

ITÍ0604/EUT04
Verknr. 8GP4206

Ásbjörn Einarsson
Páll Árnason

Plastboltar í hitaveitutanka



Maí 2006

Unnið fyrir
Orkuveitu Reykjavíkur



Iðntæknistofnun 

Verkfræðipjónusta
Ásbjörns Einarssonar

Efnisyfirlit

1 Inngangur.....	2
2 Gögn frá framleiðendum bolta.....	3
3 Uppsetning prófana	5
4 Hitapols- og öldrunarprófanir.....	6
5 Þynging bolta.....	8
6 Lega bolta í yfirborði.....	9
7 Áhrif bolta á súrefnisinnihald vatns.....	10
8 Áhrif bolta á hitastig	14
9 Niðurstöður.....	15

1 Inngangur

Súrefni andrúmsloftsins er í snertingu við hitaveituvatn í hitaveitugeymum OR og leysist þar upp í vatninu. Súrefnið getur síðan valdið tæringu á stálhlutum sem vatnið kemst í snertingu við, ef ekkert er að gert. Brennisteinsvetni í vatni OR eyðir þessu súrefni hins vegar á skömmum tíma og því er talið að vatnið sé ávallt orðið súrefnisfrítt þegar það kemur til neytenda. Þetta setur þá kröfu, að alltaf sé nokkuð magn brennisteinsvetnis í hitaveituvatninu og það setur aftur ýmis takmörk í vatnsöflun jarðhitavatsns og notkun bakrásarvatns, þannig að lágmarksmagn brennisteinsvetnis sé ávallt tryggt. Aukin notkun bakrásarvatns og upphitaðs ferskvatns með lágu brennisteins innihaldi gerir það stöðugt mikilvægara að hindra sem mest aðgang súrefnis andrúmsloftsins að vatninu í hitaveitugeymum. Með vatnslásum á útloftun geymanna hefur tekist að minnka þessa súrefnisupptöku nokkuð, en hún er samt enn til staðar.

OR hefur notað 50 mm PP (pólýprópýlen) plastbolta til að minnka virkt vatnsyfirborð í lághitageymum (bakrásarvatn), en ekki hefur verið talið ráðlegt að gera það sama með heitari geyma vegna efasemda um hitaþol boltanna. Boltarnir hafa þótt virka vel. Ekki hafa verið sömu vandamál við meðhöndlun þeirra og hafa verið með heil málmteppi, sem hafa viljað skemmast. Hlutverk boltanna er að

- ✓ draga úr súrefnisupptöku vatnsins og minnka þannig hættu á tæringu í hitaveitukerfinu og þörf á brennisteinsvetni til súrefniseyðingar.
- ✓ hindra uppgufun úr vatninu og minnka þannig hættu á tæringu ofarlega í geymunum og auka endingu sementskústunar á veggjum og þaki geymanna ofan vatnsborðs.

OR ákvað því að kanna hvort forsendur væru fyrir því að setja plastbolta í geyma þar sem vatnshitastig væri um og yfir 80°C og hefur skilgreint eftirfarandi kröfur til boltanna:

1. Þoli 80°C, helst í 25 ár
2. Haldist á floti þótt þeir skemmist
3. Mengi ekki vatnið

Auk súrefnisminnkunar er vonast til að viðhaldsþörf tankanna að innan minnki, jafnvel svo að ekki þurfi að opna þá í 25 ár. Því er endingartíminn skilgreindur svo langur. Styttri endingartími gæti þó verið talinn vel ásættanlegur.

Í þessari skýrslu er lýst prófunum sem Iðntæknistofnun og Ásbjörn Einarsson hafa gert í samvinnu við OR á virkni plastbolta við þessar aðstæður. Áfangaskýrsla var gefin út í september 2005 með flestum af niðurstöðum verkefnisins en í þessari skýrslu er verkefninu og niðurstöðum lýst í heild sinni.

2 Gögn frá framleiðendum bolta

Mörg plastefni eru nógu hitapólin fyrir þær aðstæður sem OR skilgreinir. PP er ódýrast af þeim sem gætu uppfyllt kröfur, en ekki er gefið að öll PP efni hafi nægjanlegt hitapól. Önnur hugsanleg efni eru all nokkuð dýrari. Eðlisþyngd PP plasts er $0,90 \text{ g/cm}^3$ og því flýtur það í vatni. Plastbolti úr PP flýtur ef hann fyllist af vatni eða springur (einnig PB og PEX ef slíkir boltar eru til), er aðrir plastboltar sökkva (nema þeir séu úr frauðplasti) og geta sest á sigti á úttaksopi geyma eða borist út í dreifikerfið.

Ekki er vitað til þess að PP eða PB efni séu til á markaðinum sem ekki uppfylla kröfur til snertingar við drykkjarvatn, en sum PEX efni standast ekki slíkar kröfur.

Við nokkuð einfalda leit fundust framleiðendur af boltum til þessara nota, Ritter í Þýskalandi og Euro-Matic í Danmörku og fengust frá þeim fjögur sýni til skoðunar.

Tafla 1. Skoðuð sýni af plastboltum

Efni	Framl.	Þvermál (mm)	Þyngd bolta (g)	Reikn.veggþ. (mm)	Hringur (mm)
PP	Euro-Matic	50	8,5	1,20	-
PVdC	Euro-Matic	50	11,5	0,98	-
PP	Ritter	45	5,2	0,80	1,5 x 3
PP	Ritter	38	10,5	2,57	1,2 x 0,7

Boltarnir frá Euro-Matic eru að kalla má alveg hnöttóttir og lítil aflögun í miðju, en Ritter boltar eru hins vegar með hring um sig miðjan sem sjá má á mynd 1 á næstu síðu. Ritter segist hafa einkaleyfi á miðjuhringnum, hann komi í veg fyrir að boltarnir velti í vatninu, það myndi auka uppgufun. PVdC boltarnir eru taldir mun hitapólnari en PP boltar, en þeir eru líka tíu sinnum dýrari.

