

ITÍ0207/HTD07

Áhrif jarðhitavatns á álplast rör

Júlí 2002

**Páll Árnason
Ásbjörn Einarsson
Hrefna Kristmannsdóttir**

Efnisyfirlit

<u>SAMANTEKT</u>	2
<u>1 INNGANGUR</u>	3
<u>2 ÁLPLAST RÖR</u>	4
<u>3 EYÐING SÚREFNIS Í HITAKERFUM Í SÚLFÍDRÍKU VATNI</u>	6
<u>3.1 SÚREFNISUPPTAKA Í PLASTRÖRUM</u>	6
<u>3.2 EYÐING SÚREFNIS MEÐ HVÖRFUN VIÐ SÚLFÍÐ Í JARÐHITAVATNI</u>	7
<u>3.3 NIÐURSTÖÐUR UM EYÐINGU SÚREFNIS</u>	9
<u>4 PRÓFANIR Á ÁHRIFUM SÚLFÍDRÍKS VATNS Á ÁLPLAST RÖR</u>	10
<u>4.1 SÝNI</u>	10
<u>4.2 PRÓFANIR</u>	10
<u>4.2.1 Öldrunarprófun</u>	11
<u>4.2.2 Hitasveifluprófun</u>	12
<u>4.2.3 Viðloðunarprófun</u>	15
<u>4.3 NIÐURSTÖÐUR PRÓFANA</u>	17
<u>5 NIÐURSTÖÐUR</u>	18
<u>6 HEIMILDIR</u>	19
<u>VIÐAUKI: SKEMMDIR Á RÖRUM</u>	21

Samantekt

Á lagnasviðinu eins og svo mörgum öðrum sviðum erum við Íslendingar á evrópsku menningarsvæði. Við notum sömu efni, höfum sama verklag og hefðir og notum sömu staðla og aðrir Evrópubúar. Aðstæður eru hins vegar í nokkrum veigamiklum atriðum aðrar en annars staðar í Evrópu. Við höfum m.a. þá sérstöðu að nota súlfíðríkt vatn í húsalögnum. Það er þekkt að jarðhitavatn sé eitthvað notað í heiminum en engin gögn hafa fengist um kröfur til lagnaefna fyrir þannig vatn og í kröfum á okkar menningarsvæði er ekki gert ráð fyrir súlfíðríku vatni nema í efnaiðnaði og engar kröfur skilgreindar fyrir slíkar lagnir.

Markmið þessa verkefnis 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 í álplaströrum sem prófuð voru. Ekki sást munur á mekanískum eiginleikum innra plastlagsins eftir heilt ár við $120^{\circ}C$ í rörum sem innihéldu súlfíðríkt jarðhitavatn og í rörum sem innihéldu upphitað ferskvatn. Samhliða þessum prófunum voru gerðar öldrunarprófanir á nokkrum PEX rörum og öðrum plaströrum og var niðurstaðan þar sú sama.

Álplast rör eru fimm laga með límlögnum 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 $70^{\circ}C$) og lagnaleiðir langar.

Verkefnið var styrkt af Rannís og Orkuveitu Reykjavíkur og lauk með þessari skýrslu.

1 Inngangur

Á lagnasviðinu eins og svo mörgum öðrum sviðum erum við Íslendingar á evrópsku menningarsvæði. Við notum sömu efni, höfum sama verklag og hefðir og notum sömu staðla og aðrir Evrópubúar. Aðstæður eru hins vegar í nokkrum veigamiklum atriðum aðrar en annars staðar í Evrópu. Við höfum m.a. þá sérstöðu að nota súlfíðríkt vatn í húsalögnum. Það er þekkt að jarðhitavatn sé eitthvað notað í heiminum en engin gögn hafa fengist um kröfur til lagnaefna fyrir þannig vatn og í kröfum á okkar menningarsvæði er ekki gert ráð fyrir súlfíðríku vatni nema í efnaiðnaði og engar kröfur skilgreindar fyrir slíkar lagnir.

Í þessu verkefni verður leitast við að svara því hver áhrif súlfíðs (H_2S) í heitu vatni eru á notkun lagnaefna úr plasti og álplasti. Skv. fyrirbyggjandi gögnum um efnabólni iðnaðarlagna ætti súlfíð engin áhrif að hafa á endingu PE, PP og PB húsalagna en engar upplýsingar eru til um súlfíðþol PEX og límefna í álplast rörum[1,2]. Áhrif súlfíðs á PEX rör geta verið mismunandi eftir gerð krossbindings röranna. PEX lagnaefni frá mismunandi framleiðendum geta því haft mjög mismunandi súlfíðþol. Annar þáttur sem hefur áhrif á þetta, er hátt og stöðugt hitastig í íslenskum lagnakerfum, sem getur aukið skaðleg áhrif súlfíðsins. Enginn áhugi virðist vera á rannsóknum á þessu sviði hjá erlendum framleiðendum lagnaefna, þar sem íslenski lagnaefnamarkaðurinn er lítill og súlfíð er ekki algengur þáttur í vatni erlendis.

Þeir meginþættir sem reynt verður að svara í verkefninu eru eftirfarandi:

- Hefur súlfíð í jarðhitavatni áhrif á líftíma PEX og álplast röra. Hafa mismunandi krossbindingar í PEX efnum áhrif á súlfíðþol efnanna. Hvaða flokkar PEX-efna eru hæfir til notkunar í hefðbundnum íslenskum hitaveitukerfum.
- Hefur súlfíðríkt hitaveituvatn áhrif á viðloðun plasts og áls í álplast rörum?
- Hver eru áhrifin á álið, ef raki og brennisteinsvetni safnast fyrir við álið.
- Er hugsanlega hægt að draga úr kröfum um virkni súrefniskápu í einhverjum heitavatnslögnum vegna súlfíð innihalds vatnsins.

Álplast rör eru flest með PEX plastefni í innsta lagi, svo þekking á áhrifum súlfíðs á PEX lagnaefni, nýtist líka fyrir álplast. Þessar rannsóknir verða ekki gerðar nema hér á landi. Ef prófanir á plastefnum við innlendar aðstæður sýna aðra niðurstöðu en erlendar verður að álykta að sérhverja tegund lagnaefna úr plasti verði að prófa sérstaklega á Íslandi áður en almenn notkun á vörunni á sér stað.

Áhrif súlfíðs til eyðingar súrefnis, sem kemst í hitaveituvatn í miðlunargeymum er vel þekkt. Hins vegar er lítið sem ekkert vitað um hraða þeirra efnahvarfa, sem þar verða. Hraðinn skiptir meginmáli, ef súrefni kemst inn í vatnið skömmu áður en það kemur inná stálofna kerfisins, s.s gegnum plaströr. Talsverð þekking er til um hvörfun brennisteinssambanda í vatni og upptöku rokgjarna efna gegnum plaströr [3-6]. Það var ákveðið að taka þá þekkingu saman í þessu verkefni.

Verkefnið hefur verið styrkt af Rannís og Orkuveitu Reykjavíkur og lýkur með þessari skýrslu.

2 Álplast rör

Öll plastefni hleypa í gegnum sig lofttegundum og lífrænum efnum. Plastefnin eru þó misþétt fyrir hinum ýmsu efnum. Fyrir plaströr getur skipt máli hvort súrefni kemst inn og hvort raki og frostlögur kemst út. Ef óholl eða bragðvond lífræn efnasambönd liggja að vatnsröri þá geta þau komist inn. Framangreint gegndræpi er mjög lítið en vex mjög hratt með hækkun hitastigs.

