

# **Hitaveituhandbók Samorku**

Ásbjörn Einarsson  
Einar Gunnlaugsson

## **9. Kafli**

# **Efnisval - Tæringarvarnir**

*Apríl 1994*

**EFNISYFIRLIT:**

9.1.	Inngangur.....	4
9.2.	Efni sem notuð eru í hitaveitum og eiginleikar þeirra.....	5
9.2.1.	Inngangur.....	5
9.2.2.	Smíðastál.....	5
9.2.3.	Galvanhúðað stál.....	6
9.2.4.	Öxulstál.....	6
9.2.5.	Járnsteypa.....	7
9.2.6.	Ryðfrítt stál.....	7
9.2.7.	Eir og eirmelmi.....	8
9.2.8.	Ál og álmelmi.....	10
9.2.9.	Títan.....	10
9.2.10.	Plastefni.....	10
9.2.11.	Asbest.....	11
9.2.12.	Gúmmí.....	12
9.3.	Málmtæring – grundvallaratriði.....	13
9.3.1.	Inngangur.....	13
9.3.2.	Elektrókemísk málmtæring.....	13
9.3.3.	Galvanísk tæring.....	14
9.3.4.	Jöfn tæring – pyttatæring.....	15
9.3.5.	Rifutæring.....	15
9.3.6.	Álagstæring.....	16
9.3.7.	Valtæring.....	16
9.3.8.	Preytutæring.....	17
9.3.9.	Kornmarkatæring.....	17
9.3.10.	Ólgutæring.....	17
9.3.11.	Slittæring.....	17
9.3.12.	Útleiðsla.....	18
9.4.	Málmtæring í hitaveituvatni.....	19
9.4.1.	Hitaveituvatn á Íslandi.....	19
9.4.1.1.	Hitaveitur sem dreifa jarðhitavatni af lághitasvæðum.....	19
9.4.1.2.	Hitaveitur sem nota upphitað kalt vatn í opnum kerfum.....	22
9.4.1.3.	Hitaveitur sem nota upphitað kalt vatn í lokuðum hringrásarkerfum.....	22
9.4.1.4.	Hitaveitur sem dreifa gufu.....	23
9.4.2.	Helstu áhrifaþættir tæringar.....	23
9.4.2.1.	Uppleyst súrefni.....	23
9.4.2.2.	Brennisteinsvetni (súlfíð) í vatni.....	25
9.4.2.3.	pH-gildi (sýrustig).....	25
9.4.2.4.	Klóríð.....	26
9.4.2.5.	Koldíoxíð, karbonat.....	26
9.4.2.6.	Súlfat.....	27
9.4.2.7.	Hiti.....	27
9.4.2.8.	Rennslisraði.....	27
9.4.2.9.	Blöndun á heitu og köldu vatni.....	27

9.5.	Tæring og efnisval í hitaveitum.....	29
9.5.1.	Inngangur.....	29
9.5.2.	Borholur.....	29
9.5.3.	Stofnæðar.....	29
9.5.4.	Miðlunargeymar .....	31
9.5.4.1.	Vatnslás eða trekkspjald á öndunarop .....	32
9.5.4.2.	Flotábreiða.....	32
9.5.4.3.	Gufuteppi.....	32
9.5.5.	Dreifikerfi .....	33
9.5.6.	Varmaskiptar .....	34
9.5.7.	Lagnir í húsum.....	35
9.5.8.	Ofnar.....	36
9.5.9.	Mælar og hemlar .....	36
9.5.10.	Blöndunartæki .....	36
9.5.11.	Tæringareftirlit .....	37
9.6.	Útfellingar .....	39
9.6.1.	Inngangur.....	39
9.6.2.	Kísill .....	39
9.6.3.	Kalk .....	40
9.6.4.	Magnesium-sílikat.....	42
9.6.5.	Aðrar útfellingar og tæringarmyndanir .....	43

## 9.1. Inngangur

Rekstur hitaveitna í nágrennalöndum okkar byggist á því, að orka er notuð til þes að hita upp vatn, sem síðan er leitt til notenda í lokuðum hringrásakerfum. Vatnið í hringrásarkerfinu er yfirleitt hreinsað af öllum óæskilegum efnum, áður en það er sett inn á kerfið. Síðan er bætt í það tæringarvarnarefnum og súrefniseyðandi efnum eftir þörfum. Þannig má að mestu ráða tæringareiginleikum vatnsins. Einungis fjórar hitaveitur á Íslandi tilheyra þessum flokki.

Flestar hitaveitur á Íslandi dreifa hins vegar jarðhitavatni eða upphituðu köldu vatni með beinu gegnumstreymi bæði til hitunar og sem heitt neysluvatn. Endurnýting vatnsins er aðeins þar sem þörf er á kælingu framrásarvatnsins. Efnablöndun eins og notuð er erlendis kemur því ekki til greina bæði vegna kostnaðar- og heilbrigðissjónarmiða nema í einstaka undantekningartilfellum. Af þessum sökum er erfitt að nýta erlenda reynslu af tæringu innan frá í hitaveitum beint við íslenskar aðstæður. Tæring utan frá er hins vegar sambærileg.

Skipulegar athugarnir á tæringu í hitaveitum á Íslandi hófust fyrir um hálfri öld. Á þeim tíma, sem síðan er liðinn, hefur safnast upp töluverð reynsla af tæringu og útfellingum í hitaveituvatni. Þeirri reynslu er reynt að miðla hér. Það er þó langur vegur frá því, að allt sé vitað um eðli hitaveituvatns og sífellt koma fram ný vandamál með fjölbreyttari notkun vatnsins, fleiri vatnsgerðum og nýjungum í tækjum og búnaði.

Um fjöllum um tæringu og útfellingar í hitaveitum hefst í kafla 9.4. Á undan í kafla 9.2 er stutt yfirlit um eiginleika helstu efna, sem notuð eru í hitaveitum, og í kafla 9.3 er kynning á helstu afbrigðum málm-tæringar. Efni sem notuð eru í hitaveitum og eiginleikar þeirra.



**Mynd 9.1.1 Tæringarpyttur undir blautri steinullareinangrun**

## 9.2. Efni sem notuð eru í hitaveitum og eiginleikar þeirra

### 9.2.1. Inngangur

Í þessum kafla verður fjallað um eftirtalin efni: *Smíðastál* sem skilgreint er sem stál með minna en 0,25% kolefni, *galvanhúðað stál* sem er smíðastál sem húðað hefur verið með zínki, *öxulstál* en það inniheldur meira magn kolefnis en smíðastál og oft er blandað í það efnum til að auka styrk og hersluhæfni, *járnsteypu* sem er járnkolefnisblanda með meira en 2% kolefni, *ryðfrítt stál* sem skv. skilgreiningu inniheldur minnst 12% króm, *eir og eirmelmi*, *ál og álmelmi*, *títan*, *plastefni*, *asbest* og *gúmmí*.

### 9.2.2. Smíðastál

Smíðastál er skilgreint sem járn-kolefnisblanda með minna en 0,25% kolefni. Smíðastál er vel suðuhæft með rafsuðu og logsuðu án hitameðferðar.

Smíðastál er flokkað með tilliti til annarra íblöndunarefna en kolefnis. Tveir flokkar eru algengastir í hitaveitum.

Lágkolstál (svart stál). Þetta er langalgengasti flokkur smíðastáls. Kol-mangan stál.

Íslenskur staðall ÍST-EN-10025 fjallar um smíðastál. Ódýrasta efnið er stálið Fe-310-0 sem er nánast án allra upplýsinga um gæði.

Það efni sem flestir kannast við sem Stál 37 heitir nú Fe-360. Það er lágkolstál með kolefni minna en 0,25%. Einnig er gefið upp hámark óhreininda eins og brennisteins (S), fosfórs (P) og köfnunarefnis (N). Flotmörk eru um 235 N/mm<sup>2</sup> og togþol um 360 N/mm<sup>2</sup>. Síðan má fá ýmsar gerðir, B, C og D, eftir kröfum um höggþol efnisins, þ.e. hvenær efnið verður stökkt í kulda.

Það stál sem venjulega gengur undir nafninu Stál 52 heitir nú Fe-510. Það efni er kol-magnan stál og inniheldur um 1,4-1,7% magnan (Mn) sem íblöndunarefni. Eykur það styrk stálsins miðað við stál Fe-360 án þess að rýra suðuhæfni þess. Flotmörk þess eru um 345 N/mm<sup>2</sup> og togþol um 510 N/mm<sup>2</sup>.

Á síðari árum hafa komið fram stáltegundir, sem hafa mun meiri styrk en hinar hefðbundnu tegundir án þess að suðuhæfni minnki umtalsvert. Er þar um að ræða flokkana fínkornótt smíðastál og hástyrksstál. Í fyrnefnda flokknum má ná flotstyrk upp í 600-700 N/mm<sup>2</sup> og í þeim síðari upp undir 2000 N/mm<sup>2</sup>. Þessar stáltegundir eru t.d. notaðar í bifreiðir, flugvélar og önnur flutningatæki.

Almennt má segja, að smíðastál tærist í snertingu við súrefni og vatn. Því þarf oftast að verja það gegn tæringu með málningu eða öðrum húðunaraðferðum. Þar sem ekkert súrefni er í umhverfi stálsins getur það enst mjög vel óvarið.

### 9.2.3. Galvanhúðað stál

Ein algengasta aðferð til þess að verja smíðastál gegn tæringu er að húða það með zínki (Zn). Zínkið myndar varnarhúð úr zínkoxíði eða zínkkarbónati á yfirborði sínu í tærandi umhverfi og ver hún málminn gegn frekari tæringu.

Algengasta aðferð til að zínkhúða stál er að dýfa því niður í bráðið zínk, þ.e. heithúðun. Með þessu fæst mjög góð viðloðun á zínkhúðinni við stálið og þykkt húðarinnar verður tiltölulega mikil. Algeng þykkt er á bilinu 0,05-0,15 mm.

Aðrar aðferðir eru rafhúðun og sprautuzínkun. Rafhúðun gefur áferðarfallega en mjög þunna húð. Hún er því ekki ætluð sem vörn í mjög tærandi umhverfi. Sprautuzínkun, þar sem bráðnu zínki er sprautað á stálið, er notuð á hluti, sem ekki er hægt að heithúða vegna stærðar eða lögunar. Hægt er að ná góðri þykkt (0,05-0,12 mm) og ágætri viðloðun. Sprautuzínkun er mjög góður grunnur undir málningu.

Á síðari árum er einnig farið að húða smíðastál með áli (Al) eða ál/zínk blöndun. Aluzínk er algeng blanda á plötustál, þar sem ál er 55%, zínk 44,3% og kísill (Si) 1,6%. Mikil þróun er í húðunaraðferðum og efnum og eru ný húðunarefni stöðugt að koma á markað.

Galvanhúðað stál, sem notað er í rör og fittings hitaveituvatn er heithúðað með zínki.

### 9.2.4. Öxulstál

Öxulstál inniheldur yfirleitt meira kolefni en smíðastál eða um 0,22-0,6%. Einnig innihalda þessar stáltegundir oft ýmis önnur íblöndunarefni svo sem króm (Cr), molybden (Mo) og vanadíum (V). Þessi efni auka hersluhæfni með hitameðferð, styrk og þreytuþol.

Öxulstál eru oftast ekki suðuhæf nema með hitameðferð, svo sem forhitun og eftirhitun.

Svonefnt „komprimerað öxulstál sem töluvert er notað hér á landi er ekki eiginlegt öxulstál, heldur er um að ræða smíðastál Fe-360 eða Fe-510, sem hefur verið kalddregið til þess að fá fram góða yfirborðsáferð. Þetta efni er að sjálfsögðu suðuhæft.

Algengustu tegundir öxulstáls bera hins vegar heitin C22, C35, C45 og C60. Kolefnismagnið er 0,22% fyrir C22, 0,6 fyrir C60 og samsvarandi fyrir hinar tegundirnar. Þessi efni eru yfirleytt notuð í hertu ástandi erlendis en algengt er, að þau séu notuð óhert hér.

Silfurstál er kalddregið og fínslípað stál með glansandi yfirborðsáferð. Ýmsar gerðir eru til og eru íblöndunarefni oft króm, wolfram (W) og vanadíum. Togþol er um 700-800 N/mm<sup>2</sup> í óhertu ástandi en hægt er að ná fram mun meiri styrk og mikilli hörku með hitameðferð.

Ryðfrítt stál er nú töluvert notað í öxulstál í jarðvarmavirkjunum hér á landi í stað krómhúðaðs öxulstáls (sbr. 9.2.6).

### 9.2.5. Járnsteypa

Járnsteypa (pottur) er járn-kolefnisblanda með meira en 2% kolefni. Algengt er að kolefnismagnið sé um 3%. Kolefnið (C) er á tvennu formi í járninu, þ.e. annað hvort sem grafit (C) eða járnkarbíð ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Járnsteypa er í eðli sínu stökkur málmur með lítinn styrk en hefur gott tæringarþol. Stafar það af því að grafitið hindrar myndun tæringarpytta þannig að tæring efnisins verður jöfn. Þar sem efnisþykkt steyptra hluta er oftast mikil verður endingin góð.

Algengasti flokkur járnsteypu er grájárn. Fær það nafn sitt af því, að brotsár þess er gráleitt. Kolefnið er að mestu sem grafitflögur í steypunni. Hún er því stökk, en hefur gott tæringarþol, steypuhæfni og dempunarhæfni á titring. Pottofnar eru úr grájárni.

Með efnaþblöndun er hægt að láta grafitflögurnar í grásteypunni mynda kúlur í efninu. Nefnist steypa þá kúlusteypa (ductile iron). Með þessu fást mun betri styrkeiginleikar, þ.e. nær stáli, og einnig má rafsjóða kúlusteypu með hitameðferð. Tæringarþol er hins vegar minna en í grásteypunni. Kúlusteypa er notuð í sveifarás, hásingar og vélablokkir. Einnig er hún notuð í frárennslis- og kaldvatnslagnir (“duktil”-pípur) og jafnvel í fittings.

Hnoðrasteypa er svipuð kúlusteypu að eiginleikum. Kolefnið myndar hnoðra í steypunni í stað kúlna. Einnig má hita hluti í hnoðrasteypu í oxandi umhverfi þannig að meginhluti kolefnisins hverfi við hitameðferðina. Þannig má t.d. framleiða suðufittings með sömu suðuhæfni og eiginleikum og smíðastál (minna en 0,2% kolefni).

Ástæða þess, að yfirleitt er notuð járnsteypa en ekki stálsteypa við framleiðslu steyptra hluta og síðan reynt að ná fram eiginleikum stáls með hitameðferð eða efnaþblöndun er sú, að stálsteypa er mun erfiðari í framkvæmd. Rýrnun við storknun er meiri og storknunarmark hærra.

### 9.2.6. Ryðfrítt stál

Samkvæmt skilgreiningu þarf ryðfrítt stál að innihalda minnst 12% króm sem íblöndunarefni. Tæringarþol ryðfría stálsins er komið til vegna þess, að súrefni gengur í efnasamband við krómið og myndar mjög sterka krómoxíðhúð á yfirborði stálsins. Kemur hún í veg fyrir frekari tæringu með því að loka yfirborðinu. Ef húðin verður fyrir skemmdum endurnýjast hún, ef súrefni er til staðar.

Krónoxíðhúðin þolir illa seltu (klóríð) við stályfirborðið. Við þau skilyrði geta myndast krómklóríðsambönd í stað krómoxíðs. Eru þau gagnslaus til tæringarvarna. Yfirleitt gerist þetta á smáblettum á yfirborðinu og myndast þar hröð pyttatæring. Því þarf mikillar varúðar við, þegar ryðfrítt stál er valið við aðstæður, þar sem selta er fyrir hendi. Sem dæmi má nefna, að ryðfrí útiklæðning ryðgar oft hratt við íslensk veðurskilyrði þar sem selta er í lofti vegna nálægðar við sjó.

Ryðfríu stáli má skipta í nokkra flokka eftir kornabyggingu efnisins. Þeir helstu eru:

- ?? Austenítískt ryðfrítt stál
- ?? Ferrítískt ryðfrítt stál
- ?? Martensískt ryðfrítt stál
- ?? Ferrítískt-austenítískt ryðfrítt stál

Austenítískt ryðfrítt stál er lang algengasta ryðfría stálið. Helstu tegundir er 18/8 stál (einnig nefnt 304), sem inniheldur um 18% króm og 8% nikkell og 18/8/2 stál (einnig nefnt 316), sem inniheldur auk króms og nikkels um 2% af molybden. Síðarnefnda tegundin er oft nefnd sýruhelt ryðfrítt stál. Austenítískt ryðfrítt stál þekkist á því, að það tekur ekki segul, nema í kaldhertu ástandi. Það hefur gott tæringarþol nema þar sem selta (klóríð) er til staðar. Getur það þá bæði ryðgað og pyttatærst. Einnig getur það sprungið vegna álagstæringar (sjá 9.3.6), ef það er notað við hitastig yfir 60°C í söltu umhverfi. Val á ryðfríu stáli krefst því mikillar þekkingar á umhverfi því, sem stálið er notað í. Sérstaklega er rétt að benda á, að utanaðkomandi raki er oft mun alvarlegri tæringarvaldur á ryðfríum hlutum fyrir heitt vatn en heita vatnið sjálft. Þar gufar vatnið upp og söltin í því valda tæringunni.

Ferrítískt ryðfrítt stál inniheldur oftast 12-27% króm en lítið af öðrum íblöndunarefnum. Það tekur segul. Það er ódýrara en austenítískt ryðfrítt stál og algengt í ýmsum tækjum og búnaði t.d. dælum og lokum. Það hefur minna almennt tæringarþol en austenítískt stál en springur hins vegar ekki vegna álagstæringar í heitu og söltu umhverfi.

Martensískt ryðfrítt stál inniheldur oftast um 12-17% af krómi og meira kolefni en ferrítískt ryðfrítt stál eða allt upp í 1%. Það er því harðara efni og með meiri slitstyrk. Almennt tæringarþol er svipað eða minna en á ferrítísku ryðfríu stáli. Þetta efni er algengt í gufuhverflum í jarðvarmavirkjunum og ýmsum búnaði, þar sem slitstyrks er krafist auk sæmilegs tæringarþols.

Ferrítískt –austenítískt ryðfrítt stál eða Duplex stál er nú stöðugt að ryðja sér meira til rúms. Margar tegundir eru til í þessum flokki og innihalda þær oft um 23-28% króm, 2,5-5% nikkell og 1-2% molybden. Þær sameina kosti austenítísku og ferrítísku stáls hvað tæringu varðar, þ.e. þær hafa svipað almennt tæringarþol og austenítískt stál en springa mun síður eða ekki vegna álagstæringar í heitu og söltu umhverfi. Styrkur þessara efna er einnig mjög góður. Flotmörk eru um 400 N/mm<sup>2</sup>, sem er tvöfalt hærra en hjá 18/8 stáli. Duplex-stálið SAF 2205 hefur verið notað með góðum árangri í öxla í jarðvarmavirkjunum. Ýmsar sérhæfðar ryðfríar stáltegundir hafa einnig verið prófaðar hér einkum í sambandi við gufuvirkjanir. Má þar nefna 254 SMO sem inniheldur 20% Cr, 18% Ni og 6% Mo. Þetta stál er mjög dýrt vegna mikillar efnaíblöndunnar, en hefur ákaflega gott tæringarþol jafnvel í söltu umhverfi.

