

Naturgasnettets anvendelighed for ren
brintdistribution

Brintprogrammet 2000

ENS tidl. j.nr. 1763/00-0033

Projektrapport

Marts 2004

Naturgasnettets anvendelighed for ren brintdistribution Brintprogrammet 2000 - ENS tidl. j.nr. 1763/00-0033

Henrik Iskov

Titel : Naturgasnettets anvendelighed for ren brintdistribution
Brintprogrammet 2000 - ENS tidl. j.nr. 1763/00-0033

Rapport kategori : Projektrapport

Forfatter : Henrik Iskov

Dato for udgivelse : 31.03.04

Copyright : Dansk Gasteknisk Center a/s

Sagsnummer : 722.22, H:\722\22\rapport\Naturgasnettets anvendelighed til ren brintdistribution_final.doc

Sagsnavn : Naturgasnettets anvendelighed for ren brintdistribution

ISBN : 87-7795-253-7

For ydelser af enhver art udført af Dansk Gasteknisk Center a/s (DGC) gælder:

- *at DGC er ansvarlig i henhold til "Almindelige bestemmelser for teknisk rådgivning & bistand (ABR 89)", som er vedtaget for opgaven, med mindre andet aftales skriftligt.*
- *at erstatningsansvaret for fejl, forsømmelser eller skader over for rekvirenten eller tredjemand gælder pr. ansvarspådragende fejl eller forsømmelse. Ansvaret er dog altid begrænset til maksimum 100% af det vederlag, som DGC har modtaget for den pågældende opgave. Rekvirenten holder DGC skadesløs for alle tab, udgifter og erstatningskrav, der måtte overstige DGC's hæftelse.*
- *at DGC skal - uden begrænsning - omlevere egne ydelser i forbindelse med fejl, mangler og forsømmelser i DGC's materiale. Dette gælder dog ikke længere end 5 år fra opgavens udførelse.*
- *at rekvirenten er ansvarlig for, at de iht. lov gældende sikkerheds- og arbejdsmiljøregler hos rekvirenten kan overholdes af DGC i forbindelse med opgavens udførelse. Såfremt DGC må standse, afbryde og/eller udsætte en opgave, fordi disse regler ikke kan overholdes, må rekvirenten bære DGC's eventuelle ekstraomkostninger i forbindelse hermed.*

Marts 2000

Indholdsfortegnelse**Side**

1 Forord	3
2 Resume og konklusion	4
2.1 English summary	6
3 Indledning	9
3.1 Opgaveformulering	9
3.2 Projektbeskrivelse	9
3.3 Afgrænsninger	11
4 Udformning af forsøgsanlæg	12
4.1 Anlæg til test af stål og plastdistributionsrør	12
4.1.1 Anlæggets virkemåde	15
4.2 Anlæg til test af industriflowmålere	15
4.3 Anlæg til test af husholdningsinstallation	18
5 Styring, regulering, overvågning og dataopsamling	21
5.1 Dataopsamling	21
5.2 Overvågning	21
5.3 Styring	21
6 Forsøgsdrift	22
6.1 Indledning	22
6.2 Automatisk drift	22
6.3 Flowmålerkontrol	22
7 Resultater af forsøgsdrift	23
7.1 Tæthed mod hydrogenlækager i 19 bar stålnet	23
7.1.1 Erfaringer fra idriftsættelse	23
7.1.2 Erfaringer undervejs i testperioden	23
7.1.3 Resultater af 12 mdrs. datalogning	24
7.2 Tæthed mod iltindtrængning i 19 bar stålnet	25
7.3 Tæthed mod hydrogenlækager i 4 bar plast (PE) net	26
7.3.1 Erfaringer fra idriftsættelse	26
7.3.2 Erfaringer undervejs i testperioden	27
7.3.3 Resultater af 12 mdrs. datalogning	27

7.4 Tæthed mod iltindtrængning i 4 bar plast (PE) net	31
7.5 Tæthed mod hydrogenlækager i 20 mbar husholdningsinstallation.....	32
7.6 Flowmåling med 4 bar flowmålere	33
7.6.1 Udvikling gennem forsøgsperiode	33
7.6.2 Kontrol af flowmålere i forsøgsperioden.....	34
7.6.3 Lækage fra 4 bar flowmålerkredsløb.....	35
7.7 Flowmåling med 20 mbar husholdningsmåler.....	36
7.7.1 Kontrol af husholdningsmåler i forsøgsperioden.....	36
8 Resultater af materiale- og komponentundersøgelser	38
8.1 Materialeteknisk undersøgelse af 19 bar gauge ståldistributionsrør	38
8.2 Materialeteknisk undersøgelse af 4 bar gauge plastdistributionsrør	38
8.2.1 Svejsbarhedsundersøgelser	38
8.2.2 Infrarød spektroskopi (FTIR).....	39
8.2.3 Smelteindeks	39
8.2.4 Iltinduktionstid (OIT)	39
8.2.5 Mekanisk prøvning.....	40
8.3 Flowmålere til naturgas anvendt til hydrogen (rot, turb, bælge)	40
8.3.1 Husholdningsmåler IGA AC5M	40
8.3.2 Rekalibrering.....	42
8.3.3 Detailundersøgelse	42
8.3.4 Elster turbine- og rotationsmålere	42
8.3.5 Rekalibrering.....	42
8.3.6 Detailundersøgelse	42
8.3.7 Smøremidlers egnethed ved hydrogendrift Shell/Sayboldt analyse.....	43
8.4 Øvrige naturgasarmaturer anvendt til hydrogen	44
8.4.1 Reduktionsventil	44
8.4.2 Filtre	44
9 Referencer.....	46

Bilag

1 Forord

Et væsentligt spørgsmål i forbindelse med et fremtidigt brintsamfund vil være, hvorvidt den bestående infrastruktur kan anvendes til brinttransport.

Dette projekt sigter mod at afdække, hvorvidt det danske gasdistributions-system kan transportere brint. Målet er ikke et udtømmende svar, men alene at opnå væsentlige indikationer af mulighederne.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem

- DGC: Projektledelse og udvikling og drift af forsøgsanlægget.
- HNG: Plastik- (PE) and stålrørs præparering og nedgravning samt installation etc. Opbygning af husinstallation.
- SGC/Tumab: Materialeanalyse af brinteksponerede rør.
- Norsk Hydro: Tilførsel af knowhow til projektet mht. brintanvendelse samt materialeanalyse af stålrør.
- Væsentligste underleverandør: Strandmøllen Industrigas A/S: Leverandør af gasfordelingssystem og prøvestand for gasmålere.

Undertegnede takker for et godt samarbejde gennem hele projektforsløbet.

Hørsholm, marts 2004

Henrik Iskov
Projektleder
Energiteknik og Sikkerhed

Lars Jacobsen
Laboratoriefchef

2 Resume og konklusion

I forbindelse med den stigende interesse for hvorledes brint kan integreres i samfundet, er spørgsmålet, hvorvidt brint kan transporteres i naturgasnettet, meget centralt.

DGC har tidligere gennemført en litteraturundersøgelse af, hvilke tidligere undersøgelser, der er udført inden for dette felt /4/. Det viste sig, at der var udført en del teoretiske undersøgelser, men uhyre få praktiske forsøg. Faktisk var det i litteraturen kun muligt med sikkerhed at identificere to praktiske projekter. Et amerikansk projekt fra slutningen af 1970'erne og et tysk fra midtfirserne. Behovet for aktuel viden om danske forhold og muligheder var åbenbart.

Formålet med nærværende projekt er at afdække mulighederne for brint-transport i det eksisterende danske naturgasnet. Undersøgelsen er afgrænset til distributionsnettet. Dette er realiseret ved opbygning af et selvstændigt ”mininaturgasnet”.

De brinttekniske anlæg til fordeling af brint og test af gasmålere er udviklet i samarbejde med gasindustrien. DGC har selv udviklet systemer til styring, regulering og overvågning af anlægget. De testede stål- og plastrør fra gas-distributionsnettet er tildannet og nedgravet efter gældende standarder og myndighedskrav af HNG, det regionale naturgasselskab.

Forsøgsdriften forløb over næsten hele 2003; i alt omkring 340 dages drift er gennemført. Overordnet set har der kun været små driftsproblemer.

Lækager blev detekteret ved idriftsættelsen efter brintpåfyldning og ellers med måneders mellemrum. Dog var der en mindre lækage fra en af gasmålerne gennem hele testperioden.

Analyser af forsøgsdata og efterfølgende materialeanalyser viser, at:

- 19 bar ståldistributionsrørene har været helt tætte i forsøgsperioden med undtagelse af nogle få gange, hvor en gevindsamling eller en ventil er sprunget læk.

- Stålmaterialet og svejsninger heri har været helt upåvirket af hydrogeneksponeringen.
- Trækstyrken er uændret for både grundmateriale og svejsezoner.

Analyser af forsøgsdata og efterfølgende materialeanalyser viser følgende:

- 4 bar plast (PE) distributionsrørene har lækket med en konstant lækrate gennem hele forsøgsperioden, svarende til et tab på 1 bar pr år. Den beregnede permeabilitet af hydrogen gennem rørvæggen udgør omkring 20 % af den målte lækage.
- Svejsbarheden ved praktiske svejseprøver har vist sig uændret efter forsøget.
- OIT test (ilt induktionstest) viser, at effektiviteten af den tilsatte antioxidant er nedsat, og at svejsbarheden efter få års fortsat eksponering med hydrogen kan være nedsat til et uacceptabelt niveau for højstyrke PE-rør (PE100).
- Trækstyrken har vist sig uændret for både grundmateriale og svejsezoner.
- Infrarød spektroskopi har vist, at grundmaterialet ikke har ændret kemisk sammensætning.

Industrigasmålerne og husholdningsgasmåleren er ikke blevet skadet af forsøgsdriften.

- Rekalibrering på respektive fabrikker har vist, at alle målere overholdt specifikationerne.
- Detailundersøgelse af følsomme komponenter som gummipakninger mv. viser ingen tegn på unormalt slid eller begyndende nedbrydning.
- I forsøgsperioden var der konstant en mindre lækage fra turbinegasmåleren. Ovennævnte detailundersøgelse viste ingen defekter i de komponenter, som lækkede, dvs. en konstruktionsændring er påkrævet ved overgang til brint.

Øvrige komponenter - som ventiler og filtre - er efter forsøgsperioden adskilt og undersøgt. Intet peger på skader forårsaget af hydrogeneksponering.

Samlet konkluderes, at forsøgsresultaterne indikerer, at der er muligheder for hydrogentransport via 19 bar ståldistributionsnettet og 4 bar plastdistributionsnettet.

For plastnettet kræves især yderligere undersøgelser af forholdene omkring de fundne tendenser til ændringer i smelteindeks og reduceret resistens mod oxidation efter brinteksponeringen. Endvidere bør de målte tendenser til øget stivhed for PEM plast og reduceret stivhed for PE 100 plast undersøges nærmere.

Forsøget har vist, at alle samlinger, komponenter og armaturer i gasnettet periodisk bør undersøges for lækage. Visse komponenter skal modificeres for at være tætte for hydrogen.

2.1 English summary

There has been a growing interest over the last years about how to implement the hydrogen society. In this connection the issue of how - and if at all - hydrogen can be transported via the natural gas grid is very important.

DGC carried out a literature study covering previous investigations in this area. The literature study showed that quite a few theoretical investigations, but only very few practical tests had been carried out. It was, in fact, only possible to identify two practical projects: An American project from the late 1970's and a German project from the mid-1980's. The need for up-to-date knowledge about the Danish situation was obvious.

The purpose of this project was to reveal the possibilities of transport of hydrogen via the existing Danish natural gas grid. The investigation only covers the distribution grid. For this purpose, a standalone "miniature gas grid" was built.

DGC developed the facilities for distribution of hydrogen and test of gas meters together with the gas industry, and systems for control, regulation and monitoring of these facilities were developed by DGC. The tested steel and plastic pipes from the gas distribution grid have been adapted and buried according to existing standards and authority regulations by HNG, the regional natural gas company.

Tests were made for almost the entire year 2003; resulting in a total of approx. 340 operation days. Generally, there were only slight operational problems.

Leaks were detected upon initialization after hydrogen filling; otherwise only at months' interval. However, a slight leakage from one of the gas meters was detected throughout the entire test period.

Analyses of test data and subsequent material analyses showed that:

- 19 bar steel distribution pipes were tight through the entire test period, apart from a few times when a threaded joint or a valve has become leaky.
- The steel material and welds in this material have been completely unaffected by the hydrogen exposure.
- The tensile strength is unchanged, for basic material as well as for welding zones.

Similar analyses of test data and subsequent material analyses showed that:

- 4 bar plastic (PE) distribution pipes have been leaking at a constant leak rate throughout the entire test period, corresponding to a loss of 1 bar per year. The calculated permeability of hydrogen through the pipe wall amounts to approx. 20% of the measured leak.
- Practical welding tests have proven an unchanged weldability.
- The melting index for three out of four hydrogen exposed PE80 pipes dropped by 5-10%. This could indicate incipient changes to the material. No changes were found in the PE100 samples after the hydrogen exposure.
- OIT (oxygen induction) tests showed that the efficiency of the added antioxidant was reduced and that a few years of continued hydrogen exposure could reduce weldability to an unacceptable level for high-strength PE100 pipes.
- The tensile strength is unchanged, for basic material as well as for welding zones.
- Infrared spectroscopy has shown that the basic material did not change its chemical composition.

Industrial gas meters and the domestic gas meter were not damaged by the test operation.

- Recalibration at various factories has shown that all meters complied with specifications.
- Detailed investigations of sensitive components such as rubber gaskets etc. show no signs of abnormal wear or incipient decomposition.
- During the test period a constant minor leak from the turbine gas meter was detected. The above detailed investigations showed no defects in the leaking components. I.e. a change of design is necessary when converting to hydrogen.

Other components such as valves and filters were taken apart for investigation after the test period. Nothing seems to indicate damages caused by hydrogen exposure.

The overall conclusion is that test results indicate possibilities for hydrogen transport via the 19 bar steel distribution grid as well as via the 4 bar plastic distribution grid.

The plastic grid requires additional investigations of the tendency towards changes in melting index and reduced resistance against oxidation after hydrogen exposure. Also, the tendency towards increased rigidity of PEM plastic and reduced rigidity for PE100 plastic needs to be investigated further.

The project showed that all joints, components and fixtures of the gas grid should be checked for leakages at regular intervals. Certain components should be modified in order to be hydrogen tight.

3 Indledning

Hvor der er rimelig viden om transport af ren brint i stålledninger ved højt tryk, fordi der findes sådanne net flere steder i verden, er der ringe viden om naturgasdistributionsnettets egnethed for drift med ren brint eller brint/naturgasblandinger. Kun ganske få forsøg er gennemført. Et amerikansk laborieforsøg i 1979 /1, 2/ og i Tyskland omkring 1980 /3/.

DGC har i samarbejde med de danske gasselskaber tidligere i form af et litteraturstudie gennemført en vurdering af brintdistribution og brintanvendelse sammen med naturgas, hvori det konkluderes, at distribution af brint i naturgas reelt ikke kan ske uden problemer, idet visse brugergrupper - som gasmotorer - ved bare 1-2 % brint kører med et for lavt metantal /4/. Andre brugergrupper - som kedler - vil formentlig uden problemer kunne anvende brintandele på op til 10-15 % uden justeringer /5/. For komponenter i distributionsnettet er indikeret problemer med visse smøre- og tætningsmidler.

De forhold i distributionsnettet, som kræver en nærmere belysning, er altså koncentreret omkring komponenter og ledningsmaterialer, som anvendes i dag i distributionsnettet. Nærværende projekt omhandler netop dette område.

3.1 Opgaveformulering

Projektets formål er at undersøge, om det eksisterende, godt 20 år gamle distributionsnet for naturgas kan anvendes til distribution af ren brint.

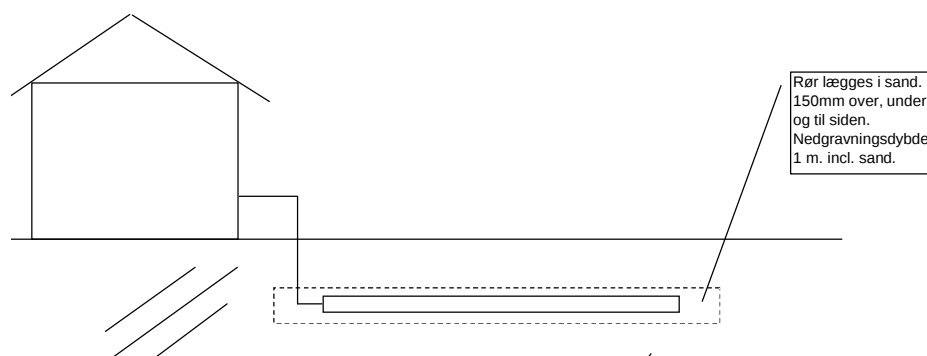
Projektet skal afklare, om materialer, komponenter og samlingsmetoder, som i dag anvendes i naturgasnettet, er anvendelige ved drift med ren brint, herunder om installationsmaterialer i de nuværende 300.000 naturgasinstallationer er anvendelige ved overgang til fordeling af brint.

3.2 Projektbeskrivelse

Til dette formål er opbygget en model af distributionssystemet med de normalt forekommende komponenter og materialer. Anlægget er fyldt brint ved normalt forekommende tryk, temperaturer og miljø. Dvs. som en del af forsøget er distributionsrørene af stål og plast gravet cirka 0,8 m ned i jorden

og lejret i sand, helt i overensstemmelse med gasselskabernes gældende standarder for rørlægning og i øvrigt også efter krav fra Arbejdstilsynet.

Brinteksponeringen af anlægget er foregået uafbrudt over 12 måneder. Et tidsrum, der skønnes tilstrækkeligt til at få sikre indikationer af, hvorvidt der vil forekomme negative påvirkninger fra brintbelastningen. Dermed vil det også være muligt at vurdere anvendeligheden over for brint af de nuværende komponenter i gasdistributionsnettet.



Figur 1 Placering af distributionsrør under forsøget

Forsøgsanlægget er helt separeret fra det eksisterende gasnet, da det vil være uhensigtsmæssigt at anvende en del af det eksisterende naturgasnet til forsøget, fordi det vil medføre en risiko for brintens udbredelse i nettet på en ukontrolleret måde. Eventuel nedbrydning af materialer i nettet vil medføre bekostelige reparationer, lækager vil medføre en forøget og uoverskuelig risiko, og installationer vil blive udsat for naturgas med en ukendt iblanding af brint med deraf følgende ukontrollable forbrændingsforhold.

Projektet er realiseret således:

- Mini-net bestående af et 20 bar stålnet
- Gasmåling med turbine- og rotationsmåler
- Fordelingsnet 4 bar PE-rør
- Anboringer og svejsning på 4 bar PE-rør
- Regulator og måler for husinstallation 4 bar/20 mbar
- Materialer typisk for husinstallation (samlingsmetoder, ventiler, rør, pakningsmaterialer mv.)

Projektet har, efter opbygning af dette system, bestået i en overvågning af lækager i systemet og kontrol af brintens påvirkning af materialerne. Herunder er der undersøgt:

- Smøre- og tætningsmidlers påvirkning
- Svejsesamlinger i stålledninger dimensioneret som naturgasledninger
- Membraner i regulatorer
- Gasmåleres retvisning og smøremidler i gasmålere
- PE-materialer dimensioneret som til naturgas
- Svejsninger i PE-rør og påvirkning fra brint over tiden
- Tæthed af samlinger af kobberrør i husinstallationer
- Tæthed af armaturer i husinstallationer

Der er via specialbyggede lækagesikre kompressorer cirkulation af brint gennem 4 bar og 20 mbar systemerne hver for sig for at opnå en god kontakt mellem brint og konstruktionselementerne, specielt af hensyn til gasmålere og deres smøremidler og tætningsmaterialer.

I rørledningssystemet er etableret konstant måling af lækageraten i de tre tryktrin med hver sit rørledningsmateriale.

3.3 Afgrænsninger

Projektets mål er ikke at give et udtømmende og sikkert svar på, om brint kan transporteres i det danske naturgasdistributionsnet. Projektet skal alene opfattes som en indikation af mulighederne herfor.

I hvilket omfang de forskellige naturgasbrugergrupper kan anvende naturgas tilsat brint, er en helt anden sag, der, som projekttitlen også indikerer, ligger uden for dette projekts rammer. Det kan dog nævnes, at undersøgelser har vist, at den maksimalt mulige brintandel er meget forskellig for de enkelte brugergrupper. En øget brintandel vil typisk kræve omjusteringer og ombygninger af driftstekniske og sikkerhedsmæssige årsager.

4 Udformning af forsøgsanlæg

4.1 Anlæg til test af stål og plastdistributionsrør



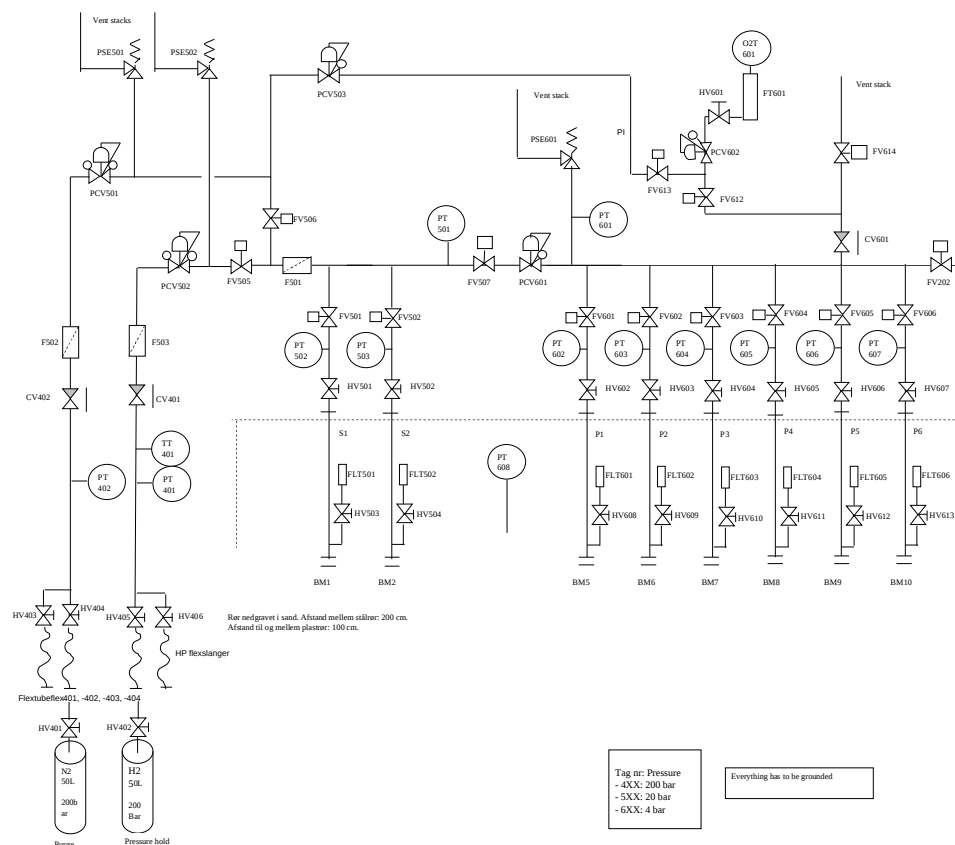
Figur 2 Realisering af anlægsopstilling



Figur 3 Placering og prøvning af testrør i henhold til gældende standarder

Af praktiske og sikkerhedsmæssige grunde blev det besluttet at opbygge forsøgsanlægget i det åbne land i betryggende afstand fra DGC's kontorhus. Ønsket om maksimal realisme ved rørlægning under knap 1 m jord- og sanddække nødvendiggjorde dette. At forsøgsanlægget indeholdt potentielt utætte (i forhold til brint) komponenter var givet, og valget af placering på det åbne land lettede klart myndighedernes (Arbejdstilsyn og Brandinspektion) godkendelse af anlægget.

