



Titill / Title	<i>FROSTÞURRKUN MEÐ JARÐGUFU. Tilraunir á Reykjanesi</i>		
Höfundur / Author	<i>Birgir Guðlaugsson</i>		
Skýrsla Rf / IFL report	2-98	Útgáfudagur / Date:	3. febrúar 1998
Verknr. / project no.	1157		
Styrktaraðili/funding:	<i>Rannsóknarráð Íslands / Iceland Research Council</i>		
Ágrip á íslensku:	<p><i>Áhugi hefur beinst að því á Íslandi að kanna möguleika á hvort það sé tæknilega og rekstrarlega fýsilegt að nota jarðgufu til frostþurrkunar. Tilgangur þeirrar tilraunar sem lýst er í þessari skýrslu var að afla upplýsinga og reynslu af frostþurrkun í tilraunaþurrkara sem tengdur var gufubeysakerfi knúnu jarðgufu.</i></p> <p><i>Sett var upp tveggja þrepa gufubeysakerfi hjá saltverksmiðjunni á Reykjanesi og það tengt jarðgufuveitu verksmiðjunnar. Við þeysakerfið var tengdur tilraunaþurrkklefi. Gerðar voru athuganir á stöðugleika kerfisins og hversu miklu lofttæmi væri hægt að ná í þurrkklefanum.</i></p> <p><i>Niðurstaðan var að frostþurrkuð voru nokkur afuðasýni sem kynnt voru áhugasömum aðilum sem og tæknin. Í ljós kom nokkur óstöðugleiki í þrýstingi í klefanum sem virtist að jafnaði vera um 1 - 1,3 Torr en frostþurrkun var þó möguleg.</i></p> <p><i>Eðlilegt er í framhaldi af þessu verkefni að láta á það reyna hvort hægt sé að stofna undirbúningsfélag sem hefði það meginmarkmið að koma á fót tilraunaverksmiðju og kanna grundvöll fyrir framleiðsluverksmiðju.</i></p>		
Lykilorð á íslensku:	<i>frostþurrkun, jarðgufa, þeysar, þurrkun</i>		
Summary in English:	<p><i>There has been some interest in Iceland for investigating if it is feasible to utilize geothermal steam for freeze drying. The aim of this project was to gain some experience in freeze drying in experimental dryer connected to steam jet ejector system driven by geothermal steam.</i></p> <p><i>A two stage steam jet ejector system was installed and connected to geothermal steam supply at plant site in Reykjanes. An experimental freeze drying cabinet was connected to the system. The stability of the steam in relation to acquired vacuum in the drying chamber was studied.</i></p> <p><i>A few samples of freeze dried products were made and introduced as well as the technique to some interesting parties. Some instability occurred in the pressure in the cabinet which showed out to be somewhere around 1,0 - 1,3 Torr and freeze drying could be performed.</i></p> <p><i>The conclusion is to recommend a further work on optimizing the technique and feasibility study for a freeze drying production factory based on geothermal energy.</i></p>		
English keywords:	<i>freeze drying, geothermal steam, ejector, drying</i>		

EFNISYFIRLIT

1.	INNGANGUR.....	2
2.	FROSTÞURRKUN.....	2
3.	GUFUÞEYSAKERFI.....	6
4.	UPPSETNING.	8
5.	TILRAUNIR.....	12
6.	NÍÐURSTÖÐUR.....	13
7.	UMRÆÐA.....	16
8.	HEIMILDIR	18