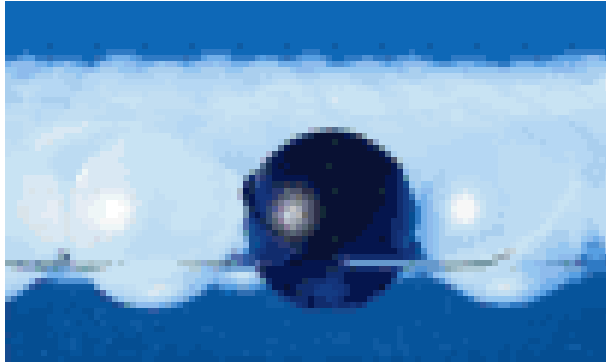
Af fyrirliggjandi gögnum framleiðanda virðast boltarnir fyrst og fremst vera notaðir á heitt vatn til að minnka uppgufun og þar með orkutap. Ekki hafa fengist nein gögn um súrefnisupptöku heits vatns, en í bæklingi frá Ritter er vitnað í rannsóknir Háskólans í Bremerhaven sem sýndu u.þ.b. 63% lækkun á súrefnisupptöku “vökva” með einu lagi af boltum. Síðar er nefnt að boltarnir henti til að minnka súrefnisupptöku kælivatns, víns, olíu, o.fl.

Boltarnir draga mikið úr uppgufun. Samkvæmt rannsókn sem kynnt er á heimasíðu Euro-Mac er uppgufunin eftirfarandi við $50\text{-}90^\circ\text{C}$.

Tafla 2. Uppgufun úr baði með og án bolta.

	Opíð yfirborð			Eitt lag af 38mm boltum			Tvö lög af 38mm boltum		
Hitastig vatns ($^\circ\text{C}$)	90	70	50	90	70	50	90	70	50
Uppgufun (lítrar/ m^2/klst)	13,05	4,97	1,45	1,67	0,41	0,14	1,28	0,38	0,13

Í töflu 2 sést að fyrsta lag virðist hafa mest að segja en annað lag einnig nokkuð. Það ber þó að hafa í huga að þessar mælingar eru gerðar í opnum tanki. Í hálflokuðum tanki er uppgufunin að sjálfsögðu minni, en innbyrðis hlutfall milli eins og tveggja laga ætti að vera óbreytt.

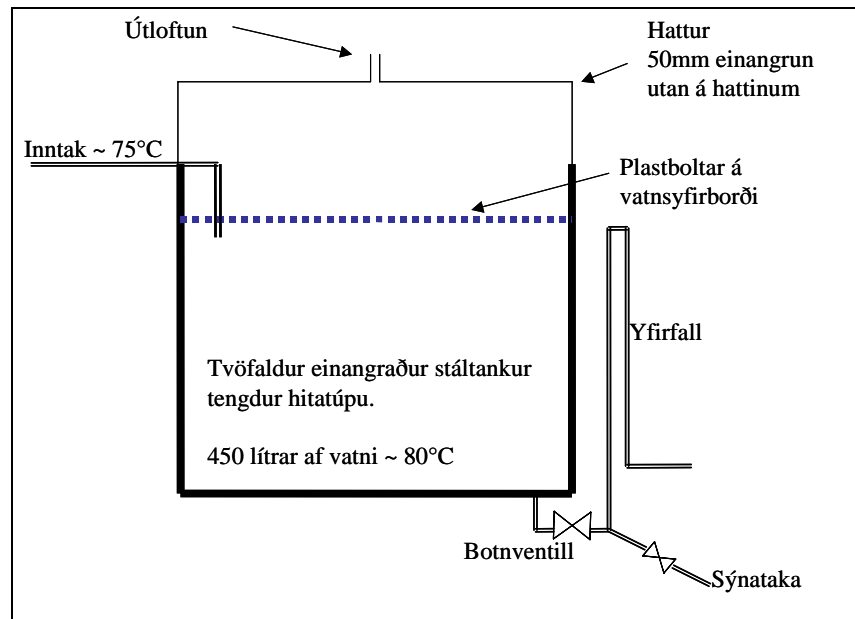


Mynd 1. Boltar frá Ritter. Ágætlega er hægt að greina hringinn um miðjan boltann sem nefndur er hér að framan. Einnig sést glögg hvernig þeir standa að stærstum hluta upp úr vatninu og loka því ekki yfirborðinu eins mikið og þeir gerðu ef þeir væru þyngri. Um það er fjallað í kafla 6.

3 Uppsetning prófana

Ákveðið var að kaupa þær tvær stærðir af boltum frá Ritter til prófana sem sýndar eru í töflu 1 og að hefjast handa við eftirfarandi prófanir.

- A. Hitapols- og öldrunarprófanir. Prófað er við 110°C í aðstöðu OR við Bolholt. Boltarnir er skoðaðir á um 4 mánaða fresti og öldrun metin. Af þessari prófun er ekki hægt að draga ályktanir um vatnsdrægi boltanna eða aðra eiginleika, þrýstingur er t.d. það mikill að þeir leggjast að nokkru leyti saman. Þeir eru bæði prófaðir þannig og sundurskornir.
- B. Virkniprófanir. Prófanirnar eru framkvæmdar í ½ fermetra einangruðu vatnsbaði á Iðntæknistofnun. Reynt er að meta áhrif mismargra laga af boltum á uppgufun og súrefnisupptöku. Teikning af prófunarbúnaði er sýnd á mynd 2.



