



Tæringar- og útfellingaprófun á vatni úr holu
HO-01, Hofstöðum í Helgafellssveit

**Magnús Ólafsson,
Hrefna Kristmannsdóttir**

Greinargerð MÓ-HK-97-07



Tæringar- og útfellingaprófun á vatni úr holu HO-01, Hofsstöðum í Helgafellssveit

Inngangur

Á tímabilinu mars til ágúst 1997 var gerð viðamikil vinnsluprófun á holu 1 við Hofsstaði í Helgafellssveit og hafa niðurstöður verið birtar í skýrslu Orkustofnunar (Grímur Björnsson o.fl., 1997).

Einn þáttur prófananna var að kanna útfellinga- og tæringareiginleika vatnsins úr holunni. Það var gert á þann hátt, að efnasamsetning vatnsins var rannsökuð og sérstökum plötum var komið fyrir við mismunandi aðstæður á sérstökum hliðarlögnum þar sem líkt var eftir rennsli í venjulegu lagnakerfi. Á mynd 1 er sýnd á einfaldan hátt uppsetning þess búnaðar sem notaður var við dæluprófunina og tæringar- og útfellingaprófun. Í þessari greinargerð verður greint frá hluta af þeirri tæringarprófun sem fram fór og verður í því sambandi stuðst við margt af því sem fram kemur í ofangreindri skýrslu, sumt endurtekið.

Tæringar- og útfellingaprófanir

Við tæringar- og útfellingaprófanir voru notaðar sérstakar sýnaplötur úr fernskonar málmtegundum; járn, áli, eir og ryðfríu stáli (SS 304). Stærð platananna var um 2x5 cm og var þeim komið fyrir á teflonstöng í rörtappa, sem fest var í T-stykki sem heita vatnið streymdi um. Straumhraðinn var stilltur á u.þ.b. 1 m/s í 2" lögninni sem plötunum var komið fyrir í. Málmplöturnar voru prófaðar við fernskonar skilyrði og eru grindurnar þar sem plötunum var komið fyrir sýndar á myndum 2 og 3:

1. Við fullan hita og þrýsting á holutoppi. Þetta líkti eftir aðstæðum í holu og dreifikerfi.
2. Eftir að vatnið hafði streymt um hitaþolið plaströr. Þetta var gert til að kanna upptöku súrefni og í framhaldi af því tæringarmátt vatnsins. Einnig skyldi skoða þátt brennisteinsvetnis (H_2S) í því að eyða súrefni og draga þannig úr tæringu.
3. Við lækkaðan þrýsting eftir hemil-blendu (úr Danfoss hemli). Þetta líkti eftir aðstæðum í húskerfum.
4. Eftir afloftun. Afloftari var settur upp til að kanna hvort unnt yrði að lækka pH gildi vatnsins, sem talið var lágt áður en dæluprófun hófst. Vegna þess hvernig afloftarinn var rekinn, komst súrefni í vatnið og sýndi prófunin glögglega hve slæmar afleiðingar það hefur.

Auk ofangreindra tæringar- og útfellingaprófana var gerð sérstök tæringarprófun á fódurrörastáli (API K-55) í aðallögninni með því að setja plötusýni í útdraganlegan haldara (mynd 2).

Töppum með tæringar- og útfellingaplötum var komið fyrir þann 12. mars 1997. Tvær plötur úr sama efni voru festar á hvern tappa og var fyrri platan fjarlægð þann 28.

MÁ EKKI FJARLÆGJA

apríl, eftir 47 daga en önnur sett í staðinn og höfð til loka (58 dagar). Hin platan var höfð í vatninu til loka prófunarinnar 25. júní, eða í 105 daga.

Plötunar voru vegnar fyrir prófunina. Að lokinni prófun voru allar plötur vegnar og laus húð skafin af, m.a. til greininga í röntgentæki. Síðan var útfellinga- og tæringarhúðin fjarlægð með saltsýru, sem í var blandað tæringarheftandi efnum til að hefta frekari tæringu platnanna. Eftir sýrupvottinn voru plötur vigtaðar á ný og má þá reikna tæringarhraðann. Hann var síðan umreiknaður í millimetra á ári í efnisþýnningu (mm/ári).

