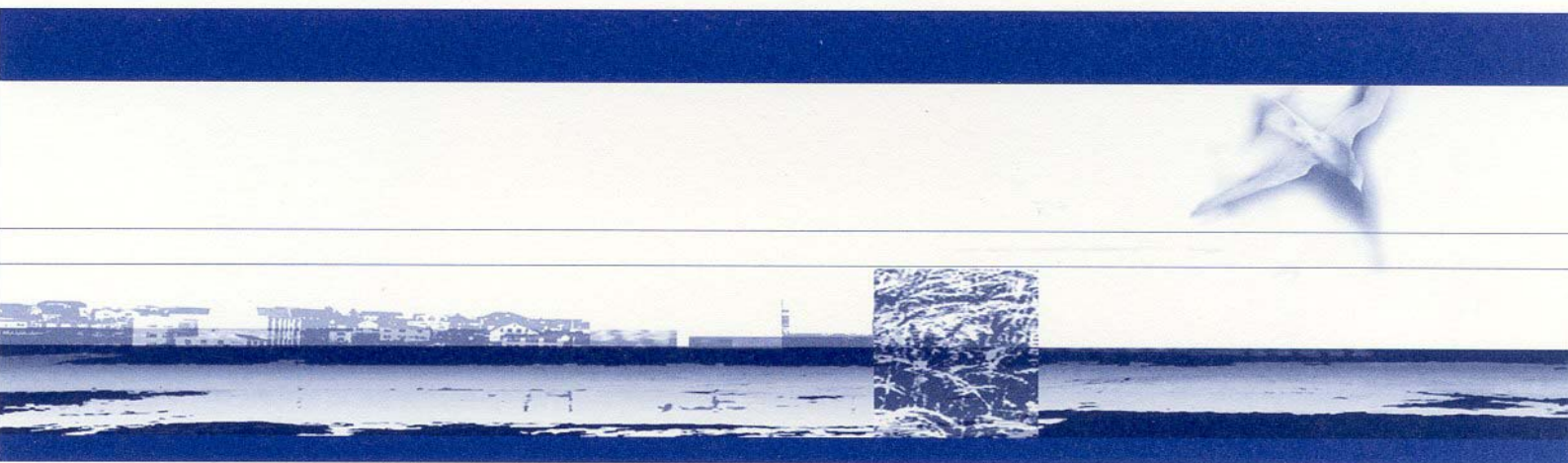


ITÍ0209/HTD09

Ásbjörn Einarsson
Páll Árnason

**Áhrif aðstæðna í íslenskum hitaveitum
á endingu plaströra**
- áfangaskýrsla -



Unnið fyrir
Orkuveitu Reykjavíkur



Desember 2002

Verkfræðipjónusta
Ásbjörns Einarssonar

Samantekt

Á síðasta áratug notaði Orkuveita Reykjavíkur sveigjanleg hitaveiturör í sumar heimæðar um nokkurra ára skeið. Notkun sveigjanlegra hitaveituröra var síðan hætt vegna óvissu um hvernig þau hentuðu við aðstæður í dreifikerfi OR. Í nóvember 1999 bað Orkuveita Reykjavíkur Iðntæknistofnun og Verkfræðipjónustu Ásbjörns Einarssonar um að vinna með sér við að leggja mat á hvort séríslenskar aðstæður hefðu áhrif á endingu plaströra sem notuð eru sem innra rör í sveigjanleg hitaveiturör. Þá voru öldrunarprófanir skilgreindar og hafa þær prófanir nú staðið í 22 mánuði.

Þessar séríslensku aðstæður í dreifikerfum eru fyrst og fremst að það er súlfíð (brennisteinn) í vatninu og gegnumstreymi með sífelldri endurnýjun vatnsins í stað hringrásar. Verkefni þetta hefur það markmið að skýra hvort þessar aðstæður dragi úr endingu sveigjanlegra heimæða með innra röri úr plasti hjá OR. Einstakir hlutar þessara rannsókna geta einnig nýttast vel við mat á hvort þessi plaströr henti fyrir heitt vatn við aðrar aðstæður hér á landi. Þetta verkefni skarast aðeins við rannsóknarverkefni á sviði álplast röra sem Iðntæknistofnun, Orkustofnun og Verkfræðipjónusta Ásbjörns Einarssonar stóðu að á árunum '00-'02. Fyrir utan það að leggja mat á öldrun álplast röra við íslenskar aðstæður var þar reynt að taka saman fyrirbyggjandi þekkingu á efnahvörfum súrefnis og brennisteinsvetnis, en þau skipta miklu máli í sveigjanlegum hitaveiturörum þar sem súrefnisgegnræpi getur verið vandamál.

Í þessari áfangaskýrslu er gerð grein fyrir þeim prófunum sem í gangi eru og þeim fyrstu vísbendingum um niðurstöður sem þegar liggja fyrir. Niðurstöður ofangreinds rannsóknarverkefnis á sviði álplaströra styðja þær áfanganiðurstöður sem liggja fyrir.

Staðan nú gefur tilefni til að draga eftirfarandi ályktanir:

- Engin merki eru um að aðrar séríslenskar aðstæður en mikið hitaálag hafi áhrif á endingu þeirra plaströra og álplaströra sem helst eru notuð fyrir heitt vatn. Engin merki eru um að súlfíð eða gegnumstreymi hafi áhrif á endinguna.
- Sum sýnin hafa hita/þrýstipól umfram lágmarkskröfu staðla, líka í gegnumstreymi og jarðhitavatni.
- Búast má við yfir 30 ára líftíma góðra PEX-röra í heimæðum OR.
- Súrefniskápurnar endast líklega nokkru skemur en rörin.
- Franskur staðall fyrir útskolunarprófanir er ónothæfur.
- Mjög skortir á þekkingu á eyðingu súrefnis í jarðhitavatni og við hvaða aðstæður súlfíð í vatninu tryggi að ekki þurfi að hafa áhyggjur af súrefni sem plaströrin hleypa í gegnum sig.

Prófunum við 120°C fer að ljúka þar sem flest rörin eru sprungin og við gegnumstreymi jarðhitavatns. Það bendir til að rörin endist svipað við aðstæður sem erlendir prófunaraðilar miða við og við aðstæður sem algengastar eru í Reykjavík. Rörin virðast aldast hægar í gegnumstreymi afloftaðs vatns, en ekki er ljóst hvers vegna.

Það líða líklega tvö til þrjú ár áður en niðurstöður verða endanlegar úr 110°C prófununum, sem eru þær prófanir sem eru alþjóðlega viðurkenndar.

Efnisyfirlit

1 INNGANGUR	4
2 STAÐA ÞEKKINGAR	5
2.1 HITAÐOLIN PLASTRÖR	5
2.3 ÁLPLAST RANNSÓKNIR	8
3 UPPSETNING PRÓFUNAR	10
4 SÝNI	13
5 LANGTÍMA HITA- ÞRÝSTINGSPRÓFANIR	15
5.1 PRÓFUNIN	15
5.2 ÖLDRUN Í SÝNUM.....	16
5.3 ÖLDRUN Í SÚREFNISKÁPUM.....	17
6 ÚTSKOLUNARPRÓFANIR	18
7 STAÐA VERKEFNIS	21
8 HEIMILDIR	22
VIÐAUKI A MEÐALHITASTIG HVERS SÝNIS OG ENDING	23
VIÐAUKI B ENDING SÚREFNISKÁPU	24
VIÐAUKI C PRÓFUN Á ÚTSKOLUN ANDOXUNAREFNA	25

1 Inngangur

Á síðasta áratug notaði Orkuveita Reykjavíkur (OR) sveigjanleg hitaveiturör í sumar heimæðar um nokkurra ára skeið. Það voru foreinangruð PB og PEX plaströr með PE kápu, eins og nokkuð voru notuð í heimæðar í öðrum löndum. Notkun sveigjanlegra hitaveituröra var síðan hætt vegna óvissu um hvernig þau hentuðu við aðstæður í dreifikerfi OR, aðstæður sem að sumu leiti eru öðruvísi en í öðrum löndum. Þar kemur í fyrsta lagi til að gegnumstreymi er í kerfi OR en ríkjandi að svona lagnir séu í hringrásarkerfi erlendis og í öðru lagi er súlfíð (brennisteinn) í vatninu hjá OR sem ekki er erlendis.

Í nóvember 1999 bað Orkuveita Reykjavíkur Iðntæknistofnun og Verkfræðipjónustu Ásbjörns Einarssonar um að leggja mat á hvort séríslenskar aðstæður hefðu áhrif á endingu plaströra sem notuð eru sem innra rör í sveigjanleg hitaveiturör. Þá voru öldrunarprófanir skilgreindar og hafa þær prófanir nú staðið í 22 mánuði.

Þetta verkefni skarast aðeins við rannsóknarverkefni á sviði álplast röra sem Iðntæknistofnun, Orkustofnun og Verkfræðipjónusta Ásbjörns Einarssonar stóðu að á árunum '00-'02. Aðstaða OR í Bolholti til öldrunar á rörum var þar nýtt. Fyrir utan það að leggja mat á öldrun álplast röra við íslenskar aðstæður var þar reynt að taka saman fyrirbyggjandi þekkingu á efnahvörfum súrefnis og brennisteinsvetnis, en þau skipta miklu máli í sveigjanlegum hitaveiturörum þar sem súrefnisgegnræpi getur verið vandamál. Sagt er frá þessu verkefni í kafla 2.