Mynd 2. Prófunarbúnaður við virkniprófanir

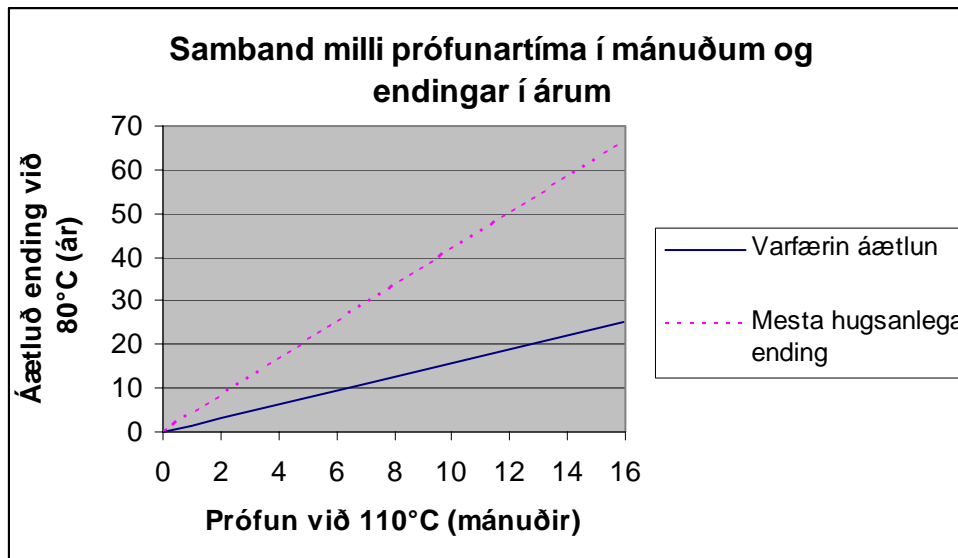
Samkvæmt þeim útreikningum sem gerðir höfðu verið samsvaraði 5 mm gat ofan á hatti prófunartanks því loftgati sem er í toppi hitaveitugeyma miðað við hlutfallslegt flatarmál. Við undirbúning virkniprófana voru gerðar allnokkrar mælingar á súrefnisinnihaldi vatns með mismunandi þéttleika tanks, allt frá 5 mm gati og upp í hálfopinn tank. Enginn munur mældist á súrefnisinnihaldi vatnsins og af því var dregin sú ályktun að þéttleikinn skipti ekki máli ef útloftunargatið væri yfir 5mm í þvermál. Prófanir voru síðan allar gerðar með 10mm útloftunargati.

Um hitapols og öldrunarprófanir er fjallað í kafla 4 en um virkniprófanir í köflum 5-7.

4 Hitapols- og öldrunarprófanir

Öldrunarprófanir fóru fram við 110°C í lokuðum vatnslögnum í dælustöðinni við Bolholt, annars vegar í jarðhitavatni og hins vegar í upphituðu og afloftuðu ferskvatni. Boltarnir verða þar fyrir meira álagi en á yfirborði vatnstanks og eru við 30°C hærra hitastig en við þá notkun sem OR hugsar þá fyrir.

Rannsóknir á niðurbroti PP efna í rörum við 80°C sýna að prófanir við hærra hitastig geta gefið sæmileg svör um endingu efnisins. Styrkurinn rýrnar vegna hitans og að lokum verður efnið stökkt og veikt og brotnar. Við svo lítið álag sem er á boltunum við notkun má áætla að þeir endist 50 sinnum lengur við 80°C en 110°C ef PP efnið er af gerðunum PP-h eða PP-r og 35 sinnum lengur ef það er af gerðinni PP-b. Staðlar um svona framreikning kveða hins vegar á um varfærni og leyfa ekki meira en 18 földun í tíma fyrir 30°C hitastigsbreytingu. Ekki er vitað hvaða gerð af PP er í boltunum en tekin mið af reglunni um hámark 18 földun á tíma við þennan hitastigsmun.



Mynd 3. Áætlun á endingu boltanna við 80°C.

Prófunin í Bolholtinu hófst um miðjan nóvember 2004, sýnin voru skoðuð á fjögurra mánaða fresti. Eftir 16 mánuði var prófuninni hætt, enda gefur þá varfærinn framreikningur til kynna 25 ára endingu. Sýnin litu þá enn ágætlega út og efnið ekki orðið stökkt. Niðurstaðan er sú að öll sýnin af boltum virðist geta enst í þau 25 ár sem vænst er.

Við prófanir á vatnsupptöku bolta var vart við gulbrúnan lit á boltunum nálægt vatnyfirborðinu, eins og sjá má á mynd 4. Hugsanlegar skýringar á slíkum lit geta verið;

- ✓ að brennisteinn hafi fallið út á boltunum
- ✓ aðrar litaðar útfellingar
- ✓ að efnið hafi oxast, að þar sem saman fór mikill hiti og súrefni hafi efnið oxast mun hraðar en annars staðar og á annan hátt en öldrunarprófanir gera ráð fyrir.

Í öllum tilfellum má búast við að litarbreytingin hefjist á ytra yfirborði, ætla má að útfelling sé alfarið á yfirborðinu og ætla má að oxun efnisins og skemmdir vegna hita byrji á ytra yfirborði vegna þess að efnið er veikast þar af framleiðslutæknilegum ástæðum.

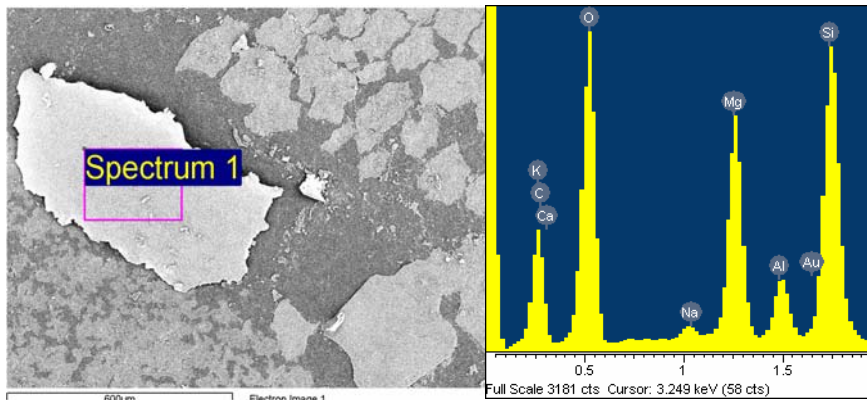


Mynd 4.