Súrefnisgegndræpi er þekkt vandamál varðandi heitavatnsrör, því súrefni sem fer í gegnum rörin tærir ofna og dæmi eru um það hér á landi að þeir hafi eyðilagst á fáeinum árum af þessum völdum. Mælanlegur munur er þar á milli einstakra hefðbundinna plastefna fyrir rör (MDPE, PP, PB og PEX), en sá munur er of lítill til þess að hann hafi áhrif á efnisval. Hitastig hefur mun meira að segja. Nú eru á markaðinum rör með örþunnu lagi af öðru plasti, etýlenvínýlalkohóli (EVOH stundum kallað EVAL) sem er miklu súrefnisþéttara en röraefni, þ.e. um þúsundfalt við stofuhitastig og um hundraðfalt við hitaveituhitastig. Það fer svo eftir aðstæðum hvort súrefnisgegndræpi sé innan ásættanlegra marka með EVOH-húðuðum rörum.

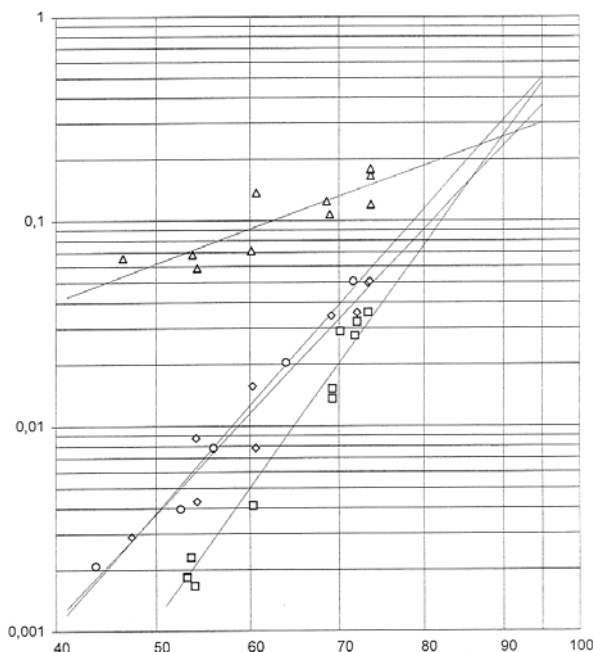
Á níunda áratug síðustu aldar var farið að framleiða heitavatnsrör úr plasti með álfilmu utan á. Álfilman er algerlega súrefnisþétt og því var þetta talinn góður kostur. Vandamálið við þessi rör var hins vegar það að hitaþensla plastsins er sexfalt meiri en áls og álfilman átti erfitt með að fylgja hreyfingum rörsins. Við mælingar sem gerðar voru í Þýskalandi á árunum '92-'94 á súrefnisupptöku svona röra í samanburði við að rör með EVOH húð kom í ljós að súrefnisupptaka rөрanna með álfilmu var meiri [7-8]. Upp frá þessu hurfu rörin með álfilmunni af markaðinum.

Mynd 2.1 sýnir þýskar mælingar frá árunum '92-'94 á súrefnisgegndræpi 32mm röra með þunnri súrefniskápu.

Á lóðréttum ás eru milligrömm súrefnis á metra rörs á dag.

Á lárétta ásnum er hitastig í °C.

△ = Rör með ál-kápu
○, □ og ◇ = Rör með EVOH-kápu



Á síðustu árum hafa komið sterkt inn á markaðinn ný rör úr áli og plasti þar sem álið er miklu þykkara, u.þ.b. 0,5mm þykkt og er ráðandi í mekanískum eiginleikum rörsins. Þannig er t.d. hitaþensla röranna nánast sú sama og áls eða um 0,025 mm/m á hverja gráðu.

Þessi nýju rör hafa hér á landi aðallega verið kölluð ál-pex rör, eða pex-ál-pex rör, enda var PEX-efni límt bæði innan á og utan á ál-rörið í upphafi. Síðan hafa komið á markaðinn rör með PE að utan og PEX að innan og rör með PE báðu megin. Þá passar ál-pex nafnið ekki lengur. Sigurður Grétar Guðmundsson, pípulagningameistari og greinahöfundur í Morgunblaðinu, hefur lagt til að rörin verði einu nafni kölluð álplast rör. Það á vel við og er það gert í þessari skýrslu.

Bandarískir staðlar eru til fyrir þessu rör en engir evrópskir eða ISO staðlar. Hins vegar hafa verið skilgreindar vottunarkröfur til þessara röra í einstökum löndum og hér á landi hafa tvær gerðir verið vottaðar af Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins á grundvelli danskrar vottunar.

Við framleiðslu á þessum rörum er innra plaströrið extrúderað fyrst og þverbundið ef um PEX rör er að ræða. Til að tryggja góða viðloðun við álið er það límborið og síðan álið lagt utan um og brúnirnar soðnar saman, ýmist slétt við hvora aðra eða með skörun. Þá er álið límborðið og ytra plastlagið extrúderað utan á.

Í álplast rörum er burðurinn og þrýstipolið í ál-rörinu og álið ráðandi í hreyfingum rörsins. Plastið hefur upp undir 100 sinnum lægri fjaðurstuðul en álið og tekur því ekki upp miklar spennur við innri þrýsting þótt það sé 4-5 sinnum þykkara en álið. Við 10bara þrýsting í 25-26mm rörum eins og hér eru til skoðunar myndast um 25MPa veggspenna í álinu, mismunandi álmelmi þola 40-500MPa og 200MPa mjög algengt. Ekki voru gerðar formlegar og réttar togmælingar skv. staðli á álinu, en einfaldar togprófanir á strimlum úr rörunum gáfu til kynna að álið hefði togstyrkinn 100-120MPa og merkjanlegt flot fór að sjást þegar álagið var komið yfir 60MPa sem samsvarar nálægt 25 bara innri vatnsþrýstingi. Álið hefur því góðar forsendur til að standast eðlilegt vinnuálag rörsins.

Innra plastlagið, sem oftast er þykkasta lagið í rörinu, ver álið fyrir tæringu innan frá og ytra plastlagið tæringu utan frá. Samanlögð þykkt plastlaganna er sambærileg við þunn plaströr, þannig er þykkt PEX efnis í öðru þeirra röra sem skoðuð eru í þessu verkefni nægjanleg til að uppfylla EN-kröfur til PEX röra fyrir 6 bör og 70°C í 50 ár.

Eins og fram kemur hér að framan er styrkur álplast röranna mikill og ástæða til að ætla að þau endist vel og lengi sem heitavatnslagnir ef;

1. tengi halda
2. suða ál rörsins heldur
3. álið brotni ekki við beygju
4. kápurar skemmast ekki, svo álið komist í tærandi umhverfi
5. engar loftbólur eru í líminu við innra yfirborð álsins sem gætu fyllst af tærandi vatnslausn
6. plastið og límið hefur nægjanlegt hitaþol í íslensku gegnumstreymiskerfi.

Þær prófanir sem gerðar eru á álplast rörum fyrir vottun í öðrum löndum eiga að tryggja gæði tengja og álsuðunnar. Þar er hins vegar ekki tryggt að rörin þoli kemísk áhrif súlfíðs sem fer í gegnum plastið að innra yfirborði álsins og ekki er tryggt að innra plastlagið þoli það hitastig og gegnumstreymi sem hér tíðkast.

3 Eyðing súrefnis í hitakerfum í súlfíðríku vatni

3.1 Súrefnisupptaka í plaströrum.

Rekstur hitakerfa með stálofnum byggist á því, að ekkert súrefni sé í vatninu í kerfinu til þess að koma í veg fyrir málmtæringu í ofnunum. Stálofnarnir eru viðkvæmasti hluti þessara kerfa, þar sem hönnum þeirra og rennslisaðstæður hvetja til myndunar tæringarpytta, sem fljótt valda leka.