Verkefni það, sem hér er lýst, hefur það markmið að skýra hvort sveigjanlegar heimæðar með innra röri úr plasti endist jafn lengi hjá OR og hjá erlendum veitum sem vinna á svipuðu hitastigi. Rannsóknirnar geta einnig nýttast vel við mat á hvort þessi plaströr henti fyrir heitt vatn við aðrar aðstæður hér á landi.

Í þessari áfangaskýrslu er gerð grein fyrir þeim prófunum sem í gangi eru og þeim fyrstu niðurstöðum sem þegar liggja fyrir. Ekki er ljóst hvenær niðurstöðurnar fara að skýrast svo ástæða þyki til að gefa út aðra áfangaskýrslu, eða lokaskýrslu, ólíklegt að það verði fyrr en á árinu 2004.

Verkefnið er unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur.

2 Staða þekkingar

2.1 Hitapölinn plaströr

Í staðlinum ISO 10508:1995 eru skilgreindir notkunarflokkar hitapölinna plaströra eftir notkunarsviði og hitastigi lagnakerfa. Þessir notkunarflokkar eru sýndir í töflu 2.1 hér að neðan.

Tafla 2.1 Flokkar hitapölinna plaströra eftir notkunaraðstæðum.							
Flokkur ¹⁾	T _{vinnu} (°C)	Tími ²⁾ við T _{vinnu} (ár)	T _{max} (°C)	Tími við T _{max} (ár)	T _{yfir} (°C)	Tími við T _{yfir} (klst)	Dæmigert notkunarsvið
1 ³⁾	60	49	80	1	95	100	Heitt neysluvatn (60°C)
2 ³⁾	70	49	80	1	95	100	Heitt neysluvatn (70°C)
4	40 plús ⁴⁾ 60	20 plús ⁴⁾ 25	70	2,5	100	100	Gólfhiti og lághitaofnar
5	60 plús ⁵⁾ 80	25 plús ⁵⁾ 10	90	1	100	100	Háhitaofnar

1) Í hverjum flokki má velja rör eftir vinnubrýstingi p_{vinnu}, 4 bör, 6 bör eða 10 bör, eftir þörfum.
 2) Kerfin vinna ekki alltaf samfellt á 50 ára líftíma. Sá viðbótartími sem þarf upp í 50 ár skal vera við 20°C.
 3) Ríki má velja flokk 1 eða 2 í samræmi við reglur sínar um hitastig á heitu kranavatni.
 4) Notkun á flokki 4 fylgir 20 ára notkun við 40°C og 25 ára notkun við 60 °C á 50 ára líftíma.
 5) Notkun á flokki 5 fylgir 25 ára notkun við 60°C og 10 ára notkun við 80 °C á 50 ára líftíma.

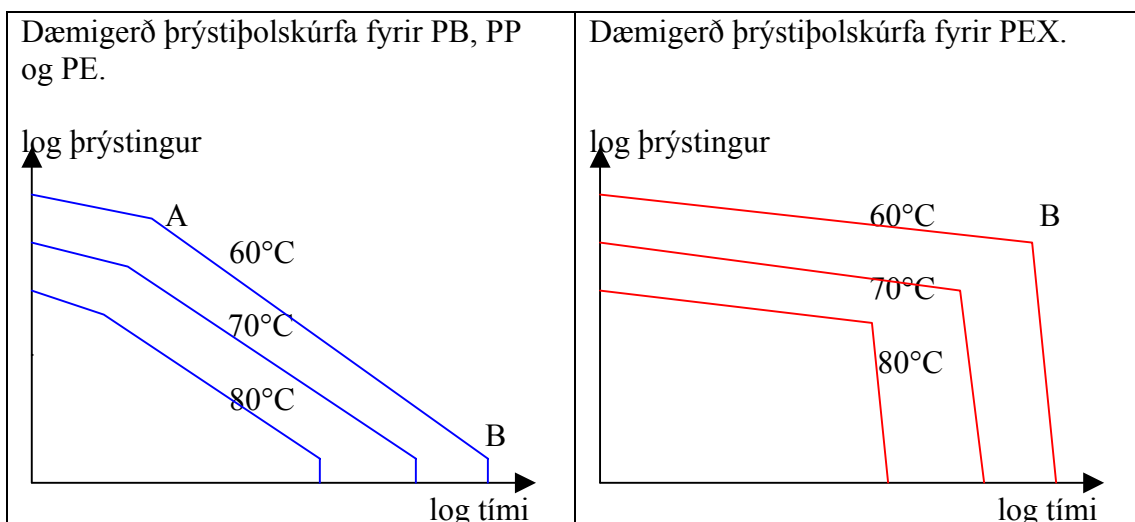
T_{max} er það hámarkshitastig, toppar, sem kerfið getur þurft að þola í stuttan tíma við eðlilegar kringumstæður og T_{yfir} er það hitastig, sem getur myndast vegna bilana. Flokkarnir gera mismunandi kröfur til hitapöls, sem endurspeglast síðan í mismunandi veggþykktarkröfum með tilliti til hita- og þrýstipöls við háan vinnubrýsting. Í flokki 5 eru gerðar mestar veggþykktarkröfur og næstmestar í flokki 2. Notkunarsvið 5 er hitaálag sem samsvarar 70°C samfellt í 50 ár eins og notkunarsvið 2, en yfirálagshitastigið er hærra.

Í Evrópu eru PE, PP, PB og PEX efni notuð fyrir volgt og heitt vatn en í Ameríku hefur CPVC einnig verið notað fyrir hóflega heitt vatn. Evrópskir staðlar og ISO staðlar hafa lengi verið til yfir PP, PB og PEX rör sem þoli 70°C í 50 ár, staðlar fyrir PE rör hafa hins vegar ekki gert ráð fyrir meira en 40°C hitapöli fyrr en með þýskum stöðlum sem út komu árið 2001 þar sem hitapölið PE sem kallað er PE-RT er leyft fyrir notkunarsvið 4 og 5. Á bak við þessa staðla er eitt ákveðið hráefni frá Dow Chemicals sem uppfyllir þær kröfur sem þar eru skilgreindar.

Í málmrörum skiptir hitastig að jafnaði ekki höfuðmáli, en í plaströrum hefur hitastig og þrýstingur afgerandi áhrif á endingartímann. Í þeim hitaþolnu plaströrum sem að ofan eru talin er algengt að hitastigshækkun um 10°C styttri endingartímann 2,5-3,5 falt. Hér á landi er algengt hitastig heita vatnsins 80°C. Engir staðlar eða vottun krefjast meira en sem svarar 70°C samfelldu hitastigi og því má búast við að rör sem rétt uppfyllir lágmarkskröfur staðla hafi ekki örugga endingu nema í 17 ár við samfelldar 80°C.

Samfellda vatnshitastigið 80°C er ekki einstakt fyrir Ísland, það er t.d. algengt í dreifikerfum í Svíþjóð og því væri full ástæða til að til að slíkur notkunarflokkur væri skilgreindur. Ástæðan fyrir því að svo hefur ekki verið gert í stöðlum er að ekkert þessara plastefna, sem notuð eru rör, hefur nægjanlegt hitaþol til standast slíkar kröfur í 50 ára líftíma eins og plaströrastaðlar miða að jafnaði við. Sænska hitaveitusambandið hefur gefið út leiðbeinandi kröfur til PEX-röra í hitaveitukerfun en þar er aðeins krafist 30 ára líftíma við 80°C og 6 bör (heimild 7). Það eru þær kröfur sem röraframleiðendur eins og Wirsbo telja sig að hámarki geta staðist. Það eru að vísu til plastefni sem hafa nægjanlegt hitaþol, en þau eru ekki notuð í rör vegna þess að þau eru ekki kostnaðarlega samkeppnishæf við málmana.

Breyting á eiginleikum PEX röra með tíma er önnur en breyting á eiginleikum annarra plaströra eins og sjá má á mynd 2.1 hér að neðan. PEX-rörin halda vel eiginleikum sínum þar til kemískur líftími er liðinn, þá hverfur styrkurinn og skiptir þrýstingur þar litlu máli. PB, PP og PE missa hins vegar styrkinn smám saman áður en því er náð.



Mynd 2.1 Þrýstipól plaströra sem fall af tíma.

Ef báðir skalarnir á þrýstipólskúrfum eins og á mynd 2.1 hér að ofan eru lógaritmískir verður breytingin í eiginleikum efnisins (öldrunin) línuleg á hverjum þessara þriggja hluta ferilsins. Fyrst er efnið deigt fram að hnéi A, þá verður efnið stökkt. Við hné B er kemískur líftími efnisins búinn og það brotnar við minnsta álag, ferillinn á línuritinu á að vera nánast lóðréttur. Við hönnun á vörum úr plasti er oftast miðað við endingu eitthvað fram yfir hné A, en aukefnið eiga að hliðra hné B svo langt til hægri að ekki reyni á kemískan líftíma. Hjá PEX-rörum falla hnén saman svo endingin ræðst

af hnúi B. Ef útskolun andoxunarefna á sér stað að ráði þá hliðrast hnúi B til vinstri þannig að það skerði endinguna.

2.2 Súrefnisgegndræpi.

Súrefniskápa (súrefnishindrun) er sett á hitaþolin plaströr til þess að loka sem mest fyrir flæði súrefnis í gegnum vegg róra í hitakerfum. Nú er yfirleitt notuð kápa úr plastefnum, t.d. úr etýlen vínýl alkóhóli (EVOH, stundum nefnt EVAL).