Helstu niðurstöður

Í töflu 1 eru teknar saman niðurstöður tæringarprófunarinnar og tæringarhraðinn umreiknaður í millimetra á ári (mm/ári). Í viðaukum A og B eru gefnar frekari lýsingar á skoðun platnanna. Tæringarhraðinn er birtur fyrir hvert efni í fyrrgreindum fjórum stöðum eftir 47, 58 og 105 daga. Tæring mælist lítil nema þegar vatnið mengast súrefni.

Meginniðurstöður tæringarprófunarinnar eru eftirfarandi:

1. Í hitaveituvatninu beint frá holu HO-01 mælist lítil tæring á þeim efnum sem prófuð voru. Ánægjulegast er að ofnastál tærist mjög hægt eða um 0,01-0,02 mm/ári. Sýni af fóðurrörastáli sem haft var í rörinu þar sem fullt streymi var tærist nokkru meira, eða um 0,05 mm/ári. Koparinn tærist nokkuð ef súrefni kemst að vatninu, um 0,054-0,089 mm/ári og það fellur á hann. Ryðfrítt efni tærist ekki.
2. Eftir að hafa streymt 100 m um ½" plaströr er tæringarhraðinn á ofnastáli um fimm sinnum meiri en í vatni sem fer um stálrör (0,05-0,07 mm/ári). Skýrist þetta af súrefnisupptöku (70 µg/l) í gegnum óvarið polypropylen rörið. Önnur efni tærust lítið.
3. Mikil tæring mælist í stáli eftir afloftarann þar sem upptaka súrefnis mældist meiri en 100 µg/l. Koparinn tærist þar einnig nokkuð mikið.

Niðurstöður tæringarprófunarinnar sýna að mengist vatnið ekki af súrefni verður tæring óveruleg. Vottur af brennsiteinsvetni (H_2S ~ 0,08 mg/l) nægir ekki til að eyða súrefninu og því fer sem fer. Þar sem húskerfi eru aldrei alveg þétt og einungis örlítið súrefni nægir til að valda tæringarvandræðum í svo söltu vatni, er ljóst að vatnið frá Hofsstöðum telst óæskilegt til nota inn á ofnakerfi. Mikilvægt er við hönnun að fyrirbyggja að súrefni nái nokkurs staðar að smita vatnið.