Öll plaströr hleypa í gegnum sig súrefni úr andrúmsloftinu inn í vatnið, sem um þau fer. Hraði innstreymisins er háður plasttegund, vatnshitastigi og því, hvort rörin eru með súrefniskápu. Mælingar á innstreymi súrefnis í mismunandi gerðir röra án súrefniskápu hafa m.a. verið gerðar hér á landi. Mælingarnar sýndu, að innstreymið var lítið í köldum snjóbræðslukerfum en það fór hratt vaxandi með auknu vatnshitastigi. Mikið súrefni hefur mælst í sumum smærri hitaveitum, þar sem plaströr án súrefniskápu hafa verið notuð í aðveitu- og dreifikerfi [9].

Súrefniskápa, sem nú er notuð á hitaþolin plaströr, er þunnt lag af EVOH (etýlen-vínýlalkohól) plasti utan á rörunum. Þessi himna dregur verulega úr innstreymi súrefnis miðað við óvarin rör, mælingar benda til að minnkunin sé á bilinu 99% til 99,9% eftir aðstæðum. Í Evrópu er oftast miðað við, að gæði kápuinnar séu nægileg, ef súrefnisinnstreymið sé minna en $0,1 \text{ g/m}^3$ á sólarhring við 40°C . Þessi skilgreining er upprunnin úr þýskum staðli DIN 4726 um gólfhitalagnir. Enginn greinarmunur er gerður á gólfhitalögnum og lögnum fyrir hitakerfi með stálofnum, og sérstakar kröfur um hitakerfi hafa hvergi fundist. Þetta stafar sennilega af því, að meðalhitastig ársins í hitakerfum í Evrópu er oft litlu hærra en þetta. Vatnshitastigi er stýrt eftir útihita til þess að spara orku og auk þess er slökkt á kerfunum í 4-6 mánuði á sumrin. Hér á landi er meðalhitastig í hitakerfum venjulega mun hærra vegna stöðugrar hitunar allt árið og stöðugs hitastigs á vatni hitaveitna [2].

Bera má saman súrefnisinnstreymi inn í 10 m langt PEX-rör með súrefniskápu, 10 mm í þvermál, miðað við súrefnisinnstreymi $0,1 \text{ g/m}^3$ við 40°C og $1,5 \text{ g/m}^3$ á dag við 70°C . Þetta eru gildi, sem fengin eru úr mælingum frá einum plaströraframleiðanda og eru þau í þokkalegu samræmi við reiknuð gildi miðað við mynd 2.1. Ef rennslið er $0,2 \text{ l/mín}$ eins og algengt er í ofnakerfum, bætir vatnið við sig $0,3 \text{ mg/l}$ af súrefni í rörinu við 40°C en við 70°C fer súrefnið upp í $4,5 \text{ mg/l}$. Við 80°C yrði aukningin til tvöfalt meiri en við 70°C eða um $9,0 \text{ mg/l}$ samkvæmt mælingum framleiðandans en $10\text{-}15 \text{ mg/l}$ miðað við mynd 2.1. Eins og sjá má er aukning innstreymisins veruleg við aukið vatnshitastig, og þetta er atriði, sem hafa þarf í huga við notkun plaströra í hitakerfi hér á landi.

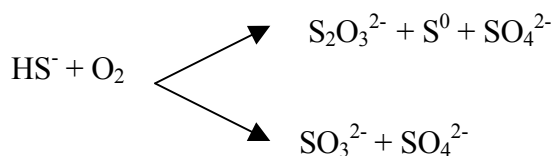
Ein leið er m.a. hugsanleg til þess að vinna á móti meiri aukningu súrefnis í hitakerfum hér en erlendis vegna hitastigs vatnsins. Hún er að lækka framrásarhitastig

vatns, sem fer inn á hitakerfi með plaströrum, með því að blanda það með bakrásarvatni við tengigrind húsa. Þetta krefst stærri ofna og stýribúnaðar á íblöndunina. Með þessu er í raun verið að breyta aðstæðum í íslenskum hitakerfum í svipað horf og gerist erlendis. Þessi leið kostar aukna fjárfestingu í búnaði, og því er oft spurt hvort ekki sé hægt að gera ráð fyrir því, að þar sem súlfíð er í hitaveituvatni, dugi það til þess að eyða súrefninu nægilega hratt til þess að ofnar hljóti ekki skaða af því m.t.t. málmþæringar. Þessi leið hefur oft verið rædd, en mikið skortir á að nægileg þekking sé á súrefnisgegndræpi plaströra frá mismunandi framleiðendum og er þá einkum horft til plaströra með súrefniskápu. Jafnframt skortir þekkingu á hvörfun og hvörfunarhraða brennisteinsvetnis.

3.2 Eyðing súrefnis með hvörfun við súlfíð í jarðhitavatni.

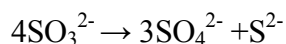
Súlfíð (brennisteinsvetni) er algengt í jarðhitavatni, sem notað er í hitaveitur. Algengt magn er 0,2-1,8 mg/l. Það hefur lengi verið þekkt, að súlfíð hvarfast við súrefni, sem kemst í hitaveituvatnið t.d. í miðlunargeymum, og eyðir því. Þótt sumum þyki lyktin af því hvítleið, er hæfilegt magn af súlfíði því mjög æskilegt í hitaveituvatninu þar sem það virkar sem innbyggð tæringarvörn og hefur gert allan rekstur veitukerfanna mun auðveldari og einfaldari [10].

Við hvörfun með súrefni oxast súlfíðið yfir í önnur brennisteinssambönd, eins og súlfít (SO_3^{2-}), þíósúlfat ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) og súlfat (SO_4^{2-}). Einnig getur hreinn brennisteinn (S) myndast og fallið út í duffformi:



Einnig geta myndast önnur brennisteinssambönd t.d. pólýsúlfíð [13], en styrkur þeirra er yfirleitt lágur. Talsvert hár þíósúlfatstyrkur getur mælst í hverum og borholum þar sem brennisteinsvetnisstyrkur er verulega hár [16].

Spurning hefur vaknað um stöðugleika hinna ýmsu súlfíðsambanda, sem myndast áður en lokasambandið súlfat næst fram. Aukning í styrk súlfíðs mældist í hitaveituvatni hjá Hitaveitu Suðurnesja, þegar bætt var í það natríumsúlfíti (Na_2SO_3) til súrefniseyðingar [15]. Aukningin var talin stafa af sjálfoxun súlfíts yfir í súlfat:



Þessa hefur ekki orðið vart annars staðar, þar sem súlfítíblöndun hefur verið notuð, en þetta hefur þó sett spurningarmerki við það hve fastbundið súrefnið er í milliefnasamböndunum og hvort það sé örugglega orðið óvirkt til málmþæringar á meðan þau eru til staðar í vatninu. Löng reynsla af eyðingu súrefnis með súlfíði bendir þó til, að súlfíðið bindi súrefni í það stöðug efnasambönd, að það verði nær óvirkt til tæringar á stáli.

Um hraða á hvörfun súrefnis og sulfíðs eru ekki til áreiðanlegar upplýsingar. Hann skiptir hins vegar miklu máli, þegar meta á eyðingarhraða súrefnis, sem kemur inn í gegnum plaströr, sem ná alla leið að stálofnum, sem verja á gegn tæringu.

Reynslan hefur sýnt að þegar íblöndun sulfíts (Na_2SO_3) er beitt við súrefniseyðingu, þá tekur hvarfið nokkurn tíma. Nauðsynlegt að íblöndun fari fram “nokkrum tíma” áður en vatnið fer inn á ofna til þess að tryggt sé að allt súrefni sé horfið. Hjá Hitaveitu Hríseyjar var á tímabili nýtt hola með um 600 ppb uppleystu súrefni og var þá blandað sulfíti í vatnið. Vegna þess hversu aðveitan var stutt, náðist hins vegar ekki alltaf að eyða súrefninu að fullu. Áætlað hefur verið frá reynslu þaðan og á Siglufirði, þar sem einnig er beitt íblöndun, að æskilegt sé að ætla u.þ.b. 30 mínútur til að öruggt sé að súrefnið nái að eyðast í aðveitu eftir íblöndun.