Það er mjög sérstætt, að hvorki ISO- eða prEN-staðlar gera neinar kröfur um gæði súrefniskápu á hitaþolnum plaströrum. Eini staðallinn, sem skilgreinir gæði súrefniskápu, er DIN 4726, en hann fjallar um gólfhitakerfi. Röraframleiðendur vísa oft í þennan staðal. Krafan er:

$$\text{Súrefnisinnstreymi} \leq 0,10 \text{ g/m}^3 \text{ af vatni á sólarhring við } 40^\circ\text{C}.$$

Sé miðað við 10 m langt rör með innra þvermál 10 mm og rennsli 0,2 l/mín, eins og algengt er í ofnakerfum, verður súrefnisaukningin í vatninu mest 0,3 ppb við 40°C skv. DIN 4726. Þetta er ásættanlegt, a.m.k. þar sem vatn er ekki mjög salt. Mælingar, sem gerðar hafa verið hér á landi með óvörðum rörum, gáfu um 6 ppb við sömu skilyrði og um 24 ppb við 80°C. Ofnar entust oft um 8-12 ár í kerfum með óvörðum rörum, og er það í samræmi við þetta súrefnismagn.

Fyrsta nálgun hér á landi væri að setja þá kröfu að súrefniskápa á hitaþolnum plaströrum fullnægi sömu kröfu og í DIN 4726 en upp í 80°C. Það vandamál kemur hins vegar upp með þessari kröfu, að súrefniskápur úr plasti hleypa mun meira súrefni í gegnum sig, þegar hitastigið eykst. Mælingar á kápuefninu etýlen vínýl alkóhóli sýna um 30x meira súrefnisflæði við 80°C en við 40°C. Súrefnisaukningin í vatninu í rörinu hér að ofan yrði þá um 9 ppb í stað 0,3 ppb. Það er vart ásættanlegt. Erlendis er stundum farið fram hjá þessu með því að vísa í hitaferla fyrir hitakerfi, þar sem hitastigið er 40°C eða minna fyrir 40-60% af árinu. Þannig er hitaferill fyrir 90°C hitakerfi í Kempten í Þýskalandi:

90°C	201 klst	2,3%
80°C	237 klst	2,7%
70°C	422 klst	4,8%
60°C	971 klst	11,1%
50°C	1455 klst	16,6%
40°C	2546 klst	29,1%
30°C	1464 klst	16,7%
20°C	1464 klst	16,7%
Samtals	8760 klst	62,5% af tímanum við 40°C eða minna.

Með því að reikna meðalinnstreymi súrefnis yfir árið miðað við þessi hitastig, er hægt að ná kröfu DIN 4726 fyrir kerfið á ársgrundvelli vegna þess, hve tíminn við há hitastig er hlutfallslega stuttur. Þetta gengur hins vegar ekki í íslenskum hitakerfum, þar sem gera má ráð fyrir nokkurn veginn sama hitastigi allt árið um kring. Krafan um súrefnisinnstreymi $\leq 0,10 \text{ g/m}^3 \times d$ við 80°C getur því hugsanlega útilokað öll plaströr í hitakerfi hér á landi. Viðmiðunarkröfur sænska hitaveitusambandsins eru nokkru

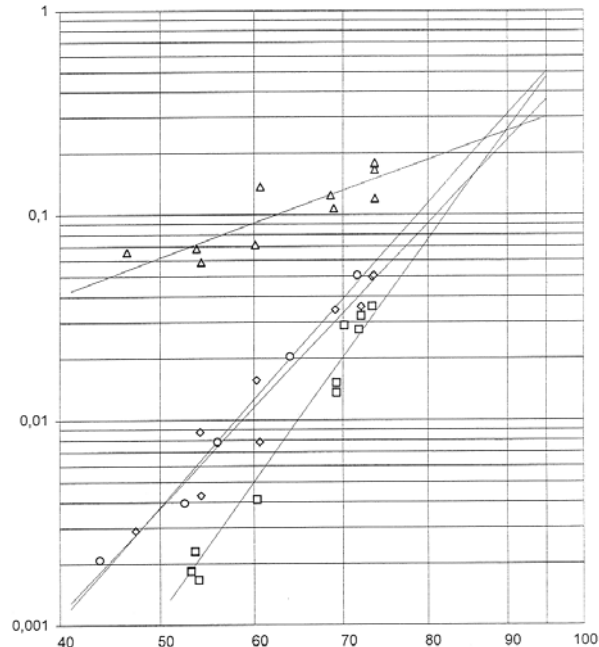
hærrí, þ.e. súrefnisinnstreymi $\leq 3 \times 10^{-12} \text{ g} \times \text{cm}/(\text{cm}^2 \times \text{s} \times \text{bar})$ við 80°C allan líftíma rörsins, sem fyrir $28 \times 4\text{mm}$ rör og önnur PEX-rör í sama þrýstiflokki samsvarar $0,25 \text{ g}/\text{m}^3 \times \text{d}$.

Mynd 2.2 Niðurstöður þýskra mælinga frá árunum '92-'94 á áhrifum hitastigs á súrefnisgegndræpi 32mm röra með þunnri súrefniskápu, samskonar og notuð er í dag (heimild 1).

Á lóðréttum ás eru milligrömm súrefnis á metra rörs á dag, $\text{mg}/\text{m} \times \text{d}$. (Ath. Ekki sama eining og í DIN 1746).

Á lárétta ásnum er hitastig í $^\circ\text{C}$.

Δ = Rör með ál-kápu
O, \square og \diamond = Rör með EVOH-kápu



Í þeim þýsku rannsóknum sem sýndar eru á mynd 2.2 eru foreinangruð hitaveiturör frá Lögstör, Uponor og Wirsbo sem öll hafa að geyma sama innra PEX rörið frá Wirsbo ($32 \times 2,9\text{mm}$ með EVOH kápu). Það er því ekki að undra að niðurstöður séu svipaðar. Mælt gegnumstreymi á rörum í kápu samsvara um $0,09 \text{ g}/\text{m}^3 \times \text{d}$ við 76°C og um $0,17 \text{ g}/\text{m}^3 \times \text{d}$ við 80°C . Það þýðir að 28×4 rör með súrefniskápu, einangrun og kápu í heimæð tæki upp a.m.k $0,20 \text{ g}/\text{m}^3 \times \text{d}$ við 80°C . Það er ekki ólíklegt að viðmiðunarkröfur sænska hitaveitusambandsins hafi orðið til með hliðsjón af þessum mælingum.

Star pipe PB rör eru með rauðri súrefniskápu. Þau eru sögð með EVOH kápu sem stenst kröfur DIN 4726, súrefnisgegndræpin sé við 40°C $0,08 \text{ g}/\text{m}^3 \times \text{d}$ á 20mm röri og $0,05 \text{ g}/\text{m}^3 \times \text{d}$ á 32mm röri. Við 70°C er gegndræpin framreiknuð af Star pipe til $2,2 \text{ g}/\text{m}^3 \times \text{d}$ á 20mm röri og $1,3 \text{ g}/\text{m}^3 \times \text{d}$ á 32mm röri. Þetta er til muna meiri gegndræpi en þýska rannsóknin sýndi á PEX rörum.

Ekkert mat hefur verið lagt á súrefnisgegndræpi einstakra plaströra í þessu verkefni eða hve mikið gegndræpi sé ásættanlegt.

2.3 Álplast rannsóknir

Sumarið '02 lauk rannsóknarverkefni á sviði álplast röra sem Iðntæknistofnun, Orkustofnun og Verkfræðipjónusta Ásbjörns Einarssonar stóðu að. Markmið þessa verkefnis sem var að meta hvaða áhrif súlfíð (H_2S) í heitu vatni hefur á lagnaefni úr plasti og álplasti og þá fyrst og fremst á PEX efni og skilflötinn milli áls og plasts. Jafnframt var ætlunin að meta út frá fyrirliggjandi reynslu og prófunum hvort súlfíð í

jarðhitavatni geti dregið verulega úr eða hindrað tæringu í ofnum sem annars stafar af því að súrefni kemst inn í gegnum plaströrin.

Í verkefninu eru tekin saman gögn um eyðingu súrefnis í súlfíðríku vatni, gerðar eru öldrunarprófanir á álplaströrum hjá Orkuveitu Reykjavíkur og hitasveifluprófanir og viðloðunarprófanir hjá Iðntæknistofnun.

Meginniðurstöður eru þær að ekki er að sjá að súlfíðið hafi nein neikvæð áhrif á þau plastefni (PEX og PE-RT) í álplaströrum sem prófuð voru. Ekki sást munur á mekanískum eiginleikum innra plastlagsins eftir heilt ár við 120°C í rörum sem innihéldu súlfíðríkt jarðhitavatn og í rörum sem innihéldu upphitað ferskvatn.

Álplast rör eru fimm laga með límlögunum og því flóknari hönnun en gegnheil rör úr sama efninu. Miklu fleiri þættir geta farið úrskeiðis í slíkri hönnun og er það væntanlega ein af ástæðum þess ekkert bólar á alþjóðlegum gæðaviðmiðunum fyrir þessi rör. Það kom einnig fram í prófununum að rörin eru vangæf og vandmeðhöndluð, en það tengist ekki á neinn hátt súlfíði eða öðrum séríslenskum aðstæðum. Vatn í blöðrum sem myndast geta í skilfleti milli áls og plasts virðist hafa svipaða eiginleika hvort sem rörið leiðir súlfíðríkt vatn eða ekki.