### 9.2.7. Eir og eirmelmi

Nafnið eir er hér notað yfir frumefnið Cu, en ekki nafnið kopar, þar sem orðið kopar hefur verið notað á mjög mismunandi hátt. Sumir nota orðið kopar yfir blöndur eirs og annarra málma, en hér verður talað um eirmelmi, t.d. brons, látún o.s.frv.



Eirör eru framleidd úr hreinum eir (Cu), sem blandaður er örlitlum fosfór (P) (0,03%) til þess að koma í veg fyrir að þau stökkni við hitun t.d. við lóðun.

Eir er veikur málmur, sem herða má með kaldálagsherslu. Eirör eru framleidd með kalldrætti sem herðir þau. Þau eru síðan annað hvort seld sem hörð, hálfhörð eða afglóðuð. Togþol er frá 300 N/mm<sup>2</sup> niður í 220 N/mm<sup>2</sup> eftir herslugráðu. Á eirinn myndast varnarhúð úr eiroxíði ef raki og súrefni kemst að. Oxíðhúðin ver málminn gegn frekari tæringu. Húðin er hins vegar tiltölulega veik gegn álagi t.d. miklum straumhraða eða hvirflum í vatnsrörum. Því þarf að setja mörk á rennslisraða í eirörum. Þetta hámark lækkar með aukinni seltu í vatninu, (sbr. 9.3.10).

Í hitaveituvatni með súlfíði myndast eirsúlfíð varnarhúð í stað eiroxíðhúðar. Eirsúlfíðhúðin er mun veikari gegn álagi en eiroxíðið, þannig að þar verður hámarksrennslisraði að vera mun minni en í venjulegu neysluvatni.

Fjölmarginar gerðir af eirmelmum eru notaðar í hitaveitum, t.d. í lokum, húsum rennslismæla, dælum, legum og öðrum steiptum smáhlutum og hafa þær reynst misjafnlega í einstökum hitaveitum. Koma þar til bæði áhrif af súlfíði í hitaveituvatni og einnig valtæring á eir/zínk melmum (sbr. 9.3.7), þar sem zínkið leysist upp úr blöndunni.

Skipta má eirmelmum í tvo meginhluta:

?? Látún = messing = brass. Í þessum flokki er zínk aðalblöndunarefnið.

?? Brons. Upphaflega var tin aðalblöndunarefnið, en nú er nafnið notað um öll eirmelmi önnur en látún.

Helstu flokkar af látúni eru:

Rauðlátún inniheldur um 85% eir og 15% zínk. Afbrigði af því er notað í steipta hluti og inniheldur 85% eir, 5% zínk, 5% blý og 5% tin. Þessi efni tærast ekki valtæringu, (sbr. 9.3.7), en hins vegar getur súlfíð tært þau.

Gult látún 70/30 inniheldur 72% eir, 24% zínk, 3% blý og 1% tin. Þessi blanda getur tærst í valtæringu.

60/40 látún inniheldur 58% eir, 40% zínk og 2% blý. Þessi blanda getur tærst í valtæringu.

Þessir flokkar skiptast síðan í fjölmarga undirflokkar og afbrigði. Ýmsar sérhæfðar tegundir af látúni eru nú að ryðja sér til rúms í lagnahlutum. Má þar nefna Enkotal, Esmatur A og Esmatur B. Þessar tegundir eru sérstaklega framleiddar með tilliti til almenns tæringarþols og þá einkum þols gegn valtæringu.

Af bronsi eru einnig til margir flokkar. Nefna má sem dæmi manganbrons, kísilbrons, tinbrons, álbrons og eir/nikkel. Í hverjum flokki eru margir undirflokkar. Þessi efni eru yfirleitt sterkari, tæringarþolnari og dýrari en látún.

Lóðmálmur fyrir eir og ryðfrítt stál eru oftast úr eirmelmum. Margar gerðir þeirra þola mjög illa súlfíð í vatni, sbr. 9.5.6.

### 9.2.8. Ál og álmelmi

Ál hefur í mörgum tilfellum betra tæringarþol en stál vegna mjög sterkar oxíðhúðar sem á því myndast ( $Al_2O_3$ ). Húðin ver álið mjög vel gegn áhrifum margra tærandi þátta. Hægt er að auka þykkt hennar á álhlutum með svonefndri anóðiseringu, sem fram fer í rafbaði.

Súrefni í vatni hefur ekki áhrif á tæringu áls. Sá galli er hins vegar á notkun þess í hitaveitum, að áloxíðhúðin leysist upp við pH-gildi vatns um og yfir 8,5. Því er hitaveituvatn hérlendis, sem hefur pH gildi frá 8,8 til 9,6 á mörkum hins viðráðanlega fyrir álhloti.

Hreint ál er mjög veikur málmur með togþol um 70-100 N/mm<sup>2</sup>. Því oft eru notuð ýmis íblöndunarefni til þess að styrkja það. Þau helstu eru mangan, magnesíum og kísill. Álmagnesíum melmi með um 3% magnesíum eru kölluð seltufrítt ál. Tæringarþol þessara efna er svipað og hreináls. Eir er einnig algengt íblöndunarefni í ál, þar sem ná á fram miklum styrk, t.d. í flutningatækjum. Tæringarþol og suðuhæfni áleirmelma er hins vegar lítil.

### 9.2.9. Títan

Títan (Ti) er sá málmur sem hefur hvað hæstan styrk miðað við þyngd. Títan hefur einnig mjög gott tæringarþol vegna myndunar sterkar oxíðhúðar á yfirborði málsins. Það er að þessu leyti svipað ryðfríu stáli utan þess að selta hefur engin áhrif á oxíðhúðina. Títan er því algengur málmur t.d. í varmaskiptaplötum í jarðvarmavirkjunum, þar sem venjulegt ryðfrítt stál hefur ekki þolað aðstæður. Er það svipað í kostnaði og dýrustu gerðir af ryðfríu stáli, t.d. 254 SMO.

### 9.2.10. Plastefni

Notkun hitapolinna plaströra fer stöðugt vaxandi í hitaveitum. Er þar einkum um þrjár gerðir að ræða:

- ?? Krossbundin polyetylen rör (PEX,XPE).
- ?? Plypropylen rör (PP).
- ?? Polybutylen rör (PB)

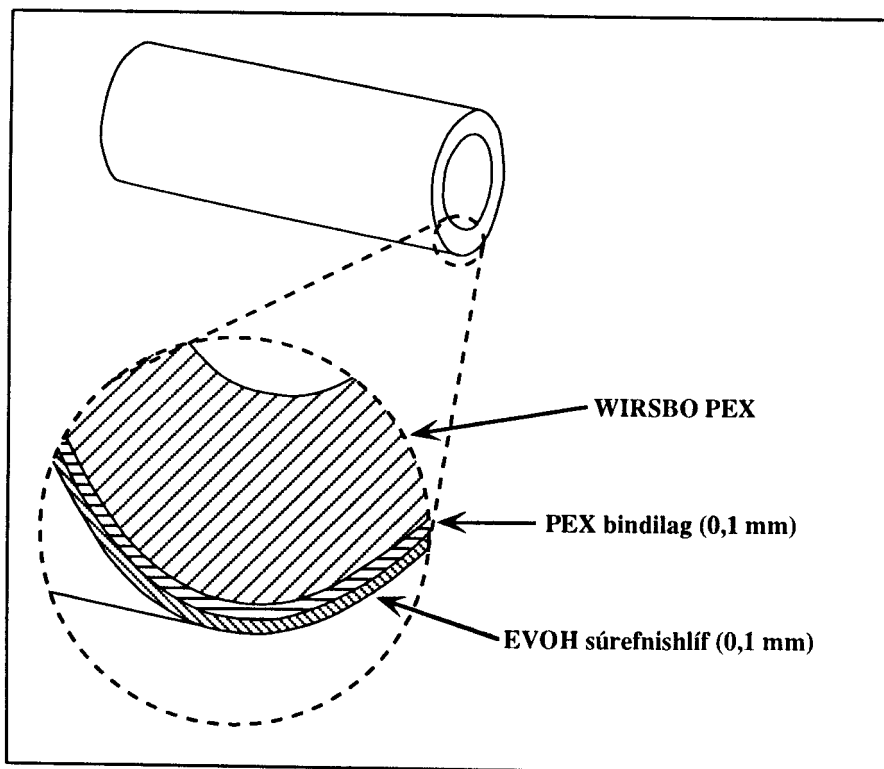
Fjallað hefur verið um styrkeiginleika plaströra í kafla 7.3.

Plaströr eru þeim eiginleikum gædd að þau eru ekki þétt. Lofttegundir svo sem, súrefni andrúmsloftsins fara inn um veggri röranna og í heita vatnið og á móti streymir vatnsgufa út. Súrefnisupptaka vatns í plaströrum hefur víða verið mæld í hitaveitum hér á landi.

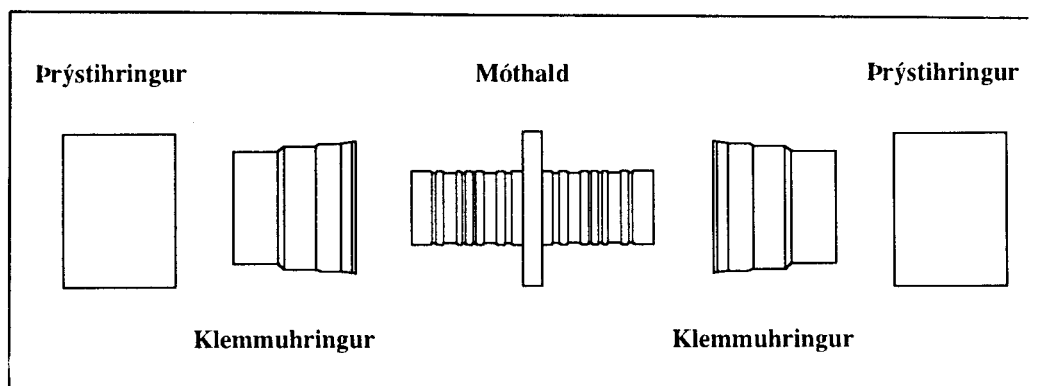
Hin síðari ár hefur orðið ör þróun í gerð foreinangraðra plaströra til hitaveitulagna, einkum þó PEX og PB-rör í heimaæðar. Þróaðar hafa verið nýjar gerðir súrefnishlífa til þess að þetta rörveggina (mynd 9.2.1). Benda nýjustu erlendar mælingar til þess, að súrefnisupptaka í rörum með bestu gerðir súrefnishlífa sé allt að 1000 sinnum minni en í óvörðu röri. Á þá súrefnið sem kemst í vatnið að vera svo lítið að hætta á tæringu í ofnakerfum sé óveruleg. Engin reynsla er komin á þennan frágang hér á landi, svo vitað sé.

Einnig hafa verið þróaðar nýjar samsetningar fyrir plaströr, svonefndar þrýstisamsetningar (mynd 9.2.2), en þær þykja mun betri en hefðbundnar skrúfaðar samsetningar.

Taka ber fram að notkun plaströra í innanhúslagnir er bönnuð í reglugerðum margra hitaveitna.



Mynd 9.2.1 Þversnið af Wirsbo PEX röri með súrefnishlíf



Mynd 9.2.2 Prýstisamsetning á plaströri

### 9.2.11. Asbest

Asbest rör eru framleidd úr sementi og um 11-19% af asbesttrefjum. Asbest er náttúrulegar magnesíumsilikat trefjar, sem hafa gífurlegt þol gegn flestum tærandi efnum. Ryk þeirra er talið krabbameinsvaldandi, og því er notkun asbests nú bönnuð víða um lönd þar á meðal hér á Íslandi sbr. *Reglugerð um bann við innflutningi og notkun asbests frá 1983*. Við vinnu með asbest þarf því að gæta fyllstu varúðar til þess að ekki myndist asbestryk í andrúmsloftinu.

Asbeströr hafa töluvert verið notuð hjá hitaveitum hér á landi í aðveituæðar. Einnig er asbest notað í kaldavatnslagnir. Hitaveituvatnið leysir upp sementið innan úr rörinum. Gerist þetta mest þegar rörin eru ný. Upplýsingin hefur minnkað og nær stöðvast með tímanum nema í einni veitu svo vitað sé.

### 9.2.12. Gúmmí

Ýmsar gúmmítegundir eru notaðar í búnað fyrir heitt vatn, t.d. mæla, loka, hemla, blöndunartæki og pakkningar. Algengastar þeirra er EPDM en af því eru til ýmis afbrigði. Hitapól gúmmítegunda er takmarkað og harðna þær því fyrr þeim mun hærra sem hitastig vatnsins er. Samfara hörðuninni fer oftast sprungumyndun og rúmmálsbreyting. Einnig geta brennisteinssambönd (t.d. súlfíð) í vatninu aukið hraða skemmdanna.

Athuga ber sérstaklega, að blöndunartæki og ýmiss mælibúnaður eru oft notuð við mun lægra hitastig erlendis en hér á landi og því ekki hönnuð fyrir hitastig íslenskra hitaveitna.

## 9.3. Málmtæring – grundvallaratriði

### 9.3.1. Inngangur

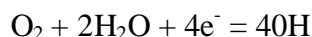
Flestir málmar, sem notaðir eru í hitaveitum, eru unnir úr efnasamböndum, sem finnast í náttúrunni. Þessi efnasambönd geta til dæmis verið sambönd máls og súrefnis (oxíð, hydroxíð), brennisteins (súlfíð, súlföt) eða annarra efna.

Eftir framleiðslu úr efnasamböndum hafa þessir málmar tilhneigingu til þess að mynda efnasambönd að nýju, þ.e. þeir hafa tilhneigingu til þess að tærast. Málmtæring er því eðlileg afleiðing hins náttúrulega eðlis máls til þess að mynda efnasambönd.

### 9.3.2. Elektrókemísk málmtæring

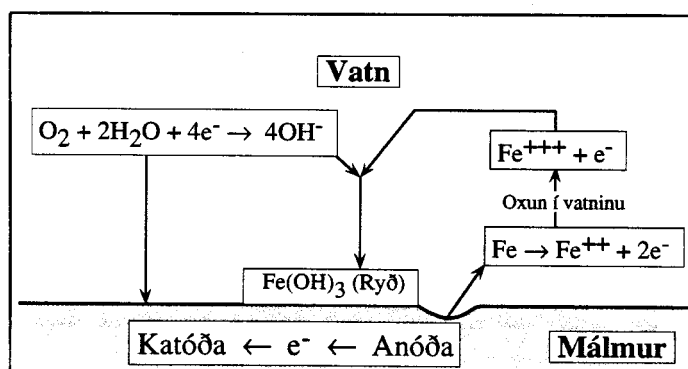
Öll tæring, sem fram kemur í hitaveitum, er í eðli sínu elektrókemísk. Til þess að tæringin myndist, þarf vökva á málmyfirborðinu. Þessi vökvi þarf ekki að vera sýnilegur, heldur getur rakafilma sem myndast í andrúmslofti dugað.

Tvær gerðir rafskauta myndast á röku málmyfirborðinu, anóða og katóða. Málmurinn leysist upp á anóðusvæðinu og myndar málmjónir í vökvanum en jafnframt verður eftir rafhleðsla í grunnefninu. Grunnefnið þarf síðan að losna við rafhleðsluna til þess að upplausnin (tæringin) geti haldið áfram. Það gerist með efnabreytingum við katóðuna. Helsta efnahvarf, sem þar getur komið fram er eyðing súrefnis:



Uppleyst súrefni + vatn + rafhleðsla = hydroxíð.

Mynd 9.3.1 skýrir þetta fyrir stál. Járnjónirnar sem myndast við anóðuna og hydroxíðjónirnar, sem myndast við katóðuna ganga í efnasamband og falla út sem ryð. Ryðið sest yfirleitt mun nær katóðunni en anóðunni



Mynd 9.3.1 Elektrókemísk málmtæring á stáli

Þar sem tæringin felur í sér flutning á rafhleðslu, skiptir rafleiðni í vökvanum við málmyfirborðið milli anóðu og katóðu miklu máli um tæringarhraðann. Því betri leiðni þeim mun hraðari tæring.

Með því að skoða mynd 9.3.1 má ljóslega sjá helstu grundvallaratriði tæringarvarna:

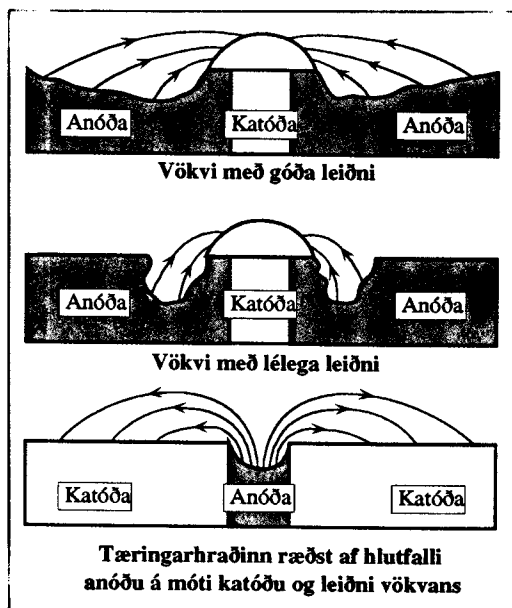
- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| ?? Að losna við rakann af málmyfirborðinu.   | Dæmi: Málun.                   |
| ?? Að losna við katóðuefnabreytinguna        | Dæmi: Súrefniseyðing úr vatni. |
| ?? Að skipta um málm í snertingu við rakann. | Dæmi: Málmhúðun.               |
| ?? Að eyðileggja anóðurnar og/eða katóðurnar | Dæmi: Tæringarvarnarefni.      |

### 9.3.3. Galvanísk tæring

Hver málmur hefur ákveðna rafspennu í vökva. Þessi rafspenna er mismunandi hjá málmunum. Tafla 9.3.1 sýnir spennuröð helstu málma.

Þegar tveir málmar eru tengdir saman í leiðandi vökva eykur spennumismunur milli þeirra tæringu þess málms, sem ofar er í töflu 9.1 en dregur úr tæringu hins næst tengistaðnum. Með þessu móti getur komið fram hröð staðbundin tæring einkum ef málmarnir liggja langt hvor frá öðrum í spennuröðinni (mynd 9.3.2).