VIÐAUKI

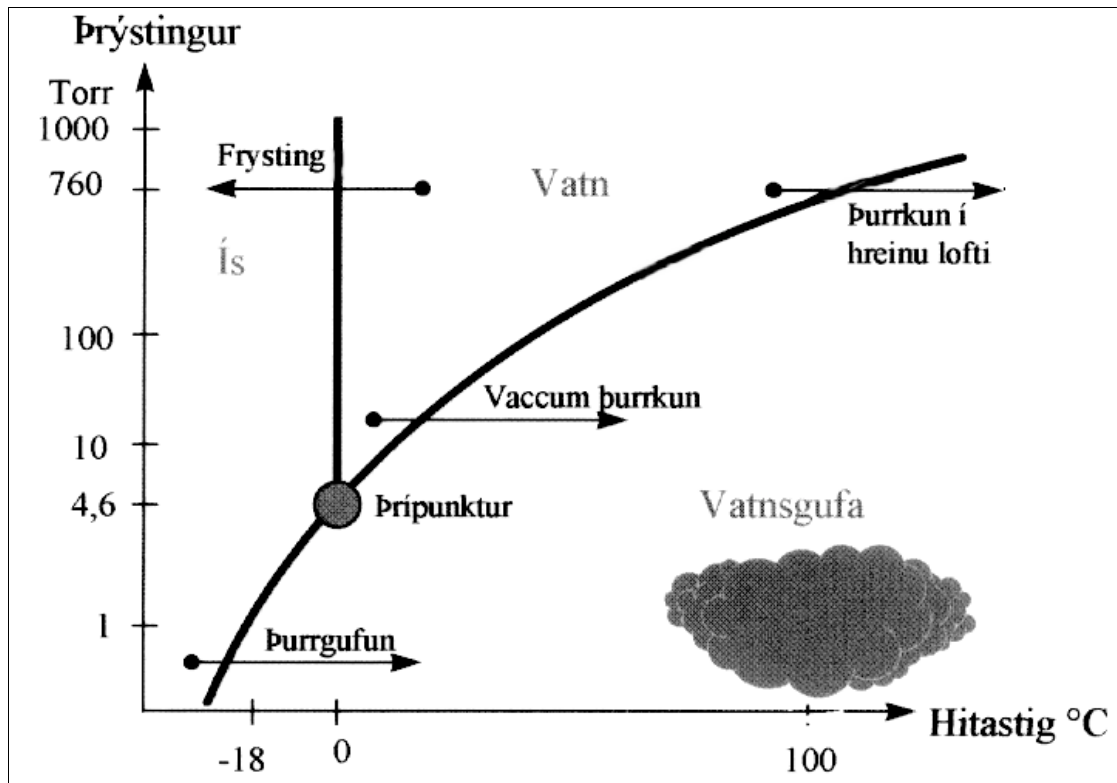
1. INNGANGUR

Skýrsla þessi lýsir tilraunum sem gerðar voru með frostþurrkum matvæla með notkun jarðgufu. Tilraunirnar eru liður í samstarfsverkefni Hitaveitu Suðurnesja og Rannsóknastofnunar fiskiðnaðarins sem til var stofnað af þeim ásamt Tækniþróun hf. og var styrkt af Rannsóknarráði Íslands. Verkefnið var unnið í framhaldi af verkefni um frumathugun á mörkuðum fyrir frostþurrkað sjávarfang (Eiður Guðmundsson *et al.*, 1994). Meginmarkmiðið var að afla reynslu af frostþurrkun í tilraunaþurrkara sem tengdur yrði gufuþeysakerfi knúnu jarðgufu og kynna viðskiptahugmyndina áhugasömum mönnum með það fyrir augum að fá þá til samstarfs um stofnun undirbúningsfélags um rekstur frostþurrkunarverksmiðju.

Frostþurrkun á Íslandi er áhugaverð þar sem verkefni sem unnin hafa verið við Háskóla Íslands hafa gefið til kynna að orkukostnaður sé lægri við notkun jarðgufu heldur en í kerfi þar sem notuð er raforka. Frostþurrkun með aðstoð gufu er vel þekkt aðferð en hefur ekki verið reynd með jarðgufu heldur með gufu frá kyntum gufukötlum. Komið var upp frostþurrkunarkerfi með gufuþeysum í húsakynnum saltverksmiðjunnar á Reykjanesi og jarðgufa fengin frá gufuorkuveitu verksmiðjunnar. Tilraunir voru gerðar í tækjabúnaðinum og frostþurrkuð nokkur sýnishorna afurða og hugmyndin kynnt mönnum sem áhuga kynnu að hafa á nýtingu jarðvarma á Íslandi til að frostþurrka matvæli.