Under overvejelserne om systemudformningen blev det undersøgt, om det var muligt at skabe cirkulation i alle testrør. Af tekniske og økonomiske årsager måtte cirkulation begrænses til de dele af forsøget, hvor der var et uomgængeligt behov herfor, nemlig testkredsløb for flowmålere ved 4 bar og 20 mbar.



Figur 4 Principtegning af testanlæg for stål- og plastdistributionsrør. Den stiplede linje afgrænser den nedgravede del. Testrør S1 og S2 er 19 bar stålrør, og testrørerne P1-P6 er 4 bar plastrør.

Brintforsyningssystemet er udviklet i samarbejde med Strandmøllen Industrigas, der har mange års erfaring med brinthåndtering og anlægsopbygning. Der er gennemført HAZOP risikoanalyse af systemet for på en metodisk måde at få gennemgået fejlmuligheder og opbygget styre-, regulerings- og overvågningssystemet, så systemet altid går i sikker tilstand ved uheld osv.

Med hensyn til valg af samlingstype for brintforsyningssystemet stod det på forhånd klart, at svejsning eller hårdlodning skulle anvendes i videst muligt omfang. Gevindsamlinger kunne erfaringsmæssigt give problemer, og samlinger baseret på plast-pakninger ville fx ved brand relativt hurtigt blive utætte.

Muligheder for antændelse af eventuelle lækager er søgt minimeret ved anvendelse af eludstyr i eksplosionssikker udførelse. Endvidere er automatiske ventiler aktiveret med inaktiv nitrogen i modsætning til den normale luft.

Anlægget indeholder to eksempler på brugte 19 baro ståldistributionsrør, der har været anvendt siden naturgasnettets start i Danmark for cirka 20 år siden. De to eksempler differentierer mht. antal svejsninger og opbygning i øvrigt.

Anlægget indeholder seks nye og brugte 4 baro plast (PE) rørstykker af forskellige kvaliteter og med varierende antal friktions- og elektro-svejsninger. Ved både at inddrage nye og brugte rørprøver af samme materiale fås også en indikerering af ældnings eventuelle betydning for brintbelastningen.

En oversigt over de anvendte testrør kan ses her:

Tabel 1 Oversigt over de i projektet anvendte stål- og plastrør, der er typer, der anvendes i det danske eller svenske gasdistributionsnet

Nr.	Tryk	Matr.	Bemærkninger	Dia	Længde	Længde lige del	Længde	Alder	Leverandør
	[bar]			[mm]	[m]	opr	jordlagt	matr.prøv	
S1	20	stål	Ligger i DGC lab	150	5	3	0.5	brugt	HNG
S2	20	stål	Ligger i DGC lab. Mindst 3 svejsninger på lige rør	150	5	3	0.5	brugt	HNG
P1	4	PEM DS 2131.2	Plastbasis: Fina eller Redidex	125	5	4	1	nyt	HNG
P2	4	PEM DS 2131.2	Plastbasis: Fina eller Redidex	125	5	4	1	20	HNG
P3	4	PE100, SDR 17		125	5	4	1	nyt	Tumab
P4	4	PEM DS 2131.2	3 sektioner med stuk- og elektrosvæjsning skiftevis hver 1/2 meter*	125	5	4	1	20	Tumab
P5	4	PEM DS 2131.2	3 sektioner med stuk- og elektrosvæjsning skiftevis hver 1/2 meter*	125	5	4	1	20	HNG
P6	4	PE100, SDR17	3 sektioner med stuk- og elektrosvæjsning skiftevis hver 1/2 meter*	125	5	4	1	nyt	Tumab

For alle otte testrør er udtaget en referenceprøve, dvs. et rørstykke der *ikke* kom i kontakt med brint i dette forsøg, og som under materialeanalyserne blev brugt som sammenligningsgrundlag.

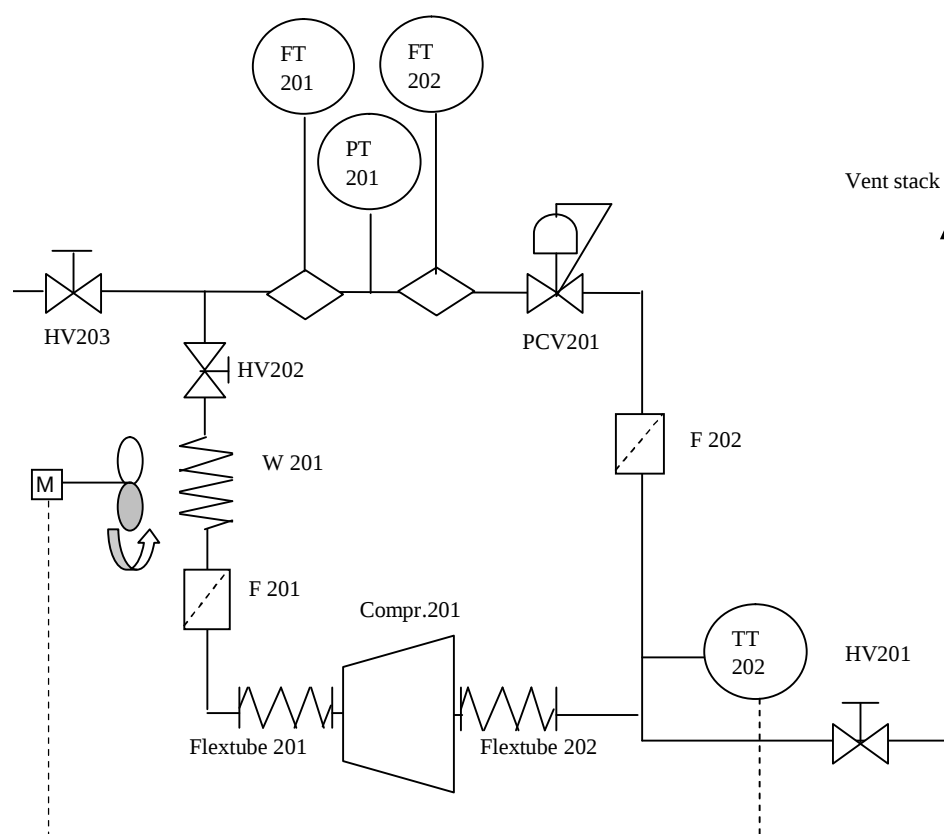
4.1.1 Anlæggets virkemåde

Hvert testrør holdes inden for et bestemt tryk- og iltvariationsområde. Stålrørerne ved 18-20 baro og plastrørerne ved 3-4 baro. Iltindholdet under 1 %. Dette overvåges og registreres løbende. Såfremt de fastsatte grænser overskrides, tilføres automatisk brint. I forbindelse med for højt iltindhold foretages først en delvis udluftning af røret.

4.2 Anlæg til test af industriflowmålere



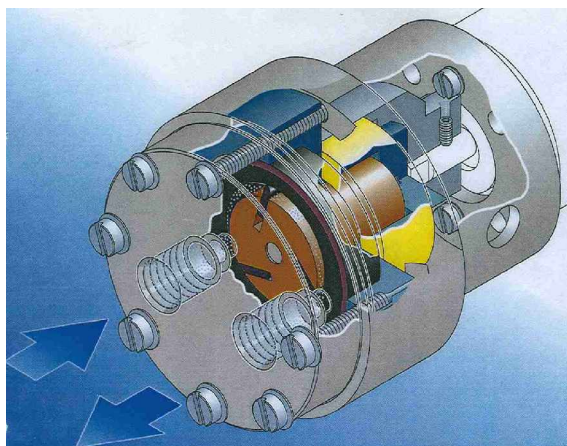
Figur 5 Praktisk realisering af kredsløbet



Figur 6 Principskitse over testkreds for 4 bar industrigasmålere

Anlægget er placeret i forlængelse af anlæg til rørtest og forsynes også herfra, idet driftstrykket er fastlagt til det normale 4 bar gauge (nominelt). Der testes to industriflowmålere af henholdsvis rotations- og turbinetype. Der er tale om størrelse G65 hhv. G100 fra det tyske firma Elster, der er almindeligt anvendt i Danmark. I et lukket kredsløb, der ligesom testrørene overvåges, registreres og holdes inden for fastsatte grænser for tryk og iltindhold, sikres cirkulation gennem målerne via en gaskompressor. Under forsøget var kompressoren af støjmæssige årsager begrænset til drift uden for normal arbejdstid. Målet var 5000 timers drift/år.

Det viste sig uhyre vanskeligt at finde en næsten absolut hydrogentæt kompressor til projektet. Kombinationen af løftehøjde og flowbehov pegede i retning af en blæser. Det viste sig dog ikke muligt at finde en hydrogentæt blæser på markedet. Løsningen blev en såkaldt gascirkulator fra ASF Thomas. Princippet heri er en excentrisk placeret rotor forsynet med tætninger i form af frit glidende skråt radiært placeret kulplader. Under rotation flyttes indsugningsvolumen til udstødsport. Se figuren nedenfor.



Figur 7 Principtegning for gascirkulator

Denne type har desværre to ulemper:

- Kulskiverne bliver til kulstøv, der potentielt kan påvirke gasflowmålerens retvisning.
- Gascirkulatoren kræver et oliefrit kompressionsmedie.

Da gasmålerne via deres oliesmøring begge potentielt kan betyde olietilførsel til den cirkulerede hydrogen, og kompressoren medfører forurening af måler med kulstøv, var det nødvendigt at indføre højeffektive filtre før og efter gascirkulatoren. Det blev besluttet at anvende en type filtre, som også anvendes i naturgasnettet, dog med mere effektive filterindsatse end normalt (5 μm mod normalt 20 μm).

Gasmålerne testes for brintpåvirkning:

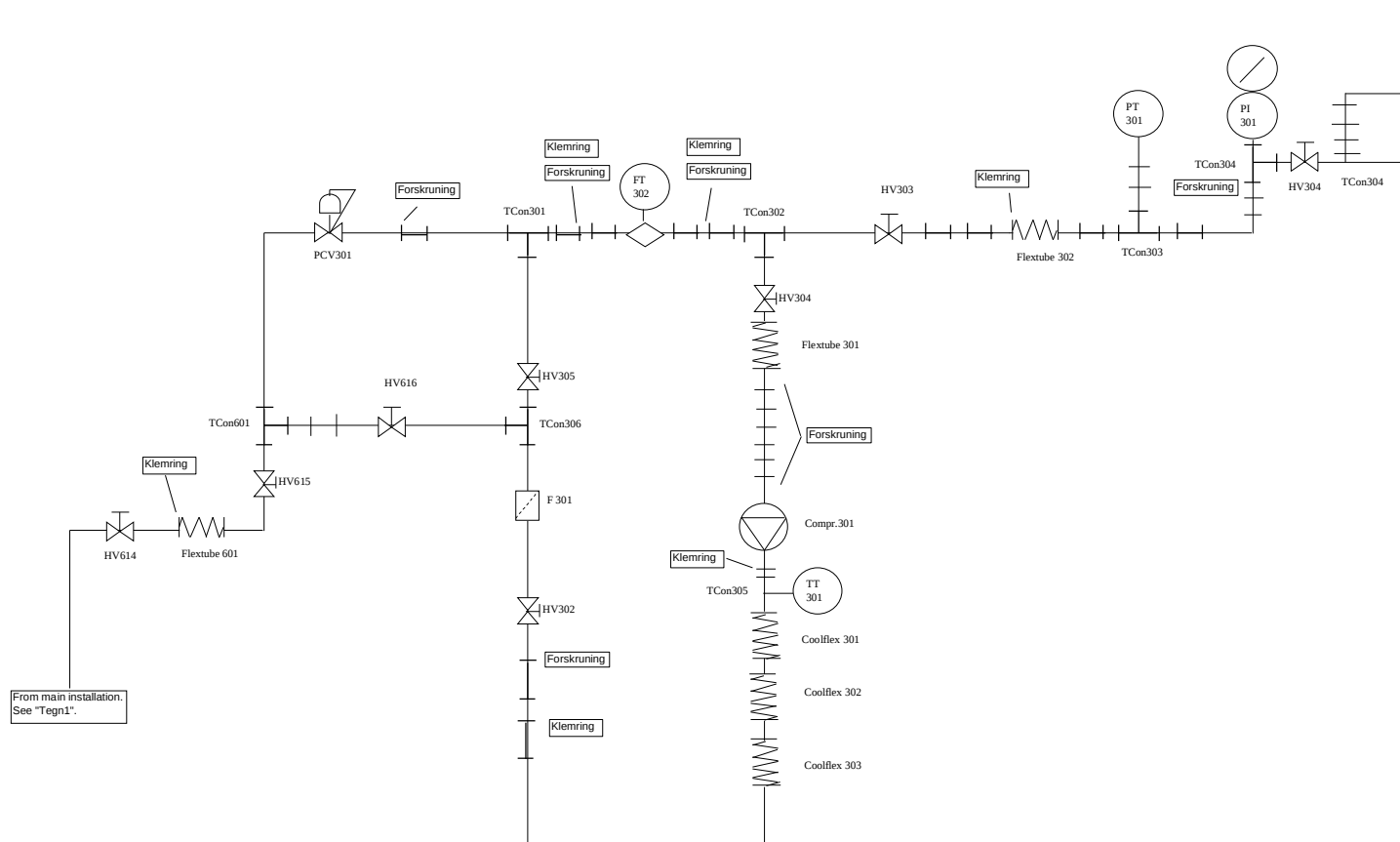
- Ved sammenligning af kalibrering på fabriksreferencelaboratorium før og efter testperiode
- Ved nogle gange under forsøget at sende en kendt mængde hydrogen gennem målerne og sammenholde dette med det via flowmålerne direkte målte
- Ved adskillelse af målere efter testperiode og undersøgelse af følsomme komponenter som gummitæt- og pakninger
- Undersøgelse af målersmøreolie

Testkredsløbet indeholder ud over gasflowmålerne endnu en testkomponent fra naturgasnettet, nemlig en trykregulator. Placeringen har nødvendiggjort en mindre modifikation, så ventilen holdes fuldt åben hele tiden.

4.3 Anlæg til test af husholdningsinstallation



Figur 8 Praktisk realisering af kredsløbet. På billedet mangler dog selve gasmåleren, der netop er afmonteret for efter driftsperiodens afslutning at blive undersøgt og recalibreret hos fabrikanten.



Figur 9 Principtegning af husholdningsanlæg

Husholdningsanlægget er placeret i forlængelse af anlæg til rørtest og forsynes også herfra, idet tilslutningstrykket er fastlagt til det normale 4 baro (nominelt). Anlægget indeholder som de øvrige testkredsløb ingen forbrugere, men en normal husholdningsgasmåler sammenbygget med en standard 4 bar-20 mbar trykregulator samt en lang række normalt forekommende samlinger af gevind- og kompressionstype.

Cirkulation gennem gasmåleren sikres med en gaskompressor af samme type (men dog en mindre størrelse) som for industrimålerkredsløbet. Også her har det været nødvendigt at indsætte et finfilter efter kompressoren for at undgå forurening med kulstøv i gasmåleren.

Gasmåleren testes på følgende måder:

- Ved sammenligning af kalibrering på referencelaboratorium før og efter hydrogentest

- Ved adskillelse og undersøgelse af bælge og tætninger
- Ved undersøgelse af smøremidler

De resterende komponenter og samlinger i systemet undersøges alene ved registrering af tryktab og udviklingen over tid.

5 Styring, regulering, overvågning og dataopsamling

Udformningen er baseret på en kravspecifikation, der er udviklet på baggrund af en behovsvurdering og en risikovurdering. Kravspecifikationen er placeret som Appendiks 1.

Styring af forsøgsopstillingen foregår ved hjælp af tre programmer, der er skrevet i "Labview":

- Dataopsamling
- Overvågning
- Styring

5.1 Dataopsamling

Programmet gemmer alle måleværdier samt oplysninger om ventilernes position (se *styring*) hvert 30. sekund. I bestemte situationer (fx ved iltmåling) gemmes data hvert sekund (se *styring*).

5.2 Overvågning

Programmet tjekker, om tryk og gastemperatur ved kompressor er inden for de angivne grænser. Endvidere slukker programmet kompressoren i fx tidsrummet mandag-fredag 8-17, og det starter iltmålinger med interval mellem 15 minutter og 1 dag.

5.3 Styring

Programmet kan køre på tre måder:

- **Automatisk styring:** programmet styrer iltmåling, påfyldning af rør, mv.
- **Sekvens:** programmet udfører én bestemt opgave (iltmåling, opstart eller nedlukning), på den måde, der er fastlagt i programmet.
- **Manuel styring:** brugeren kan selv åbne og lukke ventilerne på vilkårlig vis.

For en mere detaljeret beskrivelse af styring, regulering, overvågning og dataopsamling henvises til Appendiks 2.

6 Forsøgsdrift

6.1 Indledning

Anlægget blev idriftsat primo januar 2003 og kørte frem til ultimo december 2003, altså omtrent et helt kalenderår.

I hele denne periode er der logget forsøgsdata (knap 100 forskellige målinger) med normalt 30 sek. interval. Dette har medført en voldsom datamængde, der skulle behandles. Målefejl, der skyldes defekt udstyr, har pga. det store antal målepunkter forholdsvis let kunnet sorteres fra.

Undervejs har der løbende været småproblemer, der skulle afhjælpes, såsom nedbrud af eludrustning som fx datalogger og samlinger, der blev utætte.

6.2 Automatisk drift

Som hovedregel har anlægget kørt helt automatisk, dvs. ud over automatisk logning af resultater samt opstart og nedlukning af kompressorbaseret brint-cirkulation i henhold til fastsatte tidsskemaer har der i automatikken været indbygget et sikkerhedssystem, der til enhver tid skulle sikre, at anlægget skulle gå i sikker tilstand ved afvigelser fra acceptgrænser eller alle mulige tænkelige kritiske tilstande.

6.3 Flowmålerkontrol

Nogle gange under forsøgsperioden er gennemført kontrol af gasmålerne ved at lade en kendt mængde brint i et kendt tidsrum passere målerne og videre ud i det fri. Dette sammenholdes med gasmålerdata for samme periode.

7 Resultater af forsøgsdrift

7.1 Tæthed mod hydrogenlækager i 19 bar stålnet

7.1.1 Erfaringer fra idriftsættelse

Testrørene var trykprøvet på HNG's værksted før nedgravning. Efter nedgravning, men før jorddækning, blev rørene tæthedsprøvet med kvælstof og derefter med brint. Ingen utætheder blev detekteret. Der anvendtes sæbeskumsspray ved alle samlinger og en fintfølende brintdetektor.

7.1.2 Erfaringer undervejs i testperioden

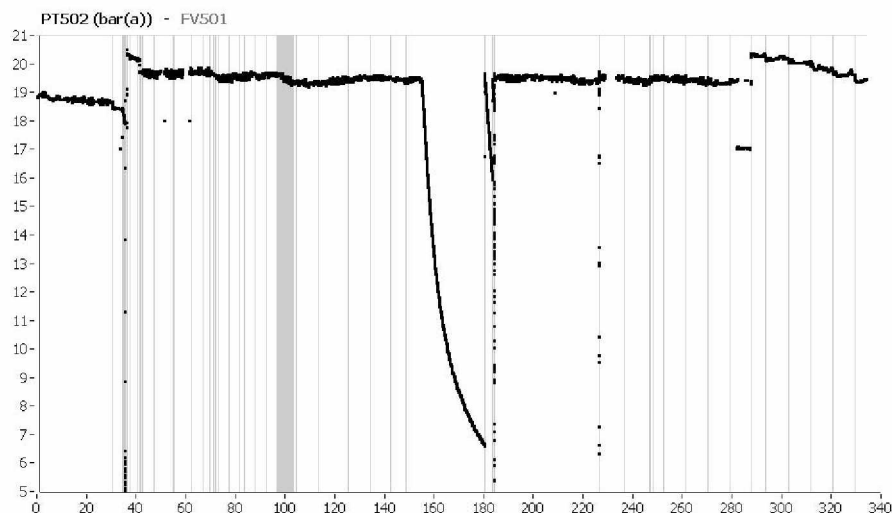
Efter tre måneders drift ved 19 baro tryk detekteredes en utæthed, der viste sig at stamme fra en udluftningsventil for enden af det ene stålør. Der var tale om en kugleventil, der blev utæt. I henhold til vanlig praksis for distributionsledninger blev problemet afhjulpet ved montering af en ekstra (tæt) ventil i serie med den utætte. Ved denne metode kan man undgå at tage en ledningsstrækning ud af drift, hvilket jo ellers kunne medføre store gener for gasbrugere.

Efter omkring seks måneders drift blev en gevindsamling på tilgangsrøret til et af stålørerne utæt. Der var tale om, at tætningspastaen var tørret ind og dermed blevet utæt. Skift til en anden PTFE-baseret gevindpasta løste problemet.

I løbet af de næste tre-fire måneder viste det sig, at der opstod brintlækager alle steder på forsøgsanlægget, hvor der var anvendt denne pasta. Problemet løstes i samtlige tilfælde ved skift til den PTFE-baserede pasta.

Det skal bemærkes, at den defekte pasta er af en type, som er anvendt af industrien til brintanlæg i en årrække uden problemer. Formodentlig skyldes det, at normale anlæg har et betydeligt flow og små lækager dermed ikke detekteres. Brintanlæg er i øvrigt som oftest placeret i det fri.

7.1.3 Resultater af 12 mdrs. datalogning



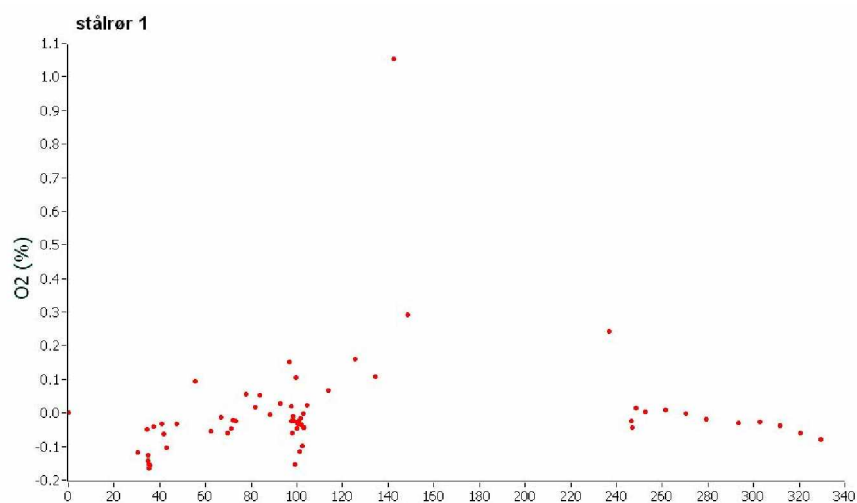
Figur 10 Trykket i teststålrør S1 vises her som forløbet under hele forsøgsperiodens 340 dage. De lyse lodrette streger angiver ventilåbninger i forbindelse med iltmålinger eller brintpåfyldning. Det store fald er udtryk for en pludselig opstået lækage.