Um galvaníska tæringu gilda sömu lögmál og um aðra elektrókemíska tæringu, þ.e. að aukin leiðni vökvans eykur tæringarhraðann og að einhverja efnabreytingu þarf við katóðuna til þess að losa málminn við rafhleðslu, t.d. eyðingu súrefnis. Galvanísk tæring er því algengust í söltu vatni, þar sem súrefni er til staðar.



Mynd 9.3.2 Galvanísk tæring

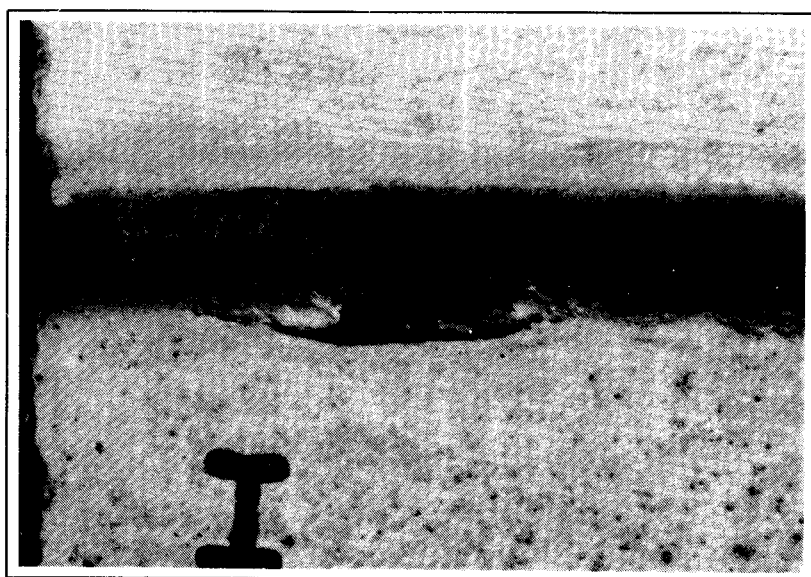
Spennuröð málma í sjó	Anóðiskir fórnarmálmar
Magnesíum (Mg)	↑ ↓
Zínk (Zn)	
Ál (Al) 99,5% Al	
Álmelmi 2024	
Zínkhúðað stál (galvanhúðað)	
Stál (Fe)	
Járnsteypa (pottur)	
Ryðfritt stál 18/8 (aktíft)	
Ryðfritt stál 18/8/3 (aktíft)	
Blý-tín lóð	
Blý (Pb)	
Tín (Sn)	
Látúnsblöndur (Cu-Zn)	
Eldhúð á stáli	
Eir (Cu)	
Brons (Cu-Sn)	
Eir-Nikkel blöndur	
Silfurlóð	
Ryðfritt stál 18/8 (passíft)	
Ryðfritt stál 18/8/3 (passíft)	
Silfur (Ag)	
Títan (Ti)	
Grafít (C)	
Gull (Au)	
Platína (Pt)	
Aktíft ryðfritt stál er án oxíðhúðar	↓ ↑
Passíft ryðfritt stál er með oxíðhúð	
	Katóðiskir eðalmálmar

Tafla 9.3.1 Spennuröð málma í sjó

### 9.3.4. Jöfn tæring – pyttatæring

Þegar anóður og katóður myndast á málmni og tæring hefst, er um tvo möguleika að ræða um framhaldið. Annar er sá að anóðurnar og katóðurnar skipti stöðugt um staði eftir því sem tæringarmyndanirnar hlaðast upp og/eða óhreinindi koma fram í málmyfirborðinu. Myndast þá tiltölulega jöfn tæring, sem veldur ekki verulegum vandamálum.

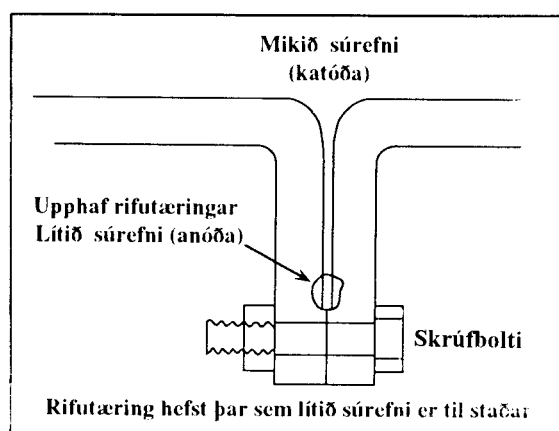
Hinn möguleikinn er, að anóðurnar setjist fastar á ákveðna staði, þannig að málmurinn eyðist þar stöðugt og djúpar holur myndist. Nefnist það pyttatæring og holurnar kallast tæringarpyttir (mynd 9.3.3). Algengasta orsök pyttatæringarinnar er að ófullkomin varnarhúð hefur myndast á málminum, þannig að aðeins eru einstakir blettir opnir fyrir anóðumyndun. Þessi varnarhúð getur til dæmis verið oxíðhúð, sem myndast þegar málmurinn byrjar að tærast í vatninu



Mynd 9.3.3 Pyttatæring í stálrofni. Dökka rákin er botninn á vatnsganginum.

### 9.3.5. Rifutæring

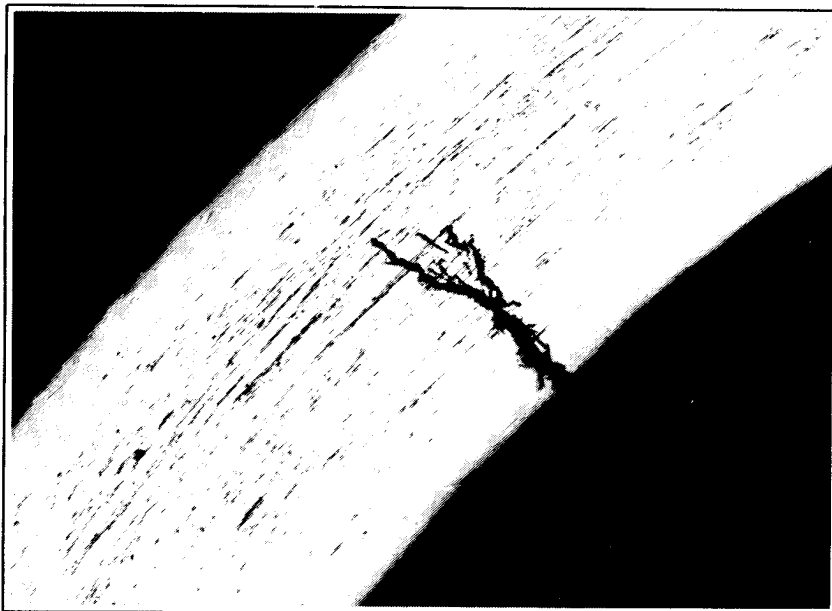
Í þröngum vökvafylltum rifum er tilhneiging til þess að staðbundin tæring myndist ef súrefni er í vatninu. Þetta er kallað rifutæring (mynd 9.3.4). Málmurinn leysist upp inni í rifunni þar sem súrefnið eyðist fljótt úr vökvunum en katóðan verður utan við rifuna. Svipuð tæring getur myndast undir óhreinindum, málningarhúð og pakkningum.



Mynd 9.3.4 Rifutæring

### 9.3.6. Álagstæring

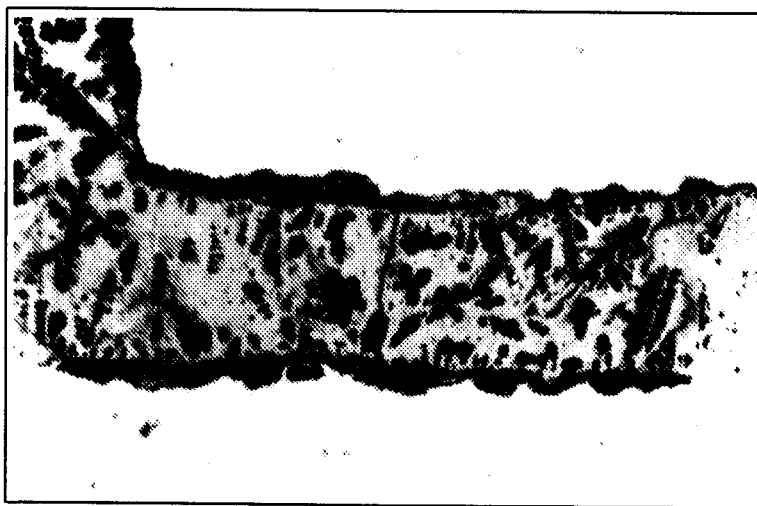
Álagstæring (stress corrosion cracking) hefur einnig verið nefnd spennnutæring. Hún myndast af samverkandi þáttum álagsspennu í málminum og málmtæringar. Í stað þess að pyttir myndist, koma fram sprungur í málminum (mynd 9.3.5). Þessi tæring er mjög algeng í ryðfríu stáli í heitu og söltu vatni, en getur einnig myndast í fleiri málum.



Mynd 9.3.5 Álagstæring í ryðfrírri varmaskiptaplötu. Þverskurður af sprungu.

### 9.3.7. Valtæring

Í ýmsum málmblöndum, sem byggðar eru upp úr fleiri en einni gerð af kornum, getur einn málmurinn í blöndunni tærst burtu og aðeins stendur eftir frauðkenndur massi (mynd 9.3.6). Þannig velur tæringin einn þátt efnisins til eyðingar. Algengustu efni, sem tærast valtæringu eru járnsteypa og ýmis eirzínk melmi. Heldur hluturinn oft lögun sinni þrátt fyrir tæringuna, en styrkurinn verður lítill sem enginn á tærða hlutanum.



Mynd 9.3.6 Valtæring á lóðmálmi. Á dökkusvæðunum er málmurinn að tærast. Ljósú svæðin eru ótærður málmur.



### 9.3.8. Preytutæring

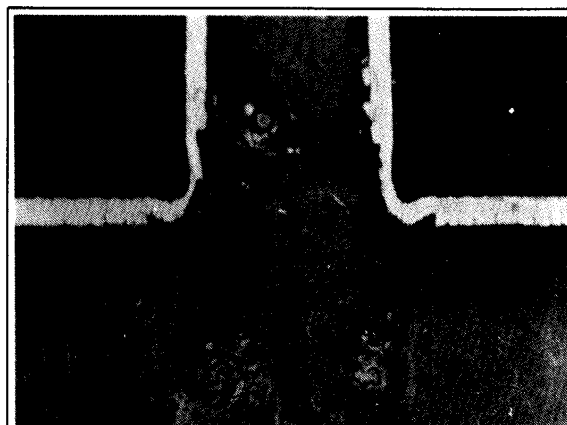
Preytutæring (corrosion fatigue) stafar af samverkandi áhrifum tæringar og málmþreytu. Getur tæringin bæði valdið myndun þreytusprungna t.d. út frá tæringarpyttum og flýtt fyrir framgangi sprungnanna eftir að þær hafa myndast.

### 9.3.9. Kornmarkatæring

Í sumum stáltegundum verður samruni króms og kolefnis í kornamörkum efnisins, ef það er hitað t.d. við rafsuðu. Getur krómið þá ekki lengur sinnt hlutverki sínu til tæringarvarnar. Við tærandi aðstæður leitar tæringin þá með miklum hraða eftir kornamörkum efnisins og kornin losna burtu. Af þessari ástæðu eru ryðfríar stáltegundir með mjög lágu kolefnisinnihaldi oftast valdar í rafsoðna hluti við tærandi aðstæður.

### 9.3.10. Ólgutæring

Ólgutæring stafar af því, að straumhvirlar í vatni, t.d. í beygjum á rörum, rífa með sér þá tæringarvarnarhúð, sem málmurinn hefur myndað. Ólgutæring lýsir sér yfirleitt sem skeifulaga pyttir með skarpar brúnir og eru þeir undirgrafnir í straumstefnuna. Þetta tæringar-afbrigði sést mest í eirrörum, þar sem rennslis-hraði er mikill og hvirflar rífa stöðugt burtu þá oxíð- eða súlfíðhúð, sem eirinn myndar sér til varnar (mynd 9.3.7).



Mynd 9.3.7 Ólgutæring í eirröri

### 9.3.11. Slittæring

Sandur og önnur óhreinindi geta rifið burtu tæringarvarnarhimnur svipað og straumhvirlar þeir sem rætt var um í ólgutæringunni hér að ofan.

Afbrigði af slittæringu er svonefnd „kavitation“. Hún kemur stundum fyrir í kælikerfum véla og í dælum. Stafar hún af stöðugum þrýstingsbreytingum við málmyfirborðið, t.d. vegna titrings. Við lágan þrýsting myndast loftbólur við yfirborðið. Þegar þrýstingurinn hækkar þrýstast bóllurnar saman og springa. Rífa þær þá burtu tæringarvarnarhúðina á málmyfirborðinu og jafnvel agnir úr málminum. Tæringin ræðst síðan á óvörðu svæðin jafnóðum og þau myndast, og djúpir pyttir koma í málminn.

**9.3.12. Útleiðsla**

Lekastraumur (Stray-current) veldur stundum tæringu, sérstaklega þar sem hann fer aðra leið til jarðar en honum er ætlað. Lekastraumur, sem veldur tæringu, getur orðið til í dælum eða öðrum rafmagnstækjum. Dæmi er um að ójarðtengd vatnsdæla hafi valdið miklu tjóni vegna tæringar. Við tæringu vegna útleiðslu myndast tæringarskemmdin þar sem straumurinn fer út úr málminum til jarðar, eða þar sem hann fer á milli málmhluta, sem einangraðir eru hvor frá öðrum á leið til jarðtengingar. Nær útilokað er að útbreiðsla valdi tæringu innan í vatnskerfum í húsum.

## 9.4. Málmtæring í hitaveituvatni

### 9.4.1. Hitaveituvatn á Íslandi

Hitaveitum hér á landi má skipta í fjóra megin flokka, eftir uppruna þess vatns sem notað er, þ.e.

- ?? Hitaveitur sem dreifa jarðhitavatni af lághitasvæðum
- ?? Hitaveitur sem dreifa upphituðu og afloftuðu köldu vatni í opnu kerfi, þ.e. vatnið sem notað er beint.
- ?? Hitaveitur sem nota upphitað og afloftað kalt vatn í lokaðri hringrás.
- ?? Hitaveitur sem dreifa gufu.

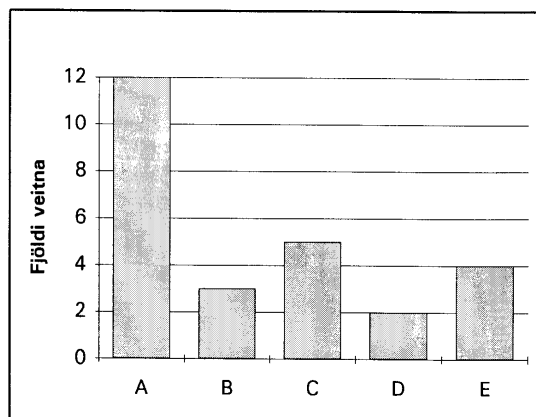
#### 9.4.1.1. Hitaveitur sem dreifa jarðhitavatni af lághitasvæðum

Það sem hér um ræðir er hin dæmigerða hitaveita á Íslandi. Jarðhitavatni úr hverum, laugum og borholum er dælt til neytenda og vatnið notað beint til upphitunar og sem heitt neysluvatn. Málmtæring í þessu vatni ræðst í höfuðdráttum af því hvort uppleyst súrefni eða brennisteinsvetni ( $H_2S$ ) er til staðar í vatninu þegar því er dreift til notenda. Þessi tvö efni geta ekki verið saman í vatni nema örskamma stund þar sem þau ganga í efnasamband og eyða hvort öðru, þangað til aðeins annað er eftir. Uppleyst súrefni er höfuðorsök tæringar í íslensku jarðhitavatni. Þess vegna má skipta þessum flokki frekar upp eftir því hvort uppleyst súrefni er til staðar í vatninu eða brennisteinsvetni.

Af 31 hitaveitu í SÍH eru 24 sem dreifa jarðhitavatni af lághitasvæðum. Í töflu 9.4.1a er gefin upp efnasamsetning jarðhitavatns hjá þessum veitum. Í þremur tilfellum eru gefin upp fleiri en ein efnagreining þar sem munur getur verið á efnainnihaldi eftir jarðhitasvæðum sem veiturnar nota. Á mynd 9.4.1 hefur efnagreiningunum verið skipt upp í flokka eftir því hvort brennisteinsvetni ( $H_2S$ ) eða súrefni er til staðar.

Mynd 9.4.1 Hitaveitur í SÍH sem dreifa jarðhitavatni af lághitasvæðum skipt eftir brennisteinsvetni og uppleystu súrefni.

- A.** Veitur með brennisteinsvetni og ekkert uppleyst súrefni.
- B.** Veitur með brennisteinsvetni meira en 0,2 ppm og jafnframt uppleyst súrefni.
- C.** Veitur með lítið brennisteinsvetni, en uppleyst súrefni.
- D.** Veitur með ekkert brennisteinsvetni en uppleyst súrefni
- E.** Veitur sem hvorki eru með brennisteinsvetni né uppleyst súrefni.