Hvíta kúlan er ný, en sú gula er búin að vera á yfirborði hitaveituvatns við 80°C í tæpt ár.

Leitað var að brennisteini á yfirborðinu með efnagreiningu yfirborðs í rafeindasmásjá. Enginn brennisteinn fannst, en hins vegar fundust agnir af álblönduði magnesíumsilikati. Þótt næmni rafeindasmásjárinnar fyrir brennisteini sé hófleg og brennisteinn mjög litarsterkur þá verður að teljast líklegast að orsök gulunarinnar sé útfelling á magnesíumsilikati. Fyrir því eru eftirfarandi ástæður:

- ✓ Þekkt er að magnesíumsilikat útfelling myndist í Nesjavallavatni og geti haft svona lit.
- ✓ Brennisteinsútfelling fannst ekki við smásjárskoðun.
- ✓ Barið var á boltana með hamri og virtist efnið ekki orðið stökkara.
- ✓ Öldrun í bæði jarðhitavatni og afloftuðu ferskvatni við 110°C í 16 mánuði sýndu ekki slíka gulnun og heldur ekki viðbótarþrófun í lofti við 105°C í tvo mánuði.

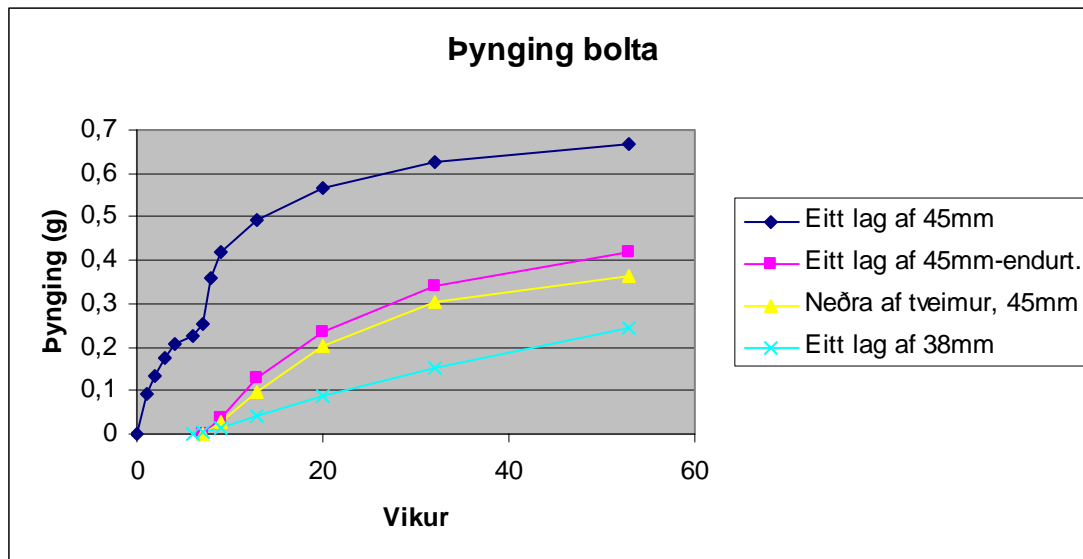


Mynd 5.

Rafeindasmásjármynd og greining á flögu á yfirborði bolta bendir til að hún sé álblandað magnesíumsilikat.

5 Þynging bolta

Byrjað var að fylgjast með þyngd ellefu bolta á sama tíma og mælingar á súrefnisupptöku stóðu yfir. Mikil hreyfing var á boltunum á þeim tíma, rennsli breytt og tankur oft opnaður og svo virðist sem vatnsupptaka boltanna hafi verið meiri þá en síðar. Þegar mælingum á súrefnisupptöku lauk var skipt um hluta boltanna á yfirborðinu, settir inn nýir 45mm boltar, boltar í tveimur lögum og 38mm boltar. Fylgst er með þyngd tíu bolta í hverjum flokki. Lítið en jafnt rennsli hefur verið í gegnum tankinn síðan þá og vatnsupptaka boltanna minni og jafnari en áður. Mælingar á þyngingu allra boltanna sem fylgst hefur verið með eru sýndar á mynd 6.



Mynd 6. Þynging bolta.

Innra rúmmál stærri boltanna er um 43 ml. Ef þyngingin helst óbreytt miðað við það sem var síðustu 21 viku mælinga tekur það boltana á aðra öld að verða hálffullir og mara í hálfu kafi eins og hagstæðast er fyrir virknina. Ef hins vegar er tekið mið af fyrstu 10 vikum mælinga tekur það 45mm boltana ekki nema 10 ár að verða hálffullir. Hvor niðurstaðan sem er réttari, þá gefa þessar mælingar ástæðu til að ætla að boltarnir nái seint hagstæðustu legu í vatnsyfirborðinu.

Litlu boltarnir eru rúmlega helmingi rúmmálsminni, einungis þarf 9 ml af vatni til að þeir mari í hálfu kafi. Mælingar síðustu 21 vikuna benda til að það taki þá rúm 40 ár að mara í hálfu kafi.

Niðurstaða prófananna er sú að það fari eftir því hve jafnar aðstæður eru í tanknum hve hratt boltarnir fyllast. Séu sveiflur í hita- og rakastigi loftsins í tanknum litlar, þá er ekki ástæða til að ætla að boltarnir fyllist of hratt.

Þótt útfellingar hafi sést á yfirborði boltanna eru þær í of litlu magni til að hafa áhrif á þyngd.

6 Lega bolta í yfirborði vatns

Nýir boltar, eins og þeir sem notaðir eru í þessa prófun, eru það léttir að þeir fljóta mikið til ofan á og ná því ekki að loka yfirborðinu eins vel og boltar sem mara í hálfu kafi. Mælingar á hve djúpt 45mm boltarnir sökkva bentu til að þeir lokuðu ekki yfirborðsfleti vatns meira en u.þ.b. 60%. Útreikningar á því hve djúpt bolti sem vegur 5,2 g og er 45 mm í þvermál sökkvi sýnir jafnframt að hann nær dýpst 9,2 mm og þeir 286 boltar sem voru í einu lagi í tanknum eigi þá að loka 59% yfirborðs. Sömu útreikningar sýna að ef annað lag af boltum er sett ofan á þá sökkva boltarnir dýpra og loka um 76% yfirborðs.