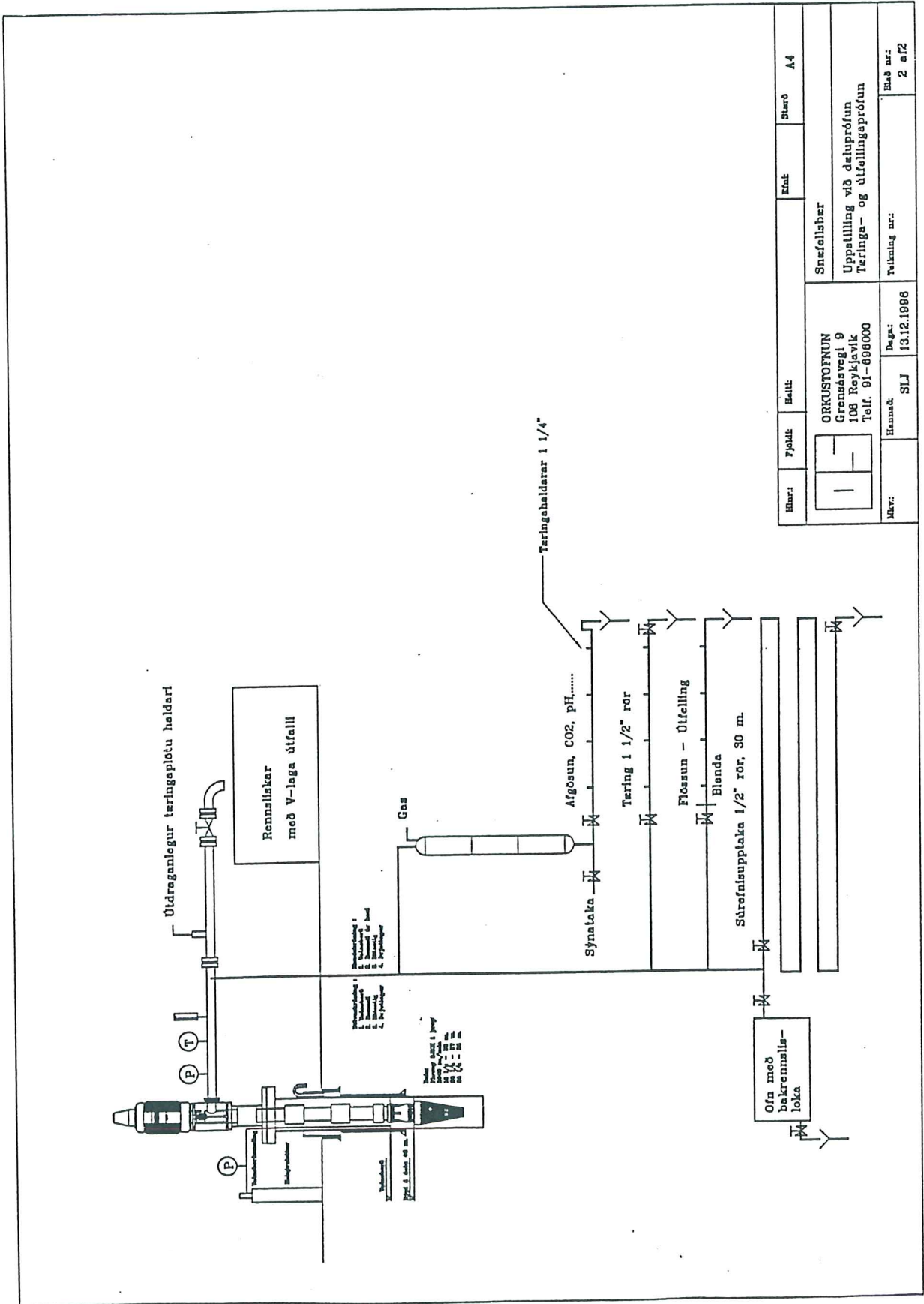
Þar eð engin þyngdaraukning varð á plötunum og engin sjáanleg útfelling, er komist að þeirri niðurstöðu að útfelling verði ekki í vatninu. Fylgjast þarf þó með veitukerfinu og vatninu frá borholu því vatnið reiknast yfirmettað af kalki. Tífold kalkmettun má vera til staðar áður en útfellingar taka að myndast.

Tafla 1: Þynning málma í mm/ári reiknað frá þyngdartapi prófunarplatna. Reiknað út frá $\text{mm/ár} = (\Delta m / \rho A) 365 / d$.

$\Delta m = \rho_1 - \rho_3$; ρ = eðlisþyngd málmplötunnar; A = flatarmál plötunnar; d = dagafjöldi sem tilraunin stóð yfir.