Talið hefur verið að oxun sulfíðs sé mun hraðari en sulfíts og til eru nokkrar athuganir á því hversu hratt súrefni hverfur eftir upptöku í tönkum í veitukerfi Orkuveitu Reykjavíkur. Einnig hefur verið reynt að mæla hraða á hvörfun sulfíðs á tilraunastofu og myndefnin sem verða til og stöðugleika þeirra. Niðurstöður voru nokkuð misvísandi en allt bendir til að oxun yfir í þíósulfat gerist mjög hratt en síðan geti frekari oxun þess tekið mjög mislangan tíma. Mælingar á þíósulfati í hitaveituvatni gefa mjög misvísandi og flóknar niðurstöður og enn sem komið er, hefur ekki fundist er nein viðhlítandi skýring á því hvers vegna þíósulfat getur verið stöðugt langtímum saman í sumu vatni en oxast tiltölulega fljótt yfir í sulfat í vatni, sem er mjög líkt að allri efnasamsetningu og við sömu aðstæður.

Erlendar rannsóknir á breytingum á hraða oxunar sulfíðs með súrefni sýna mjög flókið ferli. Í súrum lausnum $\text{pH} < 6$, þar sem H_2S er ráðandi sulfíð, er hvörfunin mjög hæg. Hraðinn eykst mjög þegar pH -gildið eykst og nær hámarki við pH 8, þar sem hann lækkar og nær lágmarki við pH um 9. Síðan eykst hann aftur að næsta hámarki um pH 11 og lækkar svo aftur. Það er athyglisverð, að pH -gildi jarðhitavatns með sulfíði er yfirleitt um 9,2-9,6. Það er því nærri lágmarkinu við pH um 9.

Hátt hlutfall sulfíðs á móti súrefni hvetur útfellingu brennisteins en lágt hlutfall til beinnar oxunar yfir í þíósulfat. Þíósulfat er meginsambandið í hreinum lausnum á rannsóknarstofu við $\text{pH} > 8,5$, óháð hlutfalli sulfíðs á móti súrefni. Nokkurt sulfít myndast og oxast síðan hægt yfir í sulfat, hlutfall sulfíts er því lægra því hærra sem pH -gildið er. Þrátt fyrir að fræðilega ættu öll brennisteinssambönd að oxast yfir í sulfat í nærveru súrefnis þá gerist það ekki á margra vikna tilraunatíma á rannsóknastofu.

Oxunarhraði sulfíðs getur verið háður styrk uppleystra efna í vatninu í hitakerfum, eins og t.d. járni og mangan. Ýmis málmsambönd geta þannig virkað sem hvatar á oxunarferlið.

Tvö íslensk dæmi má nefna, sem falla ekki að ofangreindum rannsóknum, svo séð verði. Annað er, að í kæliturnum Kröfluvirkjunar verður hröð oxun sulfíðs í þéttivatni jarðgufunnar, sem er súrt (pH um 4-5). Myndast bæði brennisteinn, sem fellur út og stíflar ýmsan búnað kæliturnsins, og brennisteinsteinsýra (sulfat), sem lækkar pH -gildi vatnsins enn frekar. Vatnið hefur greiðan aðgang að súrefni andrúmsloftsins í kæliturninum, þannig að brennisteinn ætti ekki að myndast miðað við ofangreindar

rannsóknir. Einnig ætti þíósúlfat að myndast frekar en súlfat. Mörg fleiri dæmi eru um útfellingar brennisteins í jarðgufuvirkjunum.

Hitt dæmið er, að plaströr hafa húðast að innan með brennisteini í duftformi í plastlögnum án súrefniskápu, sem notaðar voru fyrir jarðhitavatn með súlfíði. Síðan berast gulleitar flygsur af húðinni með vatninu í krana. Vatnið er með pH-gildi um 9. Talað er um, að húð myndist sums staðar í snjóbræðslulögnum, sem gæti verið af svipuðum uppruna, en það hefur ekki verið staðfest með mælingum.

3.3 Niðurstöður um eyðingu súrefnis

- Umtalsvert súrefni getur komist inn í vatn í hitaþolnum plaströrum með súrefniskápu, þegar hitakerfi eru með löngum lagnaleiðum og stöðugt rekin við hátt hitastig, þ.e. 70-80°C.
- Súlfíð í hitaveituvatni gengur í efnasamband við súrefnið, lækkar þannig súrefnismagnið og dregur úr tæringarhættu. Hugsanlegt er að brennisteinn í duftformi myndist. Brennisteinn getur þá myndað stíflur í ofnlökum o.þ.h.
- 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.

4 Prófanir á áhrifum súlfíðríks vatns á álplast rör

4.1 Sýni

Haft var samband við lagnaefnissala og athugað hvaða álplast væri fáanlegt á innlendum markaði. Það voru tvær tegundir röra, nokkuð ólíkar og ákveðið að taka sem næst 25mm rör til prófunar. Þeim sýnum er lýst hér að neðan.

Tafla 4.1 Sýni í prófun

Sýni	Vörum.	Mál	Innra plast	Ál	Ytra plast	Framl.	Seljandi
A	Henco	26 x 3,0	~1,8mm PEX-c	~0,5mm	~0,7mm PEX-c	Henco Industies N. V.	Vatnsvirkinn
B	Unipipe	25 x 2,5	~1,3mm PE-MD	~0,5mm	~0,7mm PE-MD	Unicore Rohr- systeme GmbH	Tengi

- Plastlögin eru extrúderuð og límd við álið.
- Í sýni A er PEX efnið geislaþverbundið.
- Á samskonar rörum og sýni B sem seld eru í dag er plastefnið kallað hitapolið PE (PE-RT) í samræmi við nýja og þrengri skilgreiningu sem er orðin til þar um, en efnið virðist vera það sama og framleiðandinn skilgreindi áður sem PE-MD.
- Í sýni A er álið soðið saman án þess að skarast, en í sýni B er um 4mm skörun.

Merking á rörum er eins og sýnt er í eftirfarandi töflu:

Tafla 4.2 Merking á sýnum

Sýni	Merking á röri
A	HENCO – VERBUNDROHR 26 * 3 PE-Xc/AL/PE-Xc SAUERSTOFFDICHTHEIT SANDWICHTUBE L1 00 30.08.99 ENTSPRECHEND DIN 4726 UND ZEITSTAND - INNENDRUCK FESTIGKEIT GEPRÜFT DVGW DW – 851 Pkt 2.4/4729 Pkt 3.1.1.3 IKP – UNI STUTTGART öN B 5157 geprüft 10 bar - 1AT 2237/DW-851 1AT2236 KIWA/KOMO/TM/HN000 VA 1.14/10109 TW - 95°C
B	201085038 31000/76820 PE-MD/AL/PE- MD UNIPIPE 25 x 2,5mm t _{max} = 95°C p = 10 bar DVGW AT2301 SKZ A 243 KIWA 8 bar KOMO CV DNV K-1664 70°C MADE IN GERMANY

4.2 Prófanir

Með hliðsjón af stöðlum fyrir plaströr má draga þá ályktun að eins árs ending við 120°C tryggji 50 ára endingu við 80°C sem er algengasta framrásarhitastig hitaveitna á Íslandi. Þeir útreikningar byggja á öldrunarhraða plastefnisins við mismunandi hitastig. Álplaströr eru flóknari að því leitinu að álið og plastið hefur mjög mismunandi hitaþenslustuðla og því hætt við að viðloðun geti brostið. Þetta samspil öldrunar og viðloðunarbrests er lítt þekkt og skapar það ákveðna óvissu um hvernig skuli meta líftímann.