**Tafla 9.4.1a** Efnainnihald vatns hjá hitaveitum í SIH. Veitur sem dreifa jarðhitavatni af lágheatavæðum Styrkur efna í mg/kg

Hitaveita	Númer sýnis	Hiti °C	pH	pH-mælt við °C	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	CO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	Cl	F	Uppl. O <sub>2</sub>	Uppl. efni	Heimild
Hitav. Akranes og Borg.	79-3025	97,0	9,20	20,0	127,6	71,7	2,5	3,1	0,060	22,8	56,2	0,53	36,0	2,59	0,000	390 SA o.fl. 83	
Hitav. Akureyrar Laugaland	88-0178	76,6	10,10	21,0	85,3	53,0	0,9	3,5	0,002	15,5	43,1	0,02	11,6	0,50	0,020	248 OS-90042	
Hitav. Akureyrar Laugal. Pelam.	88-0179	89,0	9,70	21,0	127,7	56,1	1,6	2,3	0,000	18,0	32,0	0,19	13,2	0,88	0,020	2290 OS-90042	
Hitav. Blönduóss	87-0150	74,5	9,70	20,0	108,3	67,1	1,9	3,2	0,017	29,1	59,6	1,40	9,6	5,45	0,000	291 OS-90042	
Hitav. Dalvíkur	85-0268	64,3	10,30	20,0	88,9	46,5	0,7	2,0	0,001	14,2	13,4	0,00	9,5	0,52	0,030	203 OS-90042	
Hitav. Egilsstaða og Fella	88-0153	76,0	9,80	23,0	66,2	68,6	1,2	7,1	0,002	13,4	55,2	0,11	45,0	0,69	0,015	250 OS-90042	
Hitav. Flúða	89-0047	100,0	9,20	26,0	153,2	76,1	2,5	1,0	0,000	40,6	54,4	1,80	23,5	1,35	0,000	334 OS-90042	
Hitav. Hríseyjar	88-0020	79,0	9,60	22,0	69,2	224,0	4,4	56,9	0,000	6,0	47,8	0,00	388,8	0,28	0,005	804 OS-90042	
Hitav. Hvammstanga	88-0199	97,5	9,20	23,0	98,5	146,0	4,3	23,3	0,008	10,7	142,1	0,25	141,2	3,81	0,005	599 OS-90042	
Hitav. Húsvíkur	88-0144	75,5	9,50	14,0	182,5	59,6	2,8	4,0	0,006	19,2	33,3	0,67	12,2	0,94	0,000	327 OS-90042	
Hitav. Laugaráss	87-0239	97,5	9,70	21,0	109,2	79,3	1,9	3,8	0,002	16,8	52,7	0,64	47,2	1,88	0,000	345 OS-90042	
Hitav. Laugarvatns	85-0237	97,5	9,50	22,0	144,9	76,2	3,8	3,1	0,040	27,3	33,7	13,00	35,1	2,94	0,000	345 OS-90042	
Hitav. Mosfellsbæjar	89-5245	93,6	9,80	22,0	96,9	50,3	1,4	1,8	0,003	24,6	19,0	0,90	12,9	0,92	0,000	183 OS-90042	HR gögn
Hitav. Ólafsfjarðar	88-0183	60,3	10,10	20,0	71,7	35,1	0,5	2,4	0,007	13,4	5,4	0,02	7,9	0,15	0,200	169 OS-90042	
Hitav. Ólafsfjarðar Norðurl.hóla	88-0182	54,0	10,10	19,0	64,9	32,4	0,4	2,2	0,002	13,5	4,5	0,02	7,4	0,12	0,500	404 SA o.fl. 83	
Hitav. Rangæinga		61,0	9,63	20,0	79,7	93,7	1,8	4,6	0,026	20,6	90,0	0,04	57,5	0,89		303 SA o.fl. 83	
Hitav. Reykhóla		100,0	9,37	11,0	100,5	58,6	2,1	2,8	0,060	35,9	33,0	0,39	32,5	0,56	0,000	331 OS-90042	
Hitav. Reykjavíkur Laug	82-0070	130,0	9,30	23,0	146,2	62,2	2,9	3,1	0,007	19,6	28,6	0,22	46,3	1,13	0,000		HR gögn
Hitav. Reykjavíkur Mosf	89-5245	93,6	9,80	22,0	96,9	50,3	1,4	1,8	0,003	24,6	19,0	0,90	12,9	0,92	0,000	161 HR gögn	
Hitav. Reykjavíkur Elliðaár	90-5004	91,5	9,60	22,0	88,1	48,1	1,2	2,3	0,040	22,0	15,2	0,00	22,8	0,36	0,000	229 OS-90042	
Hitav. Sauðárkróks	87-0153	70,6	10,00	18,0	70,6	55,8	0,9	3,2	0,002	16,1	41,7	0,39	20,7	1,49	0,025	551 OS-90042	
Hitav. Selfoss	89-0006	78,0	8,70	22,0	62,7	154,0	4,6	28,5	0,060	20,1	52,5	0,00	232,5	0,23	0,000	3484 OS-90042	
Hitav. Seltjarnarness	88-0004	117,0	8,40	22,0	122,9	597,0	14,0	522,9	0,380	9,8	304,4	0,10	1616,8	0,67	0,000	204 OS-90042	
Hitav. Siglufjarðar	96-0015	74,3	10,00	22,0	93,2	43,0	0,9	1,5	0,013	18,5	9,3	0,00	8,4	0,38	0,080	805 OS-90042	
Hitav. Suðureyjar	87-0087		9,20	23,0	50,0	187,0	1,9	77,2	6,370	10,1	106,4	0,00	336,8	0,32	0,120	204 OS-90042	
Hitav. Svalbarðeyrar	88-0177	55,2	10,10	17,0	70,2	45,2	0,5	3,1	0,004	16,0	17,4	0,09	15,2	0,55	0,025	338 OS-90042	
Hitav. Varmahlíðar	86-0161	88,2	9,50	18,0	123,5	77,3	2,0	1,7	0,004	34,9	44,0	1,50	30,6	2,16	0,000		
Hitav. Þorlákshafnar	85-0006	116,0	8,70	22,0	132,6	385,0	19,2	74,4	0,015	7,7	121,2	0,29	633,8	0,50		1470 OS-90042	

**Tafla 9.4.1b** Efnainnihald vatns hjá hitaveitum í SÍH. Veitur sem dreifa upphituðu köldu vatni í opnum kerfum Styrkur efna í mg/kg

Hitaveita	Númer sýnis	Hiti °C	pH	pH-mælt við °C	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	CO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	Cl	F	Uppl. O <sub>2</sub>	Uppl. efni	Heimild
Hitav. Hveragerðis	82-0185	85	7,60	20,0	118,5	72,7	6,0	6,9	1,920	62,4	46,8	4,00	60,2	0,75	0,100	356,0	OS-90042
Hitav. Hveragerðis	80-0010	84	8,62	23,0	162,0	83,5	6,9	6,3	1,520	57,8	49,9	7,80	62,7	0,92		435,0	HK 1983
Hitav. Reykjahlíðar	87-0217	96	8,80	18,0	25,9	8,6	1,2	9,0	4,880	44,8	5,6	1,00	3,3	0,12	0,020	86,0	OS-90042
Hitav. Reykjavíkur Nes	91-5136	82	8,59	22,6	21,8	9,8	0,8	8,7	5,180	31,4	8,3	0,44	8,5	0,08	0,000		HR-gögn
Hitav. Suðurnesja	87-0241	100	9,10	21,0	12,5	30,4	1,7	7,1	6,320	9,6	9,7	0,00	63,6	0,06	0,000	153,0	OS-90042

**Tafla 9.4.1c** Efnainnihald vatns hjá hitaveitum í SÍH. Veitur sem dreifa upphituðu köldu vatni í lokuðum hringráskerfum Styrkur efna í mg/kg

Hitaveita	Númer sýnis	Hiti °C	pH	pH-mælt við °C	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	CO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	Cl	F	Uppl. O <sub>2</sub>	Uppl. efni	Heimild	
Fjarhitun Vestmannaeyja	1984	90	12,30	20,0	7,8	6,9	1,2	4,0	0,001	9,7			6,7		0,000		BV-gögn	
Hitav. Hafnarhrepps		100	9,09	22,0	12,5	30,0	1,7	7,1	0,006	9,6	9,7	0,03	64,0	0,06	0,000	154,0	AB 1989?	
Hitav. Hafnarhrepps	1993					2,1					0,1		1,6			19,0	33,0	
Hitav. Seyðisfjarðar		110	9,40										4,3					ÁE 1983
Hitav. Seyðisfjarðar	1993					4,8					0,3		4,5			23,4	42,0	
Orkubú Vestfjarða		90	8,00						0,000				11,0					ÁE 1983

**Skýringar við töflu:**

SiO<sub>2</sub> = kísill  
Na = natríum  
K = kalíum

Ca = kalsíum  
Mg = magnesíum  
Cl = klóríð

CO<sub>2</sub> = heildarkarbónat reiknað sem koldíoxíð  
H<sub>2</sub>S = brennisteinsvetni  
SO<sub>4</sub> = sulfat

Uppl. O<sub>2</sub> = uppleyst súrefni  
Uppl. efni = heildar uppleyst efni.

Af þeim 28 jarðhitasvæðum sem tilheyra þessum 24 veitum eru 12 þar sem brennisteinsvetni er til staðar og ekkert uppleyst súrefni. Þrjár veitur eru skráðar með þó nokkuð brennisteinsvetni (um 0,2 mg/l eða meira) og jafnframt uppleyst súrefni á bilinu 5-25 ppb (ppm = 1000 ppb = mg/l). Það brennisteinsvetni sem er til staðar í þessum sýnum duga vel til að eyða því uppleysta súrefni sem upp er gefið og gerist það á tiltölulega stuttum tíma. Ástæður fyrir því uppleysta súrefni sem hér er skráð geta verið nokkrar. Um lágan styrk uppleysts súrefnis er að ræða og getur það stafað af ónákvæmni í mælingum. Auk þess getur verið að kalt vatn blandist jarðhitavatninu í uppstreyminu eða borholunni

Á fimm jarðhitasvæðum er brennisteinsvetni í lágum styrk og jafnframt eitthvað uppleyst súrefni til staðar.

Á fjórum jarðhitasvæðum inniheldur vatnið ekki brennisteinsvetni en uppleyst súrefni er til staðar og í tveimur tilfellum er hvorki brennisteinsvetni né uppleyst súrefni.

#### **9.4.1.2. Hitaveitur sem nota upphitað kalt vatn í opnum kerfum**

Í þennan flokk falla fjórar veitur, þ.e. Hitaveita Hveragerðis, Hitaveita Reykjahlíðar, Hitaveita Reykjavíkur (Nesjavellir) og Hitaveita Suðurnesja (tafla 9.4.1b).

Kalt vatn er að jafnaði efnasnaðara en jarðhitavatn. Þó getur styrkur einstakra efna verið meiri í köldu vatni en í jarðhitavatni t.d. styrkur magnesíum. Skýring þess er sú að þegar kalt vatn hitnar upp neðanjarðar leitar vatn og berg í efnajafnvægi, sem háð eru hitastigi. Til þess að jafnvægi haldist milli vatns og bergs, þá skolast í sumum tilfellum út efni úr berginu og styrkur þeirra efna eykst í vatninu. Í öðrum tilfellum falla efni út úr vatninu. Kalt vatn er mettað af uppleystu súrefni og án brennisteinsvetnis og verður því mjög tærandi þegar það er hitað upp.

Hitaveita Reykjahlíðar, Hitaveita Reykjavíkur og Hitaveita Suðurnesja nota að mestu óbeina upphitun á köldu vatni með jarðgufu í varmaskiptum. Vatnið er síðan afloftað þannig að það fer án uppleysts súrefnis til neytenda. Á Nesjavöllum og hjá Hitaveitu Reykjahlíðar er jafnframt bætt í vatnið örlítilli gufu til að fá í vatnið dálítið brennisteinsvetni. Það eyðir síðan uppleystu súrefni sem kemst í vatnið t.d. í miðlunargeymum.

Í Hveragerði er um að ræða beina upphitun eins og sést á efnainnihaldi vatnsins. Varmaskiptar eru fyrir hita- og neysluvatnskerfi í hverju húsi.

Í töflu 9.4.1b er gefið upp að bæði brennisteinsvetni og uppleyst súrefni séu til staðar í Hveragerði og Reykjahlíð. Styrkur brennisteinsvetnis er það hár að uppleysta súrefnið ætti að hverfa á mjög stuttum tíma.

#### **9.4.1.3. Hitaveitur sem nota upphitað kalt vatn í lokuðum hringrásarkerfum**

Í þennan flokk falla 4 veitur í SÍH, þ.e. Bæjarveitur Vestmannaeyja, Hitaveita Hafnarhrepps, Hitaveita Seyðisfjarðar og Orkubú Vestfjarða (tafla 9.4.1c). Þar sem um er að ræða lokuð

hringrásarkerfi þá er hægt að meðhöndla vatnið á ýmsan hátt til að komast hjá tæringu og útfellingum. Sem dæmi má nefna að vatnið sem bætt er á kerfin á Seyðisfirði og Höfn er nú afjónað. Hringrásarvatnið er notað beint í hitakerfi húsa, en varmaskiptar eru fyrir heitt neysluvatn. Taflan gefur takmarkaðar upplýsingar, en styrkur uppleystra efna er mjög lágur þar sem um kalt upphitað vatn er að ræða. Tvær greiningar eru sýndar frá Hitaveitu Hafnarhrepps og Hitaveitu Seyðisfjarðar frá mismunandi tíma. Á fyrri greiningunni frá Hitaveitu Hafnarhrepps má sjá að bætt hefur verið í vatnið natríumsúlfíti ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) til að eyða uppleystu súrefni, en því hefur nú verið hætt. Sýrustig (pH) vatnsins sem gefið er upp er í mörgum tilfellum varhugavert þar sem það hefur verið mælt á rannsóknastofu eftir geymslu og getur því hafa breyst. Þessum veitum svipar til hitaveitna í nágrannalöndunum.

#### 9.4.1.4. Hitaveitur sem dreifa gufu

Hluti Hitaveitu Hveragerðis er gufuveita. Gufu og vatni er veitt beint inn á dreifikerfið. Varmaskiptar eru síðan í hverju húsi fyrir hita og neysluvatnskerfi.

#### 9.4.2. Helstu áhrifaþættir tæringar

Jarðhitavatn inniheldur ýmis efni sem geta haft áhrif á tæringu. Þau helstu eru:

- ?? Uppleyst súrefni
- ?? Brennisteinsvetni
- ?? pH gildi vatnsins (styrkur vetnis)
- ?? klóríð
- ?? koldíoxíð
- ?? súlfat

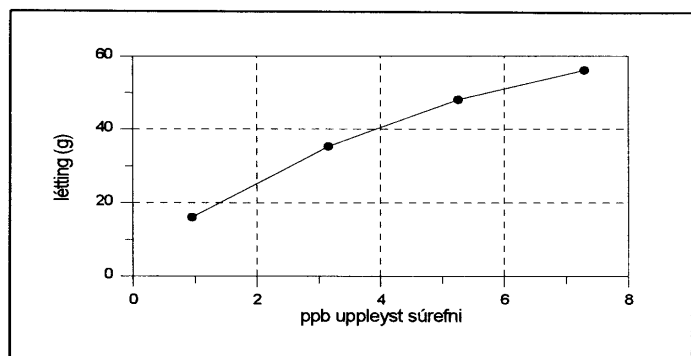
Auk þess eru aðrir þættir sem hafa áhrif á tæringu eins og

- ?? hiti
- ?? vatnshraði
- ?? blöndun á heitu og köldu vatni.

Hér á eftir verður fjallað um þessi atriði.

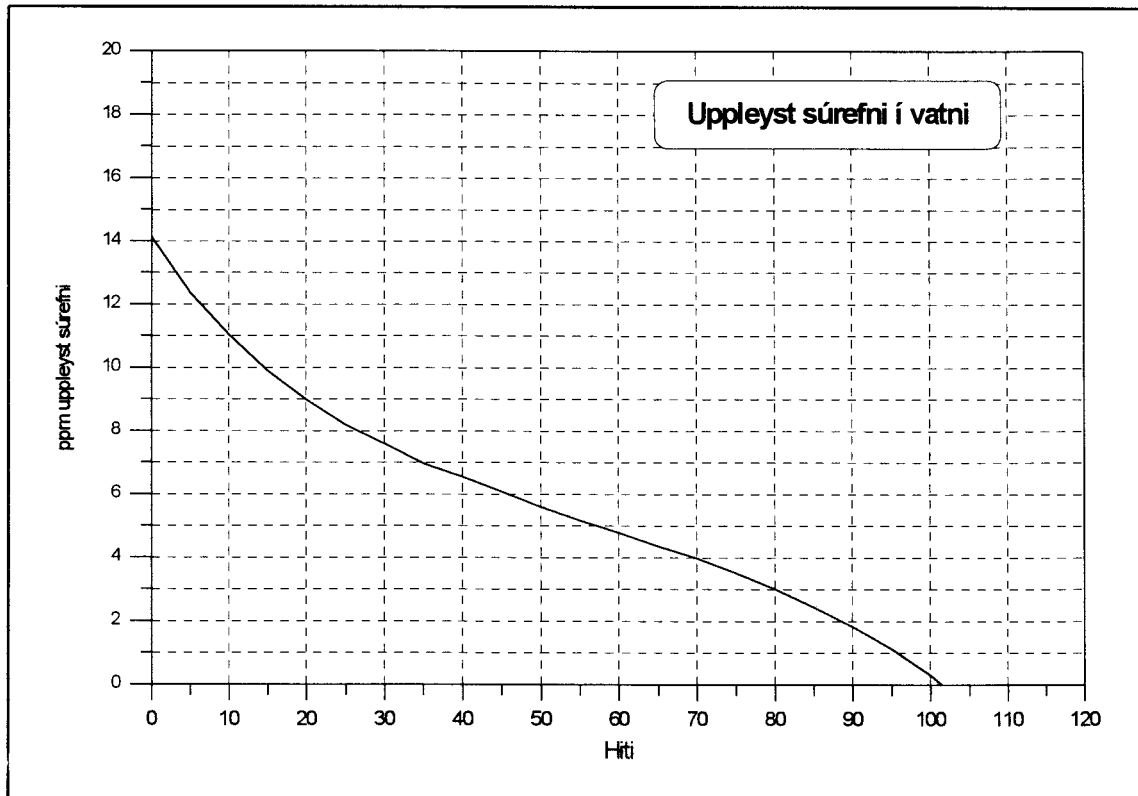
##### 9.4.2.1. Uppleyst súrefni

Tæring á stáli í jarðhitavatni ræðst að mestu af því hvort uppleyst súrefni er til staðar eða ekki. Tæringarhraði er síðan í beinu hlutfalli af styrk uppleysts súrefnis í vatninu (mynd 9.4.2). Uppleysanleiki súrefnis í vatni er háður hitastigi. Kalt vatn er mettað af uppleystu súrefni.



**Mynd 9.4.2 Tæringarhraði í hlutfalli af styrk uppleysts súrefnis**

Við 10°C og 1 atm þrýsting eru 11 ppm (11.000 ppb) af uppleystu súrefni í vatni. Við aukid hitastig lækkar styrkur uppleysts surefnis. Við fyrstu suðu rýkur súrefnið mjög auðveldlega úr vatninu. Því er sjóðandi jarðhitavatn án uppleysts súrefnis. Mynd 9.4.3 sýnir uppleysanleika súrefnis í vatni við mismunandi hita.