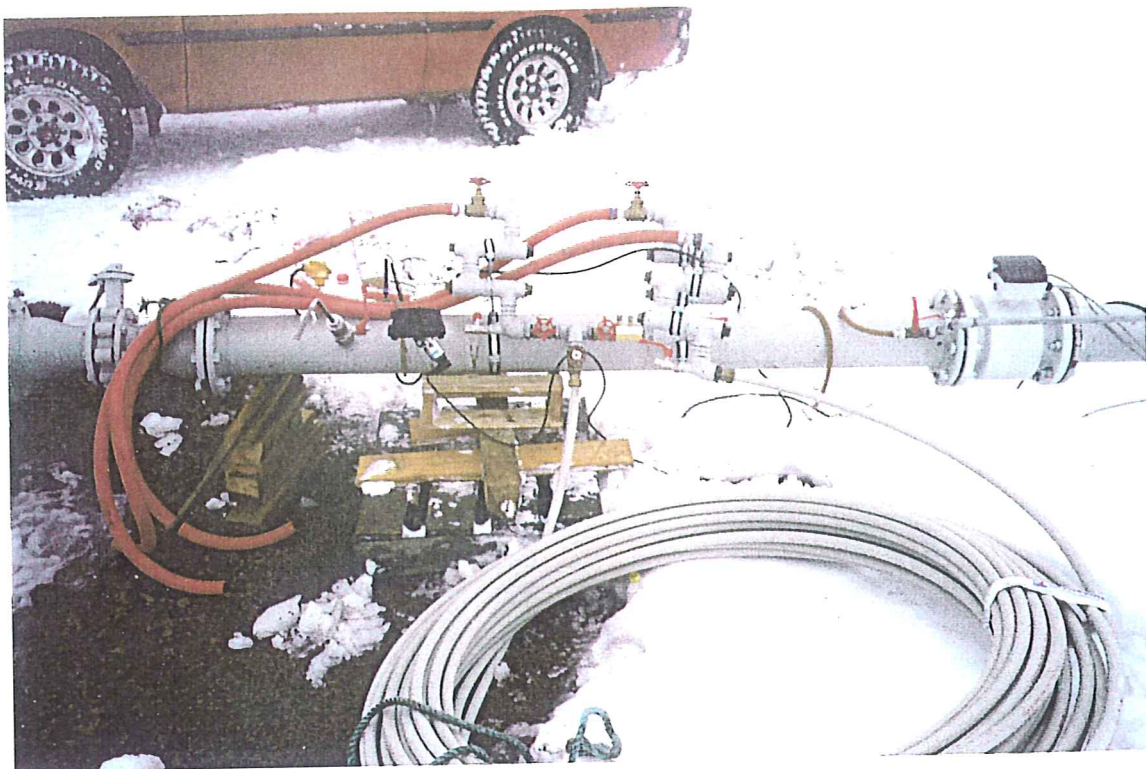
Númer	mm/ári (47dagar)	Númer	mm/ári (58 dagar)	Númer	mm/ári (105 dagar)	Grind
Stál						
2	0,02	12	0,01	1	0,02	fullur þrýst.
4	0,01	14	0,01	3	0,01	eftir þrýstifall
6	0,05	13	0,07	5	0,06	eftir plast
8	0,59	15	0,15	7	0,55	eftir afloftun
Eir						
17	0,003	27	0,005	16	0,005	fullur þrýst.
19	0,002	29	0,003	18	0,003	eftir þrýstifall
21	0,058	28	0,13	20	0,078	eftir plast
23	0,089	30	0,10	22	0,054	eftir afloftun
Ál						
32	0,078	42	0,09	31	0,14	fullur þrýst.
34	0,015	44	0,08	33	0,05	eftir þrýstifall
36	0,000	43	0,02	35	0,07	eftir plast
38	0,008	45	0,13	37	0,07	eftir afloftun
Fóðurrörastál						
6	0,05	38	0,05	78	0,05	í útdragi

Plötunarnar sem teknar voru úr eftir 47 daga voru ljósmyndaðar og eru myndir af þeim sýndar á bls. M3. Því miður misfórst að taka myndir af plötunum við lok prófunarinnar áður en þær voru hreinsaðar.