Þegar prófunarferli var skilgreint voru hafðar til hliðsjónar;

- kröfur staðla til PEX-röra (svipaðar kröfur eru í burðaliðnum fyrir PE-RT)
- drög að dönskum vottunarkröfum til ál/plast röra
- séríslenskar aðstæður og notkunarhefðir.

PEX-röra staðlar gera kröfu um að rörin þoli a.m.k. 110°C þrýstiprófun í eitt ár. Dönsku vottunarkröfurnar innihalda jafnframt ákvæði um að rörin þoli 5000 hitasveiflur milli 20°C og 93°C við 10 bör án þess að viðloðun fari undir 15N/sm eða merkja megi tæringu álsins. Af séríslenskum aðstæðum var helst talin hætta á að súlfíð hefði kemísk áhrif á PEX-efnið, límið eða álið eða að gegnumstreymið í lagnakerfinu skolaði efnun úr plastinu. Því var lögð höfuðáhersla á að aldri rörin í því umhverfi.

Prófuninni var skipt í þrjá fasa, öldrun, hitasveifluprófun og viðloðunarprófun.

4.2.1 Öldrunarprófun

Eiginleikar álplast röra breytast með tímanum. Þeir eiginleikar sem mestu geta skipt og horft er til í þessu verkefni eru

- mekanísk/kemísk öldrun plastefnis vegna hita og hugsanlega súlfíðs og útskolunar andoxunarefna sem leiðir til að plastið verði stökkt, springi og hætti þar með að verja álið,
- kemísk öldrun og þreyta í lími milli plastlags og áls, sem leiðir til viðloðunarbrests í rörinu,
- tæring í innra yfirborði áls sem leiðir til viðloðunarbrests við plastið.

Þekkt þumalputtaregla er að efnahvörf ganga um tvöfalt hraðar fyrir hverjar 10°C sem hitastig hækkar. Áralangar rannsóknir á plastefnum hafa sýnt fram að niðurbrot þeirra, gegndræpi fyrir súrefni og útskolun eykst meira en þetta, öldrun plastefna gengur 2-3 sinnum hraðar fyrir hverjar 10°C sem hitastig hækkar. Alþjóðlegir staðlar fyrir þau plastefni sem notuð eru í álplaströr tilgreina þannig að til þess að sýna fram á 50 ára endingu þeirra þá þurfi að sýna fram á árs endingu við 40°C hærra hitastig.

Með öldrunarprófunum er markmiðið að ná fram þeirri öldrun í rörunum sem á sér stað við eðlilega notkun í íslenskum lagnakerfum í 50 ár. Öldrun í eitt ár við 120°C ætti að vera fullnægjandi til að líkja eftir mekanískri/kemískri öldrun plasts og líms við 80°C og líklegt að svipað gildi um tæringu áls, þ.e. að eitt ár við 120°C samsvari nálægt 50 árum við hefðbundnar notkunaraðstæður.

Sýnin voru sett inn í 6 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 afloftað ferskvatn
- AL 2. 110°C afloftað ferskvatn
- AL 3. 120°C afloftað ferskvatn

Rennslishraði: 2 l/mín

Þrýstingur: 2,5 bör
Prófunartími: Hálf ár og eitt ár

Rásir eru staðsettar við dælustöð OR í Bolholti, jarðhitavatnið er það vatn sem stöðin sendir frá sér á hverjum tíma. Ferskvatnið er úr vatnsveitu borgarinnar.

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

Hitastig	127,7 °C
pH/C	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

Tafla 4.3 Eiginleikar jarðhitavats í Bolholtsstöð sem notað er við öldrun röra.

Úr rásunum sex og tveimur lengdum á prófunartíma fengust tólf sýni af hverri rörategund.

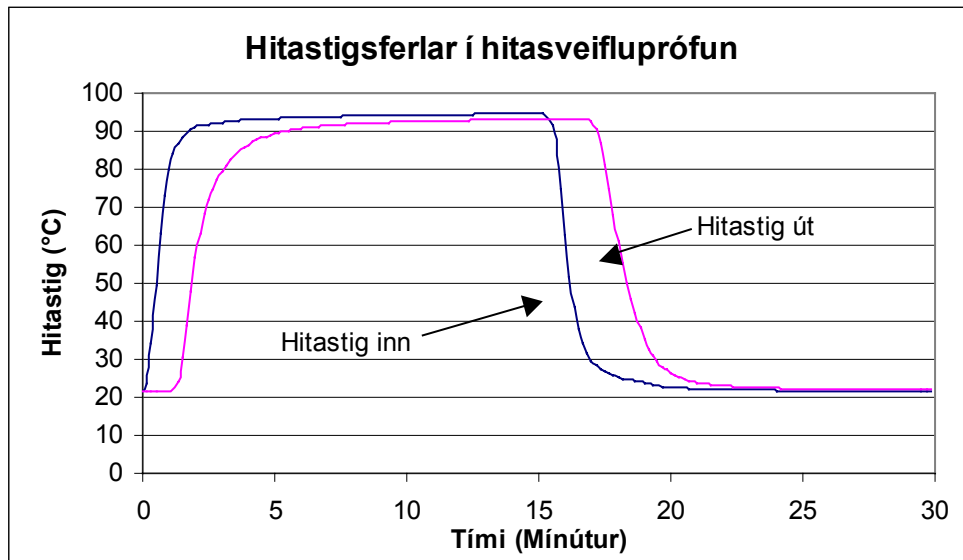
4.2.2 Hitasveifluprófun

Öldrunarprófun við hátt hitastig eins og lýst er í lið 4.2.1 þreytir ekki viðloðunina eða límið. Þar sem hætt er við þreytu eins og í samsettum rörum og samsetningum lagnakerfa gera staðlar kröfu um sérstaka hitasveifluprófun, oftast 5000 sveiflur til að líkja eftir þreytunni.

Í dönsku vottunarkröfunum er krafist hitasveifluprófunar á álplaströrum, 5000 sveiflur sem taka 30 mínútur milli 20°C(±5°C) og 93°C (±2°C) við 10 bör (15 mín við hvort hitastig). Hitastigsbreytingin á að taka innan við eina mínútu. Prófunina skal framkvæmd með sýni í spíral með þvermál minnst 10 sinnum þvermálið. Við þetta má viðloðun ekki fara undir 15N/sm eða að merkja megi tæringu álsins.

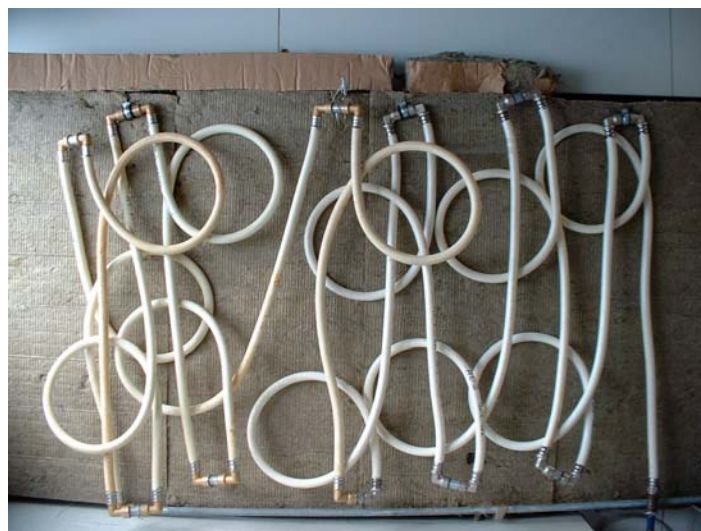
Í drögum að EN-stöðlum fyrir hitasveifluprófanir á plaströrum er kveðið á um jafn margar og jafnlangar sveiflur, hitastigsbilið 20-95°C, en sveiflan hefur enn ekki verið skilgreind nánar.