**Mynd 9.4.3 Uppleysanleiki súrefnis í vatni**

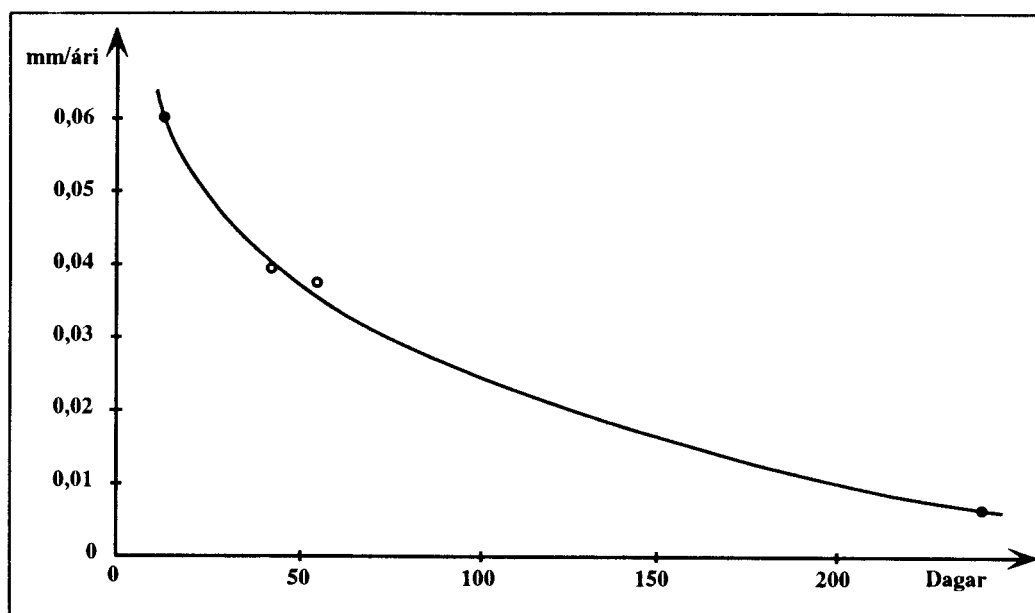
Uppruni uppleysts súrefnis í hitaveituvatni getur verið af ýmsum toga. Það getur verið til staðar í jarðhitageyminum, sérstaklega ef hiti er ekki hár og vatnið er snault af brennisteinsvetni. Uppleyst súrefni getur aukist í jarðhitavatni ef kalt grunnvatn nær að renna inn í borholur eða jarðhitageymi. Algengt er að með aukinni notkun og auknum niðurdrætti á jarðhitasvæðum aukist aðrennsli kalds grunnvatns, sem getur orðið til þess að jarðhitavatn sem var súrefnissnault í upphafi vinnslu, innihaldi súrefni eftir nokkurra ára nýtingu. Ef heitt vatn kemst í snertingu við andrúmsloft dregur það auðveldlega í sig uppleyst súrefni. Upptaka súrefnis í miðlungargeymum er vel þekkt hér á landi. Ef vatn inniheldur brennisteinsvetni dugar það oft til að eyða því súrefni sem kemst í vatnið í miðlungargeymum. Ef vatn er aftur á móti snault af brennisteinsvetni þá þarf að gera ráðstafarnir til að eyða því uppleysta súrefni sem kemst í vatnið í geymunum. Algengast er að bætt sé í vatnið natríum-súlfíti í þessu skyni. Fá þarf leyfi heilbrigðisyfirvalda fyrir allri íblöndun efna í hitaveituvatn. Styrkur uppleysts súrefnis, þó ekki sé nema 10-20 ppb getur haft mikil áhrif á endingartíma þunnveggjaðra stálofna.



### 9.4.2.2. Brennisteinsvetni (súlfíð) í vatni

Í flestum tilfellum er brennisteinsvetni í lágþita jarðhitavatni einungis til góða. Það eyðir uppleystu súrefni sem kann að komast í vatnið í miðlunargeymum og þannig dregur það verulega úr tæringu stáls af völdum súrefnis. Brennisteinsvetnið gengur í samband við járn í röraveggjum og myndast þá hörð húð af brennisteinssúlfíði (FeS) sem er tæringarvörn innan á pípuveggjunum.

Brennisteinsvetni tærir aftur á móti auðveldlega ýmis efnasambönd eirs, nikkels og silfurs. Flestir þekkja það að silfur verður svart ef það er þvegið úr hitaveituvatni sem inniheldur brennisteinsvetni. Þá myndast svört húð af silfursúlfíði. Sama á sér stað um eir og eirmelmi. Þá myndast svört húð af eirsúlfíði. Mynd 9.11 sýnir málmþæringu eirs í hitaveituvatni. Tæringin er mest í upphafi en minnkar síðan með tímanum. Þetta stafar af því, að í byrjun myndast eirsúlfíðhúð innan á rörunum en síðan minnkar tæringin þegar rörin eru þakin svartri húð. Þessi húð er ekki fastbundin málminum og losnar auðveldlega þegar breytingar verða á straumhraða. Þegar húðin losnar tærist málmurinn áfram á þeim stað þar sem efnið sat. Algengt er þar sem neysluvatn hefur verið lagt í eirrör að notendur kvarti undan dökkum lit á vatni eða að þvottur verði ekki almennilega hvítur. Þetta stafar af eirsúlfíði sem losnar helst þegar skúfað er frá vatni og straumhraði eykst. Talið er að 0,03 ppm af brennisteinsvetni sé nóg til að hafa tærandi áhrif á eir og eirmelmi.



Mynd 9.4.4 Málmþæring á eir í hitaveituvatni

### 9.4.2.3. pH-gildi (sýrustig)

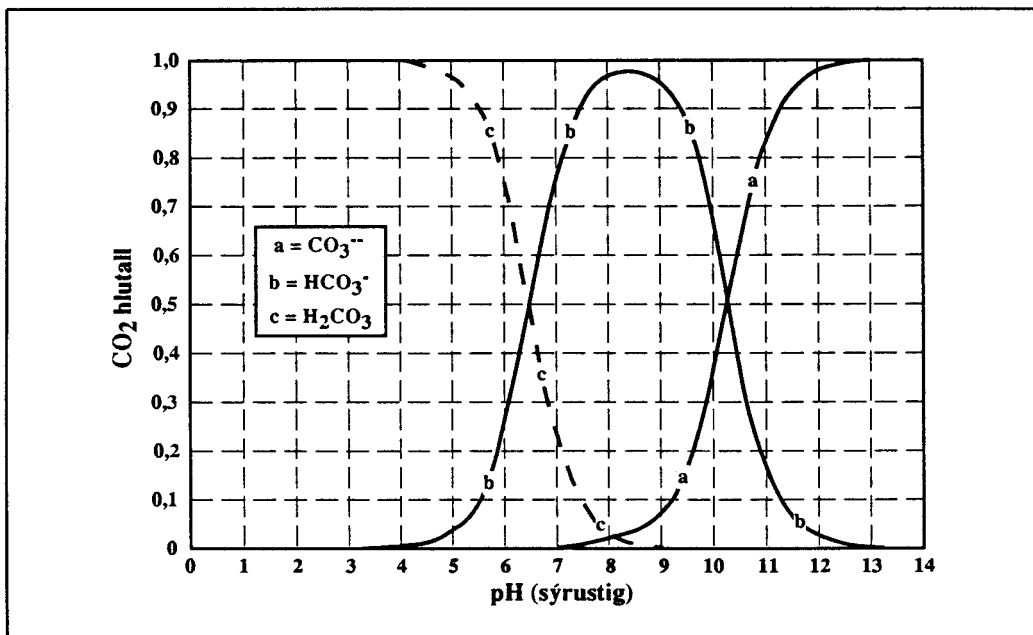
Sýrustig eða pH-gildi er mælieining fyrir styrk vetnis ( $H^+$ ) í vatni. Þegar sýrustig eða pH-gildi vatns er lágt er styrkur vetnis hár. Tæring á smíðastáli minnkar með lækkandi styrk vetnis (auknu pH gildi). Vatn er minnst tærandi ef pH-gildi þess er yfir 9-10. Flest jarðhitavatn er með pH-gildi á þessu sviði. Styrkur vetnis getur haft áhrif sem tæringarvaldur ef pH-gildi vatnsins fer niður undir 8-8,5 einkum ef mikið klóríð (Cl) er í vatninu. Ef vatnið er mjög súrt, eins og þéttvatn á háhitasvæðum getur það orðið mjög tærandi. Við pH-gildi 2-4 eykst tæring á stáli mjög mikið.

#### 9.4.2.4. Klóríð

Hraði efnabreytinga eykst með auknum styrk uppleystra efna, þar með talin tæring. Styrkur klóríðs er oft notaður sem mælikvarði á styrk uppleystra efna. Auk þess hafa klóríðjónir áhrif á tæringarhraða. Reynsla hér á landi varðandi tæringu í hitaveituvatni bendir til að tæring af völdum klóríðs fari að hafa veruleg áhrif þegar styrkur þess fer yfir 100 ppm. Þess vegna þarf sérstaka varkárni við notkun hitaveituvatns með háum styrk klóríðs. Nefna má að Hitaveita Seltjarnarness og Hitaveita Potlákshafnar krefjast notkunar varmaskipta fyrir ofnkerfi. Klóríð getur orsakað aukna tæringu á ryðfríu stáli, sérstaklega ef uppleyst súrefni er til staðar. Klóríð á mjög auðvelt með að ferðast um vökvu. Þannig getur styrkur þess orðið mjög hár í rifum og sprungum þegar tæring á sér stað og gefur þá heildarklóríðstyrkur vökvans ekki rétta mynd af ástandinu.

#### 9.4.2.5. Koldíoxíð, karbonat

Koldíoxíð ( $\text{CO}_2$ ) í vatni er eitt þeirra efna sem hefur áhrif á tæringu smíðastáls. Karbónöt eru aðalefnasambönd sem stjórna pH-gildi vatnsins. Aukinn styrkur heildarkarbónats lækkar pH-gildi vatnsins. Karbonat er á mismunandi formi í upplausn. Hlutur hvers forms stjórnast af pH-gildi (sýrustigi) vatnsins. Mynd 9.4.5 sýnir hvert er form karbónats við mismunandi pH-gildi. Við pH-gildi 9-10, eins og algengt er fyrir íslenskt hitaveituvatn er nánast allt karbonat sem bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ). Karbonat hefur lítil áhrif á tæringu stáls í íslensku hitaveituvatni, enda er styrkur þess yfirleitt lágur á bilinu 15-50 mg/l. Sú hugmynd hefur þó verið sett fram að aukin tæring í súlfíðríku vatni með tiltölulega hátt heildarkarbonat geti stafað af bikarbonati. Dæmi um þetta er jarðhitavatnið á Mógilsá, en þar er heildarkarbonat 132 mg/l, aðallega sem bikarbonat.



Mynd 9.4.5 Hlutfall mismunandi karbónats sem fall af sýrustigi

#### 9.4.2.6. Súlfat

Styrkur súlfats í íslensku hitaveituvatni er tiltölulega lágur (2-200 ppm) og hefur lítil áhrif á tæringarhraða stáls. Súlfat getur þó verið aðaltæringarvaldur í súru (lágt pH-gildi) súlfatríku grunnvatni eins og finnst víða á háhitasvæðum.

#### 9.4.2.7. Hiti

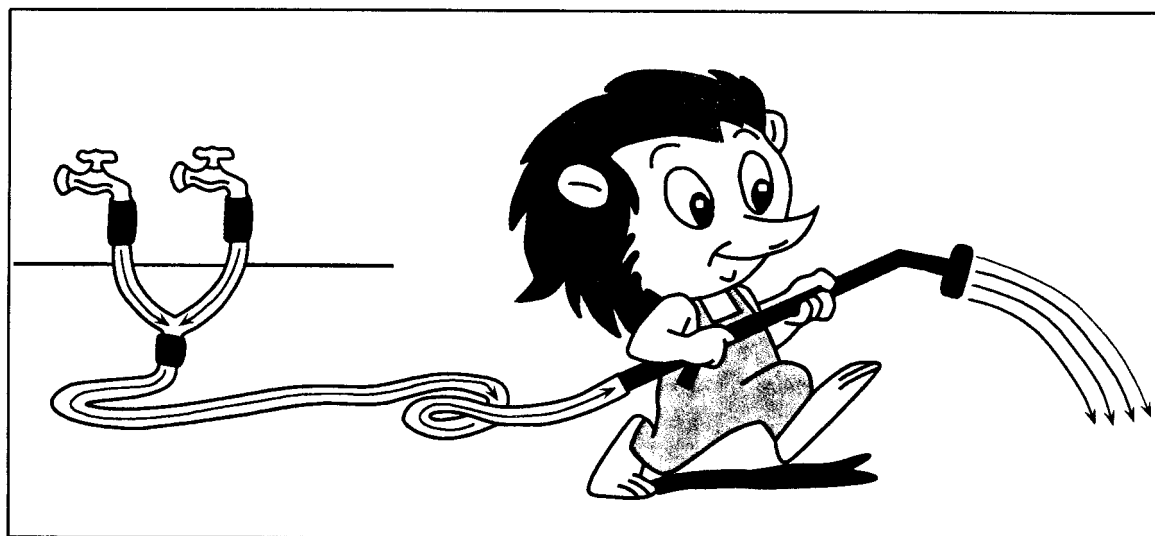
Almennt hefur hiti þau áhrif á efnabreytingar að hraði þeirra eykst. Á sama hátt hefur aukið hitastig í för með sér aukna tæringu. Þetta á við um tæringu af völdum súrefnis, en þó getur minni leysni uppleysts súrefnis í vatni við aukið hitastig haft áhrif í gagnstæða átt (sbr mynd 9.4.3).

#### 9.4.2.8. Rennslishraði

Aukin rennslishraði eykur að jafnaði tæringarhraða smíðastáls. Aftur á móti eykst pyttatæring í öfugu hlutfalli við rennslishraða. Hjá Hitaveitu Akureyrar er dæmi um að pyttatæring í 19 mm pípu hafi minnkað úr 0,12 mm/ári í 0,04 mm/ári með því að tvöfalda rennslishraða úr 35 m/mín í 70 m/mín. Á sama tíma var pyttatæring í ofnum um 0,4 mm/ári.

#### 9.4.2.9. Blöndun á heitu og köldu vatni

Eins og áður er vikið að í kafla 9.4.2.1 hefur blöndun á köldu vatni saman við heitt vatn áhrif á tæringu. Þetta stafar af því að kalt grunnvatn er mettað af uppleystu súrefni og minnsta blöndun á köldu vatni yfir í heitt vatn veldur aukinni tæringu. Ástæða þess að þetta er gert að sérstöku umtalsefni hér er að blöndun kalds vatns við heitt vatn hefur aukist í húskerfum. Alls staðar þar sem heitt og kalt vatn er tengt saman er hætt á millirennslí milli heitu og köldu kerfanna. Það fer einungis eftir því hvort kerfið er með hærri þrýsting í hvora áttina millirennslíð er. Millirennslí af heitu vatni í kalt hefur minni áhrif en ef kalt vatn kemst í heitt. Ef kalt vatn kemst yfir í heitt veldur það ávallt auknu magni uppleysts súrefnis. Á undanförunum árum hafa orðið miklar breytingar á þeim búnaði sem notaður er í húskerfum. Má þar nefna hitastíllt blöndunartæki „einnarhandar blöndunartæki” auk alls kyns búnaðar í slöngum og slöngutengjum. Þessi nýttísku blöndunartæki henta ekki jafnvel við íslenskar aðstæður og annars staðar. Það er vegna sérstöðu okkar að nota hitaveituvatn beint sem neysluvatn, en ekki hita upp kalt vatn. Þegar hitað er upp kalt vatn er nánast sami þrýstingur á heita og kalda vatninu og mörg nýttísku tækin gera einmitt ráð fyrir að þrýstimunur heita og kalda vatnsins sé hverfandi. Þau henta því ekki alltaf við okkar aðstæður og hefur verið sýnt fram á millirennslí milli kalds og heits vatns um svona búnað. Algengt er að menn noti volgt vatn til bílaþvottar og vökvunar. Í þeim tilgangi er algengt að tengt er saman heita og kalda vatnið með slöngum og síðan hafður einn krani á enda slöngunnar (mynd 9.4.6). Þetta er ein öruggasta leiðin til að fá millirennslí og hefur það víða valdið tæringu í lögnum og skaða á ofnakerfum.



Mynd 9.4.6 Olli "ofnabani"

## 9.5. Tæring og efnisval í hitaveitum

### 9.5.1. Inngangur

Hér á eftir verður fjallað um tæringu í helstu hlutum hitaveitna og um efnisval í þá. Ekki er alltaf einfalt að flytja reynslu úr einni hitaveitu yfir á aðrar. Sama má segja um efnisval. Það sem vel reynist í einni veitu getur reynst ómögulegt í öðrum. Tæring utanfrá á hitaveituæðum og geymum hefur töluvert verið í sviðsljósinu á síðustu árum. Því verður einnig fjallað um þann hátt hér. Íslenskur staðall ÍST 67 fjallar einnig m.a. um efnisval í vatnslagnir bæði fyrir heitt og kalt vatn, sbr. kafla 10.

### 9.5.2. Borholur

Hefðbundið efnisval í fóðurrör og borholudælur er stál. Getur þar verið venjulegt smíðastál eða öxulstál. Fóðringar í dælurnar geta hins vegar verið úr Teflon eða jafnvel eirmelmum, ef ekki er súlfíð í vatninu.

Tæring á fóðurrörum veldur einstaka sinnum vandamálum í hitaveitum. Stafar hún þá af aðgangi á köldu jarðvatni að rörunum utanverðum. Þann aðgang verður að hindra sem frekast er kostur. Ef kalda vatnið kemst inn í borholuna getur myndast hröð tæring í borholudælunni og hitaveitunni allri. Einnig geta myndast hraðar útfellingar sbr. kafla 9.6. Nauðsynlegt er að hafa reglubundið eftirlit með vatni úr hverri borholu til þess að fylgjast með þessu.

Á síðasta ári hefur nokkuð verið rætt um hættu á sprungumyndun í fóðurrörum í háhitaholum vegna súlfíðs, og er Iðntæknistofnun byrjuð að rannsaka það mál.

Tæring á dælurörum ofan vatnsborðs hefur sums staðar verið vandamál. Reyndar tærist þá fóðurrörið einnig en það sést ekki. Þessi tæring stafar af aðgangi súrefnis andrúmsloftsins ofan í borholuna. Þessi loftskipti ber að hindra sem frekast er kostur. Dæmi eru um tæringu vegna útleiðslu rafmagns í borholudælum. Einnig eru dæmi um slittæringu (kavitation). Eftirlit með þessum þáttum er sjálfsagður þáttur í rekstri hitaveitna.