2. FROSTÞURRKUN

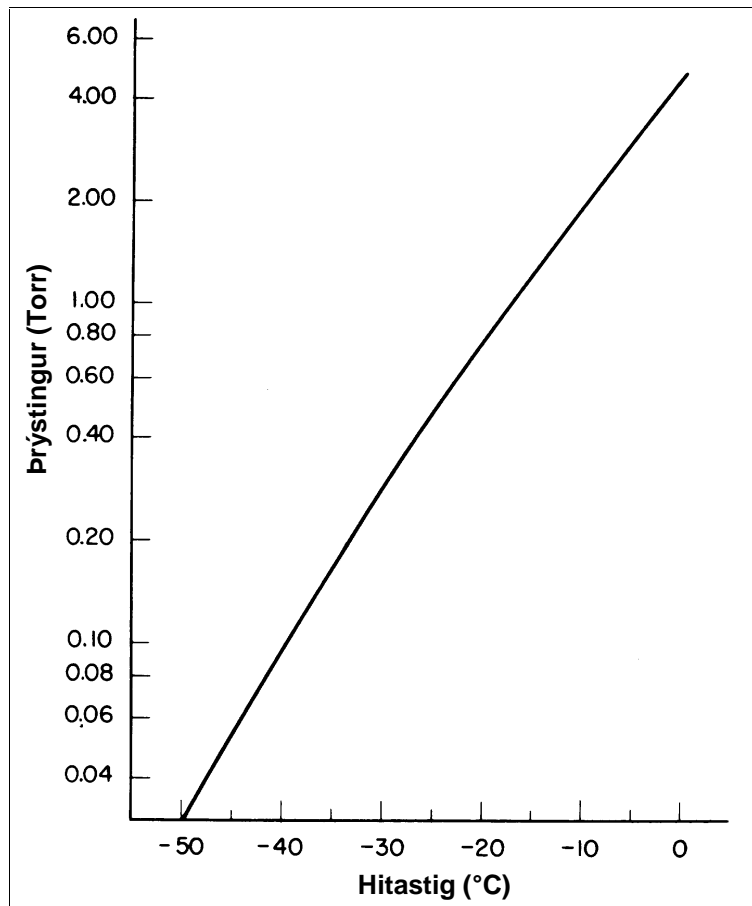
Við frostþurrkun er vatn fjarlæggt úr frosnu hráefni, þ.e. uppgufun vatnsins, fasaskiptin eiga sér stað með því að vatn umbreytist úr ís beint í gufu án þess að bráðnun eigi sér stað (þurrngufun, e. sublimation). Þetta er mögulegt með því að setja frosið hráefnið inn í lofttæmdan þurrklefa þar sem loftþrýstingurinn er lægri en 4,6 Torr (6,1 mbar_{abs}). Á fasalínuriti vatns á mynd 1 sést að fasalínur vatns skerast í einum punkti, svokölluðum þrípunkti (e. triple point). Neðan þrípunkts, þ.e. við þrýsting lægri en 4,6 Torr, fyrirfinnst vatn annað hvort sem ís (fast efni) eða gufa, fljótandi vatnsfasi er ekki til.



Mynd 1. Fasalínurit vatns.

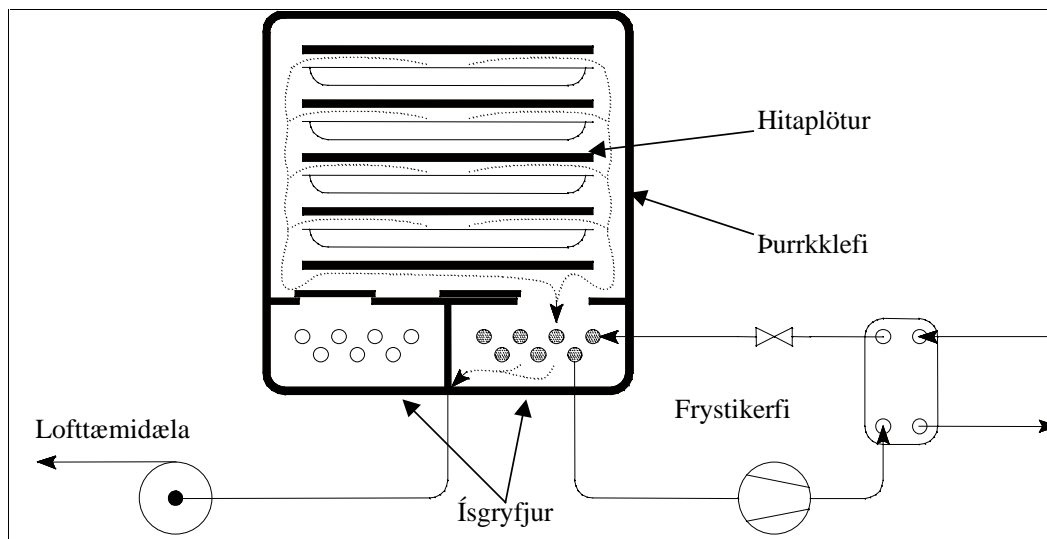
Samband er milli þurrgefunarhitastigsins og þrýstings gufunnar umhverfis ísyrfirborðið sem er mettunarþrýstingur vatnsgufu. Þetta samband kemur fram á mynd 2 og er eitt af grundvallaratriðum frostþurrkunar. Út frá því má ákveða hve mikill undirþrýstingur þarf að vera til að þurrgefuna (frostþurrkun) eigi sér stað við ákveðið hitastig.