Með hliðsjón af þessari lýsingu var hitasveifluprófun framkvæmd á öldruðu sýnunum, 2m af hverju sýni sem bæði voru með beinum legg og snúningi með minnst 10 sinnum þvermálið. Annars vegar voru gerðar 2500 sveiflur á rörum sem öldruð höfðu verið í hálf t ár og hins vegar 5000 sveiflur á rörum sem öldruð höfðu verið í eitt ár.



Mynd 4.1 Hitasveifla

Í dönsku vottunarreglunum er kveðið á um að hitastigsbreytingin taki innan við eina mínútu en í þessari prófun tekur það 2-5 mínútur fyrir vatnið á hverjum stað í rörinu að ná vikið hitastig. Sveiflan hér er því “mildari” fyrir rörið en dönsku vottunarreglurnar ætlast til.



Mynd 4.2 Tólf sýni í hitasveifluprófun. Á hverju sýni er einn snúningur með 26sm innra þvermál sem er í nokkrum takt við kröfur í dönskum vottunarreglum um að við hitasveifluprófun skuli rör vera í spíral með a.m.k. 10d í þvermál.

Á rörunum sem öldruð voru í hálf t ár komu engar skemmdir fram við hitasveifluprófun aðrar en að tvö tengi gáfu sig eins og sýnt er á myndum í viðauka. Það er rétt að geta þess að sá sem herti skrúfaða tengið og pressaði þrýsting tengið var ekki menntaður pípulagningarmaður en hafði unnið við pípulagnir. (Engin vandamál

komu upp í öðrum tengingum en við álplaströrin). Hugsanlega hefði verið hægt að gera betur, hins vegar er einnig rétt að benda á að mjög stór hluti röra eru tengd af mönnum sem ekki hafa til þess fulla menntun og því nauðsynlegt að tengi séu einföld og örugg í notkun sem þessi tengi virðast tæpast vera.

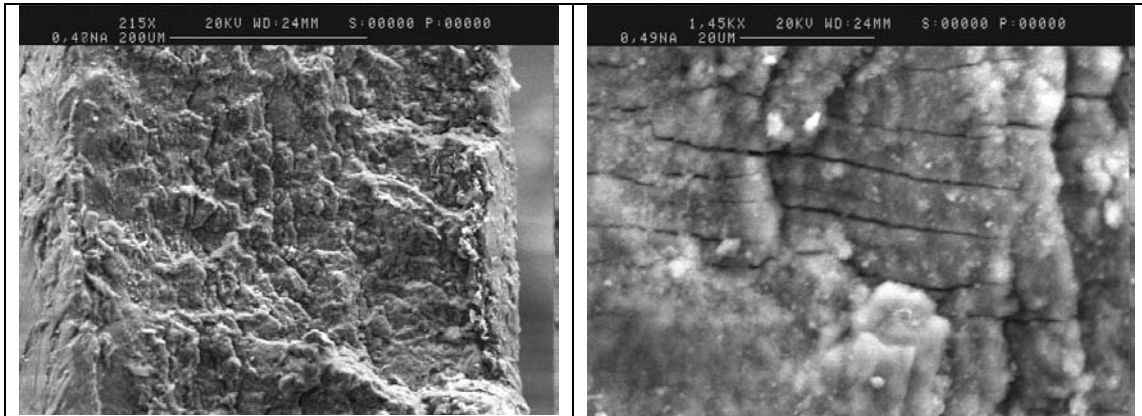
Við hitasveifluþrófun á rörum sem öldruð höfðu verið í heilt ár komu engar skemmdir fram á sýni B en sýni A varð fyrir nokkrum skakkaföllum. Tvö rör af sýni A sprungu og þurfti að skipta út í hitasveifluþrófuninni. Á önnur rör af sýni A komu bólur og sprungur en innra plastlagið hélt. Skoðun á þessum rörum leiddi í ljós að bólur á álþexrörum hafa byrjað sem vatnssöfnun undir álinu við öldrunarþrófun. Hitastig er það hátt við öldrunina (100-120°C) og PEX efnið það mjúkt að það bólgnar inn í rörið. Við hitasveifluþrófunina er hitastig mun lægra (20-95°C) og PEX efnið svo miklu stífara að álið og ytra plastlagið bólgnar út undan þrýstingnum í bólunni. Það viðbótarálag sem bólgnar skapar virðist vera of mikið fyrir álið og það springur langsum eftir rörinu, síðan ytra plastlagið og að lokum innra plastlagið. Dæmi sjást reyndar líka um að ytra plastlagið springi í kanti á bólu, án þess að álið hafi gefið sig. Sýrustig vatnsins í bólunni er erfitt að mæla vegna þess hve vatnið er lítil en mælingar með pH pappír gefa til kynna að það sé 5-5,5, bæði hjá HI og AL rörum.

Bólumyndun og sprungnu röri er lýst í máli og myndum í viðauka. Í töflu 4.4 er sýndur fjöldi leka, sprunga í áli og bóla sem mynduðust á 2m sýni við 5000 hitasveiflur.

Sýni A	Fjöldi hitasveifla	Fjöldi leka	Fjöldi sprunga	Fjöldi bóla
AL 1	5000			
AL 2	5000		11	19
AL 3	1552	1	3	3
AL 3	3448		2	
HI 1	5000		9	23
HI 2	5000		5	9
HI 3	4568	1	5	2

Tafla 4.4 Skemmdir í sýni A við 5000 hitasveiflur

Við skoðun á brotsári á álinu sáust engin merki um þreytu eða tæringu, en hins vegar mátti greina sprungur í efninu eins og sést á mynd 4.3. Af skalanum á vinstri hluta myndar 4.3 og öðrum mælingum á brotsári álsins sést að álið hefur þynnst úr 0,5mm niður í um eða rúma 0,4mm. Brotsárið er að því leitinu til dæmigert fyrir brot vegna togálags. Það virðist því ljóst að álið þoldi ekki það togálag sem myndaðist þegar saman fór innri þrýstingur rörsins og innri þrýstingur í bólu, sem m.a. myndast við það að innri helmingur bólunnar sem er úr plasti dregst mikið saman þegar rörið sveiflast yfir í kalda fasann.



Mynd 4.3 Sprungur í brotsári áls. Þversniðið sést á myndinni til vinstri, en sprungunnar í stækkun á myndinni til hægri.