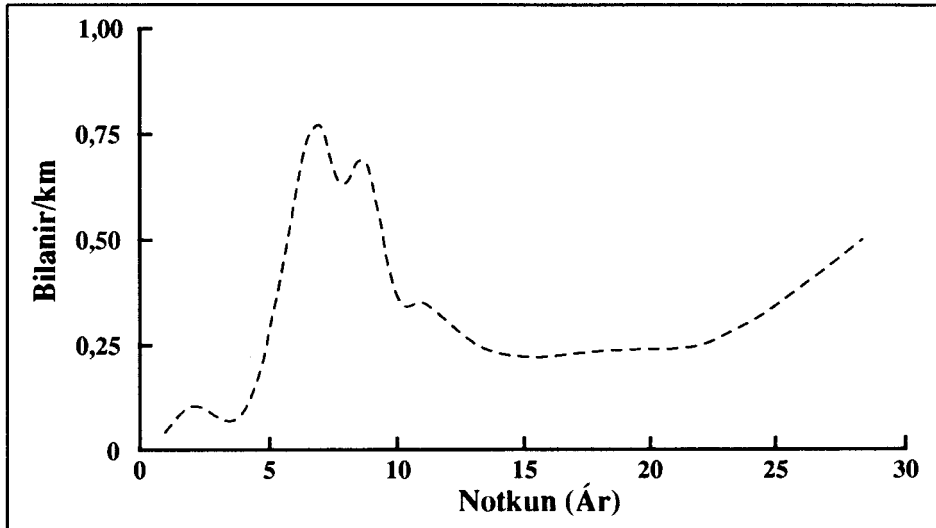
### 9.5.3. Stofnæðar

Efnisval í stofnæðar getur verið:

- ?? Lágkolstál
- ?? Asbest
- ?? Hitapolin plaströr

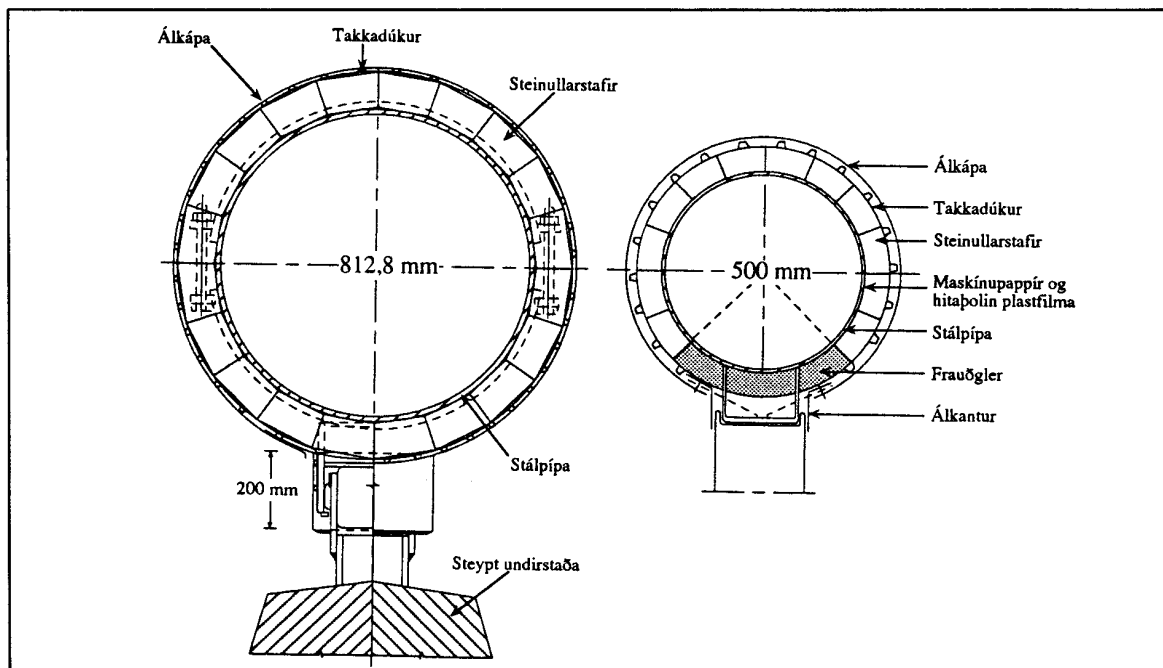
Stálrör hafa reynst mjög vel í stofnæðum með tilliti til tæringar innanfrá. Aðeins eru örfá dæmi um verulega tæringu þar sem vatn er mjög salt og uppleyst súrefni er til staðar t.d. frá fyrstu árum Hitaveitu Hríseyjar. Stálrör eru mjög viðkvæm fyrir utanaðkomandi raka, og þarf því að verja þau mjög vel. Notkun plastkápu og uretaneinangrunar hefur reynst vel, ef tryggilega er gengið frá samskeytum eins og nú er hægt, sbr. kafla 7. Þó er alltaf eitthvað um

bilanir. Í Svíþjóð hefur bilanatíðni lagna verið könnuð sérstaklega (sbr. mynd 9.5.1). Þar kom fram að aukin bilanatíðni kemur fram þegar pípa er 5-10 ára gömul, en minnkar síðan aftur næstu 15 árin. Þetta er skýrt með því að eftir 5-10 ár fara að koma fram bilanir sem rekja má til galla við lagningu sem orsaka tæring utan frá.



Mynd 9.5.1 Bilanatíðni lagna

Stálrör ofanjarðar eru oft varin með steinull og álkápu. Hefur það reynst mjög misjafnlega eftir frágangi og veðurfari á hverjum stað. Hafa bæði Hitaveita Suðurnesja og Hitaveita Reykjavíkur orðið fyrir skaða af þessum sökum, einkum þó sú fyrrnefnda. Aftur á móti hafa sambærilegar lagnir ekki tærst á Akureyri. Mynd 9.5.2 sýnir þann frágang sem fyrrnefndar tvær veitur nota í dag.



Mynd 9.5.2 Frágangur ofanjarðar stofnlagna, t.v Nesjavallahæð, t.h Njarðvíkurhæð

Stálrör eru einnig lögð í steinsteypa stokka. Áður fyrr reyndist þetta mjög vel. Virtist skipta mjög litlu máli hvort vatn kæmist öðru hvoru í stokkana. Þeir þornuðu og tæring var lítil. Eftir að stokkarnir urðu betri og þéttari komu upp einstaka vandamál þar sem rakinn hélst þá frekar inni í stokknum, ef hann komst þangað. Kom þá upp bæði tæring á rörum og einnig á þenslustykkjum úr ryðfríu stáli í stökkbrunnunum. Sprungu þau vegna álagstæringar. Síðan hefur verið lögð áhersla á að lofta stokka vel út auk þess að hindra að vatn komist inn í þá. Þarf einkum að gæta þess að vatn nái ekki að leka niður á ryðfría barka og þenslustykki þar sem þeim er mjög hætt við álagstæringu við þessar aðstæður.

Notkun asbeströra er nú bönnuð í nýlagnir hitaveitna. Er talin krabbameinshætta af asbestryki, sem myndast getur við vinnu við rörin. Er því brýnt að varlega sé farið við vinnu með asbest.

Þegar hitaveituvatn er leitt um asbeströr leysir það upp sementið í rörunum, eins og áður hefur verið fjallað um. Aðeins í einni veitu hefur þetta orðið til þess að rörin eyðilegðust svo vitað sé, þ.e. hjá Hitaveitu Flúða. Annars staðar hefur dregið úr tæringunni með tímanum þannig að hún hefur ekki minnkað verulega styrk röranna. Kalkútfellingar hafa myndast eftir streymi hitaveituvatns um asbeströr, sbr. Kafla 9.6.

Hitapólin plaströr hafa víða verið notuð í stofnæðar á síðari árum, einkum í langar lagnir í smærri veitum. Frágangur er mismunandi hvað varðar einangrun. Rörin hleypa í gegnum sig raka, þannig að rakinn þarf að komast í burtu í gegnum einangrunina, ef ekki á að verða óeðlileg kólnun á vatninu sbr. Kafla 7.3. Plaströrin hleypa einnig í gegnum sig súrefni í hitaveituvatni eftir streymi um plaströr sem hafa sýnt verulegan mun eftir frágangi röranna í jörðu. Þar sem op er á einangruninni undir rörunum getur til dæmis myndast loftstraumur þar í gegn milli brunna. Eykur það innstreymi súrefnis í vatnið. Segja má að plaströrin sjálf endist vel í stofnæðum hitaveitna, en hins vegar geti þau valdið tæringu á stálhlutum, sem á eftir þeim koma í hitaveitukerfinu. Hve mikil sú tæring verður fer eftir eignleikum vatnsins, t.d. hitastigi, seltu og súlfíðmagni, frágangi röranna og rennslisraða í gegnum þau. Þetta þarf að meta í hverju tilfelli fyrir sig. Mikil þróun á sér einnig stað í framleiðslu plaströra með súrefnishlíf, þannig að hægt er að minnka verulega eða nær stöðva súrefnisupptöku með notkun þeirra, sbr. 9.2.10.

#### 9.5.4. Miðlunargeymar

Venjulegir miðlunargeymar eru hannaðir með öndunaropi á þaki. Um opið á súrefni andrúmsloftsins greiðan aðgang að vatnsyfirborðinu. Svo virðist sem vatn er fer um miðlunargeymi taki yfirleitt upp um 200 ppb af súrefni að meðaltali í hitaveitum hér. Er það verulegt magn með tilliti til tæringar.

Ef súlfíð er í hitaveituvatni eyðir það súrefninu. Þarf tæplega tvöfalt magn af súlfíði til þess að eyða súrefninu, þ.e. um 350 ppb fyrir 200 ppb af súrefni. Eyðingin gerist tiltölulega fljótt og er venjulega lokið áður en vatnið kemst til notenda. Hitaveita Reykjavíkur setur gufu með súlfíði í vatn frá Nesjavöllum til þess að eyða súrefninu, sem kemst í vatnið í miðlunargeymum veitukerfisins

Fyrir nokkrum árum var mikið fjallað um leiðir til þess að hindra að hitaveituvatn tæki í sig súrefni í miðlunargeymum. Fékk SÍH m.a. styrk frá Norræna Iðnþróunarsjóðnum til þess að rannsaka þetta. Hér á eftir er sagt frá þremur aðferðum sem notaðar hafa verið.

#### 9.5.4.1. Vatnslás eða trekkspjald á öndunarop

Þessi aðferð hefur verið notuð af nokkrum veitum. Hún dregur verulega úr innstreymi súrefnis í vatnið, en árangurinn fer nokkuð eftir vatnsborðssveiflum í geymunum. Miðað er við að lokun haldist við minni háttar sveiflur. Þessi búnaður ætti að vera á öllum miðlunargeymum.

#### 9.5.4.2. Flotábreiða

Tvær hitaveitur hafa smíðað flot, sem fljóta ofan á vatninu í geymum og loka þannig fyrir aðgang súrefnis að því.

Árið 1985 setti Hitaveita Dalvíkur flot úr álplötum og plaströrum í geyma hjá sér. Síðar var ryðfrítt stál sett í stað álsins vegna tæringar þess. Engin aukning súrefnis mældist í vatninu á meðan flotin voru notuð og tæring mældist ekki í veitukerfinu, en hún var veruleg áður. Hins vegar sukku flotin eftir nokkur ár, sennilega af því að plaströrin fylltust af vatni. Í stað þeirra var farið að nota vatnslása á öndunarop geymanna. Eftir það hefur engin aukning súrefnis mælst í vatni, sem fer um geymana og tæring mælist ekki í veitukerfinu.

Hitaveita Reykjavíkur setti flot úr ryðfríu stáli í geymi á Háhrygg. Ekkert súrefni kemst í vatnið í geyminum, svo mælanlegt sé. Hins vegar hafa komið upp vandamál með tæringu á ryðfríu stálinu vegna álagstæringar. Fer sprungumyndun stöðugt vaxandi í því.

#### 9.5.4.3. Gufuteppi

Hitaveita Suðurnesja hefur blásið gufu inn á geyma á Fitjum ofan vatnsborðs til þess að halda þar örlitlum yfirþrýstingi. Einnig er notaður vatnslás á öndunarop. Hindrar þetta nær alveg innstreymi súrefnis í geymana.

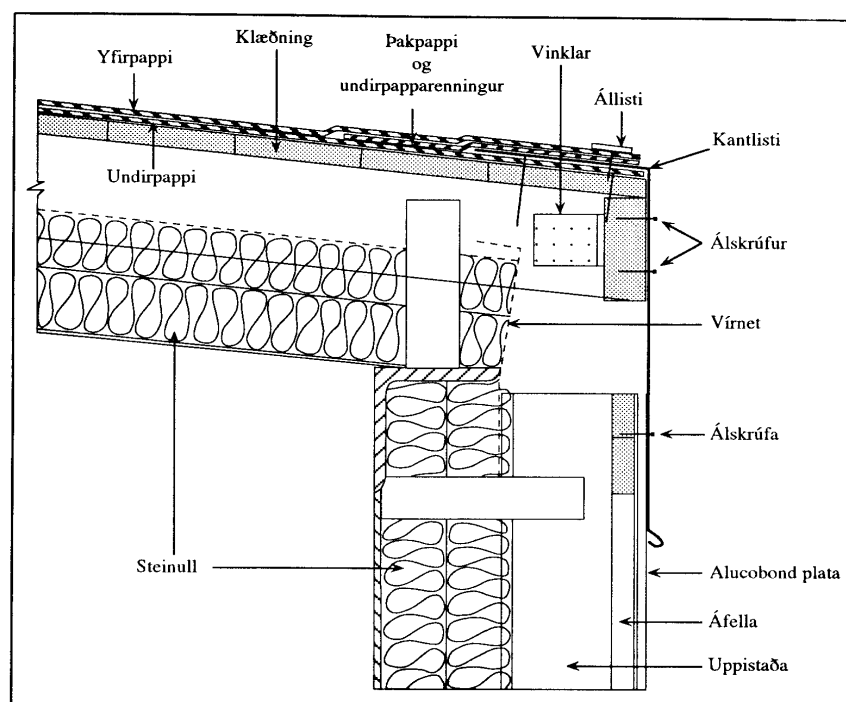
Tæring miðlunargeymanna sjálfra er oft töluvert vandamál. Tæring innan frá hefur yfirleitt ekki verið vandamál neðan vatnsborðs. Hins vegar er ástandið oft verra ofan vatnsborðs þar sem saman fara heit gufa, þéttivatn hennar og súrefni andrúmsloftsins. Hefur Hitaveita Reykjavíkur orðið að gera við þakplötur og bita af þessum sökum. Ýmsar hitaveitur sementskústa nú geyma til þess að verja þá gegn tæringu. Ending sementshúðarinnar er misjöfn og fara nú fram prófanir bæði hjá Hitaveitu Reykjavíkur og Hitaveitu Suðurnesja á sementskústum og öðrum varnaraðferðum. Hindrun aðgangs súrefnis í geymana hefur án efa einnig veruleg áhrif til góðs, t.d. með vatnslás á öndunaropum.

Tæring utanfrá hefur oft valdið verulegum skemmdum á miðlunargeymum. Þarf að gæta þess að vatn komist ekki í einangrunina og sitji þar undir hlífðarkápinni. Sérstaklega er hættu á þessu á geymaþökum. Mynd 9.5.3 sýnir nýja útfærslu á frágangi á geymaþaki, sem nú er farið að nota.



### 9.5.5. Dreifikerfi

Dreifikerfi hitaveita er venjulega lagt úr stálrörum með uretaneinangrun og plastkápu. Notkun plaströra hefur þó farið vaxandi bæði í langar dreifilagnir og heimaæðar. Um þessar lagnir var rætt í kafla 9.5.3. Rétt er að ítreka hér að því nær notendum sem farið er með plaströr í dreifikerfi, þeim mun meiri hættu er á að súrefnið, sem þar kemst inn, nái inn á stálofna. notenda. Því er spurning hvort ekki eigi að fyrirskipa varmaskipti á ofnakerfi, ef plaströr án súrefnishlífar eru í dreifikerfi að þeim.



Mynd 9.5.3 Frágangur á geymaþaki

Lokar í dreifikerfum valda oft vandamálum og segja má að hver hitaveita hafi sína skoðun á vali á þeim. Rétt er að benda á tvo þætti. Gúmmí endist yfirleitt takmarkað í heitu vatni, og því styttra þeim mun heitara sem vatnið er. Á þetta einnig við um EPDM sem sumir framleiðendur búnaðar segja ódrepanði. Einnig er oft lítið hugsað um hvaða eirmelmi eru í lokum. Hugsanlegt er að valtering á sínski úr lokum geti valdið útfellingu í þeim eins og rennslismælum sbr.9.5.9. Að lokum er rétt að ítreka aftur að ryðfrír stállokur þola mjög illa utanaðkomandi raka í heitu umhverfi.

Brunnar eru viðvarandi vandamál í mörgum hitaveitum. Vatn getur lekið niður í þá um brunnlokin eða komið fram steypuskemmdir. Hittist þá oft svo á að vatnið drýpur niður á ryðfrían búnað í brunnum, svo sem þenslubarka, þenslustykki eða loka. Vatnið inniheldur salt úr umhverfinu, svo kjörskilyrði myndast fyrir álagstæringu með sprungumyndun. Allt vatn sem kemst inn í brunna veldur einnig gufumyndun og tæringu á öllu stáli í brunnum svipað og gerist með geymaþök eins og áður var um rætt. Hægt er að berjast gegn þessari tæringu með því að mála stálið reglulega, en engin málning þolir aðstæður í blautum brunnum til langframa.

Frágangur heimaæða við húsvegg hefur oft verið til vandræða ef plastkápan nær ekki inn um húsvegginn sbr. kafla 7.2.8 (mynd 9.5.4). Steypuklossinn sem verja á rörið springur frá með tímanum og rörið tærist sundur við vegginn.



Mynd 9.5.4 Skemmd á röri sem fer í gegnum steinvegg

### 9.5.6. Varmaskiptar

Algengustu gerðir varmskipta í hitaveitum eru plötuvarmaskiptar og spíralkútar. Notkun þeirra hefur aukist mikið á seinni árum bæði fyrir ofnakerfi og neysluvatnskerfi húsa.

Plötuvarmaskiptar eru yfirleitt úr ryðfríu stáli 316 og annað hvort með gúmmíþéttingum eða lóðaðir saman. Einstaka sinnum er notað ryðfrítt stál 254 SMO og í jarðgufuvirkjunum er notað títan. Skipta þarf reglubundið um gúmmíþéttingar, ef þær eru notaðar, og fer tíðnin eftir hitastigi hitaveituvatnsins. Á sama tíma má hreinsa plöturnar. Lóðaðir varmskiptar eru yfirleitt ódýrari. Ekki hafa komið fram vandamál vegna tæringar lóðmálmsins svo vitað sé þótt súlfíð sé í vatninu. Þá þarf að hreinsa með kemískum aðferðum ef óhreinindi safnast í þá.

Einu þekktu dæmin um tæringu ryðfrírra plötuvarmaskipta stafa af álagstæringu með sprungumyndun utan vatnsgangsins. Algengast er að örlítill leki myndist á gúmmíþéttingum og vatnið sem kemst út veldur tæringunni. Líkurnar á þessu aukast með auknu vatnshitastigi, þar sem þá minnkar ending þéttigúmmísins. Langflest dæmi um þessa tæringu eru við vatnshitastig um 100°C eða við notkun gufu.

Spíralkútar eru yfirleitt með eir- eða ryðfríum spíral. Geymirinn getur verið úr smíðastáli, eirhúðuðu stáli, galvanhúðuðu stáli eða ryðfrír eftir því hvort hitaveituvatnið er í spíralnum eða kútnum. Ef upphitaða vatnið er í spíralnum má kúturinn vera úr smíðastáli. Ef upphitaða vatnið er hins vegar í kútnum, er ryðfrítt stál yfirleitt besti kosturinn.