Álplast rör hafa þann ótvíræða kost málmröra að þau hleypa engu súrefni í gegnum sig og virðast hafa þann kost plaströra að tærast ekki. Þar sem súlfíð er í heita vatninu hafa tæringarvandamál vegna súrefnisgegndræpi plaströra ekki verið alvarleg, enda eyðir súlfíðið súrefninu. Hins vegar er þekking á hraða á eyðingu súrefnis í súlfíðríku vatni takmörkuð og erfitt að leggja mat á hversu mikið megi draga úr kröfum um súrefnisþéttleika lagnakerfis þar sem súlfíð er í vatni. Ekkert er hægt að segja til um það, hvort eyðingarhraði súrefnis með súlfíði sé nægilegur til þess að koma súrefninu niður í ásættanlegt magn, þegar vatn úr plaströrum fer inn á stálofna hitakerfa, einkum í kerfum þar sem vatnshitastig er að staðaldri hátt (um 70°C) og lagnaleiðir langar.

Lokaskýrslu í heild um þetta verkefni má finna á heimasíðu lagnaval.is undir “greinar”.

3 Uppsetning prófunar

Ending plaströra í sveigjanlegum hitaveiturörum er talin geta ráðist af eftirfarandi þáttum:

- Eðlilegri kemískri og mekanískri öldrun í samræmi við evrópska staðla og prófanir á hita- og þrýstipóli.
- Eðlilegri útskolun andoxunarefna við hefðbundna evrópska notkun (hringrás)
- Aukaútskolun vegna gegnumstreymis í heimæðum OR og annarra íslenskra veitna.
- Áhrifum súlfíðs í veituvatni OR og flestra annarra íslenskra veitna.

Í prófununum er ætlunin að

1. kanna áhrif súlfíðs á endingu PEX-röra.
2. kanna áhrif gegnumstreymis á útskolun andoxunarefna miðað við hringrásarkerfi.
3. gera samanburð á prófunum skv. frönskum staðli á útskolunarhraða (vatnsskipti 4x) og prófunum með sírennsli bæði með og án súlfíðs. Í þessum prófunum eru togþolssýni soðin í vatni og vinnur útskolunin því báðum megin á sýnunum. Einnig verður gerður samanburður við rörsýni, þar sem útskolunin er öðrum megin frá.

Settar hafa verið upp 9 prófunarrásir fyrir langtíma hita- þrýstingsprófanir. Þær eru:

HI 1. 100°C jarðhitavatn (með súlfíði)

HI 2. 110°C jarðhitavatn (með súlfíði)

HI 3. 120°C jarðhitavatn (með súlfíði)

AL 1. 100°C upphitað og afloftað ferskvatn

AL 2. 110°C upphitað og afloftað ferskvatn

AL 3. 120°C upphitað og afloftað ferskvatn

HR 1. 100°C hringrás með upphituðu ferskvatni

HR 2. 110°C hringrás með upphituðu ferskvatni

HR 3. 120°C hringrás með upphituðu ferskvatni

Rennslishraði: 3 l/mín í hringrás, en 2 l/mín í hinum rásunum

Þrýstingur: 2,5 bör,

Gegnumstreymisrásirnar HI og AL eru staðsettar við dælustöð í Bolholti en hringrásirnar eru í húsi OR við Grensásveg.

Einnig eru framkvæmdar útskolunarprófanir á mittissýnum (fyrir togprófanir) við 100°C, bæði með því að setja sýni inn í AL 1 og HI 1 rásirnar og með því að sjóða sýnin í 2000 klst, í samræmi við útskolunarlýsingu í frönskum PEX-staðli, á rannsóknarstofu ITÍ.

Samanburður á AL rásunum og HI rásunum sýnir súlfíðáhrifin.

Samanburður á AL rásunum og HR rásunum sýnir áhrif aukaútskolunar.

Samanburður á niðurstöðum skv. frönskum staðli og sýnum úr ofangreindum prófunum sýnir, hvort mælingar franska staðalsins duga fyrir okkur.

Ákveðið var í upphafi að reka prófunarkassa við 100°C, 110°C og 120°C við lágan þrýsting, u.þ.b. 3 bör. Þessi lági þrýstingur var var valinn til að tryggja að þegar sýnin gæfu sig þá væri það ekki vegna þrýstings, heldur vegna kemísks niðurbrots.

Heppilegir þrýstijöfnunarkútar voru til fyrir 2,5 bör og var ákveðið að laga prófunina að því. Kostir þessara aðstæðna eru að;

- hugsanleg útskolun og áhrif súlfíðs komu hratt og örugglega fram við 120°C
- hugsanleg áhrif íslenskra aðstæðna ættu að vera mjög skýr við þetta lágan þrýsting og 110°C, hægt að staðfesta þau og meta stærðargráðu.
- 100°C prófunin var hugsuð sem öryggisnet og til sérstakra útskolunarprófana

Ókostir þessara aðstæðna eru að;

- prófun við 120°C er ekki talin fyllilega marktæk og ekki viðurkennd í prófunarstöðlum vegna þess að kristöllun efnisins er önnur við svo hátt hitastig og öldrunareiginleikar því aðrir
- erfiðara er að leggja mat á endingu röra við þetta lágan þrýsting
- súrefniskápa flagnar líklega síður af röri við lágan þrýsting

Hola RG-05 á Laugarnessvæðinu er yfirleitt alltaf í gangi og er dæmigerð fyrir vatnið á Bolholtssvæðinu og jarðhitavatnið í prófuninni. Sýni 01-5005 tekið 10/1/2001 var efnagreint og reyndist hafa þessa eiginleika:

Tafla 3.1 Efnasamsetning jarðhitavatns

T	127,7	°C
pH/T	9,34/23,3	
CO ₂	16,7	ppm
H ₂ S	0,56	ppm
SiO ₂	136,5	ppm
Na	71,9	ppm
K	2,9	ppm
Ca	4,34	ppm
Mg	0,002	ppm
SO ₄	30,3	ppm
Cl	60,6	ppm
F	0,94	ppm
Fe	0,035	ppm
Al	0,19	ppm
B	0	ppm
O ₂	0	ppb

Aðstaða til öldrunarprófana er sýnd á myndum 3.1 - 3.4 hér að neðan.



Mynd 3.1 Hringrásarkerfin þrjú. Undir einangruðum álkössum er stjórnbúnaðurinn.



Mynd 3.2 Rannsóknarsetrið í Bolholti lætur lítið yfir sér, en er vel búíð innan eins og sést á myndum hér að neðan.



Mynd 3.3 Rásir með hitaveituvatni



Mynd 3.4 Rásir með upphituðu og afloftuðu ferskvatni

4 Sýni

Fengin eru u.þ.b. 25mm rör til prófunar. Sýnum í prófuninni má skipta í tvo flokka:

- Í fyrsta lagi eru valin öll þau sýni af rörum sem eru á markaðinum í sveigjanlegum hitaveiturörum og hægt hefur verið að komast yfir.
- Í öðru lagi eru valin nokkur sýni af öðrum PEX-efnum á markaðinum til að fá aðeins meiri yfirsýn yfir þau efni sem gætu verið boðin í sveigjanlegum hitaveiturörum. Mælingar á þeim efnum geta líka nýst Byggingarfulltrúanum í Reykjavík við stefnumótun um leyfilega notkun PEX-röra innanhúss.

Aðstaðan hefur verið notuð til öldrunar á plast/ál/plast rörum sem byrjuð eru að ryðja sér rúms sem heitavatnslagnir innanhúss í Evrópu, en þau sýni eru hluti af öðru rannsóknarverkefni. Einnig eru hugmyndir um að nýta aðstöðuna og setja inn innlenda röraframleiðslu sem mest er notuð í "sveitaveitur" og fá mat á hvort séríslenskar aðstæður hafi áhrif á þau, þegar pláss hefur myndast fyrir þau í prófunargrindunum.

Sýni nr	Heiti	Efni	O ₂ -kápa	Mál	Framl.	Umboð/Sala	Rb vottun
1	Evalpex	PE-Xa	Já, EVOH	25 x 2,3	Wirsbo	Ísleifur Jónsson	Vottað
2	Evalpex Q&E	PE-Xa	Já EVOH	28 x 4,0	Wirsbo	Ísleifur Jónsson	?
3	Rautitan flex	PE-Xa	Já EVOH	25 x 3,5	Rehau	Fjöltækni	Vottað án kápu
4	Star Pipe PB	PB	Já EVOH	25 x 2,3	Star Pipe	Nör	
5	Ganløse rör	MDPE	Já	22 x 3,0		Vatnsvirkinn	
6	LR-Pex	PE-Xb	Já EVOH	28 x 4,0	Lögstör	Ís-rör	

Tvær gerðir af peroxíðhertu pexi (PE-Xa) frá Wirsbo eru í prófuninni, annars vegar rör í hefðbundnum málum skv. staðli (25x2,3) og hins vegar þykk rör, Q&E (Quick & Easy), sem þola meiri þrýsting og Wirsbo selur sérstök þrýsting fyrir, enda fylgja þau ekki alþjóðlegum stöðlum í málum. Bæði þessi rör virðist Wirsbo nota í Ecoflex einangruð hitaveiturör, þau þynnri fyrir þrýstiflokk PN6 og þau þykkari fyrir PN10 (sýni 2). Skv. nýjustu plaströastöðlunum eru þessir þrýstiflokkar ekki notaðir en í staðinn notaðir þykktarflokkarnir S5 fyrir þynnra rörið og S3,2 eða S3,15 fyrir það þykkara.