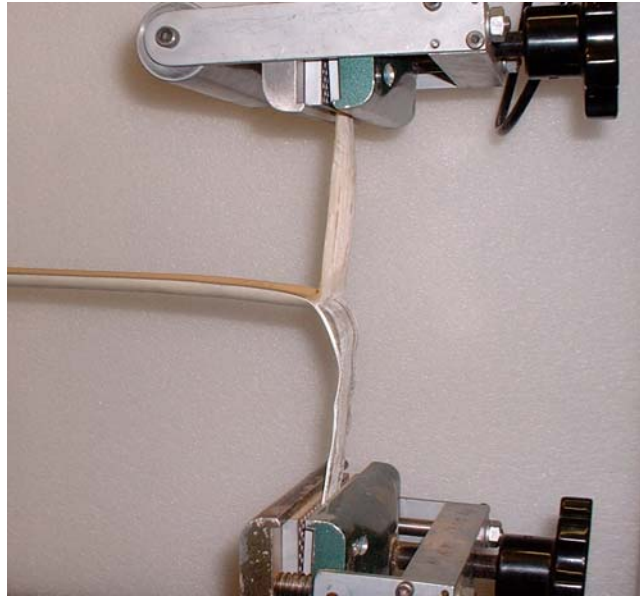
Ástæða fyrir því að þessi bóllumyndun gerist bara á rörunum af sýni A en ekki á sýni B er óljós, á nýjum rörum er þar ekki að sjá neina "helgidaga" í líminu. Bólur þessar minna þó óneitanlega á bólur í trefjaplasi sem hér á landi hafa aðallega sést í sundlaugum og heitum pottum. Upptök þeirra bóla er í vatnsleysanlegum aukaefnum sem draga í sig raka og mynda lítinn pytt með miklum styrk uppleystra efna. Nái slíkur pyttur að myndast þá verður mikill osmótískur þrýstingur milli vatnsins í pyttinum og vatnsins í umhverfinu og sá þrýstingur dregur meira vatn inn í bóluna og hún er dæmd til að stækka þar til hún springur. Ef þetta gerist í álplaströri þá hjálpa þrýstingssveiflur í bólunni sem skapast vegna hitasveiflanna einnig til við að þenja upp bóluna. Séu vatnsleysanleg aukaefni í líminu á sýni A þá er ljóst að þau geta verið upptökin að þessum skemmdum.

Við prófun á lagnaefnum er algengast að öldrunarprófun og hitasveifluþrófun fari fram á sama tíma og því eingöngu nýjar lagnir hitasveifluþrófaðar enda fljótlegast að framkvæma prófunina þannig. Sumir lagnastaðlar krefjast þó öldrunar fyrir álagsprófanir. Við notkun eiga hitasveiflurnar sér hins vegar stað á allan lífstímann bæði nýju og gömlu röri. Hér hefur hitasveifluþrófunin verið framkvæmd á öldruðu röri, það getur verið harðari prófun en algengast er að gera en fyllilega eins rökrétt og að prófa bara nýtt rör. Það að sýni A virðist ekki þola þessa meðferð bendir til að það sé á mörkum þess sem eðlilegt er að gera kröfur til.

4.2.3 Viðloðunarprófun

Í dönsku vottunarkröfunum er skilgreind viðloðunarprófun milli áls og ytra plastlags eftir hitasveiflurnar, sem framkvæmd er þannig að rörbútur er þræddur upp á öxul, ytra plastlagið skorið upp eftir endilöngum bútnum, gripið í brúnina og mældur krafturinn á meðan lagið er rífið af. Þar sem rörbúturinn snýst á öxlinum er togalagið alltaf hornrétt á yfirborðið sem rífið er af, en það er gegnumgangandi fyrir fjölmargar prófunaraðferðir á viðloðun sem til eru.

Þessi danska aðferð passar okkur ekki vegna þess að hugsanleg séríslensk áhrif á viðloðunina hefðu fyrst og fremst áhrif á viðloðun innra plastlags við álið. Til að mæla þá viðloðun þarf að skera rörið upp eftir endilöngu og fletta innra plastlaginu langsum af álinu. Þetta er gert eins og mynd 4.4 sýnir.



Mynd 4.4 Viðloðunarprófun

Gerðar voru fjórar viðloðunarmælingar á hverju hinna 24 sýna sem voru öldruð og hitasveifluþrófuð. Mæling 1 og 2 eru á rörum sem voru hitasveifluþrófuð bein, mæling 3 í ytri beygju og mæling 4 í innri beygju rörs sem var hitasveifluþrófað með 13sm innri beygjuradius. Niðurstöðurnar voru eftirfarandi:

Sýni	Öldrun	Öldrunar-tími	Hita-sveiflur	(Viðloðun N/mm)				Meðalt.
				1	2	3	4	
A	AL-100°C	Hálft ár	2500	6,3	6,8	5,6	6,2	6,2
A	HI -100°C	Hálft ár	2500	6,9	6,6	6,3	6,1	6,5
A	AL-110°C	Hálft ár	2500	6,9	5,0	6,2	5,2	5,8
A	HI -110°C	Hálft ár	2500	7,1	6,4	6,5	6,2	6,6
A	AL-120°C	Hálft ár	2500	5,9	6,1	5,2	6,0	5,8
A	HI -120°C	Hálft ár	2500	7,0	6,2	6,4	6,1	6,4
A	AL-100°C	Eitt ár	5000	6,9	7,1	6,2	6,9	6,8
A	HI -100°C	Eitt ár	5000	7,1	6,3	5,3	6,8	6,4
A	AL-110°C	Eitt ár	5000	5,6	5,7	4,6	6,3	5,5
A	HI -110°C	Eitt ár	5000	5,9	6,9	5,5	7,2	6,4
A	AL-120°C	Eitt ár	3448	6,1	6,5	4,4	1,4	4,6
A	HI -120°C	Eitt ár	4568	5,8	6,4	5,5	5,0	5,7
B	AL-100°C	Hálft ár	2500	4,1	4,3	4,2	4,6	4,3
B	HI -100°C	Hálft ár	2500	3,5	4,6	3,5	2,6	3,6
B	AL-110°C	Hálft ár	2500	3,7	4,3	3,4	2,8	3,6
B	HI -110°C	Hálft ár	2500		4,6	4,7	4,3	4,5
B	AL-120°C	Hálft ár	2500	3,9	4,2	3,2	3,9	3,8
B	HI -120°C	Hálft ár	2500	3,8	4,6	4,4	4,7	4,4
B	AL-100°C	Eitt ár	5000	4,1	3,6	3,5	3,4	3,6
B	HI -100°C	Eitt ár	5000	3,6	3,0	3,7	3,2	3,4
B	AL-110°C	Eitt ár	5000	3,9	3,2	3,0	3,5	3,4
B	HI -110°C	Eitt ár	5000	2,1	3,0	2,7	2,7	2,6
B	AL-120°C	Eitt ár	5000	3,8	2,9	2,6	2,5	3,0
B	HI -120°C	Eitt ár	5000	3,7	2,9	3,1	2,8	3,1

Tafla 4.5 Mælingar á viðloðun

Öldrun plasts og líms við 100°C í hálf t. er mjög mild, samsvarar aðeins 5-10% af öldruninni við 120°C í heilt t. Önnur öldrun er þar á milli. Mælingar á viðloðun milli fasanna sýna að viðloðun minnkar lítið með öldrun efnisins. Svo virðist sem fjöldi hitasveifla hafi aðeins meira að segja, en öll prófunarsýnin nema eitt höfðu viðloðun sem var mun meiri en dönsku vottunarkröfurnar kveða á um, eða 1,5N/mm. Þetta eina prófunarsýni hafði nánast óslitna röð af vatnsbólum langsum eftir röðina þar sem viðloðun var engin og því fór meðalviðloðunarstyrkurinn í þeirri prófun niður í 1,4N/mm.

Engin merki eru um tæringu áls og engin merki eru um að mekanískir eiginleikar innra plastlagsins hafi breyst við öldrun, hins vegar sjást bólur þar sem viðloðun er alveg horfin á sýni A sem aldráð var í eitt t.

4.3 Niðurstöður prófana

- Plastlögin í báðum sýnunum standast með ágætum öldrun í t. við 120°C sem samsvarar 50 t. við 80°C, sem er algengasta hitastigið í hitaveitum. Í skilfletinum milli plasts og áls koma hins vegar fram vatnsbólur í öðru sýninu.
- Við hitasveifluþrófun kom fram að tengi geta verið vangæf og vatnsbólurnar úr öldrunarþrófuninni geta sprengt rörið.
- Mikil öldrun plastefnisins og límsins auk mikilla hitasveifla eyðileggur ekki viðloðun milli áls og plastlaga, nema staðbundið þar sem vatnsbólur myndast.