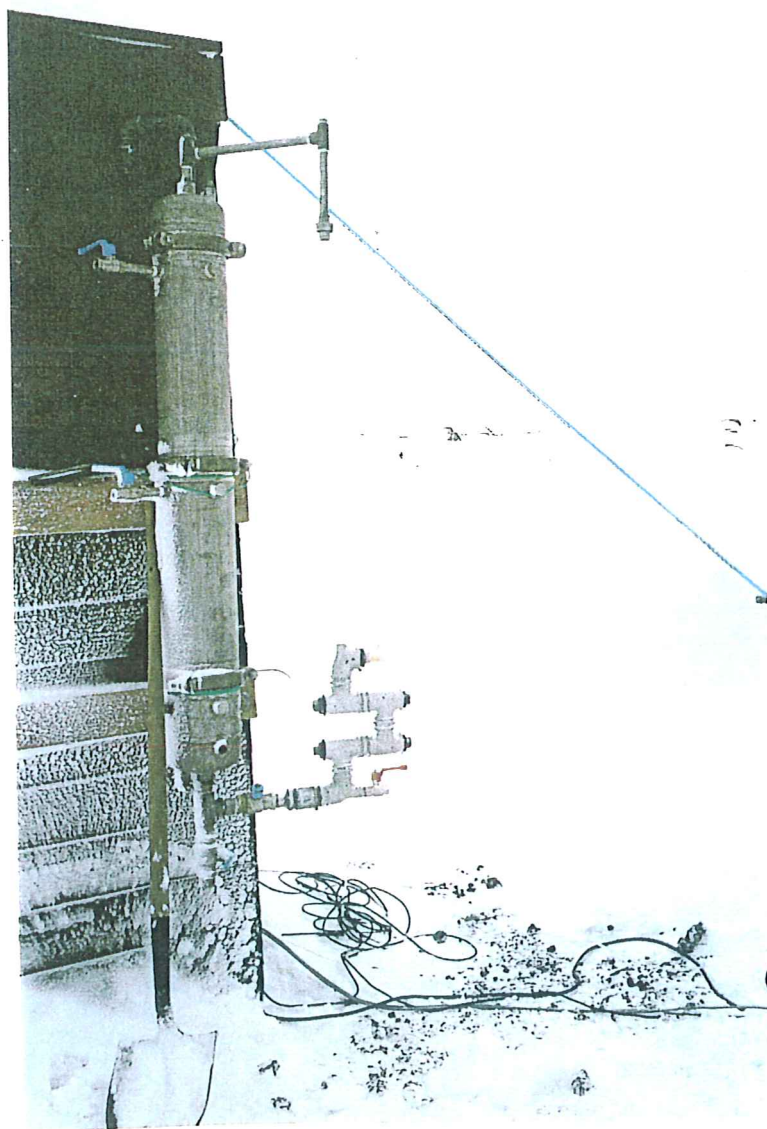


Hvar:	Fjöldi:	Balli:	Knútt:	Stærð:	A4
ORKUSTOFNUN Grunnarsgl 9 108 Reykjavík Tölf. 01-698000			Sveffellabær		
Uppstilling við dæluþrófun Tæringa- og útfellingaþrófun					
Mær:	Hannaf:	SIJ	Dagur:	Tæking nr.:	
			13.12.1986	2 af 2	

Mynd 1: Dæluþrófun og tæringar- útfellingabúnaður tengdur henni



Mynd 2: Tæringar- útfellingagrindur 1, 2 og 3 og útdraganlegur haldari



Mynd 3:
Tæringar- útfellingagrind 4
við afloftara



Járn



Eir



Al



Ryöfrítt stál

Grind 1, fullur þrýstingur



Járn



Eir



Al



Ryöfrítt stál

Grind 2, eftir þrýstifall

Mynd M4a: Tæringar- og útfellingaprófun (47 dagar)



Járn



Eir



Al



Ryðfritt stál

Grind 3, eftir plaströr



Járn



Eir



Al



Ryðfritt stál

Grind 4, eftir afloftara

Mynd M4b: Tæringar- og útfellingaprófun (47 dagar)

VIÐAUKI A: Þyngdarbreytingar á tæringarplötum

Tafla 1a: Þyngdarbreytingar á plötum í **Grind 1 (47 dagar)**, fullur þrýstingur

Nr.	Gerð	Þyngd1 (g)	Þyngd2 (g)	Þyngd3 (g)	Þ1-Þ3 (g)
2	járn	8,9940	9,0122	8,9507	0,0433
17	eir	10,3712	10,3696	10,3639	0,0073
32	ál	3,0583	3,0448	2,9961	0,0622
47	ryðfrítt	8,8376	8,8383	8,8375	0,0001

Tafla 1b: Þyngdarbreytingar á plötum í **Grind 2 (47 dagar)**, eftir þrýstifall

Nr.	Gerð	Þyngd1 (g)	Þyngd2 (g)	Þyngd3 (g)	Þ1-Þ3 (g)
4	járn	8,9767	8,9838	8,9553	0,0214
19	eir	10,4285	10,4297	10,4235	0,0050
34	ál	3,0274	3,0210	3,0151	0,0123
49	ryðfrítt	8,8259	8,8292	8,8256	0,0003