Ekki liggur fyrir hversu mikið þeir ná að fyllast með tímanum, hvort þeir fyllist alveg og hætti þá að virka sem skyldi eða hvort þeir ná ákveðnu jafnvægi við umhverfi sitt. Hins vegar er ljóst að þeir þyngjast eitthvað og virka því betur eftir því sem þeir verða nær því að vera hálffullir.

Mælingar hafa ekki verið gerðar á hve djúpt minni gerð boltana sem keyptir voru sökkva. Þeir eru 38 mm í þvermál og vega 10,5 g, en skv. útreikningum ættu þeir að loka 88% yfirborðs strax frá upphafi og þeir ættu að draga í sig minni raka og þyngjast hægar.

Þessi niðurstaða er borin saman við fræðilega og reiknaða lokun yfirborðs með boltum og niðurstöðu prófana á súrefnisupptöku í töflu 3.

Tafla 3. Lokun yfirborðs fyrir mismunandi útfærslur. 50 mm boltarnir voru ekki prófaðir, en þeir eru frá Euro-Matic.

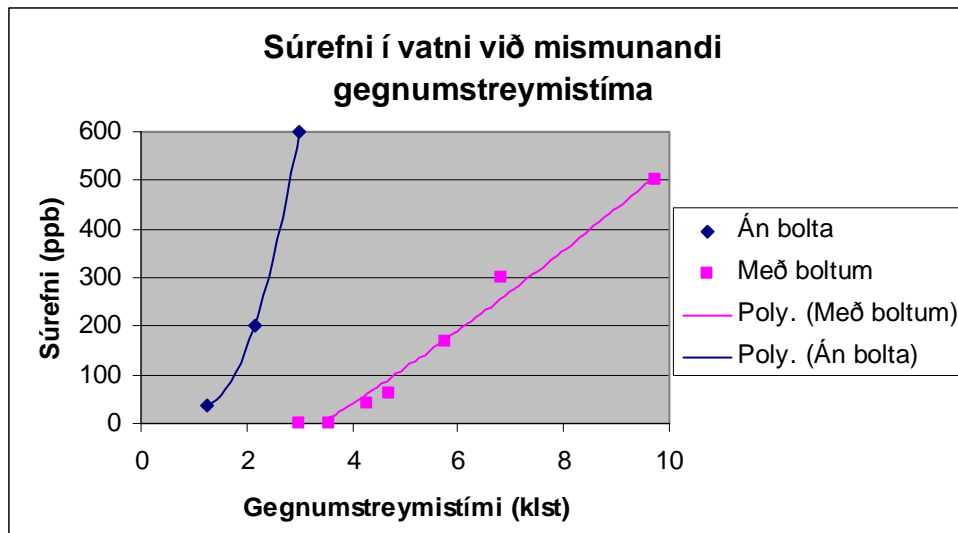
	Fræðileg hámarkslokun yfirborðs ef boltar pakkast vel og mara í hálfu kafi	Reiknuð "lokun" nýrra bolta	Reiknuð raunlækkun súrefnisupptöku, skv mælingum í kafla 7. *	Þyngd boltanna á flatareiningu vatns (kg/m ²)
Eitt lag af 45 mm boltum	91%	59%	50 - 65%	3,0
Tvö lög af 45 mm boltum	91%	76%	60-80%	6,0
Þrjú lög af 45 mm boltum	91%	86%		9,0
Eitt lag af 38 mm boltum	91%	88%	60-80%	8,4
Tvö lög af 38 mm boltum	91%	80%		16,8
Eitt lag af 50 mm boltum	91%	67%		3,9
Tvö lög af 50 mm boltum	91%	84%		7,7

* Reiknuð raunlækkun súrefnisupptöku er háð forsendum varðandi hlutfall súrefnis og brennisteinsvetnis sameinda í efnahvörfum þar sem súrefni eyðist.

Þessir útreikningar benda til að 38 mm boltarnir loki best. Annað lag af þeim veldur hins vegar því að þeir sökkva of djúpt og lokunin minnkar. Samkvæmt því verði sem var á sýnunum kosta tvö lög af 45mm boltum það sama og eitt lag af 38mm boltum. Það verð (án pökkunar og flutnings til landsins) samsvarar að boltarnir kosti 120.000 € fyrir þessa tvo valkosti í 734 ferm. tank eins og á Grafarholti. Raunverulegt verð í þetta magn fæst hins vegar ekki nema óskað sé tilboða.

7 Áhrif bolta á súrefnisinnihald vatns

Kerinu var lokað þannig að einungis var 10 mm gat á hatti. Eitt lag af 45 mm boltum var sett í tankinn. Boltarnir pökkuðust ágætlega á yfirborðið. Niðurstöður fyrstu prófana í samanburði við ker með engum bolta eru sýndar á mynd 7. Rennslisraðið er umreiknaður í gegnumstreymistíma kers.



Mynd 7. Súrefnisinnihald vatns við mismunandi gegnumstreymistíma, með og án bolta. Punktarnir sýna mælingar og línurnar sýna útreiknaða jöfnu besta ferils gegnum punktana.