Testrøret S1 inklusive armaturer og tilgangsrør må betegnes som tæt. Nogle få gange i løbet af testperioden har der været utætheder, der er blevet udbedret.

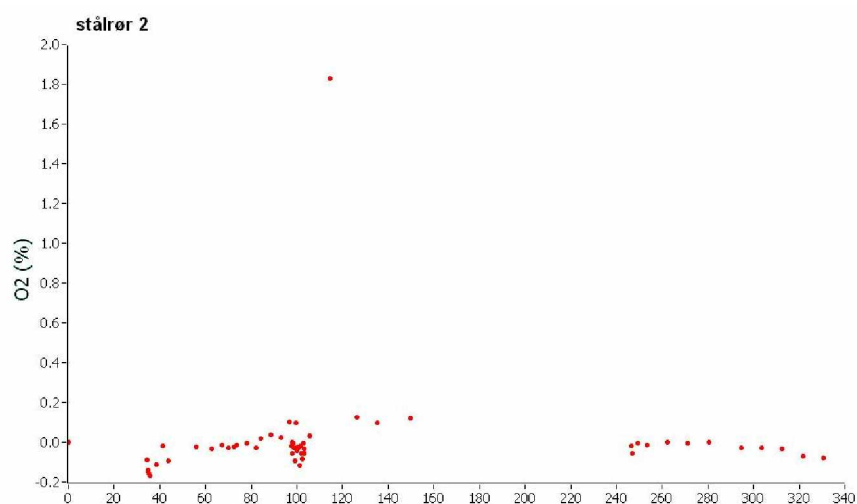
Den let vigende tendens i trykket i de sidste måneder af testperioden udgøres reelt af en række trappetrin, der dækker over, at der i forbindelse med iltmålinger i denne periode blev lukket et forhøjet volumen ud gennem iltmåleren. Dette var påkrævet, da undersøgelser nemlig havde vist, at iltmåleren af endnu ikke afdækkede årsager behøvede en større volumengennemstrømning end tidligere, før stabil måling kunne gennemføres.

Ligeledes viser trykmålingerne, at testrøret S2 må betegnes som tæt.

7.2 Tæthed mod iltindtrængning i 19 bar stålnet



Figur 11 Iltindhold i teststålrør S1 under hel testperiodens 340 dage



Figur 12 Iltindhold i teststålrør S2 under hele testperiodens 340 dage

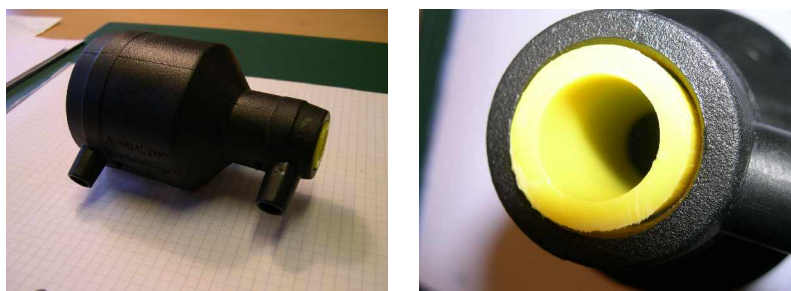
Figurerne viser, at iltindholdet er meget nær nul under hele testperioden. At der er registreret værdier lige under nul, er naturligvis udtryk for, at målerens nulpunktskalibrering har været en anelse ude af justering. Den stigning, der kan spores i midten af forsøgsperioden, vurderes at være en svag temperaturafhængighed af iltmåleren samt det uafklarede fænomen, der tidligere er omtalt, nemlig at måleren efter nogen tid fik en forøget træghed og krævede en større volumengennemstrømning end tidligere, før stabil aflæsning kunne gennemføres.

Når iltmåleren ikke måler iltindhold i testrørene, er iltsensoren eksponeret for atmosfærisk luft med en iltprocent på omkring 20. De enkelte relativt høje værdier på 1-2 %, der er registreret, er således udtryk for, at måleren pga. træghed ikke har nået at registrere den korrekte værdi.

7.3 Tæthed mod hydrogenlækager i 4 bar plast (PE) net

7.3.1 Erfaringer fra idriftsættelse

Testrørene var trykprøvet på HNG's værksted før nedgravning. Efter nedgravning, men før jorddækning, blev rørene tæthedsprøvet med kvælstof og derefter med brint. Ingen utætheder blev detekteret, men med brint viste det sig, at 50 % af overgangsstykkerne mellem testrørene og tilledninger var tydeligt utætte. Der er tale om et overgangsstykke af plast, der er elektro-svejst. Se billedet nedenfor.



Figur 13 Plastovergangsstykke mellem 125 mm plast testrør og tilledningsrør. Et meget anvendt armatur (Frialen d50/20 PE100 SDR11) i det danske gasnet. Bemærk det betydelige spillerum mellem tilgangsrør og overgangsstykke.

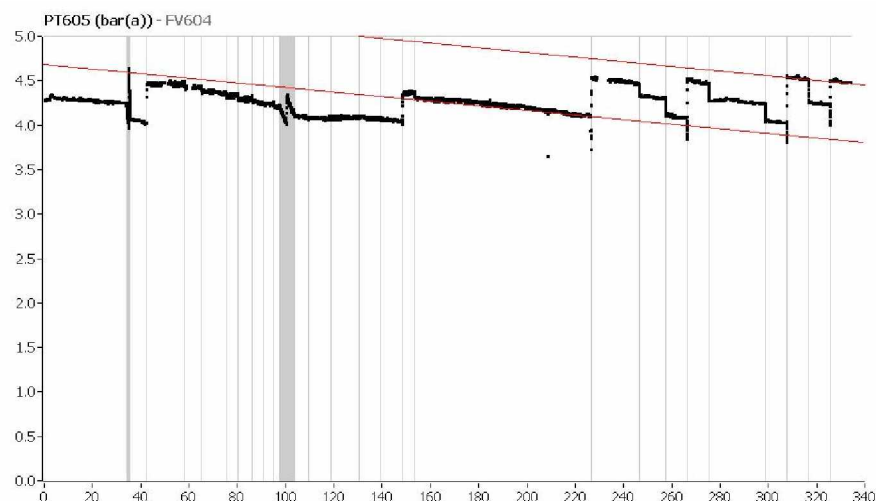
HNG har oplyst, at man i nogen tid har været klar over, at dette overgangsstykke må være i yderkanten af den tilladelige produktionstolerance. Det har vist sig at give en acceptabel tæthed med naturgas, men altså ikke med brint. Det var nødvendigt at udskifte omkring 50 % af disse overgangsstykker, der var monteret i begge ender af testrørene.

En tilsvarende udskiftning af dette overgangsstykke og formodentlig en række andre tilsvarende komponenter kan forventes ved tilsætning af brint til det danske naturgasnet.

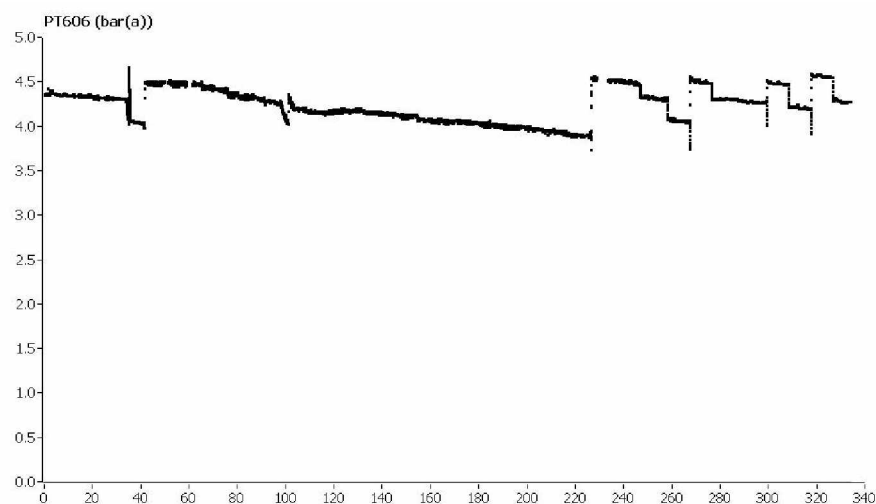
7.3.2 Erfaringer undervejs i testperioden

Undervejs i testperioden blev ikke observeret nye lækager.

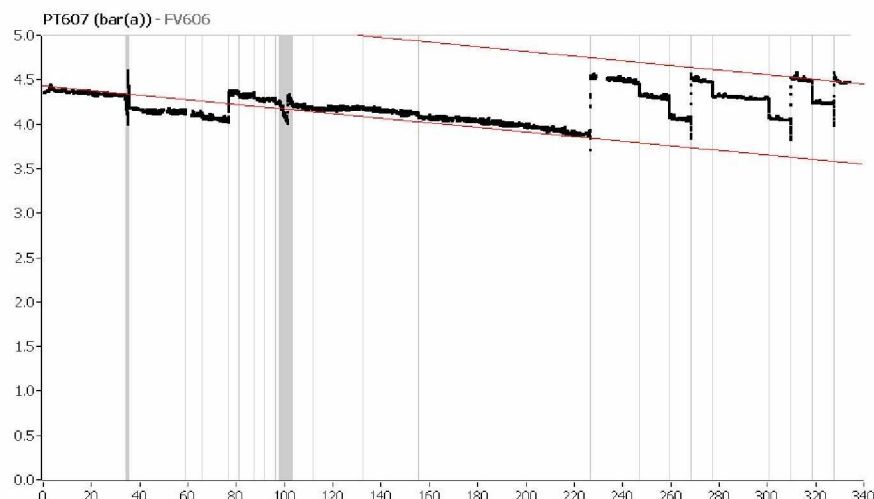
7.3.3 Resultater af 12 mdrs. datalogning



Figur 14 Eksempel på trykkets udvikling i et plasttestrør P4 gennem hele testperiodens 340 dage. De røde streger viser middellækagen på ca. 1 bar/år. De lyse lodrette streger angiver som for stålørerne ventilåbninger i forbindelse med iltmåling eller brint påfyldning.



Figur 15 Eksempel på trykkets udvikling i et plasttestrør P5 gennem hele testperiodens 340 dage



Figur 16 Eksempel på trykkets udvikling i et plasttestrør P6 gennem hele testperiodens 340 dage

Ovenfor ses forløbet af overtryk i tre ud af de seks plasttestrør. Forløbet for samtlige seks rør ser nogenlunde ens ud. *Det vurderes, at der i alle tilfælde er tale om, at plastrørene lækker en svag mængde brint ud. **Det anslås at være omkring en bar pr. år**, hvilket skønnes at være meget beskedent. Med de foretagne målinger er det ikke til at afgøre, om lækagetabet stammer fra transport gennem plastrørvæggen eller samlinger m.m. eller en kombination heraf.*

Generelt består lækagetab af:

- Diffusion gennem revner og små huller
- Permeabilitet gennem rørvæg
- Lækager fra samlinger og tætninger i armaturer
- Overgravningstab

Teoretiske overvejelser og målinger fundet i litteraturen /1, 2/ har vist, at lækagetabet typisk er tre gange større volumenmæssigt, men energimæssigt på samme niveau som for naturgas.

Vedrørende hydrogens permeabilitet (gennemtrængelighed) gennem rørvæggen er fundet fra IGT-undersøgelser omkring 1980 /1, 2, 7/:

	$\frac{\text{ft}^3\text{-mil}}{\text{ft}^2\text{-day-atm}} \times 10^{-3}$	
<u>PE Pipe</u>	<u>CH₄</u>	<u>H₂</u>
2306	4.2*	20.0
3406	4.6	21.4
3408	7.1	28.7

Figur 17 Permeabilitetskonstanter ved 21°C for kommercielt tilgængelige PE-gasdistributionsrør med metan (naturgas) og hydrogen. Tal fra amerikansk undersøgelse i 1980 /7/.

Figur 17 viser cirka fem gange højere permeabilitet for hydrogen end for naturgas. PE er specielt modstandsdygtigt over for brintpermeabilitet. Plasttyper som ABS og PVC har cirka 100 gange højere permeabilitet over for brint end over for metan /8/. ABS og PVC har tidligere været brugt en del til gasdistribution i udlandet.

Antages, at vores PE-testrør svarer til type 3404 vist i tabellen ovenfor, er der for testrøret med 3 bar overtryk beregnet et årligt permeabilitetstab på 6,1 l H₂. (Som en tilnærmelse er anvendt tabellens værdi for permeabilitetskonstant, der er målt ved 21°C. I vores forsøg har årsmiddeltemperaturen for det nedgravede rør ligget cirka 10°C lavere, hvilket betyder, at permeabilitetskonstanten er lavere. Temperaturafhængigheden kendes ikke.) Dette kan sammenholdes med det *målte lækagetab på 1 bar*, der svarer til en lækage på 29 l (nettovolumen for testrøret). Det beregnede *permeabilitetstab udgør således cirka 20 % af det målte tab*. Normalt regnes permeabilitetstab for helt forsvindende i forhold til det samlede lækagetab.

Beregninger på det amerikanske PE-gasrørsnet (154276 miles i 1980) viser, at det beregnede naturgastab fra permeabilitetstab gennem rørvæggen er mindre end 0,02 % af det samlede gastab.

I Danmark er man blandt gasselskaberne overbevist om, at overgravningstab udgør langt den største kilde til lækager. Derfor regner man kun med dette og har helt opgivet at opgøre det øvrige tab.

De seneste danske opgørelser fra 2002 viser et samlet tab i gasdistributionsnettet på 38,9 ton fordelt på 18120 km distributionsnet. I forhold til den samlede transportmængde på 3420 mio. m³n, er der tale om et tab på 0,11

promille. Et forsvindende lille tab. Tabet svarer til gennemsnitligt 3 l/år pr. m rørstrækning.

Dette danske overgravningstab i gasnettet ville for vores testplastrør svare til et tryktab på omkring 0,3 bar/år.

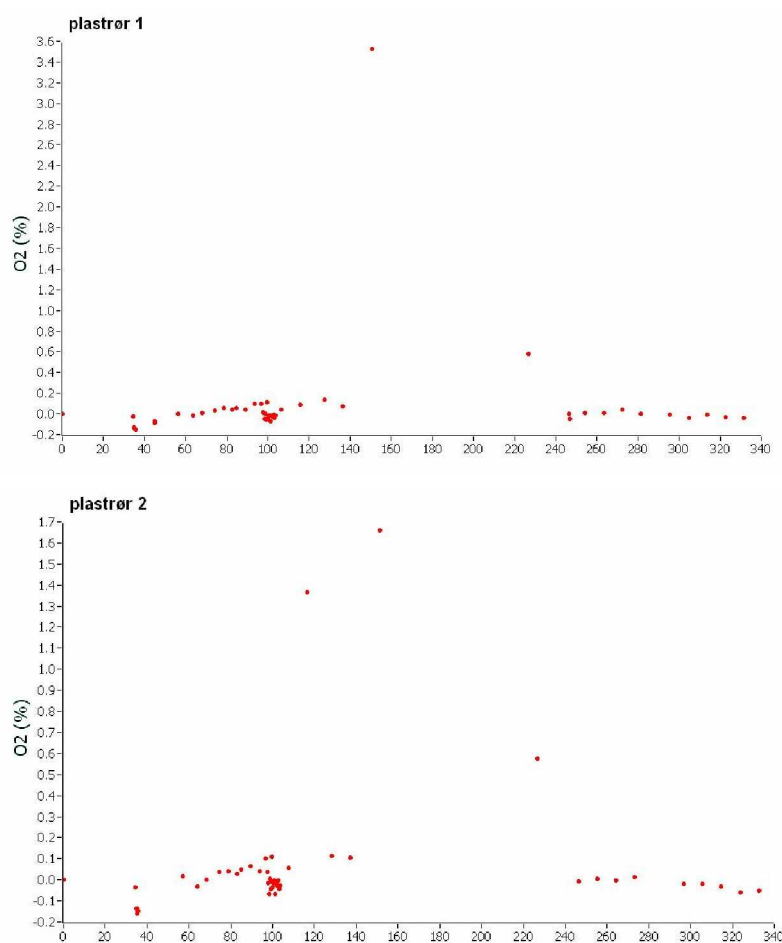
Da vi ud fra forsøgsresultaterne har fundet et tryktab på omkring 1 bar/år uden at have haft overgravningsskader, *kan man groft anslå, at man med hydrogen vil have minimum det tredobbelte tab volumenmæssigt uden overgravningstab. Antages overgravningstabet med hydrogen at være tre gange højere end for naturgas fås, at det samlede lækagetab med hydrogen vil være mindst seks gange højere end det nuværende danske overgravningstab. Som nævnt skal man op på det tredobbelte tab, før det energimæssigt svarer til naturgas.*

En forsigtig konklusion på målingerne af tab fra plastrørene er, at det indikerede tab ikke synes uacceptabelt højt. I forhold til internationale skøn for naturgastab i distributionsnet virker det endog meget lavt.

En opskalering af tabsmålingerne for plastrørene i forsøget og til en vurdering af det samlede tab med hydrogen i det danske naturgasnet ved overgang til brinttransport er naturligvis ikke mulig. Det samlede net indeholder en lang række potentielt for hydrogen utætte komponenter som målere, regulatorer, ventiler og kompressorer m.m. Fx har den i forsøget anvendte turbinegasmåler været konstant utæt for hydrogen. Se Kapitel 7.6.3.

Internationale tal for de samlede gastab (overgravningstab og alle andre lækager) ligger omkring 100 gange højere end de danske tal. Dette forklares med, at det danske naturgasnet er meget nyere end de fleste udenlandske og samtidig af meget høj kvalitet og høj vedligeholdelsesstandard. Danske lækageundersøgelser har hidtil stort set kun afdækket utætheder i de gamle tidligere bygasnet ved overgang til naturgas.

7.4 Tæthed mod iltindtrængning i 4 bar plast (PE) net



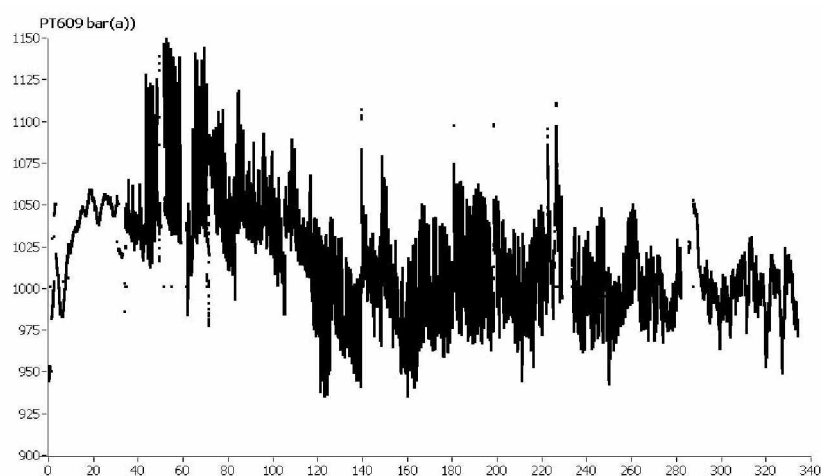
Figur 18a og 18b

Iltindhold i plastrør P1 og P2 i løbet af hele forsøgsperioden.

Forløbet er næsten identisk for samtlige seks testplastrør. De enkelte høje værdier skyldes fejl i målesystemet.

Figurerne viser som for ståltestrørene, at iltindholdet er meget nær nul under hele testperioden. At der er registreret værdier lige under nul, er naturligvis udtryk for, at målerens nulpunktskalibrering har været en anelse ude af justering. Den stigning, der kan spores i midten af forsøgsperioden, vurderes at være en svag temperaturafhængighed af iltmåleren samt det uafklarede fænomen, der tidligere er omtalt, nemlig at måleren efter nogen tid fik en forøget træghed og krævede en større volumengennemstrømning end tidligere, før stabil aflæsning kunne gennemføres. Dette gælder som tidligere omtalt også for de enkelte høje værdier, der er registreret.

7.5 Tæthed mod hydrogenlækager i 20 mbar husholdningsinstallation



Figur 19 Absolut tryk i millibar i husholdningskredsløbet

Trykniveauet i en husholdningsinstallation i Danmark er normalt 20-25 millibar overtryk. Under forsøget er forsøgsvis de første 120 dage kørt med et lidt højere tryk, nemlig omkring 70 millibar overtryk.

I denne periode er der en klar indikation af tryktab fra systemet. Der var dog tale om mængder så små, at det ikke var muligt at detektere disse med brintlækagesøgere eller sæbevand.

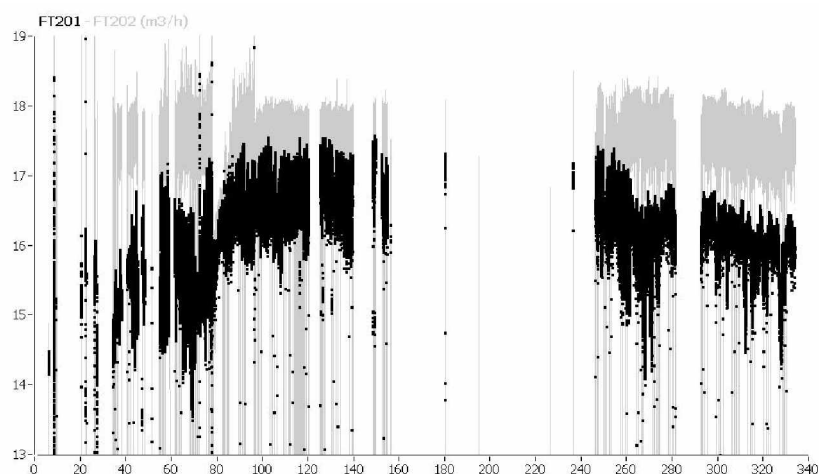
I sidste del af forsøgsperioden holdtes et tryk på de normale 20-25 mbar overtryk. Desværre har dette medført, at tryktabsmålingen sløres så meget af udvikling i barometerstanden, at det reelt i denne periode ikke er muligt at identificere lækager ud fra disse målinger.

Lejlighedsvis lækagekontrol med læksøger afslørede ingen lækager, så eventuelle lækager må have været beskedne, men absolut sandsynlige.

Det konkluderes, at husholdningssystemet ved et driftstryk på 20 millibar har været nogenlunde tæt i forsøgsperioden.

7.6 Flowmåling med 4 bar flowmålere

7.6.1 Udvikling gennem forsøgsperiode



Figur 20 Sammenligning af de to industriflowmålere FT201 og FT202. FT202 er af rotationstypen og FT201 er af turbinetypen. Hullet i midten dækker over, at cirkulationen blev stoppet i sommerferieperioden.

Af Figur 20 fremgår, at rotationsmåleren måler et nogenlunde konstant flow, mens turbinemåleren måler faldende værdier ved lavere temperaturer. Turbinemåleren måler på intet tidspunkt samme værdier som rotationsmåleren.

Afvigelsen for turbinemåleren antages at skyldes slippet mellem gasstrømmen og turbinerotoren. Dette slip må være afhængigt af lejefriktion for rotoren, der igen er afhængig af smøreoliens viskositet, som formentlig er højere ved lave temperaturer og derved kan bidrage til et øget slip og dermed fejlvisning.

Det vurderes, at kombinationen af medie (brint), driftstryk og flow simpelthen ligger uden for det område, hvor turbinemåleren kan vise korrekt flow.

