik på landevejene ind til anlægget undgås. I første omgang opereres der med to omladestationer.

### Rørsystemets opbygning

Rørsystemet etableres i stjerneformation fra Maabjerg BioEnergy og cirka 16 km ud i oplandet.

Langs med rørledningerne placeres en række knudepunkter med lagertanke, hvorfra gyllen pumpes ind til biogasanlægget.

Rørledningen består af et dobbeltrør. Det ene anvendes til at føre gyllen frem til anlægget og i det andet rør returneres den rensede gylle til lagertanke ved knudepunkterne.

Leverandøren afleverer gylle ved knudepunkterne og henter slutproduktet samme sted.