Tafla 1c: Þyngdarbreytingar á plötum í **Grind 3 (47 dagar)**, eftir plaströr

Nr.	Gerð	Þyngd1 (g)	Þyngd2 (g)	Þyngd3 (g)	Þ1-Þ3 (g)
6	járn	8,9822	8,8961	8,8589	0,1233
21	eir	10,4470	10,3482	10,2936	0,1534
36	ál	3,0062	3,0106	3,0059	0,0003
51	ryðfrítt	8,8424	8,8469	8,8422	0,0002

Tafla 1d: Þyngdarbreytingar á plötum í **Grind 1 (47 dagar)**, eftir afloftara

Nr.	Gerð	Þyngd1 (g)	Þyngd2 (g)	Þyngd3 (g)	Þ1-Þ3 (g)
8	járn	9,0603	8,8369	7,6815	1,3788
23	eir	10,4165	10,3664	10,1789	0,2376
38	ál	3,0229	3,0431	3,0164	0,0065
53	ryðfrítt	8,8327	8,8476	8,8326	0,0001

Tafla 2a: Þyngdarbreytingar á plötum í **Grind 1 (58 dagar)**, fullur þrýstingur

Nr.	Gerð	Þyngd1 (g)	Þyngd2 (g)	Þyngd3 (g)	Þ1-Þ3 (g)
12	járn	8,9938	8,9844	8,9546	0,0392
27	eir	10,4470	10,4474	10,4313	0,0157
42	ál	3,0237	3,0082	2,9311	0,0926
57	ryðfrítt	8,8254	8,8278	8,8257	-0,0003

Tafla 2b: Þyngdarbreytingar á plötum í **Grind 2 (58 dagar)**, eftir þrýstifall

Nr.	Gerð	Þyngd1(g)	Þyngd2 (g)	Þyngd3 (g)	Þ1-Þ3 (g)
14	járn	8,9011	8,8910	8,8676	0,0335
29	eir	10,4740	10,4772	10,4643	0,0097
44	ál	3,0264	3,0126	2,9400	0,0864
59	ryðfrítt	8,8215	8,8237	8,8219	-0,0004

Tafla 2c: Þyngdarbreytingar á plötum í **Grind 3 (58 dagar)**, eftir plaströr

Nr.	Gerð	Þyngd1(g)	Þyngd2 (g)	Þyngd3 (g)	Þ1-Þ3 (g)
13	járn	8,9706	8,8487	8,7752	0,1954
28	eir	10,4286	10,0085	9,9888	0,4398
43	ál	3,0348	3,0437	3,0105	0,0243
58	ryðfrítt	8,8548	8,8603	8,8548	0

Tafla 2d: Þyngdarbreytingar á plötum í **Grind 4 (58 dagar)**, eftir afloftun

Nr.	Gerð	Þyngd1(g)	Þyngd2 (g)	Þyngd3 (g)	Þ1-Þ3 (g)
15	járn	8,0155	8,9087	7,5843	0,4312
30	eir	10,4806	10,4257	10,1265	0,3541
45	ál	3,0289	3,0449	2,8994	0,1295
60	ryðfrítt	8,7374	8,7507	8,7377	-0,0003

Tafla 3a: Þyngdarbreytingar á plötum í **Grind 1 (105 dagar)**, fullur þrýstingur

Nr.	Gerð	Þyngd1 (g)	Þyngd2 (g)	Þyngd3 (g)	Þ1-Þ3 (g)
1	járn	8,9808	9,0097	8,8964	0,0844
16	eir	10,4455	10,4441	10,4163	0,0292
31	ál	3,0149	2,9942	2,7667	0,2482
46	ryðfrítt	8,8599	8,8627	8,8602	-0,0003

Tafla 3b: Þyngdarbreytingar á plötum í **Grind 2 (105 dagar)**, eftir þrýstifall

Nr.	Gerð	Þyngd1 (g)	Þyngd2 (g)	Þyngd3 (g)	Þ1-Þ3 (g)
3	járn	8,9434	8,9604	8,8869	0,0565
18	eir	10,3757	10,3782	10,3559	0,0198
33	ál	3,0287	3,0065	2,9435	0,0852
48	ryðfrítt	8,8574	8,8663	8,8589	-0,0015