Til að uppgufun geti átt sér stað þarf umhverfisþrýstingur að vera lægri en mettunarþrýsingur og að gufan sé fjarlægð úr umhverfinu, annars ríkir jafnvægisástand. Ennfremur þarf varmaorku sem nemur uppgufunarvarma íssins. Til þess að fjarlægja gufuna og halda umhverfisþrýstingnum nægilega lágum eru notaðar lofttæmidælur. Slíkar dælur geta m.a. verið rafdrifnar eða gufudrifnar (gufuþeysar, e. steam ejectors).

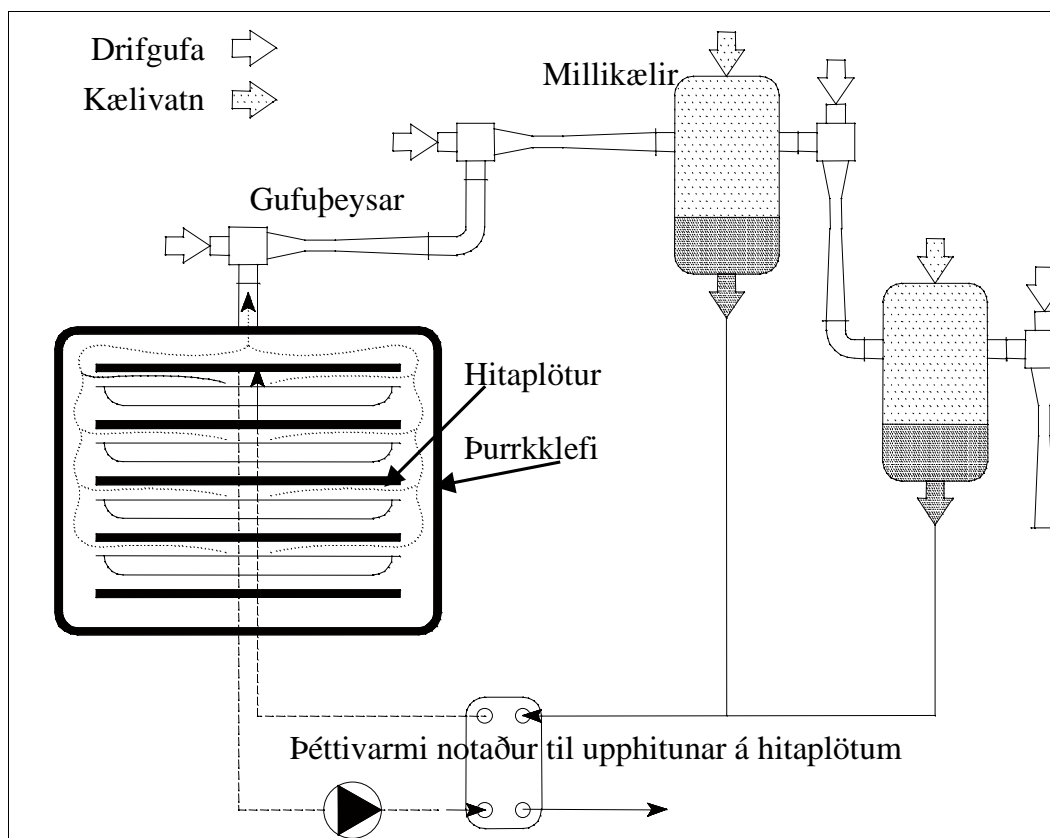


Mynd 2. Gufunarþrýstingur íss.