5 Niðurstöður

Markmið verkefnisins 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 fyrirbyggjandi 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.

Ekki er að sjá að súlfíðið hafi nein neikvæð áhrif á þau plastefni í álplaströrum sem prófuð voru. Ekki sást munur á mekanískum eiginleikum innra plastlagsins eftir heilt ár við $120^\circ C$ í rörum sem innihéldu súlfíðríkt jarðhitavatn og í rörum sem innihéldu upphitað ferskvatn. Samhliða þessum prófunum voru gerðar öldrunarprófanir á nokkrum PEX rörum og öðrum plaströrum og var niðurstaðan þar sú sama.

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 svona 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. Þó svo væri þá vaknaði spurning um við hvaða aðstæður myndun fasts brennisteins sé innan ásættanlegra marka.

Það er mjög jákvæð niðurstaða fyrir þróun lagnamenningarinnar hér á landi að engin merki sáust um neikvæð áhrif súlfíðsins. Hins vegar er það neikvætt fyrir frekari nýtingu plaströra fyrir jarðhitavatn hvað þekking á efnahvörfum súrefnis og súlfíðs í jarðhitavatni er lítil og því erfitt fyrir hönnuði lagnakerfa að meta, hve mikið megi treysta á súlfíð sem tæringarvörn þar sem súrefnisdræp plaströr eru í lagnakerfi. Mikilvægt er að hafnar verði rannsóknir á efnahvörfum súlfíðs og súrefnis í jarðhitavatni.

6 Heimildir

- [1] Páll Árnason og Ragnheiður I. Þórarinsdóttir, mars 1998: Ending plastlagnaefna og gúmmípakkninga í íslensku heitavatnslögnum: -Niðurstöður heimildaleitar -, ITÍ 9808/HTD02.
- [2] Páll Árnason og Ásbjörn Einarsson, 1999. Hitapólin plaströr í innanhússlagnir fyrir hitaveituvatn. Skýrsla fyrir Orkuveitu Reykjavíkur, september, 1999.
- [3] Hrefna Kristmannsdóttir, Súrefnisupptaka, útfellingar og mengun vatns í snjóbræðslulögnum. Lagnafréttir (Ráðstefna um jarðvegshitun, 12. mars 1992), 1992
- [4] Magnús Ólafsson, 1988. Súrefnisupptaka í aðveituæðum úr plasti. Erindi flutt á aðalfundi Sambands íslenskra hitaveitna í Vestmannaeyjum 2-3 júní 1988. OS-88032/JHD-16 B.
- [5] Magnús Ólafsson, 1989: Súrefnisupptaka í hitapólnum plaströrum. Sveitastjórnarmál, 3, 176-182.
- [6] Árni Ragnarsson, Magnús Ólafsson og María Jóna Gunnarsdóttir, 1994: Plaströr í sma samfunn, erfaringer og muligheter. 5te Nordisk Fjernvarmesymposiet, 13.-15. júní 1994, Trondheim Norge, 14 s.
- [7] Neuartige Verlegetechniken flexibler Fernwärmeleitungssysteme mit Kunststoff-Mediumrohren, Fernwärme-Verbund Saar GmbH, Völklingen 1997
- [8] 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
- [9] Ásbjörn Einarsson, Hreinn Halldórsson og Albert Albertsson, 1985. Mælingar á innstreymi súrefnis í hitaveituvatn í gegnum vegg hitapólinna plaströra, Vetrarfundur SÍR og SÍH, Reykjavík, nóvember 1985.
- [10] Hrefna Kristmannsdóttir og Magnús Ólafsson, 1998. Flokkun hitaveituvatns og ferskvatns eftir efnasamsetningu, Lagnafréttir (Námsstefna 1. og 2. október 1998), 13-14.
- [11] Chen, K. Y. and Morris, J. C., 1972. Kinetics of oxidation of aqueous sulfide by O₂. Environmental Science & Technology, 6, 529-537.
- [12] Einar Gunnlaugsson, 1986. Súrefni og brennisteinsvetni í veitukerfi Hitaveitu Reykjavíkur. Greinargerð Hitaveitu Reykjavíkur, EG-86/07, 1-4.
- [13] Giggenbach, W. F., 1974. Equilibria involving polysulfide ions in aqueous sulfide solutions up to 240 °C. Inorganic Chemistry, 13, 1724-1730.

[14] Hrefna Kristmannsdóttir, 1990. Mælingar á eyðingarmætti brennisteinsvetnis. Orkustofnun greinargerð HK-90/01, 3 s.

[15] Ragnheiður Þórarinsdóttir, 2001. Corrosion of copper and copper alloys in geothermal district heating water containing sulphide. Sérít Rannsóknarstofnunar byggingariðnaðarins nr. 85, 178 s.

[16] Subzhiyeva, T.M. and Volkov, I.I., 1982. Thiosulfates and sulfites in thermal and hydrothermal waters. Geokhimiya, 7, 1043-1047.

Viðauki: Skemmdir á rörum

Eins og lýst er í skýrslunni komu fram nokkuð miklar skemmdir á sýnum við hitasveifluprófun. Í þessum viðauka er ætlunin að lýsa þeim frekar í máli og myndum.

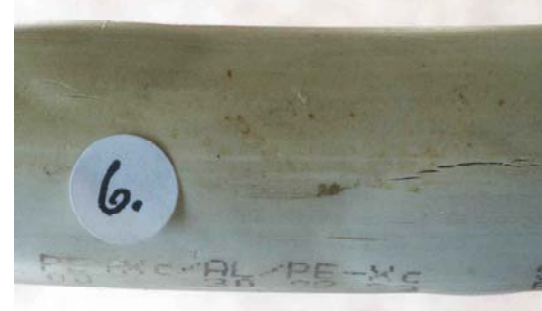
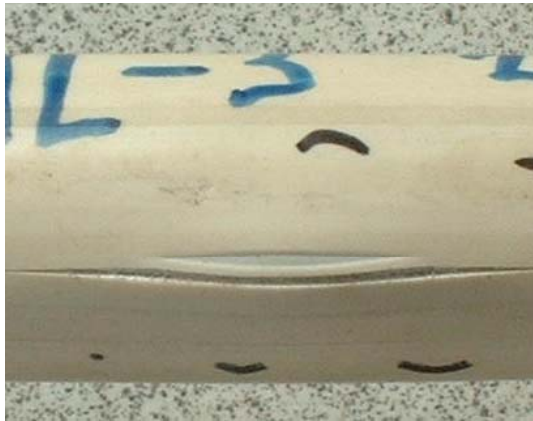
Fyrst eru lýsingar á tengjum sem gáfu sig. Á næstu síðum eru síðan sýndar bólur á rörum og að lokum rör sem sprakk.



Tengi sem losnaði í hitasveifluprófunum eftir 1200 sveiflur. Ytra plastlag hefur skorist sundur og lím orðið það mjúkt við 95°C að plastið rennur fram af ál endanum. Skv. gögnum frá framleiðanda á rörið að þola 95°C vinnuhitastig og 110°C í skamman tíma.



Þrýstitengi sem losnaði í hitasveifluprófunum eftir 200 sveiflur. Skv. gögnum frá framleiðanda á rörið að þola 95°C vinnuhitastig og 110°C í skamman tíma.



Fimm myndir af sýnilegum skemmdum á sýni A án þess að það lækni. Á fjórum myndanna sjást fleiri en ein bóla.



Rör sem sprakk. Efst er áður en það er skorið sundur. Á myndinni til vinstri sést vel hvernig álið og ytra plastlagið hefur rifnað. Á myndinni til hægri sést að innra plastlagið er að gefa sig, greina má smá göt í því sem lekur út um.