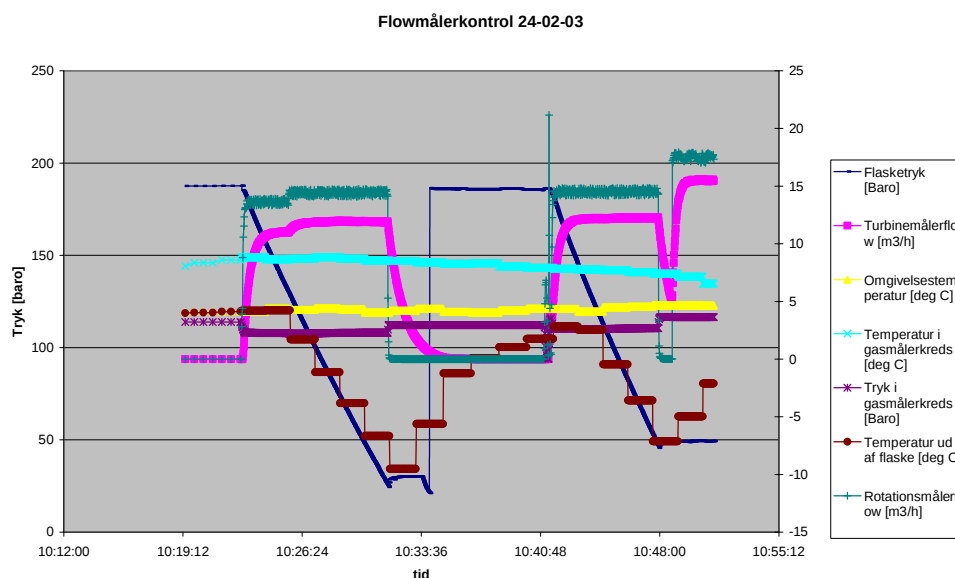
Ifølge målerfabrikanten Elsters datablad for denne målertype skulle måleområdet med under 1 % fejl omfatte 10-100 % af maks. flow, dvs. ned til 16 m³/h skulle fejlen være under 1 %. Det bekræftes af recalibreringen (med luft) på fabrikkens referencelaboratorium efter forsøgets afslutning, hvor

måleren fx ved et flow på $16 \text{ m}^3/\text{h}$ havde en fejlvisning på 0,2 %. Ved $8 \text{ m}^3/\text{h}$ var fejlvisningen på 2 %. Se nedenfor.

Rotationsmåleren har et måleområde, der indeholder et betydeligt lavere minimumsflow. Ved recalibreringen (se nedenfor) var fejlvisningen ved et flow på knap $2 \text{ m}^3/\text{h}$ omkring 1 %.

7.6.2 Kontrol af flowmålere i forsøgsperioden

Flowmålerne kalibreres med luft før og efter forsøgsperioden på fabrikantens eget referencelaboratorium. I tillæg hertil er søgt gennemført en enkel kontrol af målerne under drift, se Figur 21.



Figur 21 Udvalgte procesdata for flowmålerkontrol

Metoden til en overslagsmæssig kontrol af flowmålerens retvisning bestod i, at der i en kort periode af nogle minutters varighed blæstes frisk brint gennem flowmålerne ved stort set at lukke det meste af indholdet af en standard 50 l trykflaske med brint ud. Herefter sammenlignes den gennemsnitligt udstrømmende mængde med flowmålervisning i samme periode.

Gns. udstrømmende flow, beregnet ud fra ændring i tryk og temperatur i trykflaske samt forløbet tid = $14,5 \text{ m}^3/\text{h}$

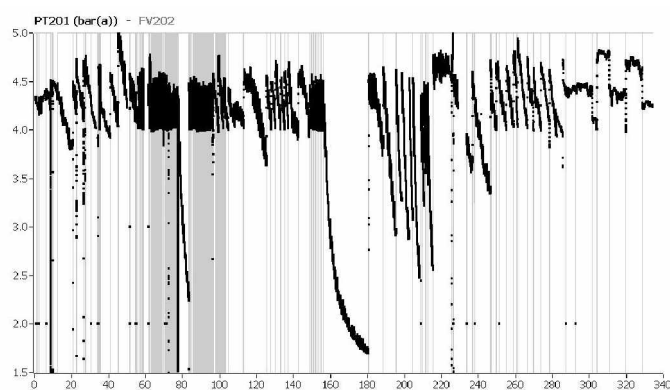
Rotationsmålerflow, se Figur 21 = 14 – 15 m³/h

Turbinemålerflow, se Figur 21 = 12 – 13 m³/h

Det står klart, at rotationsmåleren er mest retvisende ved disse flowforhold.

For turbinemåleren skønnes, at en acceptabel målepræcision med brint ved de aktuelle tryk og temperaturer kræver et væsentlig højere flow end oprindeligt forventet ud fra fabrikantens datablad.

7.6.3 Lækage fra 4 bar flowmålerkredsløb



Figur 22 Tryktab gennem forsøgsperioden. Der er en klar indikation af lækage gennem hele perioden.

Løbende undersøgelser med lækspray og brintdetektor viste, at lækagen det meste af tiden stammede fra turbinegasmåleren. Nærmere bestemt returventilen i forbindelse med den manuelle oliepumpe. En detailundersøgelse efter forsøgsperiodens udløb viste ikke defekter på ventilen eller lækager i øvrigt med fabrikkens normale testgasser, der dog ikke omfatter brint.

Et par gange undervejs i forsøgsperioden opstod pludseligt lækage fra gevindsamlinger. Der var her brugt en gevindtætningspasta af typen "Loctite Permatex form-a-gasket nr.3". En type, som industrien ofte har anvendt i brintanlæg. Efter skift til PTFE-baseret tætningspasta var lækageproblemerne med gevindsamlinger fjernet i resten af forsøgsperioden.

Fra ingen af de øvrige komponenter i 4 bar flowmålerkredsløbet, som

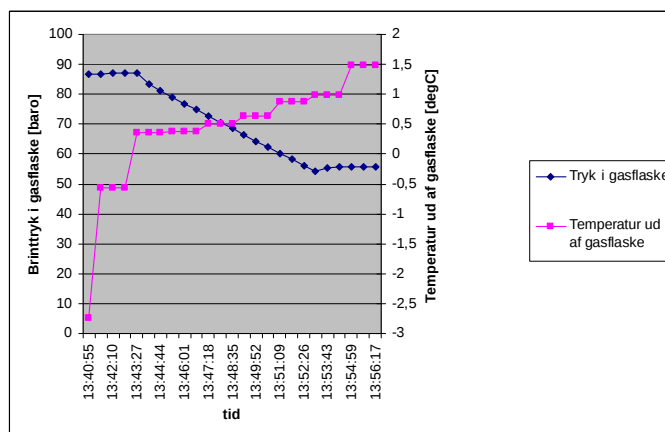
- kompressor
- rotationsgasmåler
- reguleringsventil
- filter

blev der detekteret lækager i forsøgsperioden.

7.7 Flowmåling med 20 mbar husholdningsmåler

Den anvendte husholdningsmåler fra AC5M fra IGA har ikke umiddelbart elektronisk udlæsning af flow, og i forsøget er det derfor valgt primært at kontrollere måleren ved recalibrering og adskillelse efter forsøgsperiodens udløb. Under forsøgsperioden kontrolleres lækager og målerens retvisning efter samme metode som anvendt ved kontrol af industrimålerne, dog med den afvigelse at flow (akkumuleret) aflæses manuelt på måler.

7.7.1 Kontrol af husholdningsmåler i forsøgsperioden



Figur 23 Trykforløb i flaske under kontrol af husholdningsmåler

Gennem måleren passerede en brintmængde svarende til et trykfald i gasflaske fra 87,04 bar til 55,6 bar ved cirka 0°C. Dette svarer til brintmængde på $(7,4-4,7) \times 0,05 = 0,135$ kg svarende til 1,517 m³n.

Aflæst på måler AC5M:

Før forsøg = 59338,012 m³

Efter forsøg = 59339,542 m³

Akkumuleret flow under kontrolforsøg = 1,53 m³n

Husholdningsmåleren måler med stor sandsynlighed korrekt inden for den normale tolerance. Flowet har under kontrolforsøget ligget omkring 9 m³/h. Ifølge databladet er maks. tilladeligt flow for gasser som brint (G<0,45) cirka 7,5 m³/h.

Måleren har på dette tidspunkt i slutningen af den etårige forsøgsperiode kørt cirka 4000 timer med en brintflowbelastning på omkring fuld last 7,5 m³/h, uden at dette umiddelbart har påvirket målepræcisionen. Se senere vedr. recalibrering og målerstand i øvrigt.

8 Resultater af materiale- og komponentundersøgelser

8.1 Materialeteknisk undersøgelse af 19 bar gauge ståldistributionsrør

Der er gennemført undersøgelser af de hydrogeneksponerede stålrør. Til sammenligning er der lavet tilsvarende undersøgelser af ikke-hydrogeneksponeret materiale af samme materialetype og alder, se Bilag 1.

Undersøgelserne er udført på Norsk Hydros koncernforskningscenter, der har stor erfaring med hydrogen og undersøgelser af stålrør for gas og olie.

Der er gennemført

- Trækprøvning
- Metallografi af slip af svejsezoner
- Kemiske analyser (XRF-XRD) af belægninger
- Vurdering af tilladeligt H₂S indhold i naturgas set i forhold til brinttilsætning
- Vurdering af hårdhed (beregnet ud fra brudstyrke)

Ingen af disse undersøgelser og vurderinger af miljø indikerer, at stålrørene er påvirket i negativ retning af de 12 måneders brinteksponering.

Dette undersøgelsesresultat skal kun opfattes som *en indikation* af, at 19 bar stålnettet kan anvendes til distribution af hydrogen. Der er dog behov for en langt større undersøgelse, før der kan gives et estimat af, hvad der kræves af tekniske ændringer og investeringsbehov i 19 bar stålnettet, før sikker anvendelse kan foregå. Disse undersøgelser vil omfatte nye risikoanalyser, da hydrogen fx normalt betyder større sikkerhedsfaktorer ved dimensionering.

8.2 Materialeteknisk undersøgelse af 4 bar gauge plastdistributionsrør

8.2.1 Svejsbarhedsundersøgelser

Tumab har gennemført undersøgelse af svejsbarhed for stumpsvejsning og elektromuffesvejsning for eksponerede og ikke-eksponerede rør og fundet,

at der ikke er nævneværdige forskelle. Dvs. det vurderes, at *svejsbarheden er uændret*.

8.2.2 Infrarød spektroskopi (FTIR)

FTIR er en metode, der anvendes til at identificere forskellige organiske forbindelser og funktionelle grupper i materialet. Ifølge resultaterne er der ikke forskel i spektrene på henholdsvis eksponerede prøver og referenceprøven. Der er taget prøver både på inder- og ydersiden, da det vil være i disse grænselag, at eventuelle ændringer vil kunne ses. *Resultaterne (Bilag 2) viser, at grundmaterialet ikke har ændret kemisk sammensætning under forsøget.*

8.2.3 Smelteindeks

Smelteindeks fortæller noget om flydeevnen af materialet. Flydeevnen er afhængig af sammensætningen af materialet, og en ændring i materialet vil således kunne ses i ændring af flydeevnen. Ifølge resultattabellen (Se Bilag 2) for smelteindeks er det små ændringer, der ses. *Resultaterne viser, at for tre ud af fire brinteksponerede rør af typen PEM efter DS 2131.2 (betegnet "gul" i bilag 2) er der målt et fald på 5 – 10% i smelteindekset.* Da usikkerheden på målingen er 5%, må faldet betegnes som en tendens, der dog bør undersøges nærmere. For højstyrkerørene af typen PE 100 efter SDR 17 er ikke målt forskelle mellem brinteksponerede og ikke brinteksponerede rør.

8.2.4 Iltinduktionstid (OIT)

OIT er et udtryk for materialets evne til at modstå oxidation. Materialet er tilsat antioxidant fra producenten for at forhindre at materialet oxideres med tiden, og dermed kan blive sprødt. Disse antioxidant kan måske ændres/omdannes ved påvirkning af for eksempel brint, og OIT-testen gennemføres for at se, om materialet har ændret sig. Prøver er udtaget fra inderside af rør og 0,5 mm ned i godset. Ifølge den nye DS/EN-1555 standard skal PE-materialet have en OIT > 20 min. Alle prøver har klaret testen, *men for højstyrkeplastrørene af PE100 efter SDR 17 (betegnet "orange" i bilag 2) er der en klar tendens til noget faldende værdier.* Det vil sige, at rørene ikke er så modstandsdygtige over for oxidation (og muligvis også andre påvirkninger), som de oprindeligt var. Konsekvenserne kan blandt andet være øget oxidation og sprødhed og på sigt mindre svejsbarhed (dog først når værdier

er under 20 min.). En øget sprødhed medfører større udsathed for slag- og temperaturpåvirkninger.

Set i lyset af at plastrørsdistributionsnettet forventes at have en levetid på op i mod 50 år, er de registrerede tendenser til reduktion i smelteindeks og OIT-værdi forhold, der absolut bør undersøges nærmere, fx i form af accelererede test ved forhøjet temperatur..

8.2.5 Mekanisk prøvning

Analyseresultater af trækprøvninger af såvel hydrogeneksponeret materiale som ikke-eksponeret materiale foreligger for samtlige testrør i bilag 2a.

Resultaterne viser at for tre ud af fire eksponerede testrør af typen PEM efter DS 2131.2 betegnet ”gul” i bilag 2a er målt en stigning i E modul og et fald i forlængelse ved flydning. Rørene er blevet en anelse stivere. For højstyrkerørene af typen PEM 100 efter SDR17 er målt den modsatte tendens. De eksponerede rørs E – modul er faldet lidt og forlængelse ved flydning er steget lidt. Tendenser, der bør undersøges nærmere via mere længende forsøg eller accelererede tests.

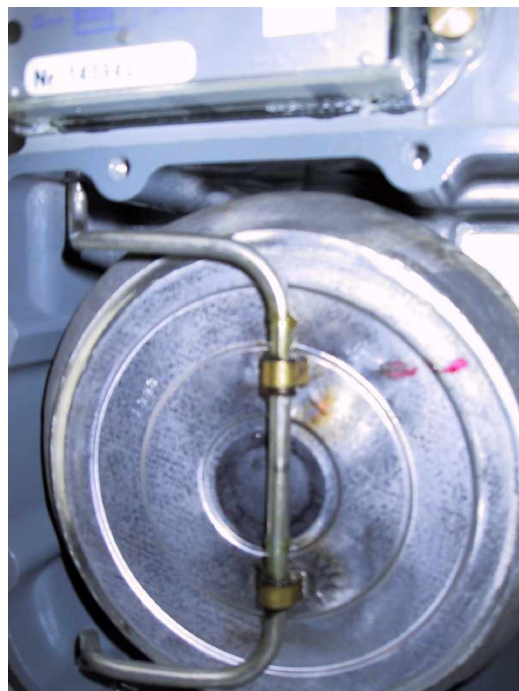
Sammenlignende trækstyrkeprøvninger af svejsezone og lige rør for alle hydrogeneksponerede rør foreligger i bilag 2b.

Resultaterne herfra viser for samtlige testrør ingen forskelle mellem brudstyrke i svejsezone og brudstyrke af ikke – svejsezone.

8.3 Flowmålere til naturgas anvendt til hydrogen (rot, turb, bælg)

8.3.1 Husholdningsmåler IGA AC5M

Husholdningsmåleren blev efter forsøgets afslutning nedtaget og sendt til producenten IGA for recalibrering og nærmere undersøgelse af følsomme komponenter som gummimembraner, pakninger samt smøremiddel.



Figur 24a-24c

Husholdningsmåleren adskilt for inspektion

8.3.2 Rekalibrering

I henhold til IGA's analyserapport (se Bilag 3) viser rekalibreringen på fabrikkens egen referenceprøvestand, at måleren overholder specifikationerne for denne måler. Den konkrete måler er i øvrigt 10 år gammel.

8.3.3 Detailundersøgelse

IGA har adskilt måleren, som billederne ovenfor indikerer, og undersøgt de kritiske komponenter som membraner, pakninger, lejer og smøremidler. Samtlige dele er fundet i fin stand. *Der er ingen tegn på begyndende nedbrydning af komponenter eller forøget slid.* Måleren har under forsøget været "presset" til drift ved maksimalt tilladeligt flow. Hvilket ved overgang til brint formentlig kan være nødvendigt, da der for samme energimængde kræves betydeligt større flow.

Smøremiddel i måleren, der består af fedt i visse lejer, ser intakt ud, og konsistensen virker normal. Der er heller ingen tegn på abnormt slid.

8.3.4 Elster turbine- og rotationsmålere

Disse industrimålere blev efter forsøgets afslutning nedtaget og sendt til producenten Elster for rekalibrering og nærmere undersøgelse af følsomme komponenter som gummimembraner, pakninger samt smøremiddel.

8.3.5 Rekalibrering

I henhold til Elsters kalibreringsattester overholder begge målere specifikationerne. Se Bilag 4.

8.3.6 Detailundersøgelse

Fabrikken adskilte begge målere og undersøgte følsomme komponenter som kunstofdele, gummidele og pakninger for påvirkning fra brint. Elster har også undersøgt, om der kunne konstateres et forøget slid på metaldele.



Figur 25a-25b

Turbinemåler adskilt for undersøgelse

Elster undersøgelse viser, at alle komponenter i målerne findes helt normale. Se Bilag 4.

8.3.7 Smøremidlers egnethed ved hydrogendrift Shell/Sayboldt analyse

De i gasmålerne anvendte specielle smøreolier (hydrauliktype) er analyseret hos olieproducenten Shell. *Der kan ikke konstateres ændringer i nogen af oliernes væsentlige karakteristika.* Som reference er foretaget sammenlignende analyser af ubrugte prøver af de samme oliebatches, som er anvendt under forsøgsdriften. Se Bilag 5.

8.4 Øvrige naturgasarmaturer anvendt til hydrogen

8.4.1 Reduktionsventil

I 4 bar flowmålerkredsløbet var indbygget en i naturgasnettet anvendt reduktionsventil (RMG 300) der var modificeret internt, således at den var konstant holdt fuldt åben for gennemstrømning. Tanken var alene via indbygningen at få eksponeret ventilens komponenter for brint. Efter forsøgsperiodens udløb blev reduktionsventilen afmonteret og adskilt, se Figur 26.



Figur 26 Reduktionsventil og filter (de hvide dele) adskilt efter forsøgsperiodens udløb

En undersøgelse af samtlige komponenter viste ingen tegn på svækkelse eller begyndende nedbrydning.

Som tidligere omtalt blev der heller ikke detekteret lækager i forsøgsperioden fra denne komponent

8.4.2 Filtre

Umiddelbart i forbindelse med reduktionsventilen var monteret et i naturgasnettet anvendt gasfilter (RMG 906). Også dette blev efter forsøgsperioden adskilt for undersøgelse af, hvorvidt pakninger var under nedbrydning. Se figuren ovenfor.

Ingen tegn på nedbrydning blev fundet. Og lækager blev som nævnt heller detekteret undervejs.

9 Referencer

1. Jasionowski, W.J.; Johnson, D.G. and Pangborn, J.B.: Suitability of Gas Distribution Equipment in Hydrogen Service. Institute of Gas Technology, Chicago, Illinois, 1979. Proceedings of the 14th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Boston, Massachusetts, August 5-10, 1979, vol. 1.
2. Jasionowski, Walter J.. H. Ding Huang. Study of the Behavior of Gas Distribution Equipment in Hydrogen Service – Phase II. Project 65 022 Final Report for the Period April 26 1979 through June 26 1980. July 1980.
3. Bunger, U; Schmalschläger, T. und Zittel, W: Durchführbarkeits studie für einen räumlich begrenzten H₂-Einsatz im Versorgungsgebiet der Stadtwerke”, München, Oktober 1994. Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH. P. 39.
4. Andersen, Paw, Celia Juhl, Lars Bo Pedersen, Asger N. Myken, Henrik Iskov: Brint som energibærer. Dansk Gasteknisk Center. 1999. ISBN 87-7795-172-7.
5. Polman, E.A.. De Laat, J.C. and Crowther et al: Reduction of CO₂ emissions by adding hydrogen to natural gas. IEA Greenhouse programme. Report no. PH4/24. October 2003. Draft.
6. LabVIEW fra National Instrument. www.ni.com
7. Steinmetz, George F.: Review presentation for transmission, distribution and bulk storage of hydrogen relative to natural gas supplementation. Baltimore Gas and Electric Company. 1993.
8. Pangborn, Scott og Sharer: Technical Prospects for Commercial and Residential Distribution and Utilization of Hydrogen. International Journey of Hydrogen Energy, vol 2. 1977.

Appendiks 1: Kravspecifikation for system til styring, regulering og overvågning

Oversigt

Der sondres mellem manuel og automatisk styring. Manuel styring vil dels ske via håndbetjente ventiler og dels via fjernbetjente ventiler.

Regulering og overvågning samt datalogning skal ske automatisk med en passende frekvens. Datalogning skal ske af alle sensorsignaler. Der skal ske logning af antal åbne/lukke bevægelser over tid, for at man kan beregne lækage på kort og langt sigt.

Automatisk regulering og overvågning foretages af følgende procesværdier:

Tryk: PT201, PT401, PT402, PT501-503, PT601-608. Bemærk, at PT608 er absolut sensor, hvor de øvrige måler relativt.

Temperatur: TT401

Flow: FT201, FT202

O₂ indhold via O2T601

i område S1, S2 og P1,P2,P3,P4, P5,P6 samt i gasmålerkredsløb. Måleværdierne benævnes således:

O₂ % i S1: O2T601-S1

O₂ % i S2: O2T601-S2

O₂ % i P1: O2T601-P1

O₂ % i P2: O2T601-P2

O₂ % i P3: O2T601-P3

O₂ % i P4: O2T601-P4

O₂ % i P5: O2T601-P5

O₂ % i P6: O2T601-P6

O₂ % i gasmålerkredsløb: O2T601-GASM

Tilsvarende betegnelser anvendes for de beregnede størrelser **O₂ vækst** (delta O₂/delta t) og **tryktab/lækage** (delta p/delta t).

Tilladte størrelser for procesværdier opnås ved

Manuel indstilling af følgende ventiler

Trykreduktionsventiler: PCV501, PCV502, PCV503, PCV601, PCV602, der alle er selvstyrende og dermed *ikke* indgår i PC styringen. Indstilles ved hjælp af påbyggede manometre. Kan senere finjusteres ved hjælp af tryk-transmittere.

Sikkerhedsventiler: PSE 501, PSE502 og PSE602 , der alle er selvstyrende og dermed *ikke* indgår i PC styringen.

Håndventil HV601 indstilles til mindste anvendelige måleflow for iltmåler vha. flowmåler FT601. Georg Jørgensen fra Geopal har gennem målinger den 11. december 2002 fundet, at der kan opnås tilfredsstillende resultater helt ned til flow på 0,1 l pr. minut. Geopal anbefaler for en sikkerheds skyld anvendelse af 0,2 l pr. minut. Dvs. før hver iltmåling skal der strømme nitrogen i 90 sek. for at bringe sensoren ned til 0 % ilt. Herefter skal brint strømme i tilstrækkelig lang tid, til at det sikkert er testvolumen, der måles på. Herefter skal der strømme gas i 90 sek. Samlet skønnes, at der skal strømme hydrogen/oxygenblanding i 2-3 minutter, før en stabil måling kan foretages.

Automatisk (PC styring) aktivering af følgende ventiler

Pneumatiske ventiler: FV202, FV501, FV502, FV505, FV506, FV507 og FV601-FV606 og FV612, FV613, FV614 (15 i alt).

Tilladte størrelser for procesværdier (min., maks. eller fast)

PSE 501 Indstillingstryk 25 baro. Indstillet af Strandmøllen.