Á mynd 3 má sjá uppbyggingu frostþurrkunarkerfis með rafdælu. Vatnsgufan sem myndast við ísmörkin streymir frá hráefninu til þéttis (ísgryfju), þar sem gufan þéttist að nýju og ísskel myndast á kælielementinu. Þennan ís þarf að fjarlægja en það er gert með því að hafa tvöfalda ísgryfju og bræða ísinn í annarri á meðan hin þéttir. Tilgangurinn með þéttinum er tvíþættur, annars vegar að hindra að vatnsgufa fari í dæluna (á einkum við olíusmurðar dælur) og hins vegar að minnka afkastapörf dællunnar. Þannig er að við svo lágan þrýsting er rúmmál vatnsgufunnar mjög mikið, t.d. er rúmmál 1 g af vatnsgufu við 0,5 Torr u.þ.b. 1720 l (S. Arason, 1976). Þannig að með því að staðsetja þétti milli þurrkklæfa og lofttæmidællunnar og fjarlægja vatnsgufuna úr loftinu hefur hún lítil sem engin áhrif á afköst og nýtni dællunnar. Þéttar eru yfirleitt kældir með kælimiðlum (ammoníak, freon) og það þarf því kælipressu og tilheyrandi kælikerfi.



Mynd 3. Rafdrifið frostpurrkunarkerfi



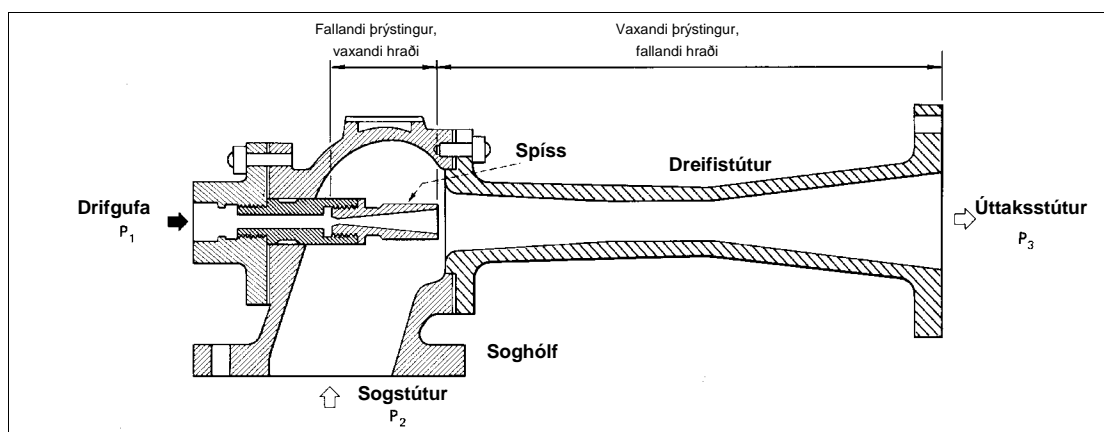
Mynd 4. Frostpurrkunarkerfi með gufuþeyсар.

Í frostþurrkunarkerfum sem nota gufu eru notaðir gufudrífir þeysar til að lofttæma þurkklefan. Í slíkum kerfum þarf hvorki ísgryfju né kælikerfi þar sem þeysarnir geta sogað vatnsgufuna sem myndast við þurrgunina, mynd 4. Gufudrífir frostþurrkunarkerfi nota yfirleitt drifguflu framleidda með gufukatli, en hefur þótt vera dýrari en rafdrífir kerfi, en getur átt rétt á sér þar sem ódýr gufa er fyrir hendi og nóg af kælivatni. Sem varmaorku má nýta þéttunarvarma drifgufunnar eða heitt kælivatni.

Áhugi hefur beinst að því á Íslandi að kanna möguleika á hvort það sé tæknilega og rekstrarlega fýsilegt að nota jarðguflu til að drífa þeysana. Tilgangur þeirrar tilraunar sem lýst er í þessari skýrslu var að afla upplýsinga og reynslu af frostþurrkun í tilraunaþurrkara sem tengdur var gufluþeysakerfi knúnu jarðguflu.