Varast ber að leggja galvanhúðuð stálrör fyrir upphitað kalt neysluvatn heldur skal nota eir, ryðfrítt stál eða hitaþolið plast, þar sem það er leyft.

### 9.5.7. Lagnir í húsum

Lagnir í húsum geta verið úr svörtu stáli (smíðastáli), galvanhúðuðu stáli, eir, ryðfríu stáli eða hitaþolnu plasti, þar sem það er leyft. Eftirfarandi ber að hafa í huga:

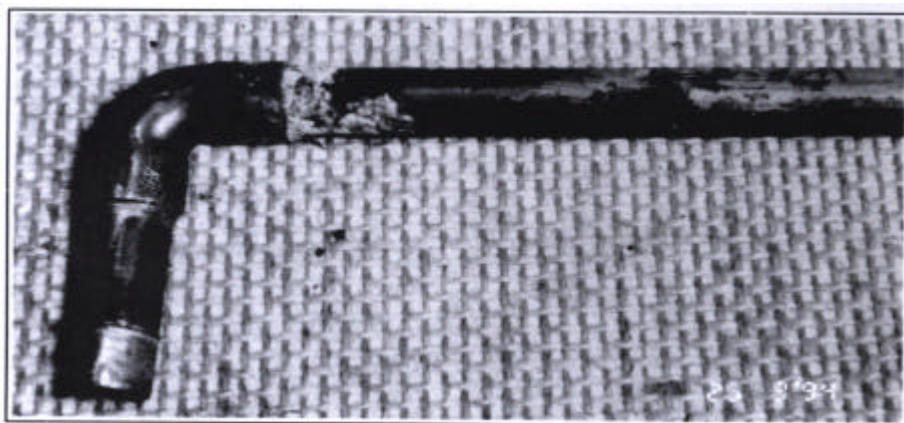
Svart stál endist alltaf vel við eðlilegar aðstæður, nema ef vatnið er mjög salt og með upp-leystu súrefni. Gæta þarf tæringar utanfrá.

Galvanhúðað stál er svipað og svart stál, en minni hættu er á ryðlitun á vatni í neysluvatns-lögnum.

Eir er mjög viðkvæmur fyrir áhrifum súlfíðs. Myndast svart lag af eirsúlfíði í rörunum. Aukin selta vatns eykur tæringarhraðann. Oftast stöðvast tæringin þegar eirsúlfíðhimnan hefur lokað rörveggnum. Það gerist þó ekki alltaf og annað hvort stúflast þá rörið eða gat kemur á það. Mikill rennslisraði í rörum rífur oft í burtu eirsúlfíðhimmuna á blettum, og heldur tæringin þá áfram þangað til gat myndast. Einnig eru veruleg óþægindi af því, þegar eirsúlfíðið berst með vatninu úr kranalögnum, þar sem það er mjög öflugt litarefni. Best er því að forðast notkun eirröra fyrir hitaveituvatn með súlfíði. Ef ekkert súlfíð er í vatninu reynist eir yfirleitt ágætlega enda þolir hann vel súrefni í vatni. Tæring utan frá er ekki vandamál. Ryðfrí stálrör reynast vel, en gæta þarf að tæringu utanfrá eins og áður hefur verið sagt.

Hitapolið plast tærist hvorki innanfrá né utanfrá. Eina vandamálið er að vatn úr plaströrum án súrefnishlifar má ekki fara inn á stálofna vegna súrefnis sem í það kemst. Engin reynsla er fyrir því hvort nýjustu rörin, sem eiga að vera með þéttari súrefnisvörn, duga að þessu leyti.

Lóðmálmur eru notaðir við samsetningar eirröra og ryðfrírra stálröra. Sumar gerðir þeirra eru mjög viðkvæmar fyrir áhrifum súlfíðs í vatni. Má þar nefna eir-silfur-fosfór tegundirnar L-Ag2P, L-Ag5P og L-Ag15P, DIN 8513 Tærast þær þannig, að samskeytin losna í sundur næstum eins og þau hafi aldrei verið lóðuð saman. Tæring lóðmálma hefur lítið verið rannsökuð hér, en í Danmörku er mælt með lóðmálmunum L-Ag34Sn og L-Ag55Sn, ef súlfíð er í vatni.



Mynd 9.5.5 Tæring vegna sílfíðs á lóðuðum samskeytum á eirlögn

### 9.5.8. Ofnar

Þrjár höfuðgerðir ofna hafa verið hér á markaði. Þær eru stálofnar, pottofnar og álofnar.

Stálofnar eru mjög viðkvæmir fyrir áhrifum súrefnis. Þeir tærast sundur ef minnsta súrefni er í vatninu. Einnig hafa þeir tærst í söltu hitaveituvatni með lágu pH-gildi þó svo ekkert súrefni mælist í vatninu. Langflest tæringarmál í hitaveitum tengjast stálofnum. Því er alltaf rétt að hafa notkun varmaskipta í huga ef minnsti vafi leikur á um vatnsgæði. Hitaveita Seltjarnarness og Hitaveita Þorlákshafnar fyrirskipa notkun á varmaskiptum fyrir ofnakerfi vegna seltu vatnsins

Pottofnar endast vel jafnvel í súrefnisríku vatni. Þeir eru hins vegar dýrir og oft erfitt að fá þá.

Álofnar eru umdeildir fyrir hitaveituvatn. Álið þolir vel súrefni í vatni. Ofnarnir eru hins vegar flestir samsettir með skrúfubútum úr smíðastáli, og því verður tæring á mótum áls og stáls ef mikið súrefni er í vatninu. Einnig er ál viðkvæmt fyrir háu pH-gildi vatns, þ.e. pH-gildi yfir 8,5 en þannig er allt jarðhitavatn hér á landi. Álofnar hafa víða verið prófaðir og stundum reynst vel en stundum illa.

Ef notaðir eru varmaskiptar á ofnakerfi í húsum, þarf að fylgjast vel með vatnsgæðum í hringrásarkerfinu. Áfylling verður að vera sem minnst, og gott er að nota tæringarvarnarefni til þess að hindra vetnismyndun í kerfinu.

### 9.5.9. Mælar og hemlar

Rennslis- og orkumælar eru yfirleitt með hús úr eirmelmum eða járnsteypu. Einnig getur verið í þeim búnaður úr ryðfríu stáli, hitaþolnu plasti, gúmmí (EPDM) og öðrum efnum.

Hitaveita Reykjavíkur hefur notað rennslismæla með húsum úr eirmelmi með um 40% af zínki. Zínkið tærðist burtu úr blöndunni vegna valtæringar. Tæringin hafði lítil sem engin áhrif á endingu húsanna. Hinsvegar féll zínkið út aftur sem zínksilikat sínkkarboronat í mælunum og stöðvaði mæilverkið með tímanum. Því ber að nota eirmelmi, sem ekki tærast valtæringu í mælahús.

Plasthlutir og gúmmí í rennslismælum hafa oft valdið vandamálum. Svo virðist sem framleiðendur geri sér ekki alltaf grein fyrir því hitastigi, sem þessi búnaður er notaður við hérlendis. Erlendis er mun algengara að hafa þennan búnað á bakrennslinu.

Skynjararör úr eir á hemlum hafa oft stíflast, þar sem súlfíð er í vatni. Einnig eru dæmi um að vatnshúsin hafi tærst í sundur. Ennfremur hafa gúmmímembrunar þar inni harðnað, teygst og jafnvel sprungið.

### 9.5.10. Blöndunartæki

Notkun sjálfvirkra blöndunartækja, einnar-handar loka, loka með hreyfiskynjun og alls kyns búnaður af því tagi hefur vaxið mjög á seinni árum. Þessi búnaður er í reynd hannaður fyrir

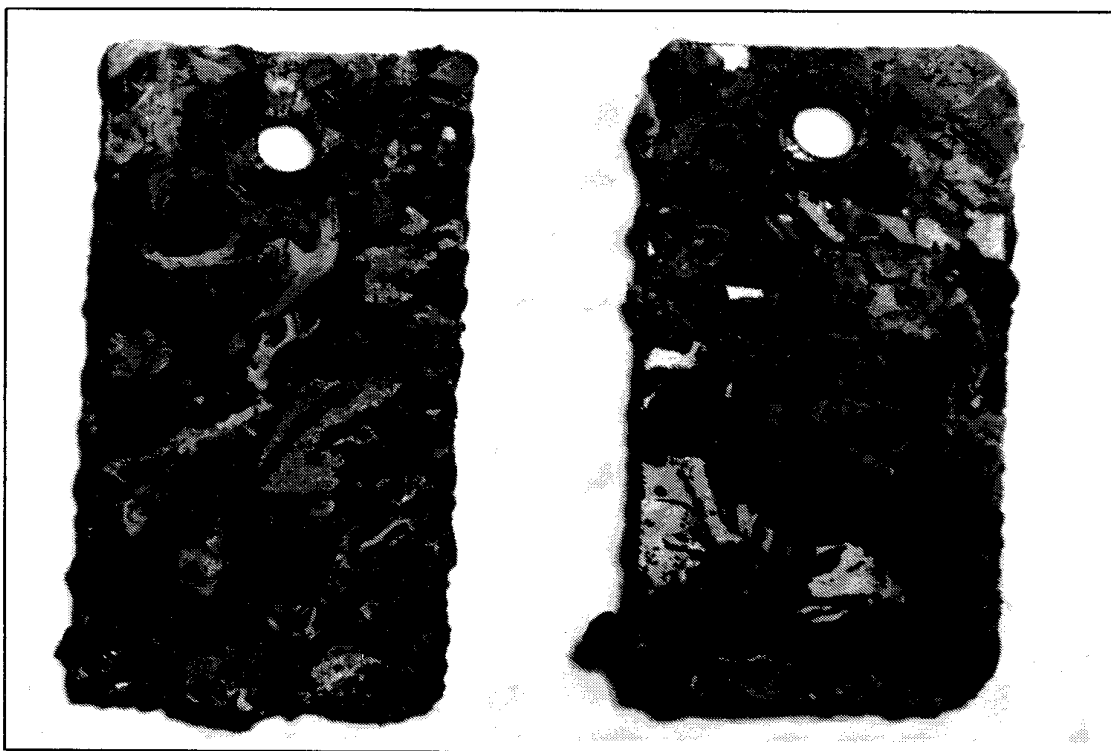
aðstæður þar sem notað er kalt vatn og upphitað kalt vatn með sama þrýstingi. Einnig eru lög og reglugerðir í flestum nágrannalöndunum, sem banna heitara kranavatn en 55°C.

Millirennisli í blöndunartækjum er stöðugt vaxandi vandamál. Einstreymislokar í tækjunum bila með tímanum enda oftast gerðir fyrir allt aðrar aðstæður. Einnig bila einstreymislokar á hitakerfinu sjálfu. Þá á kalda kranavatnið með öllu sínu súrefni greiða leið inn á hitakerfi hússins ef þrýstingur þessi er hærri en heita vatnsins. Stórfelld vandamál hafa komið upp af þessum sökum og er þekktasta dæmið tæring ofna í Seljahverfi í Breiðholti fyrir fáum árum. Sú tæring var stöðvuð með því að auka þrýsting hitaveitunnar á svæðinu.

Rétt er einnig að benda á þá slyshættu, sem skapast getur af þessu millirennisli, ef heita vatnið er með hærri þrýsting en það kalda. Fyllist þá kalda rörakerfið af heitu vatni. Síðan þegar skrúfað er frá, hefur blöndunartækið ekkert kalt vatn til þess að stýra hitastiginu og kranavatnið verður sjóðandi heitt.

### 9.5.11. Tæringareftirlit

Eftirlit með tæringu í hitaveitum þarf að vera þrjúþætt. Í fyrsta lagi þarf að fylgjast reglulega með vatnsgæðum. Í öðru lagi er rétt að hafa einhverjar tæringarprófarnir stöðugt í gangi. Í þriðja lagi þarf að fylgjast reglulega með ástandi búnaðar utan frá, t.d. álkápu á miðlunargeymum og ofanjarðarlögnum.



**Mynd 9.5.6 Tæringarflötur eftir 22 mánuði í vatni við 60°C og með 100 ppb af uppleystu súrefni**

Eftirlit með vatnsgæðum innifelur í fyrsta lagi reglubundnar mælingar á súrefni í vatninu. Á að mæla það bæði við borholur og þá staði þar sem innstreymi súrefnis er hugsanlegt t.d.

miðlunargeyma. Stöku sinnum ætti einnig að mæla úti í dreifikerfinu til frekara öryggis. Mælingar á súrefni eru einfaldar og eiga hitaveiturnar að geta annast þær sjálfar.

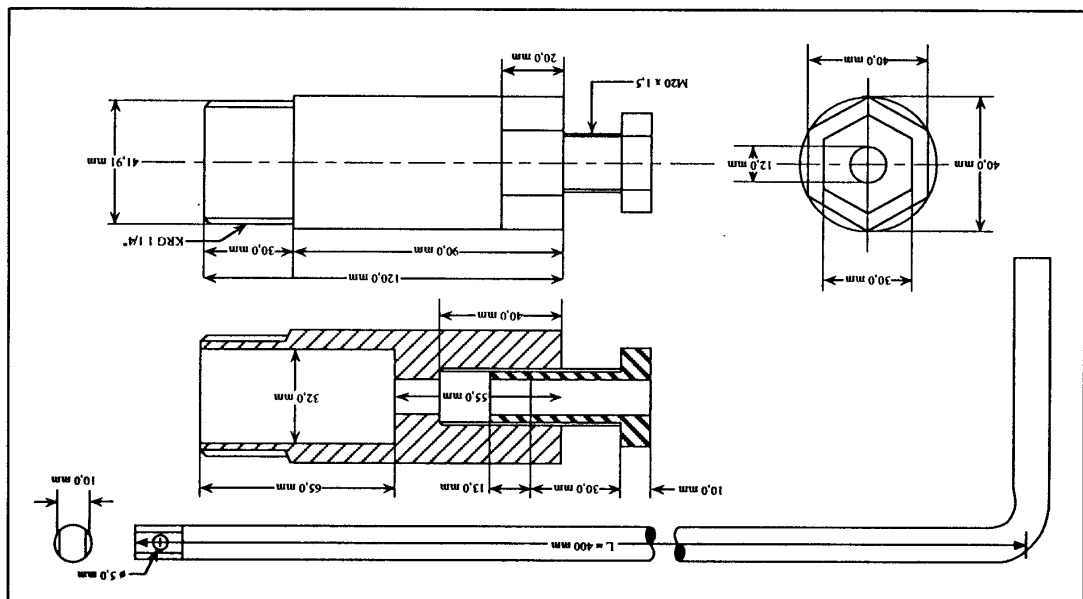
Ef súlfíð er í vatninu þarf að fylgjast með magni þess. Þær mælingar eru erfiðari, en þó ættu flestir hitaveitumenn að geta gert þær ef þeir fá réttan búnað til þess. Til eru tumpur til súlfíðmælinga eins og fyrir súrefni, en þær hafa ekki reynst nógu áreiðanlegar.

Að lokum þarf að láta efnagreina vatnið að minnsta kosti einhver efni á hverju ári til þess að fylgjast með hugsanlegum breytingum, t.d. innstreymi á köldu vatni í borholu.

Mjög einfalt er að fylgjast almennt með ástandi vatnsins með tilliti til tæringar með tæringarplötum sbr. mynd 9.5.6. Kemur þar fram hvort tæringareiginleikar vatnsins breytast með tímanum. Einnig má oft sjá árangur aðgerða til tæringarvarna. Hægt er að nota plötuholdara, sem draga má út þótt fullur þrýstingur sé á kerfinu (mynd 9.5.7) og útlitsskoða plöturnar á nokkurra mánaða fresti. Ýmsar hitaveitur nota þennan búnað til almenns eftirlits með tæringu og útfellingu í veitukerfinu.

Ýmiss sérhæfð mælitæki eru framleidd til prófana á tæringu í vatni. Nokkrar gerðir hafa verið prófaðar hjá Hitaveitu Suðurnesja. Niðurstöðum var lýst á vetrarfundi SÍH árið 1986.

Ekki er hægt að gefa neinar sérstakar leiðbeiningar um eftirlit með tæringu utanfrá. Þó má nefna að erlendis eru oft notaðar hitamyndavélar til slíks eftirlits. Búnaður af því tagi verður stöðugt einfaldari og ódýrari.



Mynd 9.5.7 Plötuholdari fyrir tæringarplötur.

## 9.6. Útfellingar

### 9.6.1. Inngangur

Jafnvægi ríkir yfirleitt milli jarðhitavats og ýmissa steintegunda í bergi. Við vinnslu geta breytingar átt sér stað sem raska þessu jafnvægi. Má þar nefna kælingu, upphitun, aflöftun eða suðu, útskolun efnis úr pípum og blöndun vatns með mismunandi hita og efnasamsetningu. Í sumum tilfellum verður vatnið yfirmettað með tilliti til vissra steintegunda. Í þeim tilfellum leitar vatnið á ný í jafnvægi með því að mynda útfellingar úr vatninu. Með efnagreiningum á vatni og samanburði við uppleysanleika steintegunda má kanna hvort hætta sé á útfellingum eða ekki. Efnagreiningarnar segja aftur á móti ekki til um hraða útfellinganna. Í þessum samanburði má ekki nota beint styrk efnanna í vatni, heldur verður að nota virkni uppleysta efnasambandsins. Útreikningar af þessu tagi eru umfangsmiklir þar sem reikna þarf efnabætti vatnsins, virknistuðla og efnajafnvægi steintegundanna við mismunandi hitastig. Til þess að einfalda þessa reikninga hafa verið skrifuð ýmis tölvuforrit.