Tafla 3c: Þyngdarbreytingar á plötum í **Grind 3 (105 dagar)**, eftir plast

Nr.	Gerð	Þyngd1 (g)	Þyngd2 (g)	Þyngd3 (g)	Þ1-Þ3 (g)
5	járn	8,9322	8,7365	8,6157	0,3165
20	eir	10,4126	10,0434	9,9477	0,4649
35	ál	3,0304	3,0476	2,9081	0,1223
50	ryðfrítt	8,9590	8,9666	8,9585	0,0005

Tafla 3d: Þyngdarbreytingar á plötum í **Grind 4 (105 dagar)**, eftir afloftun

Nr.	Gerð	Þyngd1 (g)	Þyngd2 (g)	Þyngd3 (g)	Þ1-Þ3 (g)
7	járn	8,9549	8,8547	6,1201	2,8348
22	eir	10,3488	10,2498	10,0291	0,3197
37	ál	3,0279	3,0618	2,9077	0,1202
52	ryðfrítt	8,8575	8,8867	8,8570	0,0005

Tafla 4: Þyngdarbreytingar á plötum í **útdragi**.

Nr.	Dagar	Þyngd1 (g)	Þyngd2 (g)	Þyngd3 (g)	Þ1-Þ3 (g)
6	36	11,0217	11,0360	10,9692	0,0525
38	68	11,0401	11,0328	10,9958	0,0443
78	105	11,0388	11,0206	10,9545	0,0843

VIÐAUKI B: Lýsing á útliti platna eftir prófun

Járn: Plöturnar í grindum 1 og 2 léttust innan við 1 % hvort heldur þær voru 60 eða 105 daga í grindunum. Í sýruþvottinum myndaði #3 hvíta froðu. Eftir plaströrið voru plöturnar svartar og með smá ryði, þannig að erfitt var að lesa númer platnanna. Eftir sýruþvott höfðu plöturnar lést um 2-3 %. Plötur #15 og #7 úr grind 4 (eftir afloftara) litu verst út, með miklu ryði og #7 öllu verri enda léttist hún um 32 % en hin um 5%.

Eir: Plöturnar úr grindum 1 og 2 léttust innan við 0,5 % hvort heldur eftir 60 eða 105 daga. En eftir plasrrörið (grind 3) léttust þær um 4,5 % og sýruþvotturinn olli því að eirinn virtist flagna af (#20) og þunn ljósgræn útfelling (Cuprite?) olli því að erfitt var að lesa á númer pötu 28. Nægjanlegt magn af útfellingum fékkst af plötum #30 og #22 úr grind 4, sem reyndist vera Cuprite (Cu_2O). Léttust þessar plötur í grind 4 (eftir afloftun) um 3 - 3,5 % eða um 1,5 % minna en í grindinni á undan.

Ál: Hér breytist þyngd platnanna mjög sveiflukennt og erfitt er að útskýra sveifluna. Þær léttast frá 0,8 % (#43) en hinar 3 - 4 % að einni undan skilinni (#31), sem léttist um 8 %. Á flestum plötunum var karrýgul útfelling, mest á plötunum í grind 3 og 4 en þó það lítið að erfitt var að fá nægjanlegt magn fyrir XRD greiningu, sem gaf enga toppa, þ.e. ókristallað efni. Eitt er þó sameiginlegt öllum plötunum, að í sýruþvottinum freyddi sýran mjög mikið ýmist áberandi hvítri froðu (#44 og #33) eða svörtum flyksum eins og þær væru að leysast upp. Þetta ásamt því hve plöturnar eru í eðli sínu léttar gæti skýrt sveiflurnar í hve misjafnlega þær léttast.

Ryðfrítt: Tilraunin hafði lítil sem engin áhrif á þessar plötur, fyrir utan að á þær (í grind 4) féll smá karrýgult ókristallað efni samkvæmt XRD keyrslu.

Fóðurrör: Þessar tvær plötur léttust lítið eða um 0,4 % (eftir 60 daga) og 0,75 % (eftir 105 daga). Ekki sást neinar útfellingar á þeim.