3. GUFUÞEYSAKERFI

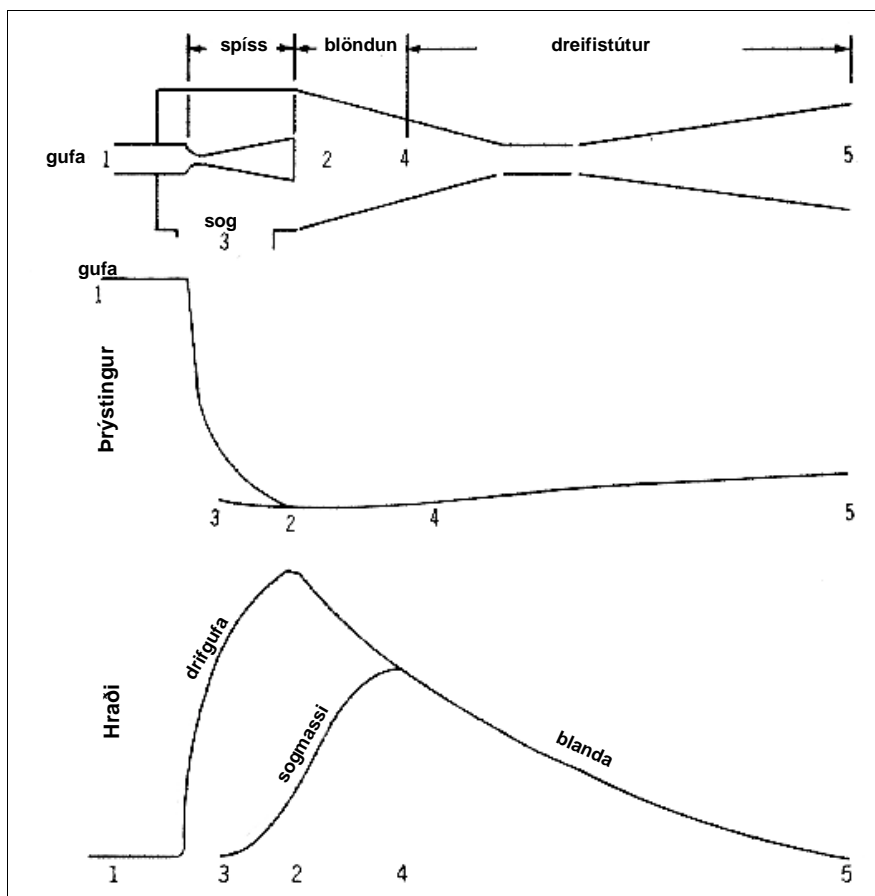
Þeysar (e. ejectors) eru víða notaðir í iðnaði til að mynda undirþrýsting til að soga og flytja massa, t.d. í uppgufurum ýmiss konar við eimingu, þurrkun (vakuumburrkun), frostþurrkun og afloftun (degassing) vökva. Hægt er að ná þrýstingi allt niður að 75 mikron Hg (0,1 mbar_{abs}) með því að raðtengja saman mismarga þeysa, allt upp í 6 þrepa kerfi.



Mynd 5. Gufluþeysir.

Þeysar eru í rauninni dæla sem flytur lágþrýstan massa með breytingu á skriðþunga háþrýstimassa. Drifkvikan (háþrýstimassinn) getur verið gufa, vatn, loft o.fl. Hér á eftir verður talað um guflu sem drifkviku, drifguflu. Mynd 5 sýnir

uppbyggingu venjulegs þeysis. Hann samanstendur af þremur meginhlutum: spíss (e. nozzle), soghólfi (blöndunarhólfi, e. suction chamber) og dreifistút (e. diffuser). Drifgufan kemur í soghólf um spíssinn þar sem hraði hennar eykst upp fyrir hljóðhraða (dæmigert u.þ.b. 1000 m/s) við fallandi þrýsting. Í soghólfinu blandast drifgufan og lágþrýstimassinn (vökvi og/eða lofttegundir) sem kemur frá sogstút þeysisins. Blandan af drifkvikunni og sogkvikunni fer síðan út í gegnum dreifistútinn þar sem hraðahæð er breytt í þrýstihæð. Algengt þjöppunarhlutfall milli sogstúts og úttaksstúts ($p_3:p_2$) er 10:1 og allt upp í 20:1 sem þýðir að þrýstisvið eins þeysis getur verið á bilinu frá $0,1 \text{ bar}_{\text{abs}}$ upp í $1 \text{ bar}_{\text{abs}}$. Mesta þjöppunarhlutfall þeysis í milliprepum fjölþrepa þeysakerfis er 15:1. Á mynd 6 sjást þrýsti- og hraðabreytingar drif- og sogmassa í gegnum þeysinn.