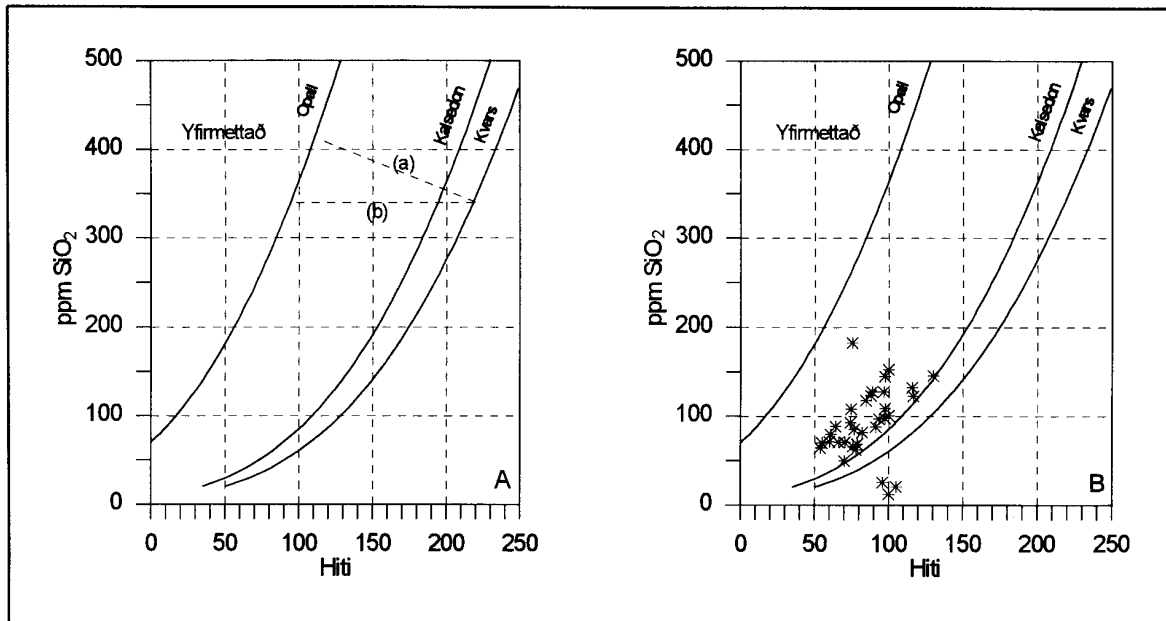
Það eru einkum þrjár gerðir útfellinga sem koma fram í hitaveitum hérlendis, þ.e. útfellingar kísils, kalsíts og magnesíum-silikats,

### 9.6.2. Kísill

Allt vatn inniheldur kísil enda er það eitt algengasta efni í náttúrunni. Í köldu vatni er algengt að styrkur þess sé nálægt 20 mg/l. Styrkur kísils eykst síðan með auknum hita. Fer hann eftir uppleysanleika steintegundarinnar kalsedons upp að um 180°C, en við hærri hitastig fylgir hann uppleysanleika kvars, sjá mynd 9.6.1. Styrkur kísils í lághitavatni stjórnast því af uppleysanleika kalsedons en styrkur kísils í háhitavatni af uppleysanleika kvarz. Jafnvægi við þessar steintegundir er oft notað til að meta hitastig í jarðhitakerfinu (kísilhiti). Við kælingu helst kísillinn í lausn þar til náð er uppleysanleika ópals. Ef vatn kólnar niður fyrir ópalmettun, þ.e. það verður yfirmettað með tilliti til þess efnis má búast við útfellingum. Í fyrstu tengjast kísilsameindir saman og mynda langar keðjur (fjölliðun) sem síðan mynda ópal útfellingar, sem er ókristallað efni. Eins og sést af mynd 9.6.1 er engin hætta á að kísill falli út úr jarðhitavatni sem er upphaflega í jafnvægi við berg við allt að 130 °C hita, þó svo vatnið kólni niður í 30 °C í hitakerfum. Þetta er ástæða þess að kísilútfellingar myndast yfirleitt ekki í lághitavatni. Vatn sem náð hefur jafnvægi við berg við um 220 °C (háhitavatn) nær ópalmettun þegar það er kælt niður í 90-100 °C. Þar má búast við útfellingum ef vatnið kólnar í hitakerfum.

Við suðu eykst styrkur kísils í því vatni sem eftir er vegna gufutaps. Dæmi um þetta er sýnt á mynd 9.6.1. Þar er gert ráð fyrir að vatn sem upphaflega var í jafnvægi við kvars við 200 °C sjóði niður í 100 °C. Þá hefur styrkur kísilsins aukist skv. Punktalína (a) á myndinni. Við leiðnikælingu (punktalína b) mundi þetta vatn ná ópalmettun við um 80 °C, en við suðu við rúmlega 100°C.

Ef hiti jarðhitavats er 100 °C og í jafnvægi við kísilsteintegundir er styrkur kísils í vatninu 110-130 mg/l. Ef vatnið er kælt nær það ópalmettun við um 20°C. Þegar sýni af vatni, sem er heitara en 100 °C, eru tekin til efnagreininga má búast við einhverri útfellingu eða fjölliðun kísils við geymslu við stofuhita. Þessi sýni þarf að meðhöndla sérstaklega við söfnun, því annars er hætta á að kísilgildi geti verið of lág í greiningu.

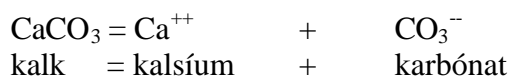


**Mynd 9.6.1** Upplýsanleiki kísilsteinda með hita. Hægra megin hafa verið sett inn tákni fyrir efnasýni í töflu 9.4.1

Á mynd 9.6.1b hefur efnasamsetning vatns í hitaveitum í SÍH (sbr. tafla 9.4.1 í kafla 9.4) verið færð inn. Eins og við er að búast er allt vatnið undirmettað með tilliti til ópals og lítil hætta á útfellingum kísils þegar vatnið kólnar niður í 30-40°C eins og almennt gerist í hitakerfum.

### 9.6.3. Kalk

Kalkútfellingar eru algengustu útfellingar við nýtingu jarðhitavatns vegna þess að allt jarðhitavatn á Íslandi er kalkmettað við náttúrulegar aðstæður. Mynd 9.6.2 sýnir upplýsanleika kalks með hitastigi. Upplýsanleikinn hækkar með lækkuðu hitastigi. Þess vegna veldur kæling vatnsins ekki útfellingu. Blöndun mismunandi vatnsgerða svo og suðu leiða hinsvegar oft til yfirmettunar og útfellinga. Leysni kalks má lýsa með eftirfarandi efnajöfnu:



með leysnifastann við jafnvægi:

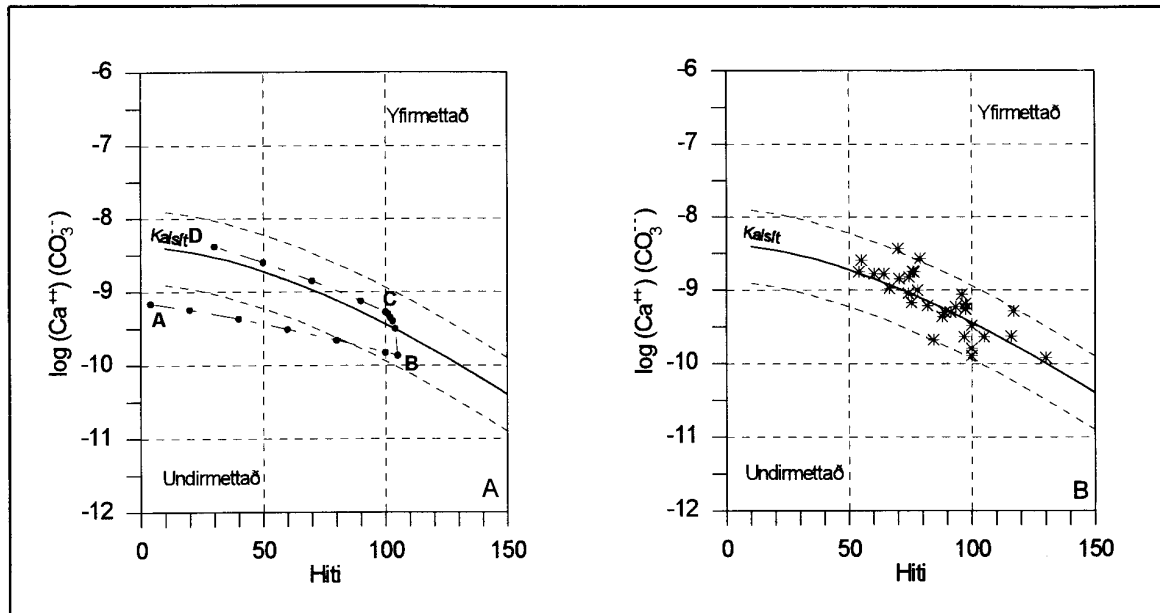
$$K = [\text{Ca}^{++}] [\text{CO}_3^{-}]$$

Út frá efnagreiningu vatns má reikna jónamargfeldi (Q) fyrir kalsít

$$Q = [\text{Ca}^{++}] [\text{CO}_3^{-}]$$



Ef jónamargfeldið (Q) er hærra en leysnifastinn (K) þá er vatnið yfirmettað og kalk getur fallið út. Reynsla hér á landi sýnir að nokkra yfirmettun þarf til að kalkútfellingar myndist. Svarar sú yfirmettun nokkurn veginn til skekkjumarka jafnvægisfastans sem sýnd eru sem brotalína á myndinni.



**Mynd 9.6.2 Uppleysanleiki kalsíts með hita. Hægra megin hafa verið sett inn tákni fyrir efnasýni í töflu 9.4.1**

Jafnvægisfastinn er háður virkni kalsíums (Ca<sup>++</sup>) og karbónats (CO<sub>3</sub><sup>--</sup>). Virkni karbónats er aftur háð pH-gildi (sýrustigi). Suða vatns veldur breytingum á pH-gildi (það hækkar) og karbónati. Þannig getur suða eða afloftun valdið yfirmettun kalks. Á mynd 9.6.2a er sýnt dæmi um upphitun á köldu vatni og afloftun þess. Punkturinn A sýnir samsetningu kalda vatnsins. Ferillinn frá A til B sýnir jónamargfeldi vatnsins við upphitun upp í 105°C og er síðan gert ráð fyrir að vatnið sé afloftað, þ.e. soðið niður í 100°C (punktur C). Við afloftunina breytist jónamargfeldi svo vatnið sem var undirmettað með tilliti til kalks verður lítið eitt yfirmettað. Ferillinn C til D sýnir síðan kælingu þessa vatns niður í 30 °C.

Blöndun á misheitu vatni eða vatni með mismunandi efnasamsetningu leiðir oft til röskunar á kalkjafnvægi og yfirmettunar. Vatn leitar mjög fljótt í nýtt kalkjafnvægi með því að fella út kalk. Þannig verða stundum kalkútfellingar í djúpmælum í borholum, sem hafa misheitar æðar eða ef blöndun á sér stað við saltara vatn. Reikningar út frá efnasamsetningu vatns og samanburður við leysniferla getur því hjálpað til við að meta hættu á kalkútfellingum. Ef vatn rennur um asbestlagnir getur það skolað út kalsíum úr pípunum. Þetta leiðir í öllum tilfellum til herra jónamargfeldis kalsíums og karbónats og því meiri hættu á útfellingum. Kalkútfellingar hafa komið fram í hitaveitum sem nota langar asbestlagnir. Á fyrstu árum Hitaveitu Akraness og Borgarfjarðar og Hitaveitu Húsavíkur urðu útfellingar í hemlabúnaði í húsum. Þetta vandamál hvarf síðan þar sem útskolun kalsíums minnkar með tímanum.

Á mynd 9.6.2b hefur verið sett inn jónamargfeldi fyrir kalsít fyrir efnasamsetningu vatns frá hitaveitum í SÍH (sbr. töflu 9.4.1 í kafla 9.4). Öll falla sýnin innan skekkjumarka fyrir jafnvægi við kalsít. Við kælingu er lítil hætta á útfellingum.

#### 9.6.4. Magnesíum-silikat

Útfellingar magnesíum-silikats eru algengt vandamál í íslenskum hitaveitum, sem nýta upphitað ferskvatn til þess að flytja varma. Þar að auki getur þessi gerð útfellinga myndast ef kalt vatn blandast hitaveituvatni.

Leysni magnesíum-silikat útfellinga má lýsa með eftirfarandi heildarjafnvægi:



Magnesíum silikat + vatn = magnesíum + kísil + hydroxíð

með leysnifastann:

$$K = [\text{Mg}^{++}] [\text{H}_3\text{SiO}_4^-] [\text{OH}^-]$$

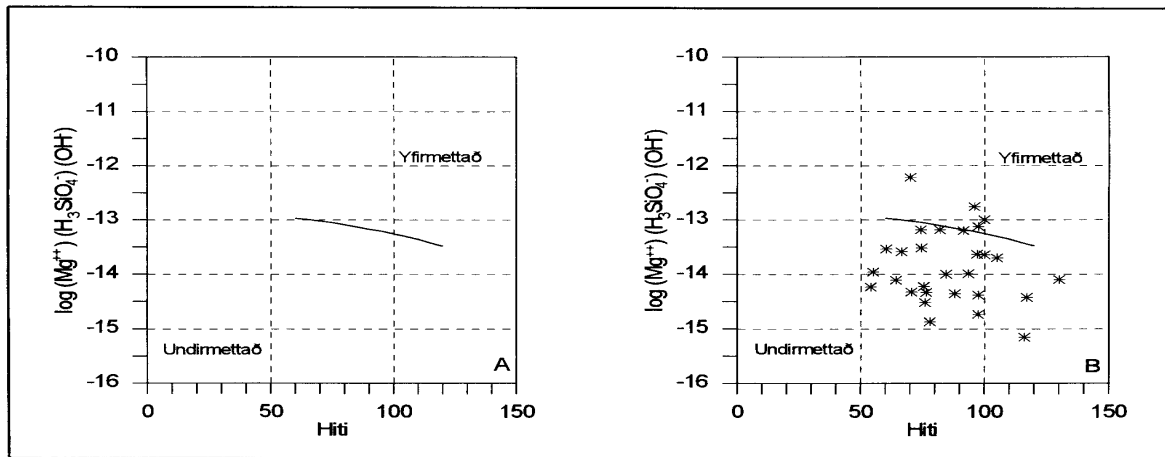
Mynd 9.6.3 sýnir jafnvægisferil magnesíum-silikats á hitastigsbilinu 60-120°C. Þessi jafnvægisfasti hefur ekki verið ákvarðaður við önnur hitastig. Efnajafnan sýnir að það er virkni magnesíums (Mg), kísils (í þessu tilfelli  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ ) og hydroxíðs ( $\text{OH}^-$ ) sem hafa áhrif á myndun útfellinganna auk hitastigs. Virkni hydroxíðs sýnir að efnajafnvægið er háð pH-gildi vatnsins.

Út frá efnagreiningu vatnssýnis er hægt að reikna jónamargfeldi magnesíum-silikats í vatninu.

$$Q = ?\text{Mg}^{++}? ?\text{H}_3\text{SiO}_4^-? ?\text{OH}^-?$$

Ef jónamargfeldið (Q) er hærra en leysnifastinn (K) þá er vatnið yfirmettað og útfellingar geta myndast.

Kalt vatn inniheldur ávallt nokkurt magn magnesíums og styrkur kísils í því vatni getur verið nægur til að útfellingar myndist ef vatnið er hitað. Við suðu og afloftun hækkar pH-gildið og eykur það enn á hættuna á útfellingum. Hægt er að hafa einhver áhrif á það hvort útfellingar myndast eða ekki. Er þar helst um að ræða sýrustig (pH-gildi). Með lækkandi pH-gildi minnkar yfirmettun magnesíum-silikats. Þessar útfellingar hafa myndast við suðu og afloftun á köldu vatni hjá Hitaveitu Suðurnesja og Hitaveitu Reykjahlíðar.



**Mynd 9.6.3 Uppleysanleiki magnesíum-silikats með hita. Hægra megin hafa verið sett inn tákn fyrir efnasýni í töflu 9.4.1**

Þessar útfellingar myndast ekki að öllu jöfnu úr jarðhitavatni. Ástæða þess er sú að jarðhitavatn er mjög snautt af magnesíum og reiknast vatnið því yfirleitt undirmettað með tilliti til magnesíum-silikata. Magnesíum hefur þegar horfið úr vatninu við upphitun vegna efnahvarfa við bergið.

Ef blöndun á sér stað á jarðhitavatni og köldu vatni geta þessar útfellingar myndast. Ástæðan er sú að kalda vatnið inniheldur magnesíum og jarðhitavatnið inniheldur meiri kísil en kalt vatn. Auk þess er pH-gildi heitavatsins hærra. Blandan hefur því hærra pH-gildi en kalda vatnið. Allt þetta hækkar jónamargfeldið (Q). Besta leiðin til að koma í veg fyrir myndun þeirra er að útiloka innrennsli á köldu vatni í jarðhitavatnið. Útfelling af þessu tagi myndaðist þegar upphitað og afloftað kalt vatn frá Nesjavöllum blandaðist jarðhitavatni í dreifikerfi Hitaveitu Reykjavíkur þegar Nesjavallavirkjun var tekin í notkun.

Á mynd 9.6.3b hefur verið teiknað inn jónamargfeldi fyrir magnesíum silikat fyrir efnasamsetningu vatns frá hitaveitum í SÍH (sbr. Töflu 9.4.1 í kafla 9.4). Upphitað kalt vatn fellur nærri jafnvægisferli eða rétt ofan við hann. Vatn frá Hitaveitu Suðureyrar fellur einnig ofan jafnvægisferlisins og er með tiltölulega mesta yfirmettun.

## 9.6.5. Aðrar útfellingar og tæringarmyndanir

### Járnsúlfíð.

Brennisteinn í jarðhitavatni gengur oft í samband við járn í pípum og öðrum búnaði í hitaveitum og myndar járnsúlfíð. Húðin er yfirleitt þunn og veldur ekki vandræðum. Þvert á móti er húðin vörn gegn tæringu. Rör þar sem járnsúlfíð hefur myndast glitra oft að innan en eru að öðru leyti eins og ný eftir áratuga notkun.

**Eirsúlfíð.**

Þar sem eirlagnir eru notaðar og brennisteinsvetni er í vatni myndast svört húð af eirsúlfíði. Þessi húð er tiltölulega lausbundin og losnar oft úr rörum. Það veldur því að neysluvatn verður litað, og oft kemur það fyrir að kvartað er undan því að hvítur þvottur verði aldrei almennilega hvítur.

**Zinksilikat og zinkkarbónat**

Galvaníseruð járnör eru húðuð með zinkhúð. Eirmelmi sem notuð eru í ýmsum búnaði, svo sem mælahúsum, lokum og stjórnúnaði, innihalda einnig zink. Zinkið getur komist í upplausn vegna tæringar og síðan bundist kísli eða karbónati og þannig myndað zinksilikat eða zinkkarbónat útfellingar. Ekki er mikið um þessa gerð útfellinga í hitaveitum, en þær geta þó orðið til vandræða. Þekkt er að í sumum gerðum mælahúsa hafa myndast útfellingar sem áhrif hafa haft á mælana. Á sama hátt geta þessar útfellingar, þó svo magnið sé ekki mikið, haft áhrif á stjórnúnað, t.d. ofnoka

**Blýsúlfíð**

Að lokum skal hér aðeins minnst á blýsúlfíð útfellingar. Þó svo blý sé ekki í jarðhitavatni svo vitað sé, þá hafa komið fram kvartanir sem rekja má til blýsúlfíðs. Blý er í sumum málningategundum svo og í sumum gerða leirflísa. Þegar jarðhitavatn sem inniheldur súlfíð kemst í snertingu við hluti sem innihalda blý geta myndast blýsúlfíð útfellingar. Brúnleitir taumar í baðherbergjum hafa verið raktir til blýsúlfíðs, þar sem súlfíðið kemur úr vatninu en blýið úr málningu eða flísum.