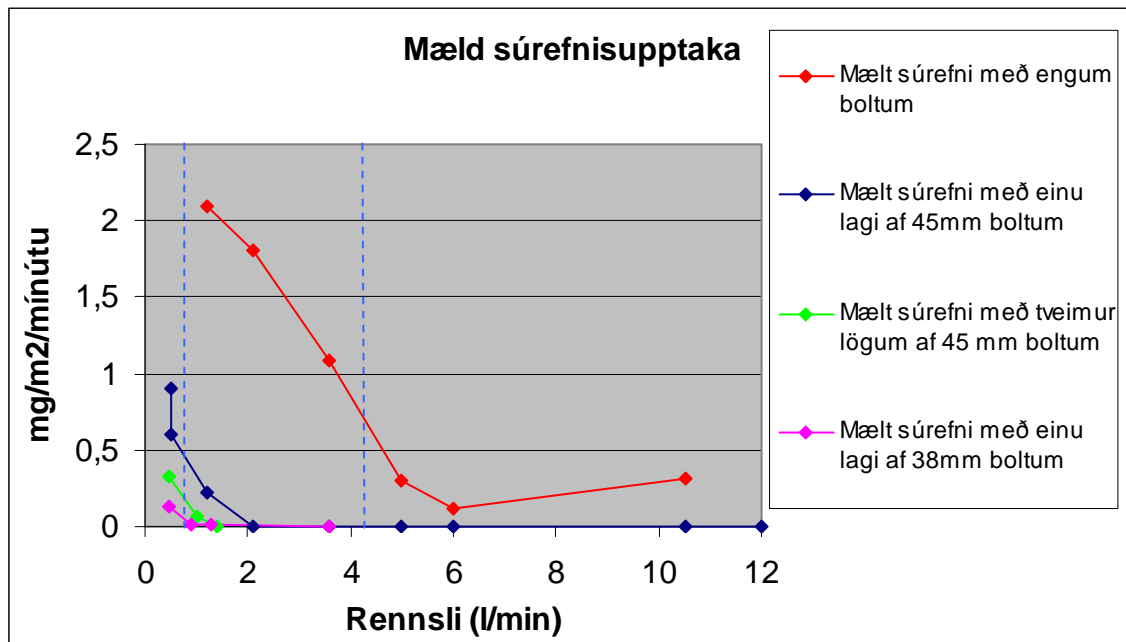
Ljóst er að boltarnir hafa mikil áhrif á súrefnisinnihald vatns úr tankinum. Til að fá frekari upplýsingar um það sem gerðist í tankinum var ákveðið að mæla líka brennisteinsvetni (H_2S) í vatninu sem rennur í tankinn og því sem rennur úr honum. Lækkunin á að gefa vísendingar um hve mikið súrefni hvarfast við H_2S og þar með hve heildarsúrefnisupptakan er mikil. Með þeirri forsendu er súrefnisupptaka yfirborðsins reiknuð. Niðurstaða mælinga er sýnd í töflu 4 og útreiknuð súrefnisupptaka er sýnd á mynd 8.

Mælingar á súrefni í vatninu eru gerðar með 0-100 og 0-1000 ppb ampúlum (CHEMets R7540 og R7501 frá CHEMetrics, Inc) en mælingar á brennisteinsvetni með því að títra það með kvikasilfurasetati.

Prófunin var gerð án bolta og með einu og tveimur lögum af 45 mm boltunum og einu lagi af 38 mm boltum. Ekki var hins vegar nóg af 45mm boltum fyrir tvö lög og því þurfti að nota minni bolta í tæp 30% efra lagsins. Þeir eru þyngri og sökkva neðra laginu aðeins dýpra. Að teknu tilliti til þess sýna útreikningar að boltarnir ættu að ná að loka 79% af yfirborðinu eins og tveggja laga fyrirkomulagið var þarna.

Tafla 4. Mælingar á súrefnisinnihaldi vatns og minnkun brennisteinsvetnis við mismunandi aðstæður.

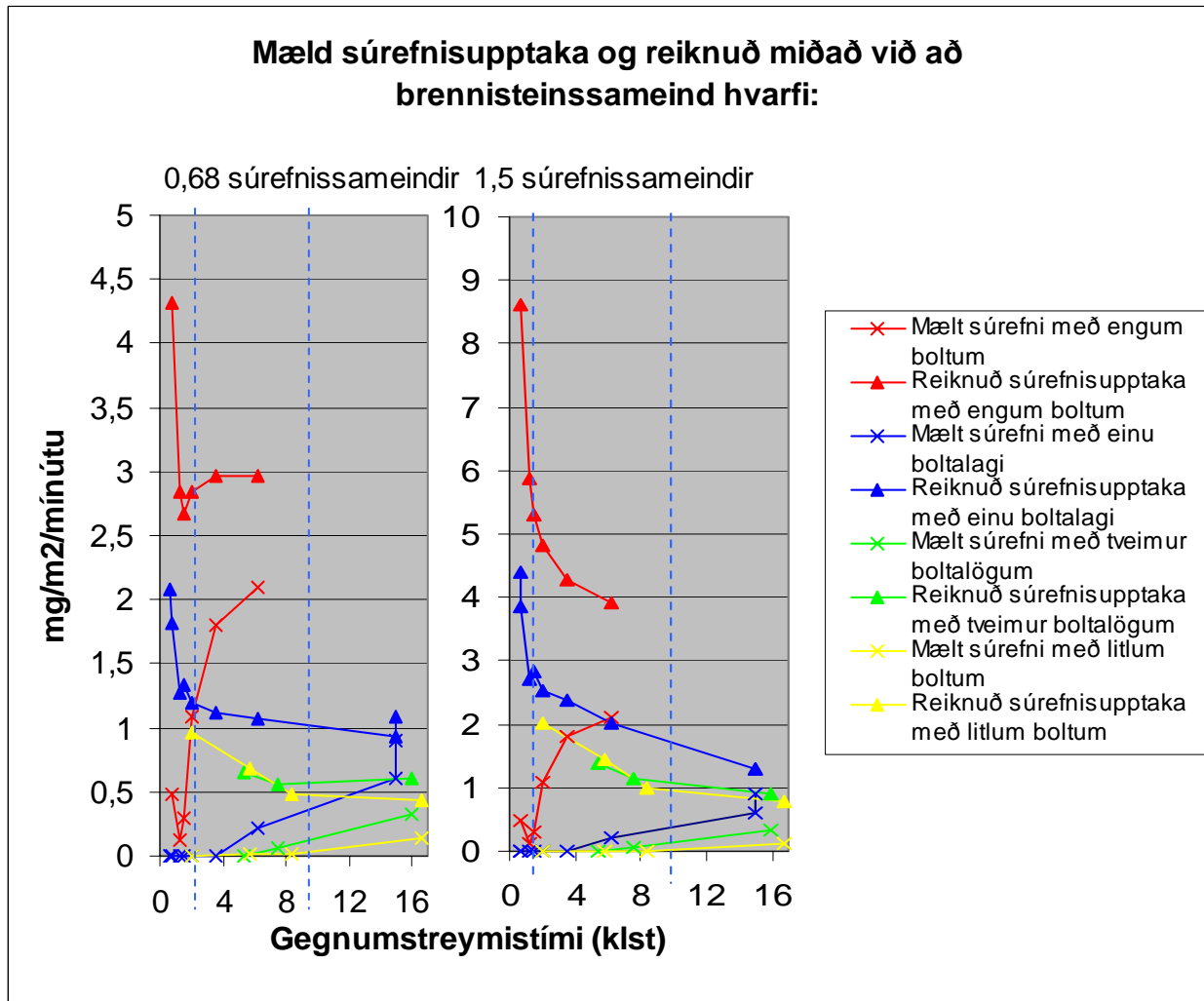
Rennsli (l/min)	Súrefni út (ppb)	H ₂ S inn (ppm)	H ₂ S út (ppm)	Lög af boltum
1,5	700	0,43	0	Engir boltar
2	450	0,44	0	
2,7	200	0,49	0	
3,7	40	0,49	0,01	
6	10	0,46	0,12	
12	20	0,47	0,23	
0,5	900	0,29	0	
0,5	600	0,49	0	
1,2	90	0,53	0	
2,1	0	0,50	0,1	
3,6	0	0,34	0,09	
5	0	0,37	0,17	
6	0	0,28	0,12	
10,5	0	0,39	0,26	
12	0	0,41	0,28	
0,47	350	0,43	0	Tvö lög af 45mm boltum
1	30	0,38	0	
1,4	0	0,36	0,01	
0,45	150	0,50	0	Eitt lag af 38mm boltum
0,9	5	0,61	0,22	
1,3	5	0,63	0,24	
3,6	0	0,63	0,43	