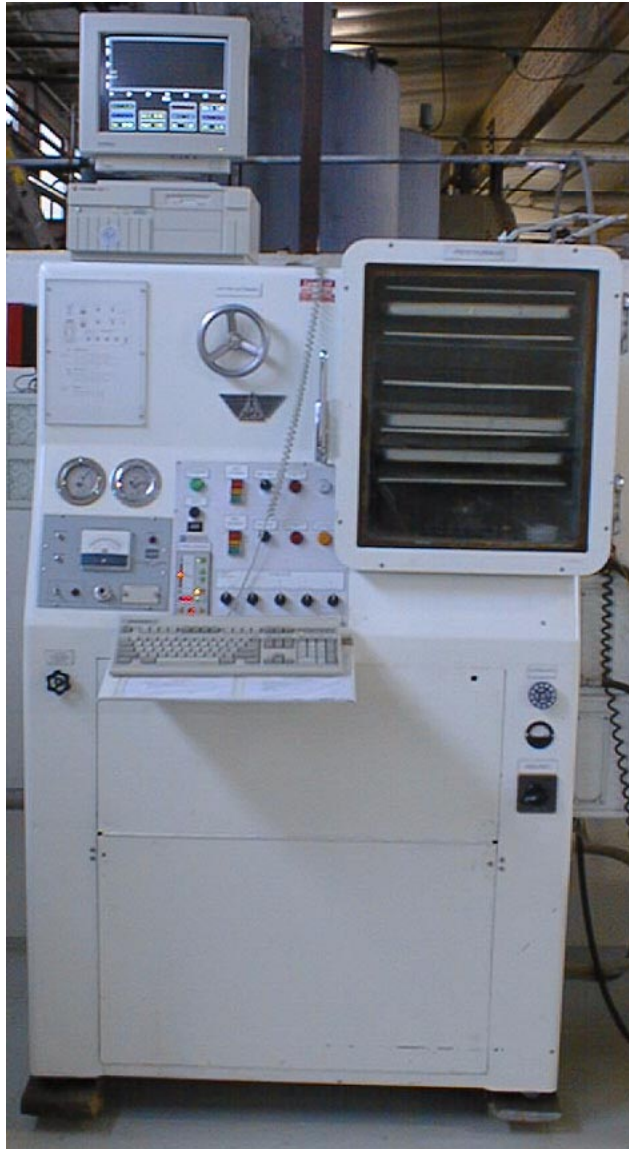
Mynd 6. Hraða- og þrýstibreytingar í þeysi.

Þegar byggð eru upp fjölþrepa gufuþeysakerfi er oft komið fyrir millikælum þar sem þéttanlegt gas og gufur eru teknar úr gufublöndunni en það sparar drifgufu inn á þau þrep sem á eftir koma (mynd 4). Við hönnun gufuþeysakerfa þurfa eftirfarandi lykilstærðir að vera þekktar:

- *Sogmassi*. Samsetning og mólþyngd.
- *Nauðsynlegt sogmagn*. Heildarmassastreymi í kg/s eða kg/klst. Taka þarf tillit til leka inn í kerfið, þéttanlegra og óþéttanlegra gastegunda og uppgufunar úr hráefni í þurrkurum.
- *Nauðsynlegur sogþrýstingur*. Sogþrýstingur hefur áhrif á fjölda þrepa og þar með magn drifgufu og kælivatns. Notkun öryggisstuðla er mjög varhugaverð og ætti frekar að nota á magn drifgufu heldur en sogþrýsting.
- *Tæming*. Krafan sem gerð er til þess hversu langan tíma tæming rýmisins má taka eða m.ö.o. hversu langan tíma má það taka að ná óskuðum þrýstingi.
- *Útblástursþrýstingur*. Þrýstingur við útblástursop síðasta þreps þegar þeysir vinnur við hönnunarsogþrýsting.
- *Hitastig* á sogmassa er ekki mikilvæg stærð þar sem það hefur mjög lítil áhrif á afköst þeysanna, nema að hitastigið sé lægra en 0°C, þá þarf að gæta að því að ekki frjósi í þeysunum.
- *Drifgufa*. Með auknum þrýstingi þrifgufunnar minnkar magnið
- *Kælivatn*. Ef notaðir eru millikælur (eimsvalar) milli þeysaþrepa þarf að vita hitastig þess og e.t.v. hversu mikið magn er aðgengilegt og þrýstingur þess.