PSE 502 Indstillingstryk 25 baro.

PSE 601 Indstillingstryk 6 baro. Indstillet af Strandmøllen.

PT201 3;3,5 baro. FV202 (FV507, FV505 konstant åbne under normal drift) åbnes, når tryk når ned på 3,0 baro og lukkes, når det når 3,5 baro.

PT401 25;240 baro. Flaske skiftes, når tryk når ned på 25 baro.

PT402 25;240 baro. Flaske skiftes, når tryk når ned på 25 baro.

PT501 17 baro. Indstilles/styres lokalt af PCV502. Alarm ved 19 baro.

PT502	16;17 baro. FV501 åbnes, når tryk falder til 16 baro, og lukkes ved 17 baro.
PT503	16;17 baro. FV502 åbnes, når tryk falder til 16 baro, og lukkes ved 17 baro.
PT601	3,5 baro. Alarm ved 4 baro.
PT602	3,0;3,5 baro. FV601 åbnes, når tryk falder til 3,0 baro, og lukkes ved 3,5 baro.
PT603	3,0;3,5 baro. FV602 åbnes, når tryk falder til 3,0 baro, og lukkes ved 3,5 baro.
PT604	3,0;3,5 baro. FV603 åbnes, når tryk falder til 3,0 baro, og lukkes ved 3,5 baro.
PT605	3,0;3,5 baro. FV604 åbnes, når tryk falder til 3,0 baro, og lukkes ved 3,5 baro.
PT606	3,0;3,5 baro. FV605 åbnes, når tryk falder til 3,0 baro, og lukkes ved 3,5 baro.
PT607	3,0;3,5 baro. FV606 åbnes når tryk falder til 3,0 baro, og lukkes når ved 3,5 baro.
PT608	Atmosfæretryk = 0 baro.
PCV 502	Indstilles til 17 baro.
PCV 501	Indstilles til 17 baro.
PCV 601	Indstilles til 3,5 baro.
TT401	Hydrogentemperatur. Forventes at være -20 til +35°C
FT201	Antal HF pulser logges.
FT202	Antal HF pulser logges.
FT 601	Flow gennem iltmåler. Indstilles manuelt til 0,2 l/min.
O2T601	iltindhold i hydrogen eller under opstart i helium, kvælstof eller Formiergas.

KUN, når der måles iltindhold i HYDROGEN, gælder O2T601.

Min;maks1;maks2 -0,1;0,5;1. % vol. 0,5% er advarselsniveau.

O₂-vækst = O₂-stigning pr. tidsenhed: Beregnes løbende. Skal være under 0,1 procentpoint pr. time (startforslag).

Tryktab/lækage = trykfald pr. tidsenhed. Skal være under 0,1 bar/time (startforslag). **BEMÆRK! Dette krav skal ikke gælde ved brintudluftning i forbindelse med iltreduktion og heller ikke under iltmåling!!**

Noget om tider

- 1) Mellem åbning af to ventiler skal der være min. 3 sek.
- 2) Hvis ikke ønsket slutværdi for tryk nås inden 30 sek., er der noget galt
⇒ alarm.
- 3) Der skal indsættes maks. till. tider for at nå 0,2 % med/uden N₂.

Ventilstillinger

a) Normal drift

Håndventiler *lukket*: HV201, HV503, HV504, HV608, HV609, HV610, HV611, HV612, HV613.

Håndventiler *åben*: HV202, HV203, HV401, HV402, HV403 eller (og) HV404, HV405 eller (og) HV406, HV501, HV502, HV601, HV602, HV603, HV604, HV605, HV606, HV607.

Magnetventiler *lukket*: FV202, FV501, FV502, FV506, FV601, FV602, FV603, FV604, FV605, FV606

Magnetventiler *åben*: FV505, FV507

Procedurebeskrivelser

1a) Fastholdelse af lav iltprocent O2T601-S1,-S2,----

Basis herfor er periodisk måling af iltprocent i alle lukkede testvoluminer. Se procedure herfor under pkt. 2a. Såfremt iltprocent er for høj, skal der automatisk ske brintudskiftning efter følgende procedure. Som eksempel beskrives procedure for testvolumen S1.

- a) FV505 lukkes
- b) Via åbning FV501 samt FV614 luftes hydrogen med for højt iltindhold ud, indtil trykket PT502 falder til 3,0 baro.
- c) Herefter lukkes FV604 og FV501. FV505 åbnes.
- d) Via automatisk trykreguleringsventil PCV502 vil frisk brint herefter blive tilført til maks. tryk 3,5 baro.

- e) Hvis ikke en acceptabel iltprocent opnås efter et bestemt antal udluftninger med frisk brint $\Rightarrow$ alarm.

1b) Fastholdelse af lav iltprocent O2T601-P1,-P2,-P3,-P4,-P5,-P6,-GASM

- a) FV505 og FV507 lukkes.
- b) Via åbning af FV601 og FV614 luftes hydrogen med for højt iltindhold ud, indtil trykket PT602 falder til 3,0 baro.
- c) Herefter lukkes FV614 og FV601. FV505 og FV507 åbnes.
- d) Via automatisk trykreguleringsventil PCV502 og PCV601 vil frisk brint blive tilført til maks. tryk 3,5 baro.

2a) Periodisk måling af iltprocent (hver time måles, senere øges afstand) for testvolumen S1 og S2

- a) 90 sek. før måling sendes N₂ gennem iltmåler O2T601 ved åbning af FV613. HV601 justeres til flow = 0,2 l/min.
- b) Herefter lukkes FV613 og FV505.
- c) FV612 samt trykluftventil for det aktuelle testvolumen (FV501 for S1, FV502 for S2) åbnes i 120 sek. HV601 justeres til flow = 0,2 l/min. (Processen kan speedes op ved kort åbning af FV614).
- d) Luk trykluftventil for aktuelt testvolumen (FV501 for S1 og FV502 for S2) og FV612.
- e) Åbn FV505.

2b) Periodisk måling af iltprocent (hver time måles, senere øges afstand) for testvolumen P1, P2, P3, P4, P5, P6 og GASM

- a) 90 sek. før hver måling sendes N₂ gennem iltmåler O2T601 ved åbning af FV613.
- b) Herefter lukkes FV613, FV505 og FV507.
- c) FV612 samt trykluftventil for det aktuelle testvolumen (FV601 for P1) åbnes i 120 sek.
- d) Luk trykluftventil for det aktuelle testvolumen (FV601 for P1) og FV612.
- e) Åbn FV505 og FV507.

a)-e) gentages hver time (dette interval justeres efter behov) for hvert testvolumen S1, S2, P1, P2, P3, P4, P5, P6 og gasmålerkreds

3) Første opstart

3.0 Kold test, dvs. uden hydrogen fyldning

Alle PC-aktiverede enheder testes for korrekt forbindelse og virkemåde.

Dvs. det testes, om skærm billede, tastatur og virkelighed stemmer overens, og om der er overensstemmelse med nyeste diagram (722.22/komponenter/-).

3.1: Tæthedsprøvning, manuelt – men PC anvendes til aktivering af trykluftventiler (eller er der on-site aktivering mulig?)

Alle nedgravede rør skal FØR jorddækning tæthedsprøves med Helium eller Formiergas (90 % N₂+10 % H₂). Gasfyldning foretages i flere omgange, fx tre gange, hvor der hver gang påfyldes gas indtil maks. tilladeligt tryk minus 0,5 bar tryk, og gassen lukkes derefter ud gennem FV614 til et tryk på 0,5 baro. Efter tre omgange kontrolleres iltprocent. *Gasfyldning er slut, når iltmåling viser, at gassen indeholder under 1 % ilt.* Strandmøllens opstilling skal ligeledes tæthedsprøves efter opstilling og tilslutning til jordrør og øvrige forbindelser on-site.

Hvor tæt? Målet er en tæthed svarende til naturgasanvendelse. Såfremt enkelte komponenter ikke kan tættes til et acceptabelt niveau (årligt gasforbrug vurderes), må disse dele fjernes i det videre forsøg og erstattes i nødvendigt omfang med ”sikre” komponenter. Erfaringerne logges til den endelige afrapportering.

3.2: Påfyldning af hydrogen, manuelt via on-site aktivering

Udgangspunkt er et komplet passende tæt anlæg fyldt med kvælstof, Helium eller Formierblanding, hvor det med sikkerhed vides, at iltprocent inden for få timer er under 1% i samtlige testvoluminer.

Gasfyldning foretages i flere omgange, fx tre gange, hvor der hver gang påfyldes gas indtil maks. tilladeligt tryk minus 0,5 bar tryk, og gassen lukkes derefter ud gennem iltsensor til et tryk på 0,5 baro. *Gasfyldning er slut, når iltmåling viser, at gassen indeholder under 1 % ilt, og det ønskede gastryk er opnået.*

Herefter:

4) Normal opstart

Udgangspunkt:

4.1: Efter nedlukning (defineret som når tryk, tryktab og iltprocent ikke har været overvåget under to timer)

Denne to timers grænse kan udvides, efter at erfaring er høstet!

Iltmåling foretaget inden for to timer i alle testvoluminer har vist iltprocent under 1 %. Hvis der er gået mere end to timer, skal alle testvoluminer have målt iltprocent som ovenfor beskrevet. Såfremt der er over 0,5 % ilt i gas-sen, eller trykket er for lavt, vil den automatiske tryk- og iltholdeprocedure sørge for genopretning. Når tilfredsstillende værdier er nået for tryk, tryktab og læk, kan hydrogenkompressor startes, og anlægget er i normal driftsfase. Kompressoren startes/stoppes efter ur i PC, således at drift afpasses ud fra målet om færrest mulige støjgener for nærliggende kontorer.

4.2: Efter nedlukning over 24 timer

Denne 24 timers frist udvides og tilpasses efter erfaringer.

Anlægget er/skal være fyldt med kvælstof og skal før start fyldes med hydrogen efter 3.2 proceduren. Iltprocent og lækrate skal overvåges løbende. Når tilfredsstillende værdier er opnået, startes hydrogenkompressor efter timerindstilling, og anlægget er i normal driftsfase

5) Normal drift

Defineres som den tilstand, hvor anlægget overvåges mht. iltprocent og lækrate ($\Delta p / \Delta t$). Hydrogenkompressor kører efter timer-indstilling, dvs. er enten stoppet eller i drift.

6) Normal nedlukning af anlæg (under/over 2 eller 24 timer)

Nedlukning er kun planlagt til at ske i forbindelse med prøveudtagning, hvilket kun forventes at ske højst en gang i driftsperioden. Øvrig nedlukning vil kun ske i forbindelse med, at driftsparametre ikke kan holdes, som lækrate eller maks. iltprocent. Dette kan skyldes enten mekaniske eller elektriske fejl på anlægget eller sensorsvigt. Denne type nedlukning betegnes ”nødnedlukning”, se pkt. 7.

7) Nødnedlukning - automatisk eller via nødstop på siden

Såfremt det ikke er muligt at holde iltprocent eller tryktab/lækrate inden for acceptgrænserne (se "Tilladte størrelser ---") skal foretages nødnedlukning. Dette kan ske enten totalt eller for et enkelt testvolumen.

- a) **Læksøgning.** Er anlægget p.t. bemanded, forsøges logning med hydrogendetektor (lånt fra Geopal) og infrarød detektor (trådløst termometer). Sidstnævnte vil kunne afdække, om brand er opstået.
- b) **Det konkrete fejlbehæftede testvolumen** skylles/purges/fyldes med N_2 . De øvrige testvoluminer holdes brintfyldte med fortsat trykovervågning.

8) Automatisk (nød)skylning med N_2

Gasfyldning foretages i flere omgange, fx tre gange, hvor der hver gang påfyldes gas, indtil maks. tilladeligt tryk minus 0,5 bar tryk, og gassen lukkes derefter ud gennem iltensor til et tryk på 0,5 baro. *Gasfyldning er slut, når iltmåling viser, at gassen indeholder under 1 % ilt, og det ønskede gastryk er opnået.*

Som eksempel nøds skylles testvolumen P1:

- a) FV505 lukkes.
- b) FV601 og FV614 åbnes, til brinttryk PT602 er faldet til 0,5 baro.
- c) Luk FV614.
- d) Åbn FV506 (FV507 forventes åben som under normal drift).
- e) N_2 tryk i P2 vil derefter indstille sig på maks. tilladeligt tryk 3,5 bar.
- f) Luk FV506.
- g) Gentag b)-f) to gange.
- h) FV505 og FV614 åbnes i et sekund. Herved udluftes den beskedne rest N_2 i fordelingsrøret. Bemærk, at programmeringstid kan være forskellig fra ovennævnte tid pga. reaktionstider.
- i) FV614 lukkes.
- j) Anlægget kan nu fortsætte i normal drift med undtagelse af det fejlbehæftede testvolumen.

8) Kalibrering af flowmålere FT201 og FT202

Dette er en overvejende manuel procedure, som forventes foretaget to-tre gange i forsøgsperioden. Typisk i forbindelse med opstart eller afslutning. Anlægget skal være fuldt overvåget. I hvert fald skal registreres løbende værdier for TT401, PT401, FT201, FT202, PT201.

- a) En 10 l brintflaske tilsluttes via HV405 eller HV406. Den ikke anvendte SKAL være lukket. Det forudsættes, at alle flasketilslutninger altid har en flaske monteret.
- b) FV506 er lukket. FV505, FV507 samt FV202 er åbne.
- c) Til tiden = 0 åbnes HV201 forsigtigt.
- d) HV201 indstilles, så der opnås et flow gennem gasmålerne på mindst 10 % af fuld skala for turbinemåleren. Det betyder en relativt højere belastning af rotationsmåleren, da den har et mindre måleområde.
- e) Når trykket PT401 er faldet til ca. 10 baro, lukkes HV201.
- f) En almindelig 50 l brintflaske erstatter 10 l testflasken.
- g) Normal drift kan herefter iværksættes.

Appendiks 2: Styring, regulering, overvågning og dataopsamling

Udformningen er baseret på en kravspecifikation, der er udviklet på baggrund af en behovsvurdering og en risikovurdering. Kravspecifikationen er placeret som Appendiks 1.

Styring af forsøgsopstillingen foregår ved hjælp af tre programmer, der er skrevet i "Labview", et særligt edb-program, der indeholder en lang række byggesten/moduler, der letter opbygning af automatisk styring, regulering, overvågning og dataopsamling specielt i forbindelse med forsøgsopstillinger /6/:

- Dataopsamling
- Overvågning
- Styring

1. Dataopsamling

Programmet gemmer alle måleværdier samt oplysninger om ventilernes position (se *styring*) hvert 30. sekund. I bestemte situationer (fx ved iltmåling) gemmes data hvert sekund (se *styring*).

2. Overvågning

Programmet tjekker, om tryk og gastemperatur ved kompressor er inden for de angivne grænser. Endvidere slukker programmet kompressoren i fx tidsrummet mandag-fredag 8-17, og det starter iltmålinger med interval mellem 15 minutter og 1 dag.

Når programmet startes, indlæses alarmgrænser. Værdierne kan ændres i styringsprogrammet.

Overvågningsprogrammet kan kun stoppes i styringens hovedmenu, når alle andre programmer (undtagen dataopsamling) er stoppet.

3. Styring

Programmet kan køre på tre måder:

- **Automatisk styring:** programmet styrer iltmåling, påfyldning af rør, mv.
- **Sekvens:** programmet udfører én bestemt opgave (iltmåling, opstart eller nedlukning), på den måde, der er fastlagt i programmet.
- **Manuel styring:** brugeren kan selv åbne og lukke ventilerne på vilkårlig vis.

3.1 Automatisk styring

Det automatiske styringsprogram kan udføre seks typer funktioner:

0. Normal drift: FV505 og FV507 er åbnet; alle øvrige ventiler lukket. Styring afventer signal fra overvågningsprogram. Næste niveau 1 = iltmåling, 2 = påfyldning eller 5 = standby.

1. Iltmåling: programmet åbner/lukker ventiler ved måling i hvert enkelt testrør og ved forskylning med kvælstof.

Målingen afbrydes hvis trykket overskrider alarmgrænse maks (næste niveau = 5, standby).

Efter iltmåling fortsætter programmet på følgende måde:

- Hvis nulpunktsmålingen er inden for acceptgrænsen ($-0.2/+0.2$ %) er der følgende muligheder:
 1. Iltindholdet i brint ≤ 0.8 %: næste niveau, der angives af overvågningsprogrammet (niveau 0 = normal drift, 1 = iltmåling på nyt rør eller 2 = påfyldning).
 2. Iltindholdet i brint > 0.8 %: niveau 3 = skylning af rør med H_2
 - Hvis nulpunktsmålingen ikke er inden for acceptgrænsen, fortsætter programmet på det næste niveau, der angives af overvågningsprogrammet, UANSET resultat af iltmåling
2. Påfyldning med hydrogen: Påfyldning afbrydes, hvis trykket overskrider alarmgrænse maks. (næste niveau = 5, standby). Ellers fortsætter programmet på det næste niveau, der angives af overvågningsprogrammet (niveau 0 = normal drift, 1 = iltmåling eller 2 = påfyldning af nyt rør).

3. Skylning af et rør med brint (fastholdelse af lav iltprocent): Programmet afbrydes, hvis trykket overskrider alarmgrænse maks. (næste niveau = 5, standby).

Efter skylning fortsætter programmet på følgende måde:

- Hvis nulpunktsmålingen er inden for acceptgrænsen ($-0.2/+0.2$ %) er der følgende muligheder:
 1. Iltindholdet i brint ≤ 0.8 %: næste niveau, der angives af overvågningsprogrammet (niveau 0 = normal drift, 1 = iltmåling eller 2 = påfyldning).
 2. Iltindholdet i brint > 0.8 %: ny skylning. Hvis iltindholdet efter 3 skylninger fortsat er for højt, fortsættes programmet på niveau 4 = skylning med N_2 .
 - Hvis nulpunktsmålingen ikke er inden for acceptgrænsen, fortsætter programmet på det næste niveau, der angives af overvågningsprogrammet, UANSET resultat af iltmåling.
4. Skylning af et rør med nitrogen (nedlukning): Programmet åbner/lukker ventiler på følgende måde:

Programmet afbrydes, hvis trykket overskrider alarmgrænse maks. (næste niveau = 5, standby). Efter skylning fortsætter programmet på det næste niveau, der angives af overvågningsprogrammet (niveau 0 = normal drift, 1 = iltmåling eller 2 = påfyldning).

5. Standby: Alle ventiler bliver lukket. Programmet fortsætter på dette niveau, indtil brugeren trykker på <STOP>. Ved manglende eller forkert password genstartes det automatiske styringsprogram efter maksimalt 30 sek.

Ved manglende kommunikation med dataopsamlings- eller overvågningsprogrammet i mere end 5 sek. fortsætter styringen i sikker tilstand på det aktuelle niveau. Efter 10 minutter skiftes til niveau 5 = standby. Styreprogrammet giver et 1 Hz signal til en f/i-konverter. Når f/i-konverteren ikke modtager dette signal, afbrydes spændingsforsyningen til ventilerne. Dermed går opstillingen i sikker tilstand.

3.2 Sekvensstyring

I "sekvens"-programmet kan der vælges mellem følgende opgaver:

- Iltmåling
- Opstart
- Nedlukning

Den valgte opgave udføres for op til otte rør og/eller gasmålersystemet. Programmet afbrydes, hvis trykket overskrider alarmgrænse maks. (overvågningsprogrammet skal være aktivt). Ved manglende kommunikation med dataopsamlings- eller overvågningsprogrammet i mere end 5 sek. lukkes alle ventiler. Spændingsforsyningen til ventilerne afbrydes, når styreprogrammet ikke er aktivt.

3.3 Manuel styring

Ved manuel styring kan brugeren selv åbne/lukke ventiler. Programmet afbrydes, hvis trykket overskrider alarmgrænse maks. (overvågningsprogrammet skal være aktivt). Ved manglende kommunikation med dataopsamlings- eller overvågningsprogrammet i mere end 5 sek. lukkes alle ventiler. Spændingsforsyningen til ventilerne afbrydes, når styreprogrammet ikke er aktivt.

Bilag 1
Analyserapport stålrør



Tittel: Hydrogen i naturgassrør, materialteknisk undersøkelse, erstatter Dok.nr.04P_AV1		
Forfatter(e): Sigbjørn Øvland Til: Helle Brit Mostad, Energi, Kjørbo Henrik Iskov, DGC Kopi: Rolf Steen Hansen, CRC Henrik Solgaard Andersen, O&E RC-Pg	Dato : 24.02.04	Dok.nr. : 04P_AX6
	Arkivnr. : 971.6	Sider/Vedl. : 7/3
	Prosj.nr. : F73128.000	Ref. : SØ:(ELO)
	Oppbev.tid : Varig	Oppdrag nr. :
	Emneord: HYDROGEN STREKKPRØVING	
	ME04/02	
	Faglig gjennomgått:	Godkjent prosjektansvarlig:

Resymé/Konklusjon:

DGC (Dansk Gassteknisk Center) har initiert et prosjekt for å klarlegge forhold vedrørende muligheter og begrensninger ved bruk av det eksisterende naturgassdistribusjonsnett til hydrogendistribusjon. Hydro ved Konsernforskningscenteret har fått i oppgave å utføre materialtekniske undersøkelser på stålrør som er anvendt i prosjektet.

Analyser er foretatt på rør som er hydrogeneksponert i løpet av ett år hos DGC og av referanserør. Følgende analyser er foretatt: mekanisk prøving av grunnmateriale og sveis, røntgenanalyse av belegg fra innsiden av rør, metallografi av tverrsnitt av rør over sveis.

Verken vurderinger av miljøet eller de utførte analyser gir grunnlag for å hevde at materialet er påvirket av hydrogeneksponeringen.

Vedlegg 1: Skisse av de eksponerte rørene og prøveuttak

Vedlegg 2: Analyse av belegg på innsiden av rør Vedlegg

3: Strekkprøving av rør

1 Bakgrunn

DGC (Dansk Gassteknisk Center) har initiert et prosjekt for å klarlegge forhold vedrørende muligheter og begrensninger ved bruk av det eksisterende naturgass- distribusjonsnett til hydrogendistribusjon. Hydro ved Konsernforskningssenteret har fått i oppgave å utføre materialtekniske undersøkelser på stålrør som er anvendt i prosjektet.

2 Hydrogenpåvirkning

For at hydrogen som er i rørene skal påvirke stålet, må atomært hydrogen være tilgjengelig på ståloverflaten. Dette kan skje ved katodisk absorpsjon eller dersom hydrogensulfid er tilstede. Videre må det finnes et visst spenningsnivå i rørene.

3 Prøvematerialet

Rørene som er benyttet skal være av kvalitet X42. Skisse av rørene som er eksponert er vist i vedlegg 1.

4 Undersøkelser

Belegget på innsiden av rør, både eksponert og ueksponert, er analysert ved hjelp av røntgen. Resultatene er vist i Vedlegg 2.

Strekprøver er tatt ut i henhold til plan, med 4 prøver fra eksponert sveis (D155N) og 4 prøver fra eksponert rørmateriale (tilstøtende til prøvene med sveis, på rør A41180). Prøvestedet for sveis ble valgt på grunn av at dette var det eneste stedet man kunne lage en rimelig rett prøvestav for sveist område.

Ueksponert materiale med sveis, merket B07652, og tilstøtende materiale er testet på samme måte. I tillegg er 2 prøver fra eksponert sveis varmebehandlet i ca 60 timer ved 200°C for å undersøke eventuell innvirkning av absorbert hydrogen.