Skv. upplýsingabæklingi Rehau (sýni 3) nota þeir einnig PE-Xa í sömu málum í innra rörið í hitaveiturörum sínum. Ekki tókst að fá rör til prófunar frá Rehau í þessum málum, en í staðin fengust rör sem ætluð eru til innanhúss kranalagna, rör sem eru í S3,2 eða S3,15 flokknum.

Lögstör fór að framleiða sín eigin PE-X rör á árinu '99. Lögstör pex-rörin (sýni 6) eru síloxanhert, þ.e. PE-Xb. Hugsanlegt er að efnaþolni þeirra sé önnur en peroxíðhertu röranna. Samkvæmt upplýsingum framleiðenda uppfylla þau ekki kröfur til drykkjarvatnslagna. Þessar reglur eru að vísu mjög mismunandi í Evrópu, en almennt eiga rör úr PE-Xb (síloxanhert) og PE-Xd (azo-hert) erfitt með að uppfylla slíkar kröfur á meðan rör úr PE-Xa (peroxíðhert) og PE-Xc (geislahert) eiga auðveldara með það.

PB rör til prófunar fengust frá Star pipe. Star pipe býður einnig upp á PE-Xa rör sem á það sameiginlegt með rörinum frá Wirsbo og Rehau að vera framleitt með Engel-aðferð og vera með EVOH súrefniskápu. Star pipe PB rörin eru þau einu í prófuninni með rauðri súrefniskápu.

Í prófuninni er eitt PE rör (Ganløse) sem keypt var sem PEX rör í Vatnsvirkjanum og sagt að það hentaði fyrir heitt vatn innanhúss. Þótt rörin séu hér seld sem PEX hitaþolin plaströr (súrefnisf.pexrör 22mm stendur á nótu) kemur það fram í merkingum á rörinum að þau sé ekki PEX heldur meðaleðlisþungt PE, þ.e. PEMD. Þau eru úr efni sem DOW Chemicals markaðssetur sem mjög hitaþolið PE röraefni, á að endast í 50 ár við 70°C. Engin tilvísun í rorastaðla er á rörinum önnur en að súrefniskápan standist DIN 4726. Lengst af hefur röraframleiðendum ekki tekist að framleiða PE rör sem þola meira en u. þ.b. 45°C í 50 ár þar til þetta ákveðna hráefni kom til, það virðist skv. erlendum prófunum þola 70°C í 50 ár. Skv. nýlegum þýskum staðli er PE efni sem uppfyllir þá kröfu kallað PE-RT. Tilraunir með hærra hitaþol hafa lengst af strandað á mjög hraðri útskolun andoxunarefnanna. Það er því fróðlegt að sjá hvort þessi rör þoli gegnumstreymi heits vatns.

Tafla 4.3 Merkingar á rörum

1	EVAL Wirsbo-evalPEX 25x2,3 95°C PB6 PE-Xa DIN16892/93 Sauerstoffdicht GEM.DIN4726 KOMO CV ATG 98/2265 SBF609946 EVAL
2	EVAL Q&E Wirsbo-evalPEX Q&E 28x4,0 95°C PE-Xa DIN16892 Sauerstoffdicht GEM.DIN4726 SUF439947 EVAL Q&E
3	REHAU Universalrohr RAUTITAN flex PE-Xa 25x3,5 (DN20) 130390 DIN 16892 TRINKWASSER/SANITÄR: 70°C/10 bar HEIZUNG: DIN 4726/EN 12318 CL 5 (90°C)/8 bar SAUERSTOFFDICHT DIN 3U108 PE-XA M 31 C 30.04.99
4	STAR PIPE PB 25x 2,3 DIFFUSIONSTAET DIN16968/69 22.03.00 S 1388
5	GANLØSE RØR DOWLEX 2344E 70°C PE 22x3,0 ILTVÆRN DIN 4726 140598
6	LR-Pex ø28*4,0MM PE-Xb DIN 16892/93 MAX 95°C EVOH DIN 4726 10 BAR EVOH EVOH 40600 1

5 Langtíma hita- þrýstingsprófanir

5.1 Prófunin

Prófanir á sýnum fara fram í þremur mismunandi lagnakerfum við 2,5 bara þrýsting og við þrjú mismunandi hitastig, 100°C, 110°C og 120°C. Lagnakerfin eru:

- Hefðbundið reykvískt hitaveituvatn í Bolholtsstöð, með H₂S, í gegnumstreymiskerfi.
- Upphitað og afloftað ferskvatn, í gegnumstreymiskerfi.
- Hringrás (upphitað ferskvatn).

Í upphafi var ákveðið að hafa þrýstinginn þann sama í öllum rásum og ekki yfir 3 börum, til þess að fá kemískt öldrunarbrot í 25x2,3 PEX-rör við 120°C (aftan við B hnéd). Í PEX-rörum skiptir það ekki höfuðmáli fyrir niðurstöðurnar hvort þrýstingur sé þá nokkru meiri eða minni, endingin er sú sama. Þessi lági þrýstingur veldur því hins vegar að PB, PP og PE endist mjög lengi og samanburðurinn við PEX hagstæðari en við eðlilegar aðstæður. Taka þarf mið af þessu við túlkun á niðurstöðum.

Tafla 5.1

Sýni nr	Heiti	Efni	Mál	Veggspenna í prófun við 2,5 bör	Lágm. kröfur staðla fyrir þrýstiprófun við 110°C í 1 ár	Veggspenna þrýstingur
1	Evalpex	PE-Xa	25 x 2,3	1,23 MPa	2,5 MPa	5,1 bar
2	Evalpex Q&E	PE-Xa	28 x 4,0	0,75 MPa	2,5 MPa	8,3 bör
3	Rautitan flex	PE-Xa	25 x 3,5	0,77 MPa	2,5 MPa	8,8 bar
4	Star Pipe PB	PB	25 x 2,3	1,23 MPa	2,4 MPa	4,9 bör
5	Ganløse rør	PE-RT	22 x 3,0	0,79 MPa	1,9 MPa	3,8 bör
6	LR-Pex	PE-Xb	28 x 4,0	0,75 MPa	2,5 MPa	8,3 bör

Við upphaf prófana var mesta vinnan að uppfylla kröfur um að

- frávik í hitastigi (120°C, 110°C og 100°C) skuli vera innan við 1,0°C
- þrýstingur skuli vera sá sami í öllum kerfunum, að endingu skilgreindur 2,5 bör, eða á bilinu 2,45-2,55 bör.

Í hringrásarkerfunum fellur þrýstingur stundum nokkuð niður fyrir þessi mörk og stafar það af títum röranna, útgufun vatns gegnum plastið og óþéttum tengjum við svo hátt hitastig. Þrýstingur er leiðréttur við reglulegt eftirlit sem er að jafnaði þrisvar sinnum í viku.

Kvörðunartövorð liggja fyrir bæði fyrir einn þrýstingsmæli og einn "thermocouple" hitastigsmæli sem notaðir eru öðru hvoru til leiðréttingar á rásum. Hitastig er mælt í vösum sem liggja inn í rásirnar. Ein mæling sem gerð var með mjög nákvæmum "thermocouple" hitastigsmæli inni í vatninu gaf til kynna að reglulegar mælingar gæfu 0,25°C of lágt gildi og hefur verið tekið tillit til þess.

Árið 2000 fór í að fá stýringarnar að virka þannig að hitastig og þrýstingur væri innan þeirra þröngu vikmarka sem gera þarf í svona prófunum.

Í febrúar '01 var byrjað að keyra upp rásirnar. PE gaf sig í öllum þremur 120°C rásunum um þann mund sem fullu hitastigi var náð. PE-RT gaf sig í 120°C hitaveituvatni eftir sólarhring. Þessi sýni voru tekin úr prófun við 120°C, en nýtt PE-RT var síðan aftur sett inn í ágúst '01.

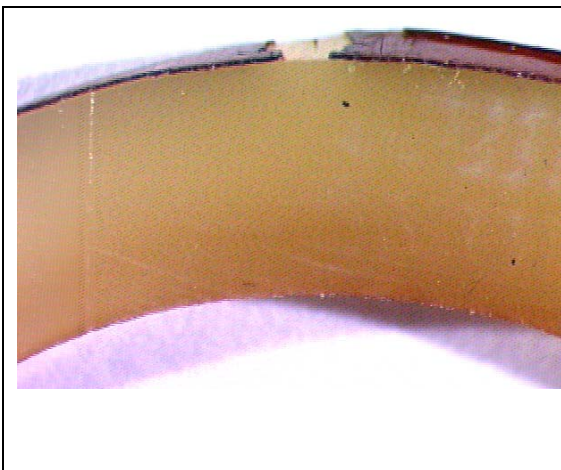
Rásirnar hafa verið í gangi síðan með fáum stuttum hléum.