Mynd 8. Súrefnisinnihald vatns sem fall af rennsli gegnum tank. Gegnumstreymistími hjá OR er oftast á því bili sem bláu brotnu línurnar tvær afmarka.

Skv. upplýsingum frá Grétari Ívarssyni og Einari Gunnlaugssyni, OR, er það misjafnt eftir aðstæðum hve mikið H₂S fer í að eyða súrefninu, til eru mælingar sem sýna að hver brennisteinsvetnissameind eyði tveimur súrefnissameindum (sem bendir til oxunar í súlfat), en aðrar mælingar benda til þess að 150-160 ppb H₂S þurfi til að eyða 100ppb af súrefni (O₂). Það þýðir að hver brennisteinsvetnissameind eyði einungis 0,68 súrefnissameindum og oxunin er þá væntanlega aðallega í þíosúlfat og hreinan brennistein. Það er því alls ekki ljóst hvernig eigi að reikna súrefnisupptöku við prófunina út frá eyðingu H₂S og jafnvel hugsanlegt að þetta samband hafi breyst á meðan á prófunum stóð, enda breyttist H₂S innihald (sjá töflu 4) og líklega fleiri eiginleikar vatnsins verulega á meðan á prófunum stóð.

Á mynd 9 er bæði sýnd reiknuð súrefnisupptaka sem minnkar með lengri gegnumstreymistíma og mæld súrefnisupptaka sem eykst. Í þeirri reiknuðu hefur mælda súrefnisupptakan verið leiðrétt fyrir lækkingu í brennisteinsinnihaldi og því er hún réttari. Þar kemur fram lækkingu með lengri gegnumstreymistíma og stafar hún líklega af súrefnismettun sem eigi sér stað í hreyfingarlitlu vatnsyfirborðinu.



Mynd 9. Súrefnisinnihald vatns og reiknuð súrefnisupptaka sem fall af gegnumstreymistíma. Reiknað er miðað við tvær ólíkar forsendur, annars vegar að brennisteinssameind eyði 0,68 og hins vegar 1,5 súrefnissameindum. Þótt það muni allt að tvöfalt á reiknaðri súrefnisupptöku þá hefur það hófleg áhrif á niðurstöður um virkni boltanna. Gegnumstreymistími hjá OR er oftast á því bili sem bláu brotnu línurnar tvær afmarka.

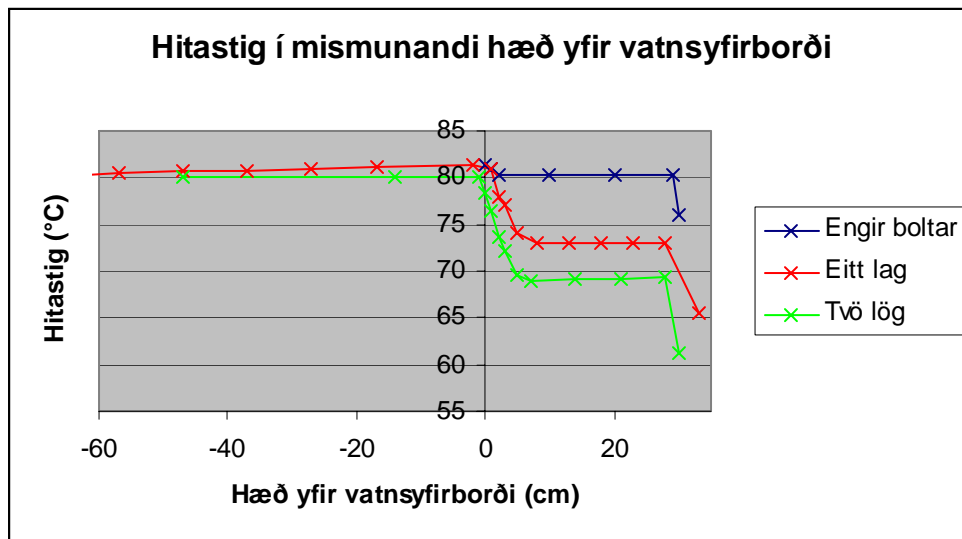
Af mynd 9 má sjá að eitt boltalag dregur úr súrefnisupptöku um a.m.k. helming og með öðru lagi er enn dregið úr súrefnisupptöku. Áhrif efra boltalagsins gæti að einhverju eða öllu leyti stafað af því að það skapar þyngd á neðra lagið svo að það sökkti aðeins dýpra og loki betur vatnsfletinum.