Belegg fra innsiden av rørene, eksponert og ueksponert er skrapet av med skalpell og analysert.

Metallografislip er laget fra sveisesone av ueksponert og eksponert materiale samt eksponert sveis fra strekkprøve.

Kjemisk analyse av materialene er utført ved hjelp av gnistspektroskopi på hodet av strekkprøvene.

5 Resultater

5.1 Kjemiske analyser

Kjemiske analyser er vist i vedlegg 2. Identifiserte faser på innsiden av rørene er jernoksider og jernhydroksider. I tillegg finnes på de eksponerte rørene spor av kvarts og kalsitt som sannsynligvis er forurensninger fra sanden som rørene har vært nedgravd i.

Elementanalysene viser tilsvarende sammensetning for eksponerte og ueksponerte rør. Der det finnes tilsynelatende forskjeller, er vi måleteknisk nede mot følsomhetsgrensen for elementene. Det er ikke grunnlag for å si at det er forskjell mellom de forskjellige prøvene.

Tabell 1: Resultater fra kjemisk analyse av strekkprøvene (gnistspektroskopi)

Prøve: Element (w%)	Ueksponert, B07652	Eksponert, A41180	Sertifikat, A85288
C	0.13	0.12	0.18
Si	0.20	0.40	0.18
Mn	0.79	1.03	0.83
Cr	0.0079	0.0095	0.2
Ni	<0.018	<0.018	0.02
Mo	0.0041	0.0089	0.01
Cu	0.030	0.032	0.05
Al	0.040	0.048	0.037
V	0.0077	0.0063	<0.05
W	0.022	0.024	
Ti	<0.0072	<0.0072	
Nb	<0.015	<0.015	
B	<0.0005	<0.0005	
Ceq	0.27	0.30	0.33

Tabell 2: Resultater fra strekkprøving

Prøve	API 5L, X42	Ueksponert, B07652		Eksponert, A41180, som mottatt		Eksponert, A41180, varmebehandlet	Sertifikat, A85288
		Sveist		sveist			
Flytegrense, MPa	290		281		443	415	307
Strekkfasthet, MPa	414	474	468	524	528	519	483
Brudd- forlengelse, %	17,9		27		19,1	20,3	39

5.2 Strekkprøving

Resultater fra mekanisk prøving er gitt i vedlegg 3 og oppsummert i tabell 2. Kravene for X42 (API 5L) er 290 MPa i flytespenning og 414 MPa i strekkfasthet.

Den ueksponerte prøven viser flytegrense på 281 MPa. Det eksponerte røret har en noe annerledes sammensetning og fastheten er noe høyere. Flytegrensen er 443 MPa.

Strekkfastheten for ueksponert og eksponert prøve er målt til henholdsvis 468 og 528 MPa på grunnmaterialet som ikke inneholder sveis. På grunn av dette er ikke de to stålprøvene sammenlignbare.

For å undersøke eventuelle påvirkninger av hydrogen, er ytterligere to strekkprøver maskinert fra eksponert rør og luftet for eventuell hydrogen. Disse er varmebehandlet ved 200°C i ca 60 timer. Denne varmebehandlingen fjerner hydrogen og gir oss en referanse til målingene for eksponert rør. Resultatene fra strekkprøving etter varmebehandling viser flytegrense på 415 MPa og strekkfasthet på 519. Dette representerer ingen signifikant forskjell fra eksponert prøve.

5.3 Metallografi

Det er laget metallografislip av eksponert og ueksponert sveis samt eksponert sveis fra strekkprøve. Mikroskopering viser struktur som forventet. Det er ikke funnet noe unormalt.

6 Vurderinger

6.1 Om H₂S problematikken

6.1.1 Vann

I følge dansk gassreglement skal gassen i rørene ha duggpunkt som sikrer at ikke vann er til stede.

6.1.2 H₂S

H₂S-innholdet skal være lavere enn 10 mg/m³. 10 mg/m³ tilsvarer 7 ppm. Ved 4 bar tilsvarer dette et H₂S partialtrykk på $4 \text{ bar} \times 7 \times 10^{-6} = 28 \times 10^{-6} \text{ bar}$. Dette er langt under grensen for "sur-service" som spesifiseres i oljeindustrien (standard NACE MR0175/ISO15156) som er på $3 \times 10^{-3} \text{ bar}$.

6.1.3 Hardheten

Strekkprøvene gir oss en maksimal strekkfasthet på 540MPa. Dersom man regner dette om til hardhet fra DIN 50150, tilsvarer dette HV168. Grensen for "sur-service" er HV250.

Hardheten målt ved smeltegrensen for sveisen som er undersøkt, viser HV161.

6.2 Analyser

Ingen av analysene som er foretatt, gir grunnlag for å hevde at materialet er påvirket av hydrogeneksponeringen.

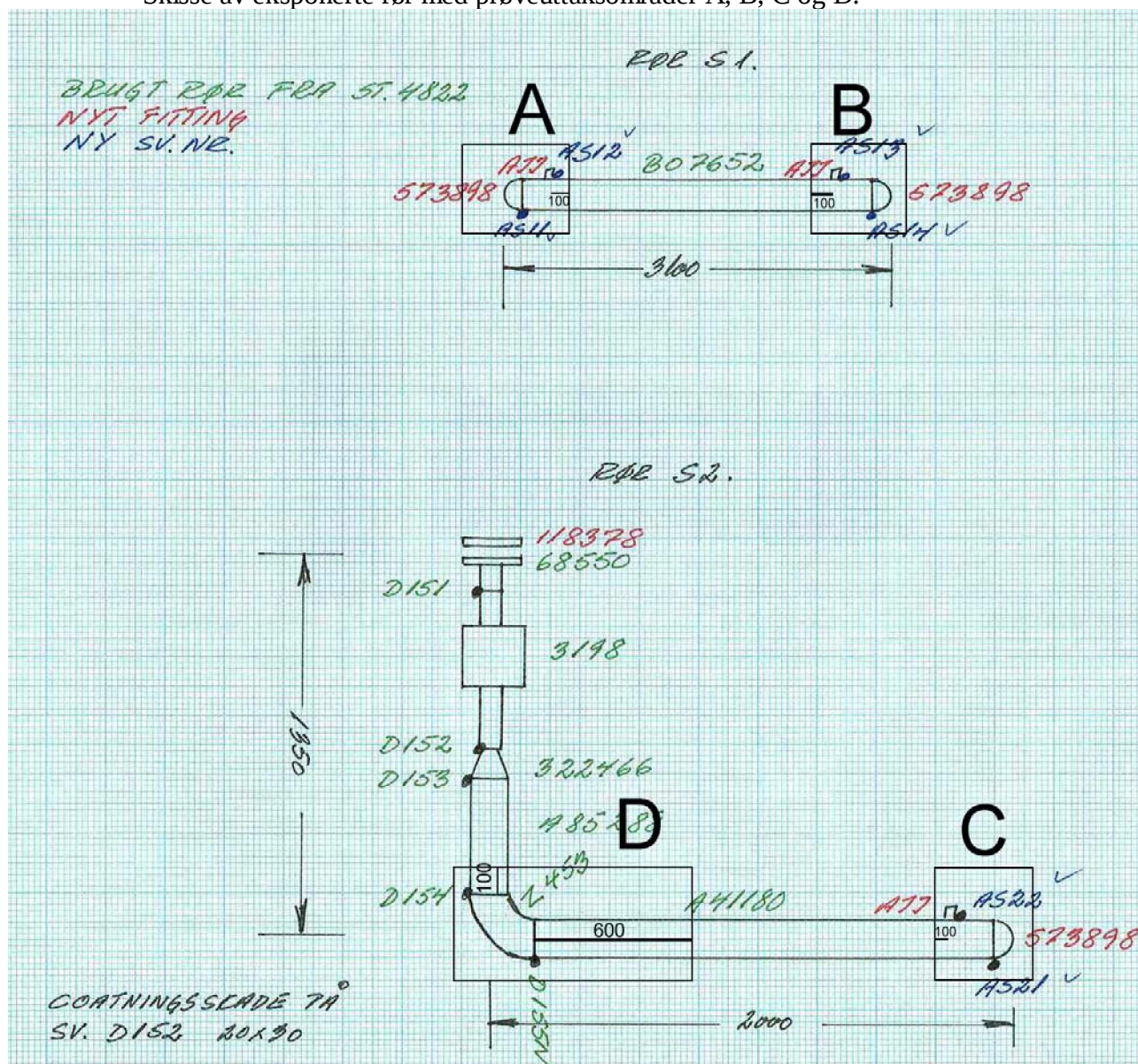
7 Konklusjoner

Verken vurderinger av miljøet eller de utførte analyser gir grunnlag for å hevde at materialet er påvirket av hydrogeneksponeringen.

Porsgrunn, 24.02.0

S.Øvland

Skisse av eksponerte rør med prøveuttaksområder A, B, C og D.





Kjemiske analyser



Sak: Identifisere belegg på innsiden av gassrør (brukte) fra ST.4822		
Analytiker: Erling Einungbrekke	Avdeling: Analytisk Kjemi	
Oppdragsgiver: Sigbjørn Øvland Materialteknikk Kopi: Kontaktperson: Sigbjørn Øvland Oppdragsgiver-referanse:	Rapportert dato: 2004-01-23	Arkivnr.: O04-034
	Mottatt dato: 2004-01-21	Sider/vedl.: 2/0
	Analysert dato: 2004-01-21	Ordrenr.: F-???
		Lims ID nr.: O04-034 Journal nr.: HRE-
	Datafil(er): XRD: O04-034 XRF-UQ: job.047-052, jan-04 (UQ4)	
	Analytiker sign:	Godkjent sign:

Bakgrunn

Identifisere korrosjonsprodukter.

Metodebeskrivelse

Prøver er tatt ut på innsiden av rørene på de avmerkede feltene A-B-C-D. To ubrukte rør, ett med plast tape rundt og ett uten, ble det også tatt ut prøve fra.

Prøvene ble skrapet av veggen med skalpell. Disse ble så finmalt i agatmorter og preparert for XRF-XRD analyse.

Til XRF analysen er det semikvantitative analyseprogrammet UniQuant (UQ) benyttet.

Resultater

Prøvenavn	LIMS ID	XRD (krystallinske faser)	Elementer beregnet som oksider, analysert med XRF og UniQuant (UQ)
Prøvested A	O04-034.001	Fe ₃ O ₄ SiO ₂ (kvarts) FeO FeO(OH) goethitt (spor) CaCO ₃ (calsitt)	Fe ₂ O ₃ : 94%, SiO ₂ : 2.1%, SO ₃ : 0.9% CaO: 0.9%, MnO: 0.8%, TiO ₂ : 0.1%, Al ₂ O ₃ : 0.4%, MgO: 0.2%, Cr ₂ O ₃ : 0.02%
Prøvested B	O04-034.002	Fe ₃ O ₄ SiO ₂ (kvarts) FeO FeO(OH) goethitt (spor) CaCO ₃	Fe ₃ O ₄ : 94%, SiO ₂ : 1.2%, SO ₃ : 1.4%, CaO: 1.6%, MnO: 0.8%, TiO ₂ : 0.05%, Al ₂ O ₃ : 0.4%, MgO: 0.2%, Cr ₂ O ₃ : 0.01%
Prøvested C	O04-034.003	Fe ₃ O ₄ Fe ₂ O ₃ *H ₂ O (green rust) FeO(OH) goethitt (spor) SiO ₂ (kvarts) CaCO ₃	Fe ₂ O ₃ : 93%, SiO ₂ : 1.6%, SO ₃ : 2.0%, CaO: 1.3%, MnO: 1.1%, TiO ₂ : 0.1%, Al ₂ O ₃ : 0.3%, MgO: 0.1%, Cr ₂ O ₃ : 0.02%
Prøvested D	O04-034.004	Fe ₃ O ₄ FeO(OH) (spor) CaCO ₃	Fe ₂ O ₃ : 96%, SiO ₂ : 0.7%, SO ₃ : 0.8%, CaO: 0.7%, MnO: 1.1%, TiO ₂ : 0.02%, Al ₂ O ₃ : 0.06%, MgO: 0.1%, Cr ₂ O ₃ : 0.03%
Ubrukt rør uten plasttape	O04-034.005	FeO(OH) (goethitt) FeO(OH) (lepidocrocitt) FeO	Fe ₂ O ₃ : 95%, Na ₂ O: 0.2%, Al ₂ O ₃ : 0.2%, SiO ₂ : 0.9%, SO ₃ : 2.6%, CaO: 0.4%, TiO ₂ : 0.04%, MnO: 0.8%, Cl: 0.05%
Ubrukt rør med plasttape	O04-034.006	FeO(OH) (goethitt) FeO(OH) (lepidocrocitt) FeO	Fe ₂ O ₃ : 94%, Na ₂ O: 0.2%, Al ₂ O ₃ : 0.2%, SiO ₂ : 1.2%, SO ₃ : 2.3%, CaO: 0.3%, TiO ₂ : 0.05%, MnO: 0.8%, Cl: 0.06%

Konklusjoner / kommentarer

XRF-UQ resultatene må sees på som veiledende. For prøvene fra de ubrukte rørene er gjelder verdiene som relative verdier, da mesteparten av prøva består av hydroksider som det ikke er korrigert for.

Prøvene er tilsatt litt fortynnet saltsyre i den hensikt å påvise sulfider (H₂S lukt).

Det er kun prøve C som, noe tvilende, utvikler en slik gass. En ny test av denne prøva, noen dager senere, ga ingen identifikasjon på sulfidlukkt.



Mekanisk prøving



Sak/Område: Hydrogenrør grunnmateriale uten sveis (eksponert 1 år)	Reg.nr: DT 04/04 Side 3 av 4
Fordeling: Sigbjørn Øvland B.92	A.O.nr: O.nr: F73128-000
Kopi:	Utført dato: 04.02.2004
Arkiv,Mat.tekn. B92	Tegn./Standard: DIN 50125
	Vedlegg: Kurver

Prøvebetingelser	
Temperatur (°C): Rom-temp	Strekkhastighet: 1mm/min til flytgrense og 10mm/min etter flyt
L₀ (mm): 50mm ekstensiometer	Annet:
Grad av nøyaktighet (%) spenning:	tøyning: -

Prøve nr.	Dimensjon (mm)	Tverrsnitt S ₀ (mm ²)	Maks last kN	Strekkfasthet R _m (MPa)	Bruddforl. A _t (%) ¹	Flytegr. R _e (MPa) ²	E-modul (MPa)	
c1	3,95x9,87	38,99	21,09	541	21,6	445	202 223	
c2	3,98x9,94	39,56	20,27	512	19,5	421	190 439	
c3	3,91x9,87	38,59	19,94	517	17	445	182 921	
c4	3,98x9,88	39,32	21,33	542	18,4	459	204 351	
x		39,12	20,66	528	19,1	443	194 983	
SD		0,33	0,66	13,6	1,68	13,7	8 751	

¹inkl. elastisk ²ved behov oppgis ved hvilken prosent den er målt: _____ %

Maskin: Schenk-Trebel: 50 kN ____ / Instron 8500: 250 kN x / Instron 4502: 10 kN ____

Beregningsmetoder:

E-modul:

R_{p0.2}:

Kommentarer:

Utført: Bjørn-Erik Skjelbred

Sign: *BSj*

Godkjent: Gunnar Hognestad

Dato/Sign: 05-02-2004 *HC*



Sak/Område: Hydrogenrør grunnmateriale uten sveis (ueksponert)	Reg.nr: DT 04/04 Side 4 av 4
Fordeling: Sigbjørn Øvland B.92	A.O.nr: O.nr: F73128-000
Kopi:	Utført dato: 04.02.2004
Arkiv,Mat.tekn. B92	Tegn./Standard: DIN 50125
	Vedlegg: Kurver

Prøvebetingelser	
Temperatur (°C): Rom-temp	Strekkhastighet: 1mm/min til flytgrense og 10mm/min etter flyt
L₀ (mm): 50mm ekstensiometer	Annet:
Grad av nøyaktighet (%) spenning: 1%	tøyning: -

Prøve nr.	Dimensjon (mm)	Tverrsnitt S ₀ (mm ²)	Maks last kN	Strekkefasthet R _m (MPa)	Bruddforl. A _t (%) ¹	Flytegr. R _e (MPa) ²	E-modul (MPa)	
d1	4,00x9,88	39,52	18,42	466	25,7	279	201 452	
d2	4,00x9,92	39,68	18,47	466	27,6	282	227 072	
d3	3,96x9,92	39,28	18,46	470	27,1	281	217 746	
d4	3,96x9,92	39,28	18,53	472	27,6	282	223 793	
x		39,44	18,47	468	27	281	217 516	
SD		0,17	0,05	3	0,9	1	11 384	

¹inkl. elastisk ²ved behov oppgis ved hvilken prosent den er målt: _____ %

Maskin: Schenk-Trebel: 50 kN ____ / Instron 8500: 250 kN x / Instron 4502: 10 kN ____

Beregningsmetoder:

E-modul:

R_{p0.2}:

Kommentarer:

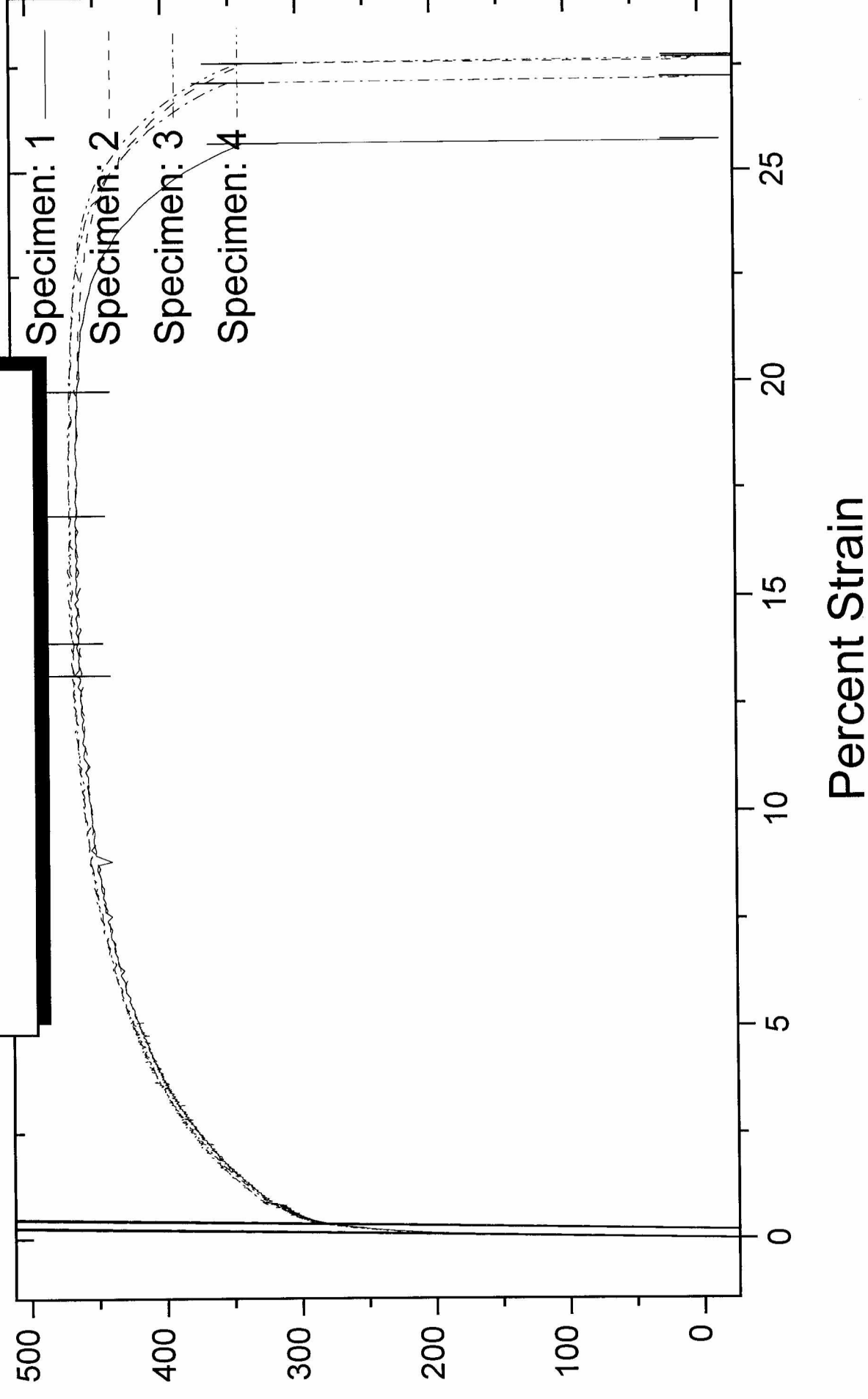
Utført: Bjørn-Erik Skjelbred

Sign: Bsj

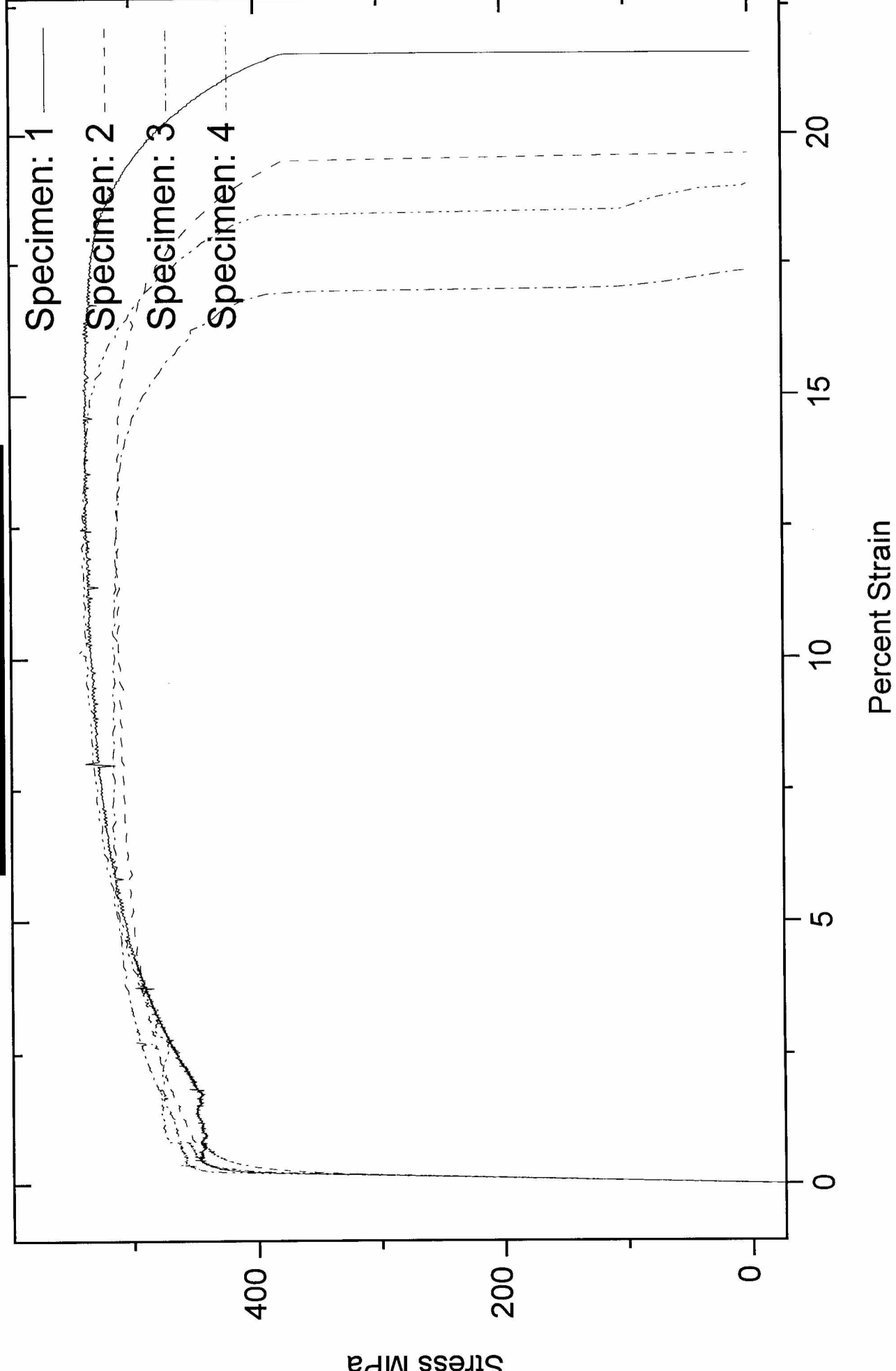
Godkjent: Gunnar Hognestad

Dato/Sign: 05-02-2004 H26

Sample ID: DT0404D



Sample ID: DT0404C



Sak/Område: Hydrogenrør grunnmateriale uten sveis (eksponert 1 år) tørket v/200 grader Celsius i 3 døgn		Reg.nr: DT 04/04	Side 5 av 5
Fordeling: Sigbjørn Øvland	B.92	A.O.nr:	
		O.nr: F73128-000	
		Utført dato: 09.02.2004	
		Tegn./Standard: DIN 50125	
Kopi:			
Arkiv,Mat.tekn. B92		Vedlegg: Kurver	