5.2 Öldrun í sýnum

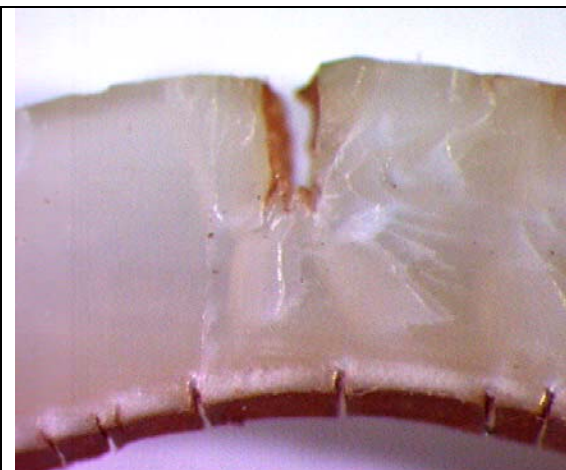
PE rörin þoldu illa 2,5 bara þrýsting við 120°C og gáfu sig áður en hægt var að merkja öldrun í efninu.

Eftir tæpt ár mátti greina fyrsta öldrunarbrotið, í PE-RT rörinu í hringrás. Eftir endilöngu rörinu mátti greina 1-2 sprungur í súrefniskápunni, 0,2-0,6 mm breiðar (sjá mynd 5.1). Kápan virtist orðin mun stökkari en PE efnið. Ekki var hægt að greina neinar skemmdir á PE efninu á þeim stöðum eða viðloðunarbrest við kápuna.

Rétt við þann stað sem PE-RT rörið sprakk hafði súrefniskápan molnað af og PE efnið var orðið mun stökkara en annarsstaðar (sjá mynd 5.2).



Mynd 5.1



Mynd 5.2

Sprungunet er í innra yfirborði rörsins en það er sprunga á ytra yfirborðinu sem fer í gegn og sprengir rörið að lokum. Þessi stökki fasi myndaðist þar sem PE festibönd lágu að rörinu við upphaf prófunar, að öllum líkindum hafa böndin dregið í sig eitthvað andoxunarefni við upphaf prófunar og leitt til að rörið gefur sig fyrst þarna. Það er þekkt að það geti haft áhrif á endingu plaströra hvaða efni liggja að yfirborðinu. Þessar niðurstöður eru í samræmi við það.

Eftir fimmtán mánuði fór fyrsta PEX-rörið, við 120°C í hringrás, Wirsbo evalpex. Um helmingurinn af súrefniskápunni var flagnaður af. Lítil stökk sprunga hafði náð að vaxa út í yfirborðið og smáleki er sýnilegur út um nálaraugu á ytra yfirborði (sjá myndir 5.3 og 5.4).



Myndir 5.3 og 5.4

Eftir sextán mánuði (júni '02) fór að leka með tengi á Q&E í HI3. Þvermál rörs hafði aukist í 29,3mm, en ekki er hægt að losa upp á tenginu ef þvermálið fer yfir 28,6mm. Frekari hersla hefur ekkert að segja. Í ljós kemur þversprunga í röri þar sem það gengur inn í kopar þéttihring. Undir hringnum er þvermál rörs 3mm minna en rétt fyrir utan hann, þarna er því um 1,5mm brún og í þeirri kverk sprakk rörið. Þegar verið var að vinna við rörið fór einnig að leka í þrýstitingi á Rehau röri. Ekki var greinilegt hvernig sá leki kom. Bæði sýnin voru tekin úr prófun.

5.3 Öldrun í súrefniskápum

Við 120°C öldrunarprófun á rörum kom fram að súrefniskápan er mun stökkari en rörið þegar líða tekur á öldrunina og hún tekur að springa á rörinu. Í flestum tilfellum er um mjög grannar sprungur að ræða sem ekki valda verulegu súrefnis gegndræpi, en hjá sumum rörum flagnar filman einnig af og þá snar eykst gegndræpið. Þessi flögnun sést skýrt á mynd 5.3. Miðað við hefðbundinn framreikning virðist þetta ekki vera vandamál við hefðbundna notkun röranna, 70°C í 50 ár, en sami framreikningur bendir til að við langvarandi 80°C geti ending kápunnar orðið takmarkandi þáttur.

Það er flókið að leggja mat á hvort öldrun súrefniskápu geti orðið vandamál í sveigjanlegum heimæðum hjá OR. Í fyrsta lagi þarf að koma í ljós hver endingartíminn sé við 110°C, í öðru lagi er óljóst hvort hærri þrýstingur og þar af leiðandi meiri tútnun í rörinu leiði ekki til meiri sprunga í kápunni og í þriðja lagi er óljóst hvort þrýstingur frá einangruninni í foreinangruðu röri vegi ekki að einhverju leiti upp hærri vatnsþrýsting og hindri tútnun rörsins.

6 Útskolunarprófanir

Af hverri röregund voru stönsuð út 64 mittissýni til útskolunarprófunar, með tveimur aðferðum;

- A. sýni voru í útskolunardunkunum í 100°C HI og AL rásum í 500,1000 og 2000 klst. Útskolunin fer því fram í gegnumstreymi og ætti því að vera harðari en aðferð B.
- B. sýni voru útskoluð skv. franska PEX staðlinum (sjá viðauka B) í 500,1000 og 2000 klst (sjá myndir 6.1 og 6.2).

Eftir útskolun eru sýnin bökuð við 160°C í 200 klst. og eftir það mæld toglanging eins og lýst er í franska staðlinum. Sú takmörkun er á þessari prófun, að ekki er hægt að baka PE og PB á sama hátt og PEX, því þau bráðna við innan við 160°C.

Skv. þeirri hugmyndafræði franska staðalsins að toglanging minnki lítið og verði nær engin í lok kemisks líftíma röra var ákveðið að taka sýni af röri sem sprakk stökku broti og bera toglangingu þess saman við framangreindar prófanir.