Eitt lag af litlum boltum sýnir minnsta súrefnisupptöku, en upptakan er lítil og óvissa mælinga mikil. Þetta er í þokkalegu samræmi við það sem reiknað er hér að framan varðandi lokum þeirra á yfirborðinu.

8 Áhrif bolta á hitastig

Rakastig var ekki mælt í tanknum, döggt á akrýl-hattinum talin til marks um að rakastigið væri fast að 100%. Með boltum og 10 mm gati á loki daggaði ekki á loki í kringum gatið sem er til marks um að kalt og þurr loft hafi streymt þar niður og myndað loftflæði með undirmettuðu lofti í kringum gatið. Nánast um leið og gati var lokað daggaði á allt yfirborðið.

Hatturinn er allur einangraður með 50 mm þykkum steinullarplötum (sökkuhlötum) nema 25 mm gat er á ullinni ofan við gat á hatti. Hitastig í tanknum var mælt með því að reka hitatvennd niður í gegnum gatið á hattinum og næla á mismunandi dýpi. Niðurstöður eru sýndar á mynd 10.



Mynd 10. Hitafall mælist milli boltanna en ekkert hitafall mælist í loftfasanum fyrir ofan boltana. Loftfasinn er kaldari eftir því sem boltalögin eru fleiri. Mælingar með engu og einu boltalagi voru gerðar með allnokkru innstreymi 75°C heits vatns í tankinn. Vegna þess hvernig hitastigsstýringin er veldur það hærra hitastigi eftir því sem ofar dregur í tanki og efst var það 81,4°C.

Boltarnir virðast hafa áhrif í þá átt að hitaeinangra vatnið að einhverju leyti frá loftinu. Minni uppgufun virðist einnig valda því að hitastigið á akrýlhattinum lækkar enn frekar. Mælingar eru einungis gerðar með 45mm boltum, með einu og tveimur lögum. Ekki er ljóst hvaða áhrif 38mm boltarnir hafa á hitastigið í loftfasanum.

Sú hitastigslækkun sem fæst með boltunum er háð því hve þéttur og hitaeinangraður tankurinn er. Eftir því sem einangrunin er betri má búast við að áhrif boltanna til hitastigslækkunar séu minni.

9 Niðurstöður

Samkvæmt niðurstöðum prófana bendir flest til að ending PP-bolta sé ásættanleg í hitaveitugeymum með um 80°C heitu vatni. Mælingar benda til yfir 25 ára endingar.

Virgni boltanna fer eftir lokun þeirra á yfirborðinu, sem aftur er háð þyngd og þvermáli boltanna og fjölda laga. Þannig má nota niðurstöðurnar til að reikna gróflega út áhrif mismunandi boltagerða og lagfjölda á aðstæður í tönkunum.

Miðað við þá bolta, sem prófaðir voru, minnkar súrefnisupptaka vatnsins um 50-65% með einu lagi af 45 mm boltum en um 60-80% með tveimur lögum. Með einu lagi af 38mm boltum næst sama lækkun súrefnisupptöku og með tveimur lögum af 45mm boltum, enda eru 38mm boltarnir þyngri, liggja neðar og loka betur vatnsyfirborðinu.

Hitastig í tilraunageyminum ofan vatnsborðs lækkar með tilkomu boltanna. Líklegt er að þetta, ásamt minnkun uppgufunar, muni draga úr eyðingu sementskústunar af geymayfirborðinu ofan vatnsborðs og minnka þannig viðhaldspörf á sementshúðinni, án þess að hægt sé að fullyrða það hér.

Séu sveiflur í rekstri tankanna litlar má búast við að vatnsupptaka boltanna dragi ekki úr endingartíma þeirra.

Í verkefninu hefur verið tekið mið af því ástandi sem verið hefur í hitaveitugeymum á umliðnum árum. Breytingar í þá átt að láta þá miðla betur vatni og láta vatnshæðina þá sveiflast geta aukið súrefnisupptöku og sveiflað hita og rakastigi loftins í tönkunum þannig að vatnsupptaka boltanna aukist sem og niðurbrot sementskústunar. Ekki er lagt mat á hvað áhrif aukinnar miðlunar á þessa þætti eru mikil.

Ódýrasta lausnin við að nota bolta til að loka vatnsyfirborði í hitaveitutönkum er að setja eitt lag af 45mm eða 50mm boltum í þá. Sé vilji fyrir því að leggja í meiri kostnað og fá betri lokun stendur valið á milli þess að setja tvö eða þrjú lög af 45mm eða 50mm boltum eða setja eitt lag af 38mm boltum. Samanburður valkostanna er sýndur í töflu 5.

Tafla 5. Kostir við mismunandi valkosti

Eitt lag af 45mm eða 50mm boltum	Tvö eða þrjú lög af 45mm eða 50mm boltum	Eitt lag af 38mm boltum
✓ Ódýrast	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hitaeinangrar líklega best (38mm hafa ekki verið mældir) ✓ Lokar betur yfirborði en eitt lag 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lokar best frá byrjun ✓ Sterkari boltar ✓ Taka miklu minna pláss í meðhöndlun, s.s ef losa þarf tank ✓ Kostar svipað og tvö lög af stærri boltum