Prøvebetingelser								
Temperatur (°C): Rom-temp					Strekkhastighet: 1 mm/min til flytgrense og 10 mm/min etter flyt			
L ₀ (mm): 50 mm ekstensiometer					Annet:			
Grad av nøyaktighet (%) spenning:					tøyning: -			
Prøve nr.	Dimensjon (mm)	Tverrsnitt S ₀ (mm ²)	Maks last kN	Strekkefasthet R _m (MPa)	Bruddforl. A _t (%) ¹	Flytegr. R _e (MPa) ²	E-modul (MPa)	
e1	3,94x10,04	39,56	20,43	516	21,5	396	173 082	
e2	3,95x10,00	39,5	20,63	522	19,2	433	213 813	
x			20.53	519	20,3	415	193 447	
SD								

¹inkl. elastisk ²ved behov oppgis ved hvilken prosent den er målt: _____ %

Maskin: Schenk-Trebel: 50 kN ____ / Instron 8500: 250 kN x / Instron 4502: 10 kN ____

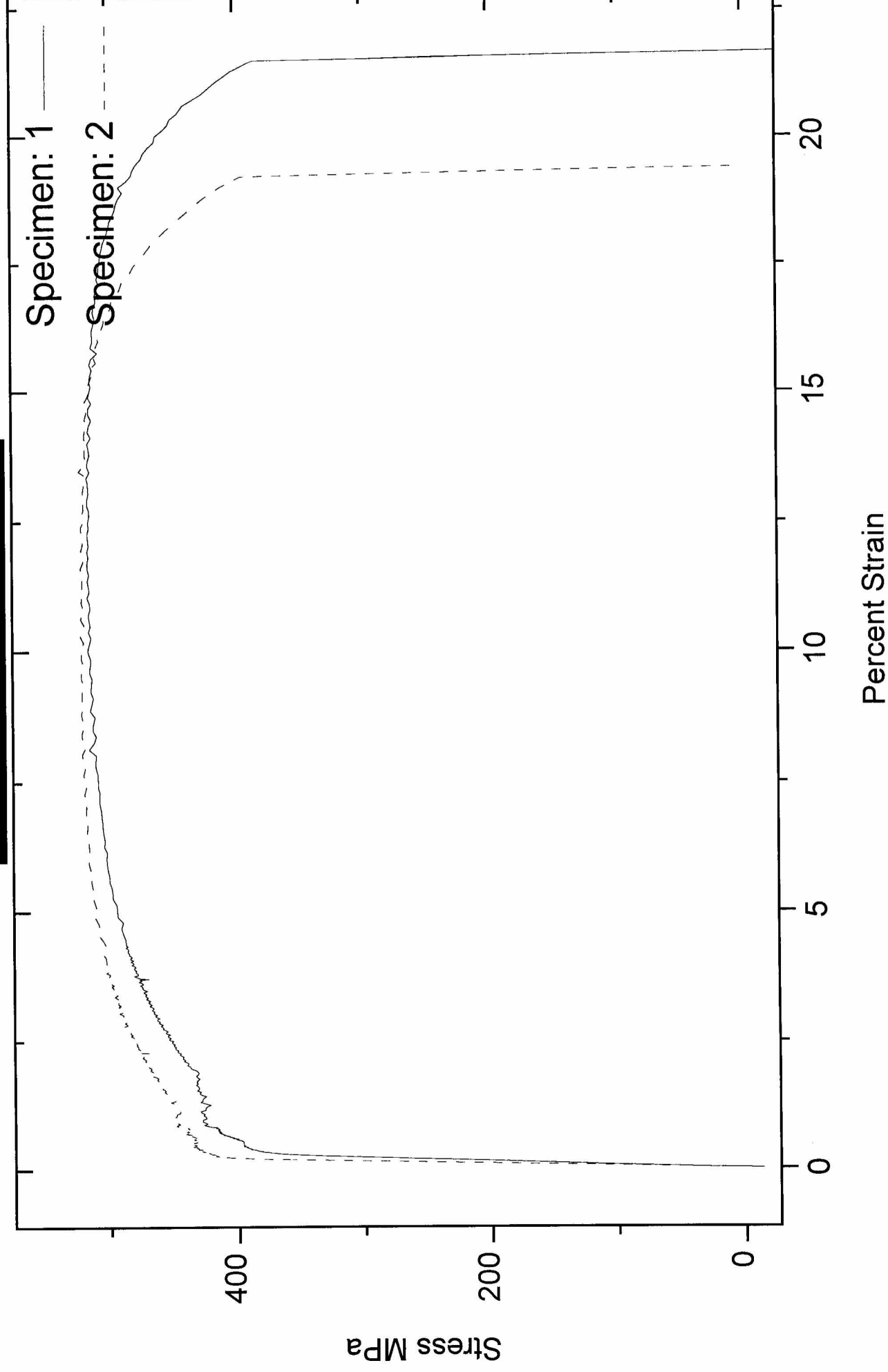
Beregningsmetoder:

E-modul:

R_{p0.2}:

Kommentarer:

Sample ID: DT0404E



Sak/Område: Hydrogenrør strekkprøver med sveis (Ekspontert 1 år)	Reg.nr: DT04/04	Side 1 av 4
Fordeling: Sigbjørn Øvland Kopi: Arkiv,Mat.tekn. B92	A.O.nr:	
	O.nr: F73128-000	
	Utført dato: 04.02.2004	
	Tegn./Standard: NS-EN 288-3	
	Vedlegg:	

BØYEPRØVING					
Dordiameter x t = mm		Bøyeinkel 120 °		Prøvestavens dimensjoner mm x mm	
Prøve nr.		Rot i strekk, resultat		Prøve nr.	
Råk i strekk, resultat					
STREKKPRØVING					
Prøve nr.		Dimensjon b x t (mm)		Maks last (kN)	
Strekkfasthet Rm (MPa)		Bruddsted			
a1		9.94x4.00		20.99	
527.8		gr.matr.			
a2		9,94x3,92		20,7	
531,2		"			
a3		9,97x4,00		21,05	
527,9		"			
a4		9,94x3,97		20,16	
510,8		"			
MAKRO/MIKRO					
Resultat:.....					
X					

Utført: Bjørn-Erik Skjelbred

Sign:

B5j.

Godkjent: Gunnar Hognestad

Dato/Sign: 175-02-2074

776

Sak/Område: Hydrogenrør strekkprøver med sveis (Ueksponert)	Reg.nr: DT04/04 Side 2 av 4
Fordeling: Sigbjørn Øvland Kopi: Arkiv,Mat.tekn. B92	A.O.nr: O.nr: F73128-000
	Utført dato: 04.02.2004
	Tegn./Standard: NS-EN 288-3
	Vedlegg:

BØYEPRØVING				
Dordiameter x t = mm		Bøyeinkel 120 °	Prøvestavens dimensjoner mm x mm	
Prøve nr.		Rot i strekk, resultat	Prøve nr.	Råk i strekk, resultat
STREKKPRØVING				
Prøve nr.	Dimensjon b x t (mm)	Maks last (kN)	Strekfasthet Rm (MPa)	Bruddsted
b1	9,92x3,98	18,74	474,7	gr.matr.
b2	9,80x4,00	18,45	470,8	"
b3	9,85x4,00	18,74	475,7	"
b4	9,93x4,00	18,82	473,9	"
MAKRO/MIKRO				

Resultat:.....

X

Utført: Bjørn-Erik Skjelbred
Sign: *BS*

Godkjent: Gunnar Hognestad
Dato/Sign: 05-02-2024

Bilag 2

1. Analyserapport plastrør

Tumab
Att.: Fleming Varmedal
Box 50
268 21 Svalöv
Sverige

29. marts 2004
sfp-ten/gks
1123904

Afprøvning af 11 styk PE rør dimension Ø125 mm

Med henvisning til drev dateret 23. februar 2004 har vi foretaget undersøgelser af de modtagne 11 rørstykker med følgende mærkning:

1. Rør mærket OP1, gult
2. Rør mærket P1, gult
3. Rør mærket OP2, gult
4. Rør mærket P2, gult
5. Rør mærket reference, gult
6. Rør mærket P4, gult
7. Rør mærket OP5, gult
8. Rør mærket P5, gult
9. Rør mærket reference, orange
10. Rør mærket P3, orange
11. Rør mærket P6, orange

Undersøgelsen af rørene er gennemført med henblik på at vurdere, om der er materialeforskelle i forhold til referencematerialet.

Til vurderingen har vi foretaget følgende undersøgelser:

- Infrarød spektroskopisk analyse, FTIR mikroskopi, for at vurdere kemiske ændringer
- Smelteindeks for at vurdere ændringer i gennemsnitlig molekylstørrelse
- Ilt induktionstid, OIT, for at vurdere ændringer i mængden af aktivt termisk stabilisator

Disse undersøgelser gav følgende resultater:

Infrarød spektroskopi

Denne analyse er gennemført på 20 µm tyndsnit udskæret på tværs af rørvæggen. Der er optaget FTIR spektre af materiale op til den indvendige og udvendige overflade. Til analysen er anvendt FTIR mikroskop, hvor målefeltet havde en bredde på ca. 50 µm.

Der er optaget følgende FTIR spektre, der er vedlagt som bilag. Undersøgelsen er kun udført på de rør, der er modtaget i første forsendelse.

Mærkning	Materiale mod inderside	Materiale mod yderside	Sammenligning af spektr	Vurdering af FTIR spektre, inderside mod yderside og referencemateriale
Reference, gul	Bilag 1	Bilag 2	Bilag 3	
P1, gul	Bilag 4	Bilag 5	Bilag 6	Ingen væsentlige kemiske ændringer
P2, gul	Bilag 7	Bilag 8	Bilag 9	Ingen væsentlige kemiske ændringer
P4, gul	Bilag 10	Bilag 11	Bilag 12	Ingen væsentlige kemiske ændringer
P5, gul	Bilag 13	Bilag 14	Bilag 15	Ingen væsentlige kemiske ændringer
Reference, orange	Bilag 16	Bilag 17	Bilag 18	
P3, orange	Bilag 19	Bilag 20	Bilag 21	Ingen væsentlige kemiske ændringer
P6, orange	Bilag 22	Bilag 23	Bilag 24	Ingen væsentlige kemiske ændringer

De optagne FTIR spektre viser ikke tegn på egentlige kemiske ændringer af PE materialet fra de med nummer mærkede rørstykker, i forhold til materiale fra referencerøret. Det samme er gældende for materiale nær inderside, i forhold til materiale nær yderside.

Smelteindeks

Smelteindeks er gennemført efter ISO 1133 (97) ved 190°C og 5 kg. Der er målt på materiale fra rørenes inderside, ca. 1 mm dybde.

Følgende resultater blev målt:

Mærkning	G/10 min
OP1, gul	1,00
P1, gul	0,91
OP2, gul	1,04
P2, gul *	0,99
Reference, gul	0,96
P4, gul	0,95
OP5, gul	0,97
P5, gul	0,88
Ref. orange	0,35
P3, orange	0,35
P6, orange	0,36

* Afvigende lugt ved måling.

Disse resultater viser nær ens resultater mellem materiale fra de gule rør og materiale fra de orange rør. Usikkerheden på målingen er $\pm 5\%$.

Ilt induktionstid, OIT

OIT bestemmelserne er foretaget efter DS 2131-2 (1982) ved 210°C. OIT bestemmelserne er foretaget på materiale udtaget fra rørenes inderside og ca. 0,5 mm ned.

Følgende resultater blev målt:

Mærkning	Minutter
OP1, gul	21,6-26,7
P1, gul	20,4-29,3
OP2, gul	22,4-26,5
P2, gul	28,0-26,0
Reference, gul	30,0-26,3
P4, gul	24,7- 20,0
OP5, gul	22,4-27,4
P5, gul	32,5-24,7
Ref. orange	52,6-52,7
P3, orange	26,6-32,1
P6, orange	36,0-46,1

Disse resultater viser ved de gule prøver ingen forskel mellem referenceprøver og prøver. Ved de orange prøver er der en tendens til mindre OIT tid ved prøverne P3 og P6 end ved den orange reference. Usikkerheden vurderes at ca. ± 5 min på nye rør, lidt større på brugte

Sammenfatning af den sammenlignende materialeanalyse

For både gule og orange prøver gælder, at der ikke med de gennemførte undersøgelser, FTIR og smelteindeks kan ses nogle egentlige materialeforskelle.

Ved de gule prøver ses ingen forskel i OIT værdier mellem referenceprøver og prøver. Ved de orange prøver er der en tendens til mindre OIT tid ved prøverne P3 og P6 end ved den orange reference.

Er der spørgsmål til de gennemførte undersøgelser, kan de rettes til undertegnede.

Med venlig hilsen
Plastteknologi

Søren Pedersen
Akademiingeniør

Telefon: 72 20 31 15 (direkte)

Telefax: 72 20 31 11

E-mail: soren.pedersen@teknologisk.dk

Vedlagt: 24 bilag

Opgaven er udført iht. Teknologisk Instituts almindelige vilkår for rekvirerede opgaver, hvoraf et eksemplar vedlægges.

Bilag 2a

2. Analyserapport plastrør

Tumab
Att.: Fleming Varmedal
Box 50
268 21 Svalöv
Sverige

29. marts 2004
sfp-ten/gks
1123904

Trækprøvning af 11 styk PE rørstykker dimension Ø125 mm

Med henvisning til aftale har vi foretaget sammenlignende trækprøvning af udskårne emner fra de modtagne 11 rørstykker med følgende mærkning:

- 12. Rør mærket OP1, gult
- 13. Rør mærket P1, gult
- 14. Rør mærket OP2, gult
- 15. Rør mærket P2, gult
- 16. Rør mærket reference, gult
- 17. Rør mærket P4, gult
- 18. Rør mærket OP5, gult
- 19. Rør mærket P5, gult
- 20. Rør mærket reference, orange
- 21. Rør mærket P3, orange
- 22. Rør mærket P6, orange

Undersøgelsen af rørstykkerne er gennemført med henblik på at vurdere, om der er materialeforskelle i forhold til referencematerialet.

Trækprøvningen er udført efter ISO 6259-3:1997 under følgende konditioner:

Trækprøveemne:	Type 1
Træk hastighed:	0 - 2% forlængelse 5 mm/min 2 - 500% forlængelse 100 mm/min
Temperatur:	23°C
Antal prøve emner:	5

E-modul er beregnet mellem 1 og 3 MPa belastning.

Der er anvendt to hastigheder. En langsom hastighed til sammenlignende E- modul og en hurtig hastighed til flydespænding og brudforlængelse.

Følgende resultater blev målt:

Mærkning	E-modul, MPa	Flyde- spænding, MPa	Forlængelse ved flyde- spænding, %	Brudstyrke, MPa	Antal emner med brudfor- længelse un- der 500 %
OP1, gul	418 (36)	19,2 (0,1)	19,1 (0,5)	13,1 (1,1)	0
P1, gul	453 (111)	20,7 (4,0)	18,2 (4,0)	14,3 (2,8)	0
OP2, gul	459,8 (55)	19,9 (0,0)	18,5 (0,4)	12,8 (0,8)	0
P2, gul	482 (12)	19,6 (0,3)	15,4 (0,3)	13,2 (0,2)	0
Reference, gul	385 (56)	18,9 (0,1)	18,8 (0,3)	12,5 (1,1)	0
P4, gul	438 (18)	19,1 (0,0)	15,8 (0,3)	13,2 (0,5)	0
OP5, gul	415 (16)	19,0 (0,1)	19,0 (0,3)	13,2 (1,2)	0
P5, gul	449 (10)	18,7 (0,2)	15,3 (0,2)	12,7 (0,4)	1
Ref. orange	706 (16)	24,0 (0,3)	13,6 (0,7)	14,6 (2,0)	1
P3, orange	662 (45)	24,3 (0,5)	15,2 (1,2)	15,4 (2,6)	1
P6, orange	646 (42)	24,4(0,4)	16,3 (0,2)	13,8 (3,3)	1

Bemærkninger til resultater

Det er vanskeligt at knytte bemærkninger til resultaterne, da vi ikke kender de enkelte rørstykkers historie.

Der er måske en tendens til, at materialet mærket referencematerialet har et lavere E-modul og større forlængelse ved flydning end materialet fra rørstykket P4.

Ved de orange rør ses der måske en tendens til, at E-modulet er højest og forlængelse til flydning mindst ved referencematerialet.

Der ses ingen tegn på påvirkning fra brint, da der ved trækprøvningerne ikke ses nogle unormale forhold, såsom revnedannelse i inderlaget eller sikre afvigelser mellem referencer og prøver.

Er der spørgsmål til de gennemførte undersøgelser kan de rettes til undertegnede.

Kopi er sendt til Henrik Iskov DGC på E-mail: his@dgc.dk.

Med venlig hilsen
Plastteknologi

Søren Pedersen
Akademiingeniør

Telefon: 72 20 31 15 (direkte)

Telefax: 72 20 31 11

E-mail: soren.pedersen@teknologisk.dk

Opgaven er udført iht. Teknologisk Instituts almindelige vilkår for rekvirerede opgaver, hvoraf et eksemplar vedlægges.

Bilag 2b

3. Analyserapport plastrør

PROVNINGSRAPPORT

Sid 1 av 8

Dragprovning:

Objekt: Gult PEM-rör Gas Ø 125x11,4 mm

Producent: Wavin 2001.36.4

Dragarea: $3 \times 11,8 = 35,4 \text{ mm}^2$

Draghastighet: 100 mm/min

Provningsresultat:

Prov nr: P 1 2004.02.16

REFERENSVÄRDE

Prov nr	Uppmätt dragstyrka	
P1 1	50,1 kp	491,5 N
P1 2	50,2 kp	492,5 N
P1 3	52,0 kp	510,1 N
P1 4	51,0 kp	500,3 N
P1 5	50,3 kp	493,4 N

DRAGPROV STUMSVETS

Prov nr	Uppmätt dragstyrka	Resultat i % av referens
P1-S1-1	50,1 kp	100,0
P1-S1-2	51,0 kp	101,5
P1-S1-3	51,2 kp	098,4
P1-S1-4	52,0 kp	101,9
P1-S1-5	50,6 kp	100,6

Resultat:

Segt brott i grundmaterial

Svetszon: Utan anmärkning

PROVNINGSRAPPORT

Sid 2 av 8

Dragprovning:

Objekt: *Gult PEM-rör Gas Ø 125x11,4 mm*

Producent: Wavin nr 632910

Dragarea: $3 \times 11,8 = 35,4 \text{ mm}^2$

Draghastighet: 100 mm/min

OBS! *Gammalt PEM Rör, använt till Naturgas.*

Provningsresultat:

Prov nr: P 2 2004.02.16

REFERENSVÄRDE		
Prov nr	Uppmätt dragstyrka	
P2 1	50,0 kp	490,5 N
P2 2	50,2 kp	492,5 N
P2 3	51,4 kp	504,3 N
P2 4	50,6 kp	496,4 N
P2 5	51,2 kp	502,3 N

DRAGPROV STUMSVETS		
Prov nr	Uppmätt dragstyrka	Resultat i % av referens
P2-S1-1	50,2 kp	100,4
P2-S1-2	50,4 kp	100,4
P2-S1-3	49,8 kp	096,9
P2-S1-4	50,3 kp	099,4
P2-S1-5	50,2 kp	098,0

Resultat:

Segt brott i grundmaterial.

Svetszon: Utan anmärkning

PROVNINGSRAPPORT

Sid 3 av 8

Dragprovning:

Objekt: Orange PE-rör Gas Ø 125x11,4 mm

Producent: Wavin 2001.25.54

Dragarea: $3 \times 7,8 = 23,4 \text{ mm}^2$

Draghastighet: 100 mm/min

Provningsresultat:

Prov nr: P3 2004.02.17

REFERENSVÄRDE		
Prov nr	Uppmätt dragstyrka	
P3 1	40,2 kp	394,3 N
P3 2	39,8 kp	390,4 N
P3 3	39,9 kp	391,4 N
P3 4	39,7 kp	389,5 N
P3 5	41,1 kp	403,2 N

DRAGPROV STUMSVETS		
Prov nr	Uppmätt dragstyrka	Resultat i % av referens
P3-S1-1	40,3 kp	100,2
P3-S1-2	40,1 kp	100,7
P3-S1-3	39,7 kp	99,5
P3-S1-4	39,6 kp	99,7
P3-S1-5	41,0 kp	99,7

Resultat:

Segt brott i grundmaterial.

Svetszon: Utan anmärkning

PROVNINGSRAPPORT

Sid 4 av 8

Dragprovning:

Objekt: *Gult PEM-rör Gas Ø 125x11,4 mm*

Producent: *Wavin 2002*

Dragarea: $3 \times 11,8 = 35,4 \text{ mm}^2$

Draghastighet: *100 mm/min*

Provningsresultat:

Prov nr: *P4 2004.02.17*

REFERENSVÄRDE		
Prov nr	Uppmätt dragstyrka	
P4 1	51,3 kp	503,2 N
P4 2	50,8 kp	498,3 N
P4 3	51,4 kp	504,2 N
P4 4	50,6 kp	496,4 N
P4 5	51,3 kp	503,3 N

DRAGPROV STUMSVETS		
Prov nr	Uppmätt dragstyrka	Resultat i % av referens
P4-S1-1	50,1 kp	97,6
P4-S1-2	50,4 kp	99,2
P4-S1-3	50,8 kp	98,8
P4-S1-4	50,1 kp	99,0
P4-S1-5	49,9 kp	97,3

Resultat:

Segt brott I grundmaterial

Svetszon: *Utan anmärkning*

PROVNINGSRAPPORT

Sid 5 av 8

Dragprovning:

Objekt: *Gult PEM-rör Gas Ø 125x11,4 mm*

Producent: *Wavin 2001.36.4*

Dragarea: $3 \times 11,8 = 35,4 \text{ mm}^2$

Draghastighet: *100 mm/min*

Provningsresultat:

Prov nr: *P5 2004.02.17*

REFERENSVÄRDE		
Prov nr	Uppmätt dragstyrka	
P5 1	49,1 kp	481,7 N
P5 2	49,2 kp	482,7 N
P5 3	52,1 kp	511,1 N
P5 4	51,0 kp	500,3 N
P5 5	52,2 kp	512,1 N

DRAGPROV STUMSVETS		
Prov nr	Uppmätt dragstyrka	Resultat i % av referens
P5-S1-1	50,1 kp	102,0
P5-S1-2	51,1 kp	103,9
P5-S1-3	51,2 kp	098,3
P5-S1-4	50,6 kp	099,2
P5-S1-5	51,8 kp	099,2

Resultat:

Segt brott i grundmaterial.