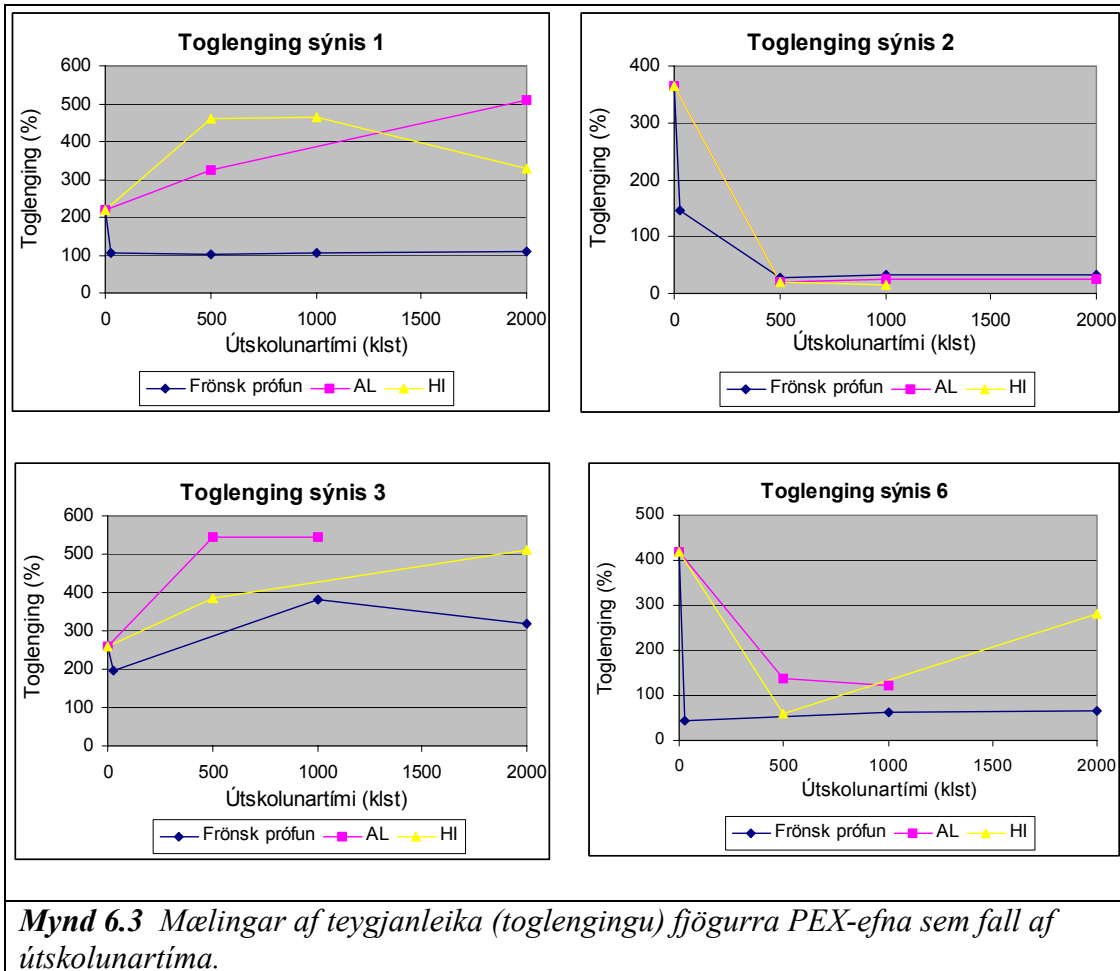


Mynd 6.1 Sýni skoluð út (soðin) á rannsóknarstofu

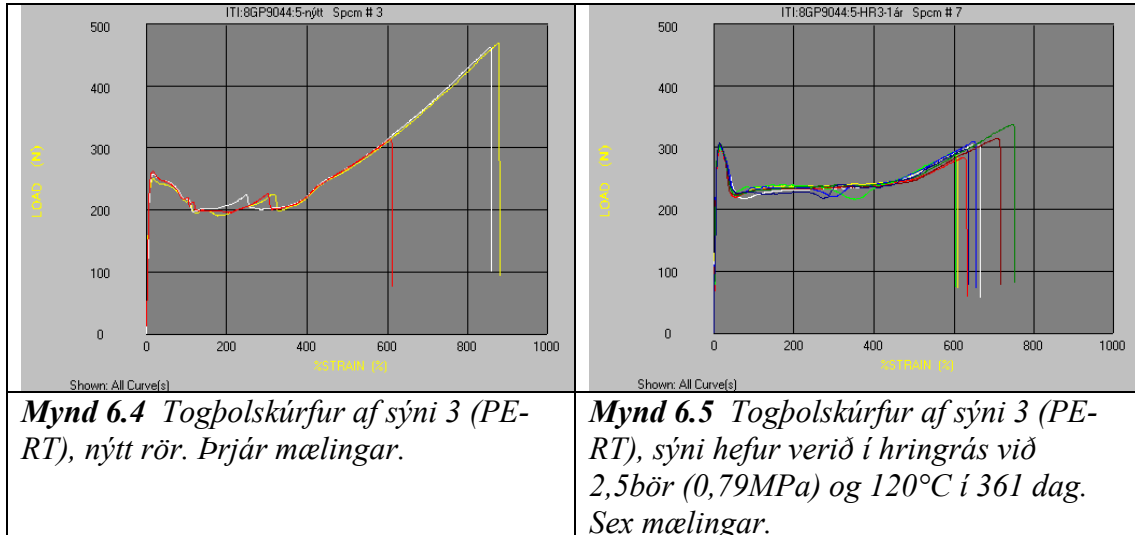


Mynd 6.2 Toglanging mæld

Niðurstöður mælinga skv. franska staðlinum passa illa við þá hugmyndafræði sem staðallinn virðist ganga út frá að togeiginleikarnir breytist lítið fyrir en andoxunarefnið sé búið, þá fari toglangingin að minnka hratt, efnið að verða stökkara og springi stökku broti að lokum. Það gæti þá líka verið ástæða þess að þessi prófunaraðferð hafi ekki fengið meiri útbreiðslu. Niðurstöðurnar koma fram á mynd 6.3 og eru “út og suður”.



PE-RT rör sem gaf sig eftir tæpt ár við 120°C var skoðað með tilliti til þess hvaða breyting hefði verið á toglangingu efnisins.



Eins og sést á myndinni hér að ofan þá er toglanging PE rörsins, sem sprakk stökku broti eftir tæpt ár við 120°C, enn yfir 600%. Breytileiki er mikil í svona mælingum og telst lengingin á gamla rörinu því svipuð og hjá nýju röri. Svo virðist sem að eiginleikarnir breytist lítt þar til kemiskur líftími er búinn, þá fara að myndast stökkir blettir í efninu þar sem efnið að lokum springur við álag. Þessi einkenni virðast mjög algeng í plaströrum, en greinilega er franska útskolunarprófunin ekki hentug aðferð til að meta hraða þessa framgangs.

7 Staða verkefnis

Prófanir hafa verið í gangi í 22 mánuði. Niðurstöður rannsóknarverkefnis á sviði álplaströra sem skaraðist aðeins við þetta verkefni styðja þær áfanganiðurstöður sem liggja fyrir.

Staðan nú gefur tilefni til að draga eftirfarandi ályktanir:

- Engin merki eru um að aðrar séríslenskar aðstæður en mikið hitaálag hafi áhrif á endingu þeirra plaströra og álplaströra sem helst eru notuð fyrir heitt vatn. Engin merki eru um að súlfíð eða gegnumstreymi hafi áhrif á endinguna.
- Sýnin hafa hita/þrýstipól umfram lágmarkskröfu staðla, líka í gegnumstreymi og jarðhitavatni.
- Búast má við yfir 30 ára líftíma góðra PEX-röra í heimæðum OR.
- Súrefniskápurar endast líklega nokkru skemur en rörin, en ætti þó að standast 70°C í 50 ár.
- Franskur staðall fyrir útskolunarprófanir er ónothæfur.
- Mjög skortir á þekkingu á eyðingu súrefnis í jarðhitavatni og við hvaða aðstæður súlfíð í vatninu tryggi að ekki þurfi að hafa áhyggjur af súrefni sem plaströrin hleypa í gegnum sig.

Prófun við 120°C fer að ljúka þar sem flest rörin eru sprungin í hringrásarkerfinu og við gegnumstreymi jarðhitavats. Það bendir til að rörin endist svipað við aðstæður sem erlendir prófunaraðilar miða við og við aðstæður sem algengastar eru í Reykjavík. Rörin virðast aldurst hægar í gegnumstreymi afloftaðs vatns, en ekki er ljóst hvers vegna.

Það líða líklega tvö til þrjú ár áður en niðurstöður fara að skýrast úr 110°C prófununum, sem eru þær prófanir sem eru alþjóðlega viðurkenndar.

8 Heimildir

1. Neuartige Verlegetechniken flexibler Fernwärmeleitungssysteme mit Kunststoff-Mediumrohren, Fernwärme-Verbund Saar GmbH, Völklingen 1997
2. Plastic Pipe Systems for DH, Handbook for Safe and Economic Application, IEA District Heating and Cooling, Netherlands Agency for Energy and Environment, Netherland, March 1999
3. Wirsbo Kulvert, Ecoflex, Handbok, sep 1995
4. Rauthermex, Product range for district heating, Technical information 817.600 Ex/e, Rehau 8.99
5. ISO 10146 - PEX rör - Áhrif tíma og hitastigs á áætlaðan styrk
6. ISO 10508 Plaströr og tengistykki heit og köld vatnslagnakerfi.
7. PEX-rör, Tekniska rekommendationer för PEX-rör med kopplingar i fjärrvärmesystem, Svenska Fjärrvärmeföreningen, 1996
8. Páll Árnason, Ásbjörn Einarsson og Hrefna Kristmannsdóttir: Áhrif jarðhitavatns á álplaströr, júlí 2002.
9. Ásbjörn Einarsson og Páll Árnason: Hitapólin plaströr í innanhússlagnir fyrir hitaveituvatn, OR, 1999.
10. Páll Árnason og Ragnheiður Inga Þórarinsdóttir: Ending plastlagnaefna og gúmmíþakninga í íslenskum heitavatslögnum (1998).

Viðauki A Meðalhitastig hvers sýnis og ending

Prófun við 100°C

AL 1, 100°C			HI 1, 100°C			HR 1, 100°C		
Sýni	Hita- stig (°C)	End- ing (klst)	Sýni	Hita- stig (°C)	End- ing (klst)	Sýni	Hita- stig (°C)	End- ing (klst)
Henco	100,1	-	LR-Pex	100,2			100,1	
Unipipe	100,0	-	Ganløse rör	100,0			100,0	
Star Pipe PB	99,9		Evalpex	99,9			99,9	
Rautitan flex	99,8		Evalpex Q&E	99,7			99,8	
Evalpex	99,6		Rautitan flex	99,6			99,7	
LR-Pex	99,5		Star Pipe PB	99,4			99,6	
Evalpex Q&E	99,4		Unipipe	99,3	-			
Ganløse rör	99,2		Henco	99,2	-			

Prófun við 110°C

AL 2, 110°C			HI 2, 110°C			HR 2, 110°C		
Sýni	Hita- stig (°C)	End- ing (klst)	Sýni	Hita- stig (°C)	End- ing (klst)	Sýni	Hita- stig (°C)	End- ing (klst)
Henco	110,2	-	Ganløse rör	110,1			110,2	
Unipipe	110,1	-	Evalpex Q&E	110,0			110,0	
Star Pipe PB	110,9		LR-Pex	109,8			109,9	
Rautitan flex	109,8		Evalpex	109,7			109,8	
LR-Pex	109,7		Rautitan flex	109,5			109,6	
Evalpex Q&E	109,6		Star Pipe PB	109,4			109,5	
Evalpex	109,5		Unipipe	109,2	-			
Ganløse rör	109,4		Henco	109,1	-			

Prófun við 120°C

AL 3, 120°C			HI 3, 120°C			HR 3, 120°C		
Sýni	Hita- stig (°C)	End- ing (klst)	Sýni	Hita- stig (°C)	End- ing (klst)	Sýni	Hita- stig (°C)	End- ing (klst)
Henco	120,1	-	LR-Pex	120,1		Evalpex	120,1	10911
Unipipe	119,9	-	Rautitan flex	119,9	11800	Evalpex Q&E	119,9	13453
Rautitan flex	119,7		Evalpex Q&E	119,7	11800	Rautitan flex	119,7	
LR-Pex	119,5		Unipipe	119,5	-	Ganløse rör	119,5	8661
Evalpex Q&E	119,3		Evalpex	119,2		LR-Pex	119,3	
Evalpex	119,1		Henco	119,0	-	Star Pipe PB	-	0
Ganløse rör	118,9		(Ganløse rör)	118,8	0			
Star Pipe PB	-	0	Star Pipe PB	-				

Röðin er óþekkt í tveimur hringrásunum, verður könnuð þegar eitthvað springur. PB gaf sig strax við gangsentnigu í 120°C AL og HI. Ganløse gaf sig við gangsetningu í 120°C HI, en var sett inn aftur sex mánuðum síðar og hefur staðist í rúmt ár.