Svetszon: Utan anmärkning.

PROVNINGSRAPPORT

Sid 6 av 8

Dragprovning:

Objekt: Orange PE-rör Gas Ø 125x7,8 mm

Dragarea: $3 \times 7,8 = 23,4 \text{ mm}^2$

Draghastighet: 100 mm/min

Provningsresultat:

Prov nr: P6

REFERENSVÄRDE		
Prov nr	Uppmätt dragstyrka	
P6 1	40,1 kp	394,0 N
P6 2	39,8 kp	390,4 N
P6 3	39,6 kp	388,5 N
P6 4	39,8 kp	390,4 N
P6 5	41,2 kp	404,1 N

DRAGPROV STUMSVETS		
Prov nr	Uppmätt dragstyrka	Resultat i % av referens
P6-S1	41,2 kp	102,7
P6-S2	40,1 kp	100,8
P6-S3	39,8 kp	100,5
P6-S4	39,8 kp	100,0
P6-S5	39,9 kp	096,8

Resultat:

Segt brott i grundmaterial

Svetszon: Utan amärkning

PROVNINGSRAPPORT

Sid 7 av 8

Dragprovning:

Objekt: Ny svets utförd på Gult PEM-gasrör märkt P2

Dragarea: $3 \times 11,8 = 35,4 \text{ mm}^2$

Draghastighet: 100 mm/min

Provningsresultat:

Prov nr: Ny stumsvets på rör märkt P5

REFERENSVÄRDE		
Prov nr	Uppmätt dragstyrka	
P5	49,1 kp	481,7 N
P5	49,2 kp	482,6 N
P5	52,1 kp	511,1 N
P5	51,0 kp	500,3 N
P5	52,2 kp	512,1 N

DRAGPROV STUMSVETS		
Prov nr	Uppmätt dragstyrka	Resultat i % av referens
P5-Ny 1	48,9 kp	099,6
P5-Ny 2	49,3 kp	100,2
P5-Ny 3	50,4 kp	096,7
P5-Ny 4	50,6 kp	099,2
P5-Ny 5	51,2 kp	098,1

Resultat:

Segt brott i grundmaterial

Svetszon: Utan anmärkning

PROVNINGSRAPPORT

Sid 8 av 8

Dragprovning:

Objekt: Ny svets utförd på Orange PE-100 gasrör
Dragarea: $3 \times 7,8 = 23,4 \text{ mm}^2$
Draghastighet: 100 mm/min

Provningsresultat:

Prov nr: Ny stumsvets på rör nr P6

REFERENSVÄRDE		
Prov nr	Uppmätt dragstyrka	
P6 1	40,1 kp	394,0 N
P6 2	39,8 kp	390,4 N
P6 3	39,6 kp	388,5 N
P6 4	39,8 kp	390,4 N
P6 5	41,2 kp	404,1 N

DRAGPROV STUMSVETS		
Prov nr	Uppmätt dragstyrka	Resultat i % av referens
P6-Ny 1	39,6 kp	098,6
P6-Ny 2	39,8 kp	100,0
P6-Ny 3	40,3 kp	101,7
P6-Ny 4	39,9 kp	100,2
P6-Ny 5	40,2 kp	097,5

Resultat:

Segt brott i grundmaterial.
Svetszon: Utan märkning

Bilag 3
Analyserapport om IGA husholdningsgasmåler

INSPEKTIONSRAPPORT

Kunde: HNG I/S

Ordrenummer: 245202

Ydelsesnummer: 80014YD033

Ydelsesbeskrivelse: Kalibrering/inspektion AC5M TC G4
1. kalibrering udføres som fra ny.
2. visuel inspektion af adskilt måler med henblik på at finde nedbrudte dele pga. hydrogenpåvirkning (inkl. "smøremiddel"), afslut med digitalfotografering af interessante dele.

Udføres på: Gasmåler AC5M TC

Serie nr.: 143940

Fremstillingsdato: 0/01-1994

Ved verifikation i 1994 udviste måleren flg. nøjagtighed:
V. flow 4,0 m³/h var fejlvisningen 0,3 %
V. flow 1,8 m³/h var fejlvisningen 0,0 %

Ved udførelse af nævnte kalibrering/inspektion på IGA A-S d. 11/02-2004 udviste måleren flg. værdier:

Index-visning: 59340

Afprøvning af målerens nøjagtighed viste flg.:
V. flow 4,0 m³/h var fejlvisningen 0,3 %
V. flow 1,8 m³/h var fejlvisningen 0,4 %

Inspektionsbeskrivelse:

Efter afprøvning af målerens nøjagtighed blev den adskilt med henblik på at finde nedbrud og defekt som følge af hydrogen påvirkning - herefter kunne konkluderes følgende:

- alle bevægelige dele er gennemgået og fundet i orden.
- membranen har ingen tegn på nedbrud.
- "smøremiddel" er stadig intakt og ser ud til at have samme konsistens som nyt "smøremiddel".

Konklusion:

Måleren er i meget fin stand, der er ingen synlige tegn på nedbrydning pga. hydrogenpåvirkning.

IGA den 12. februar 2004

Kvalitetssikringsingeniør
Ole Bremerstent

Bilag 4

Analyserapport om Elster industrigasmålere



TELEFAX

An To	Herrn Jens Kongsbak	Von From	Sidlo Vladimir	ELSTER HANDEL GmbH? Steinern Str. 19-21 D - 55252 Mainz-Kastel
Firma Company	IGA Dänemark	Abt. Dep.	IOM	Tel: +49 - (0)6134 - 605-0 Fax: +49 - (0)6134 - 605 204 www.elster.com
Abt. Dep.	Verkauf	Email	sidlo@elster.com	Anzahl der Seiten Number of pages 1 + 3
Fax-Nr. Fax no. Betreff Subject	0045 9891 0767 Überprüfung der Geräte nach dem Wasserstoffbetrieb	Fax-Nr. Fax no. Tel.Nr. Tel.no.	+49-(0)6134-605-223 +49-(0)6134-605-415	Datum date 26-Feb-2004

TRZ IFS G100 DN80 PN10, Fabr.-Nr.: 80056379/2002, Eing.-Nr.: 260
RVG G65 DN50 PN16, Fabr.-Nr.: 75026396/2002, Eing.-Nr.: 261

Sehr geehrter Herr Kongsbak,

nach Überprüfung der o.g. Geräte hat unsere Reparaturwerkstatt festgestellt, dass beide Geräte, die dem Wasserstoffbetrieb unterzogen wurden, weiterhin einwandfreie Funktion aufweisen.

Als Anlage übersenden wir Ihnen die gewünschten Prüfprotokolle aus denen man entnehmen kann, dass die Fehlerkurve in entsprechender Toleranz liegt.

Beide Geräte werden wir jetzt demontieren um festzustellen, ob der Wasserstoffbetrieb an den einzelnen Bauteilen seine Spuren hinterlassen hat.

Über die Ergebnisse dieser Sichtkontrolle werden wir Sie noch rechtzeitig informieren.

Wir hoffen, Ihnen hiermit behilflich sein zu können und verbleiben

mit freundlichen Grüßen

ELSTER HANDEL GmbH

ELSTER Handel GmbH
Mess- und Regeltechnik
D-55252 Mainz-Kastel, Steinern Str. 19
D-55252 Mainz-Kastel, Postfach 129
Tel. 06134/60500 Fax 6134/605204
Telefax 06134/605390

ELSTER  AMCO

Überprüfung

ELSTER

Calibration - Certificate

ELSTER GmbH

Steinern Straße 19

55252 Mainz-Kastel

Tel.: +49 61 34 / 6 05 - 0

Type of calibration: internal calibration		Tester: Kappesser		Test bench: 1	
Calibration date: 10.02.04		Test number: 23369		Test fixture: P5	
Tested meter		Type: Turbine gas meter		1 tr = 1m³	
Size: G 100		Calibration gear J1/J2: 32/40			
Nominal size: DN 80/80		Style of construction: D97 / 7.211.17			
Pressure: PN10		WME: -0,19 %			
Serial number: 80056379		Installed test position: horizontal			
Year of construction: 2002					
Installed pulsers	Number	Type	Pulse factor	Max. Frequency	
	1	A1R	11550,0 pulses/m³	513,33 Hz	
	2	INS/E1	1 pulses/m³	0,04 Hz	
Measuring results					
	Temp	Pressure	Flow-rate	Error	Reynolds number
	°C	mbar	m³/h	%	1
# 1	20,22	5,38	160,84	-0,11	4,75E+04
# 2	20,38	2,70	112,56	-0,10	3,33E+04
# 3	20,14	0,94	64,86	-0,16	1,92E+04
# 4	20,32	0,40	40,27	-0,24	1,19E+04
# 5	20,26	0,04	16,38	-0,24	4,86E+03
# 6	20,20	0,00	8,01	-2,17	2,38E+03
Master meter:					
Name:	Serial num.:	Size:	Pulse factor:		
N1	E 32/1978	G2500	907,214 imp/m³		
N2	83000478/1978	G2500	876,960 imp/m³		
N3	83000479/1993	G2500	897,474 imp/m³		
N4	11039/1978	G650	1000,00 imp/m³		
N5	Kritisches Düsennormal mit 8 krit. Düsen				
Printing date: 10.02.04			 sign		
ELSTER GmbH Steinernstraße 19 D - 55252 Mainz - Kastel					
ELSTER GmbH - Steinern Straße 19 - D-55252 Mainz-Kastel - Tel.: 0049 61 34 / 6 05-0					

Prüfstelle für Meßgeräte für Gas bei der Firma ELSTER GmbH						ELSTER			
Prüfung:		Art: Werksprüfung		Prüfer: Kappesser		Prüfanlage: PA 01			
Datum: 10.02.04				Prüfnummer: 23369		Prüfstutzen: P5			
Luftdruck (korrigiert): 1022,87 mbar				Dichtheitskontrolle ist bestanden.					
Prüfling:		Gerätetyp: Turbinenradgaszähler		zul. Abtriebsmoment M_{zul} :		0 Nmm			
Größe: G 100				1 tr =		1,00 m³			
Nennweite: DN 80/80				Schaufelzahl:		11			
Druckstufe: PN10				Markenzahl:		5			
Fabrik-Nr.: 80056379				Getriebeübersetzung i_{Getriebe} :		924,0			
Baujahr: 2002				Zahlwerksradsatz ZA/ZB:		30/60			
Bauart: D97 / 7.211.17				Justierradsatz J1/J2:		32/40			
Impulsgeber:		Anzahl		Gebertyp		Impulswert		Max. Frequenz	
		1		A1R		11550,0 imp/m³		513,33 Hz	
		2		INS/E1		1 imp/m³		0,04 Hz	
Impulswert- und Zählwerkskontrolle:				Cp, berechnet:		11550 imp/m³			
Start/Stop-Vorwahl: 21 imp				Cp, geprüft:		11548,5714 imp/m³			
Aufgelaufen: 21 imp				Abweichung:		0,0124 %			
Zählerstand Anfang: 64455 m³				Zählerstand Ende:		64493 m³			
WME-Fehler: -0,19 %									
Meßwerte:									
	Temp.	Druck	Meßzeit	Impulse	Reynolds-	Durchfluß	rel. Luftfeuchte	rel. Meßabw.	
	°C	mbar	s	imp	zahl	m³/h	%	%	
N5	20,26	6,79				161,01		0,00	
1	20,22	5,38	64,533	33300	4,75E+04	160,84	42,1	-0,11	
N5	20,33	3,47				112,67		0,00	
2	20,38	2,70	64,517	23300	3,33E+04	112,56	42,7	-0,10	
N5	20,28	1,24				64,97		0,00	
3	20,14	0,94	63,910	13300	1,92E+04	64,86	42,5	-0,16	
N5	20,30	0,51				40,37		0,00	
4	20,32	0,40	64,237	8300	1,19E+04	40,27	42,2	-0,24	
N5	20,31	0,11				16,42		0,00	
5	20,26	0,04	62,792	3300	4,86E+03	16,38	42,7	-0,24	
N5	20,31	0,05				8,19		0,00	
6	20,20	0,00	62,227	1600	2,38E+03	8,01	42,5	-2,17	
Normale:									
Bez.: Fabrik-Nr.:		Größe:		Impulswert:					
N1 E 32/1978		G2500		907,214 imp/m³					
N2 83000478/1978		G2500		876,960 imp/m³					
N3 83000479/1993		G2500		897,474 imp/m³					
N4 11039/1978		G650		1000,00 imp/m³					
N5		Kritisches Düsennormal mit 8 krit. Düsen							
Mainz-Kastel, den 10.02.04									
 Unterschrift									
ELSTER GmbH - Steinern Straße 19 - D-55262 Mainz-Kastel - Tel.: +49 61 34 / 6 05-0									

Überprüfung



BEFUNDBERICHT

Kunde / Versandanschrift IGA DK 9800 Hjørring	Eingang 5.2.04 Auftrags-Nr.
---	---

TRZ ☒	QU ☐	QA ☐	DKZ ☐	TRRZ ☐	EQZ ☐
---	-----------------------------	-----------------------------	------------------------------	-------------------------------	------------------------------

Type	DN	PN	Ausführung	A1R X	BGL X	DAUG	Fabrik-Nr.	Baujahr
G100	80	10	S1	A1S	WPR	OELG X	8005679	2002

Zahlwerkstand (MP)	84453,10
--------------------	----------

Eichplombe entfernt	
Meßpatrone / Meßrad durch Fremdkörper zerstört	
Meßpatrone / Meßrad durch Schweißarbeit verschmelzen	
Meßpatrone / Meßrad durch Druckstoß/Überlast defekt	
Gehäuse mußte sandgestrahlt werden	
verschmutzt	
stark verschmutzt	

Kostenveranschlag	erneuern	reparieren
Zahlwerk kopf kpl.		
Zahlwerk		
Magnetkupplung		
Meßpatrone kpl. 05		
Synchronräder		
Kolben		
Kugellager		

Kostenveranschlag	erneuern
Ölpumpe	
Ölleitung	
A1R - Impulsgeber	
A1S - Impulsgeber	
Impulsgeber B 1/ NF	
Impulsgeber E200 / HF	

Bemerkungen : Der Zähler zeigt keine sichtbaren Verschleisserseheinungen. Es sind keine Ablagerungen zu erkennen.	Eingangs Nr. 260
--	---

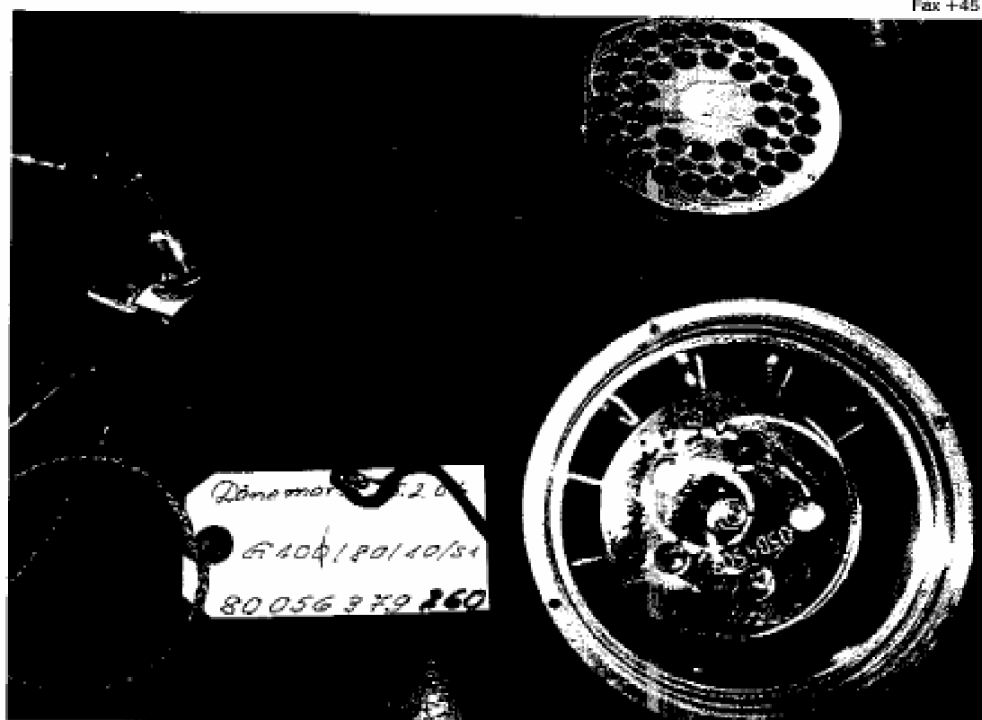
Mit freundlichen Grüßen

8.3.04
Datum

Bülte/Qualitäts-Management

IGA A-S

IGA A-S
Anholtvej 1, Box 271
9800 Hjørring
Tlf.: +45 98 91 10 55
Fax +45 98 91 07 67
98 40 31 12



ELSTER

Calibration - Certificate

ELSTER GmbH
 Steinern Straße 19
 55252 Mainz-Kastel
 Tel.: +49 61 34 / 6 05 - 0

Type of calibration: official calibration	Tester: Hiller	Test bench: PA 06
Calibration date: 11.02.04	Test number: 40475	
Tested meter Type: Rotary piston meter	adjustment wheel J1/J2: 31/38	
Size: G 65	1 tr = 0,10 m³	
nominal size: 50	measuring range: 1:65	
Pressure: 16 bar		
Serial number: 75026396	Year of construction: 2002	
Installed pulsers	Number	Type
	1	A1K
	2	INS/E1
		Pulse factor
		13753,5 imp/m³
		10 imp/m³
		Max. Frequency
		382,04 Hz
		0,28 Hz

Measuring results

	Flow- rate m³/h	Error %	Pressure loss mbar
# 1	100,00	0,01	3,16
# 2	70,00	-0,18	1,24
# 3	40,09	-0,02	0,51
# 4	25,04	-0,13	0,20
# 5	15,02	-0,20	0,09
# 6	4,99	-0,42	0,02
# 7	1,58	-1,17	0,01
# 8	99,98	0,02	3,13



Printing date: **11.02.04**

J. Hiller
 sign

ELSTER GmbH - Steinern Straße 19 - D-55252 Mainz-Kastel - Tel.: +49 61 34 / 6 05-0

Bilag 5
Analyserapport fra Shell om smøremidler
i industrigasmålere

	Dansk Gasteknisk Center	
	ARKIV	
Resultat af Olieanalyse		
DATO: 24 FEB 2004		
Dansk Gasteknisk Center a/s Dr. Neergaards Vej 5B 2970 Hørsholm Att.: Henrik Iskov	ANSV	Udskriftsdato:
	HIS	23-02-2004
	KOP1	Rek./Rek. nr:
		2642 REK2004
		Modtaget Dato:
		15-02-2004
		Afsluttet Dato:
		Deres Ref.:

Følgende prøve(r) er analyseret:

Prøve ID: 2642 REK2004 - 4656	Udtagningssted: hydrogen flowmålere
Lab Reg Nr: 17105/04	
Produkt: Hydraulikolie	Timer Udtagningssted: Km Udtagningssted:
Udtagelsesdato: 03-02-2004	Timer Olien: 8000 Km Olien:

Analyse	Metode	Værdi/resultat
Vandindhold, Karl Fisher	ASTM D 1744	18 ppm
Syretil (TAN)	ASTM D 664	0,07 mg KOH/g
Viskositet Kinematisk ved 40 °C	ASTM D 445	11,75 cSt
Infrarød Spektrofotometri		*
ICP metal ; Phosphor	ASTM D 5185	380 ppm

Konklusion på prøven:

*) I flg. Infrarød analyse indeholder prøven ca. 24%vgt. ASF 4 (2642rek 4657) og ca. 76%vgt. Morlina 10 (2642rek4658). Der kan ikke konstateres nogen forandring af de to komponenter i forhold til nye olier.

- ☐ Handling kræves!
- ☒ Acceptabelt
- ☐ OK



Prøve ID: 2642 REK2004 - 4657	Udtagningssted: original emballage	
Lab Reg Nr: 17106/04		
Produkt: AEROSHELL FLUID 4	Timer Udtagningssted:	Km Udtagningssted:
Udtagelsesdato: 03-02-2004	Timer Olien: 0	Km Olien:

Analyse	Metode	Værdi/resultat
Vandindhold, Karl Fisher	ASTM D 1744	26 ppm
Syretal (TAN)	ASTM D 664	0,05 mg KOH/g
Viskositet Kinematisk ved 40 °C	ASTM D 445	15,33 cSt
Infrarød Spektrofotometri		* FT-IR <i>Prøven er identisk med ASF 4.</i>
ICP metal ; Phosphor	ASTM D 5185	455 ppm

- ☒ Handling kræves!
- ☒ Acceptabelt
- ☒ OK

Prøve ID: 2642 REK2004 - 4658	Udtagningssted: original emballage	
Lab Reg Nr: 17107/04		
Produkt: MORLINA OIL 10	Timer Udtagningssted:	Km Udtagningssted:
Udtagelsesdato: 03-02-2004	Timer Olien: 0	Km Olien:

Analyse	Metode	Værdi/resultat
Vandindhold, Karl Fisher	ASTM D 1744	55 ppm
Syretal (TAN)	ASTM D 664	0,07 mg KOH/g
Viskositet Kinematisk ved 40 °C	ASTM D 445	10,63 cSt
Infrarød Spektrofotometri		* FT-IR <i>Prøven er identisk med Morlina 10.</i>
ICP metal ; Phosphor	ASTM D 5185	358 ppm

- ☒ Handling kræves!
- ☒ Acceptabelt
- ☒ OK



Prøve ID: 2642 REK2004 - 4658

Udtagningssted: 70% (2642/4657) + 30%
(2642/4658)

Lab Reg Nr: 17108/04

Produkt: mix af 2 olier

Timer Udtagningssted:

Km Udtagningssted:

Udtagelsesdato: 03-02-2004

Timer Olien: 0

Km Olien:

Analyse	Metode	Værdi/resultat
Vandindhold, Karl Fisher	ASTM D 1744	38 ppm
Syretil (TAN)	ASTM D 664	0,05 mg KOH/g
Viskositet Kinematisk ved 40 °C	ASTM D 445	13,73 cSt
Infrarød Spektrofotometri		* FT-IR <i>Se kommentarer for analysen 2642 rek 4658.</i>
ICP metal ; Phosphor	ASTM D 5185	422 ppm

Konklusion på prøven:

For denne blanding (70% (2642/4657) + 30% (2642/4658)) viser analyseresultaterne sammenlignet med 2642/56 ingen forskel.

- ☒ Handling kræves!
- ☒ Acceptabelt
- ☒ OK

Ud fra de analyser der er foretaget, har der ikke kunnet påvises ændringer i den prøve der har været anvendt i Hydrogen flowmåleren.

Med venlig hilsen
A/S Dansk Shell

Ole Nielsen