Viðauki B Ending súrefniskápu

Lagt var mat á hvað sýrefniskápan þekti enn stóran hluta yfirborðs plaströrsins. Kápan ennþá 100% heil á 100°C og 110°C röllum eftir 19 mánuði. Í töflunni er skilið eftir pláss fyrir eina skoðun í viðbót.

Prófun við 120°C

	AL 3		HI 3		HR 3	
	prósent	mánuðir	prósent	mánuðir	prósent	mánuðir
Evalpex	98	19	50	19	50	15
Evalpex Q&E	70	16	50	19	30	17
LR-Pex	98	19	98	19	100	19
Ganløse rör	98	19	98	19	100	12
Rautitan flex	98	16	99,5	19	100	19

Viðauki C Prófun á útskolun andoxunarefna

Franski staðallinn NF T 54-085

Staðallinn er frá 1988 og fjallar um útskolun andoxunarefna úr PEX vatnsrörum. Skilgreindir eru þrír notkunarflokkar;

- 0 : Stöðugur 90°C hiti með toppum allt að 110°C og 4 bara þrýstingur.
- 2 : Geislahiti/gólfhiti upp í 50°C með toppum allt að 65°C og 6 bara þrýstingur.
- ECFS : Kranalagnir upp í 80°C með toppum allt að 100°C og 6 bara þrýstingur. Bent er á reglur frá 1978 sem takmarka hitastig kranavatns við 60°C.

Í staðlinum eru settar fram kröfur til útskolunareiginleika PEX röra og lýsing á prófunaraðferð.

Forsendur og kröfur.

PEX-rör eru ætluð til þess að flytja heitt vatn undir þrýstingi. Við langvarandi notkun getur komið í ljós, að eðlis-efnafræðilegir eiginleikar þeirra hrörni vegna útskolunar andoxunarefna í vatnið. Því er nauðsynlegt að ganga úr skugga um gæði röranna með því að prófa þau með eftirfarandi aðferð:

Lágmarks útskolunarþol, sem krafa er gerð um, fæst með því að togþolsmæla sýni sem hafa þolað 2000 klst. útskolun í sjóðandi vatni og síðan verið geymd í hitaskáp við 160°C í 200 klst. Toglengingin eftir meðferðina skal vera a.m.k. jöfn og 0,5 sinnum lenging viðmiðunarsýna, sem hvorki hafa orðið fyrir útskolun né öldrun í hitaskáp.

Prófunarlýsing

Mikilvægt er að framfylgja leiðbeiningunum hér á eftir til að fá alltaf sambærilegar niðurstöður.

Sett eru 32 togþolssýni í ílát með 2 lítrum af eimuðu vatni. Nota á sýni ISO 1/2 samsvarandi þeim, sem tiltekin eru í staðlinum ISO 527, fyrir rör, sem eru 25 mm í þvermál eða minna. Nota á sýni af gerð 2 samsvarandi þeim, sem tiltekin eru í staðli ISO/DIS 6259, fyrir rör með meira þvermáli. Sýnin eiga að vera boruð í annan endann, þó þannig að það hafi ekki áhrif á togprófun, til þess að leyfa frekari þenslu í hitaskápnunum. Setja á lok úr efni, sem ekki hefur áhrif á plastefnið, á ílátið til að halda sýnunum á kafi.

Sýnin eru soðin með bakrennsli (reflux). Skipt er um vatn á 500 klst. fresti.

Tekin eru 8 sýni til mælinga hverju sinni eftir 24 - 500 - 1000 - 2000 klst. suðu til mælinga á hitastöðugleika. Aðferðin felst í öldrun í hitaskáp með loftræstingu. Fyrst er þó mæld toglenging á 5 sýnum (samanburðarsýnum), sem hvorki hafa verið sett í útskolun né hitaskáp. Beita á aðferð, sem tiltekin er í staðli ISO/DIS 6259. Fundið er meðaltal A %.

Sýni, sem hafa verið skoluð í tímann T, skal setja í loftræstan hitaskáp við 160°C ± 2°C. Þau eru hengd upp á öðrum endanum með búnaði, sem ekki er úr málm. Gæta þarf þess, að þau snertist ekki og að sama hitameðferð sé á þeim öllum meðan á prófun stendur.

Eftir 200 klst. í hitaskáp, eru sýnin tekin út og þau látin kólna í a.m.k. 8 klst. við stofuhita. Síðan er fundin meðal toglinging þeirra ($A_T\%$).

Breyting á toglingingunni við útskolunartímann T er reiknuð í prósentum:

$$\Delta A_T\% = 100(A_0 - A_T) / A_0$$

Sama aðferð er notuð við að ákvarða breytinguna eftir 24 - 500 - 1000 - 2000 klst útskolun. Síðan má teikna línurit, sem sýnir A_T sem fall af T og skoða lögun kúrfunnar og halla.

Hægt er að fylgjast með hitastöðuleika með annarri aðferð sem byggist á DTA -DSC (Differential Thermal Analysis-Differential Scanning Calorimeter). Ef það er gert verður að staðfesta fyrirfram samsvörun niðurstaða beggja prófunaraðferða fyrir efnin, sem skoðuð eru. Þessa aðferð má nota til eftirlits með gæðum í framleiðsluferlinu, vegna þess hve fljótleg hún er. Aðferðin, sem felst í öldrun í hitaskáp er hins vegar sú, sem miðað er við.

Spænski staðallinn UNE 53-381.

Staðallinn er fyrir PEX vatnsrör og er frá 1989. Hann leyfir vatnshitastig allt að 95°C. Þar er krafa um útskolunarprófun og skolað út í sjóðandi vatni en aðeins í 1000 klst. Síðan er sýnið haft í hitaskáp við 160°C í einungis 100 klst. Toglinging má eins og í franska staðlinum ekki minnka um meira en 50%. Það virðist því sem franska krafan sé harðari.

Framreikningur á útskolunarprófunum.

Samkvæmt ofangreindum stöðlunum er útskolunin einungis framkvæmd í 1000 eða 2000 tíma en við hærra hitastig en notkunarhitastig. Þótt óneitanlega megi túlka franska staðallinn þannig, að minna en 50% minnkun toglingingar eftir 2000 klst. suðu tryggji, að útskolun sé nógu lítil við stöðuga 90°C notkun í 50 ár, þá er það ekki trúverðugt. Það er því nauðsynlegt að meta, hver samsvörun prófunarinnar er við íslenskar notkunaraðstæður í 50 ár (438.000 klst).

Við heimildaleit, sem gerð var á Iðntæknistofnun 1997, fundust ekki aðrar rannsóknir á sambandi útskolunar, hitastigs og tíma en rannsóknir, sem gerðar voru af G. Pfahler, K. Lotzsch og P.J. Holifield, starfsmönnum andoxunarefnaframleiðandans Hoechst. Voru þær m.a. birtar á ráðstefnunni "High Performance Additives Conference" í London 1988. Útskolunarmælingar, sem þeir höfðu gert, sýndu 30 földun útskolunarhraða við 30°C hitastigshækkun (50-80°C) fyrir PP en einungis 10 földun fyrir HDPE. Magn útskolaðra efna sem fall af tíma var í þokkalegu samræmi við útleiðslu þeirra frá þekktum flæðilögmálum, þ.e. að magnið væri í réttu hlutfalli við kvaðratrót af tímanum. Ætla má, að útskolunarhraði PB og PEX röra breytist 10-30 falt fyrir hverjar 30°C í hitastigsbreytingu, en út frá þeim gögnum sem fyrir liggja og almennt þekkingu á áhrifum hitastigs á breytingar í plastefnum er engin leið að áætla það nákvæmar.

Við framreikning þarf að taka tillit til þess að útskolunin er framkvæmd af báðum hliðum sýnisins við prófun, en aðeins af annarri hlið í raun. Að líkindum er réttara að áætla, að það tvöfaldi magn útskolaðra efna frekar en að reikna með tvöföldum tíma. Erfitt er að meta aðra þætti eins og þann, að 500 klst. eru milli þess, að skipt er um vatn í prófuninni. Dæmi um framreikning geta þá verið eftirfarandi:

Tekið er mið af franska staðlinum. Kvaðratrót af $438.000\text{klst}/2000\text{klst} = 14,8$, þ.e. á 50 árum skolast um 15 sinnum meira út en á 2000 klst. af annarri hliðinni og 7,5 sinnum meira en af báðum hliðum sýnisins. Miðað við að flæðið 10-30 faldist við 30°C hitastigshækkun samsvarar það um $17-25^{\circ}\text{C}$ í hitastigsmun. Samkvæmt því samsvarar franska prófunin útskolun í 50 ár við $75 -83^{\circ}\text{C}$.

Tekið er mið af spænska staðlinum. Kvaðratrót af $438.000\text{klst}/1000\text{klst} = 20,9$, þ.e. á 50 árum skolaðist um 20 sinnum meira út en á 2000 klst. af annarri hliðinni og 10 sinnum meira en af báðum hliðum sýnisins. Miðað við að flæðið 10-30 faldist við 30°C hitastigshækkun samsvarar það um $20-30^{\circ}\text{C}$ í hitastigsmun. Samkvæmt því samsvarar spænska prófunin útskolun í 50 ár við $70 -80^{\circ}\text{C}$.