4. UPPSETNING.

Á Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins hefur verið til tilraunafrostþurrkari til rannsóknar- og þróunarstarfa. Hann er með rafdrifinni lofttæmidælu og kælikerfi og rafmagnshitaplötum. Til að hægt yrði að nota hann þurfti einfaldlega að aftengja dæluna og tengja sogstút þurrkklefans við þeysakerfið. Rafmagnshitaplötur ásamt hitastýrikerfi voru notuð óbreytt og kælikerfi ekki notað.



Mynd 7. Tilraunafrostpurrkari Rf.

Sett var upp þeysakerfi sem fengið var samsett frá GEA Wiegand GmbH í Þýskalandi. Kerfinu var komið fyrir í húsakynnum saltverksmiðjunnar á Reykjanesi og tengt við gufu- og vatnsveitu hennar (mynd 8). Kerfið samanstendur af tveimur gufuþrepum og einum vatnsdrifnum þeysi án millipétta en vatnsþeysirinn í lokaprepinu virkar einnig sem lokapétur á gufuna. Finna má hönnunar- og rekstrarforsendur kerfisins í töflu 1. Þeysarnir eru heilsoðnir úr ryðfrú stáli (DIN 1.4571 og 1.4581) en flangsar úr svörtu smíðastáli. Sjá nánari upplýsingar í viðauka.

Tafla 1. Hönnunar- og rekstrarforsendur þeysakerfisins.

1. Hönnunarforsendur

1.1 Soghlið

þrýstingur		1,3 mbar _{abs}
hitastig		-18 °C
flæði	vatnsgufa	2,0 kg/klst
		<u>þurrt loft</u> 0,4 kg/klst
		samtals 2,4 kg/klst

1.2 Þrýstihlið (úttak)

þrýstingur	1.013 mbar _{abs}
------------	---------------------------

1.3 Drifgufa

(inniheldur 2% CO₂ og 0,05% H₂S)

þrýstingur	10 bar _{abs}
hitastig	180 °C

1.4 Drifvatn

þrýstingur	2,5 bar _y
hitastig, háam.	6 °C

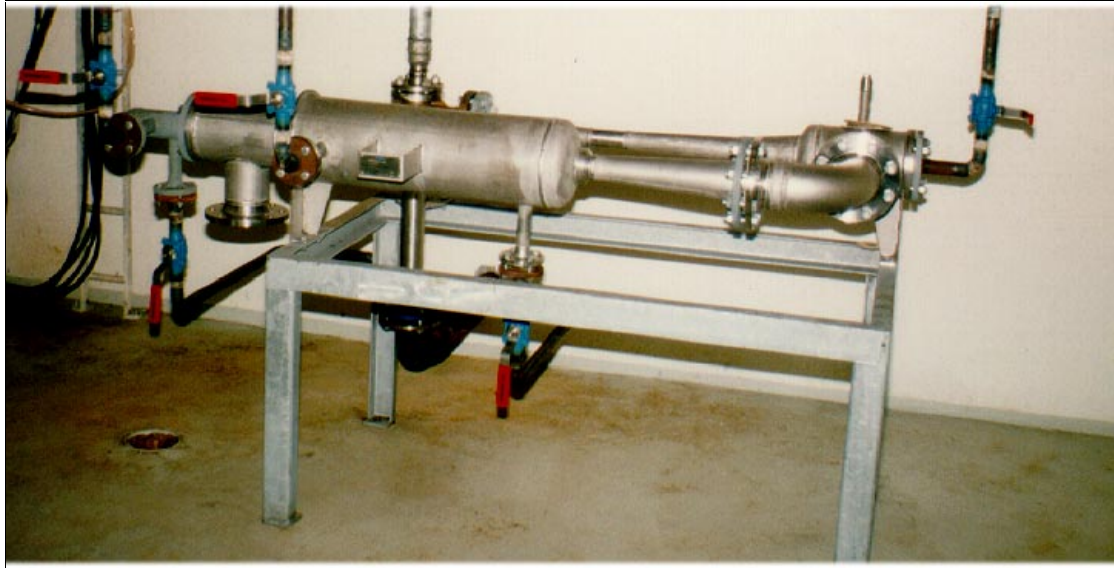
2. Rekstrarforsendur

2.1 Drifgufa

1. þrep	13 kg/klst
<u>2. þrep</u>	<u>38 kg/klst</u>
samtals	51 kg/klst

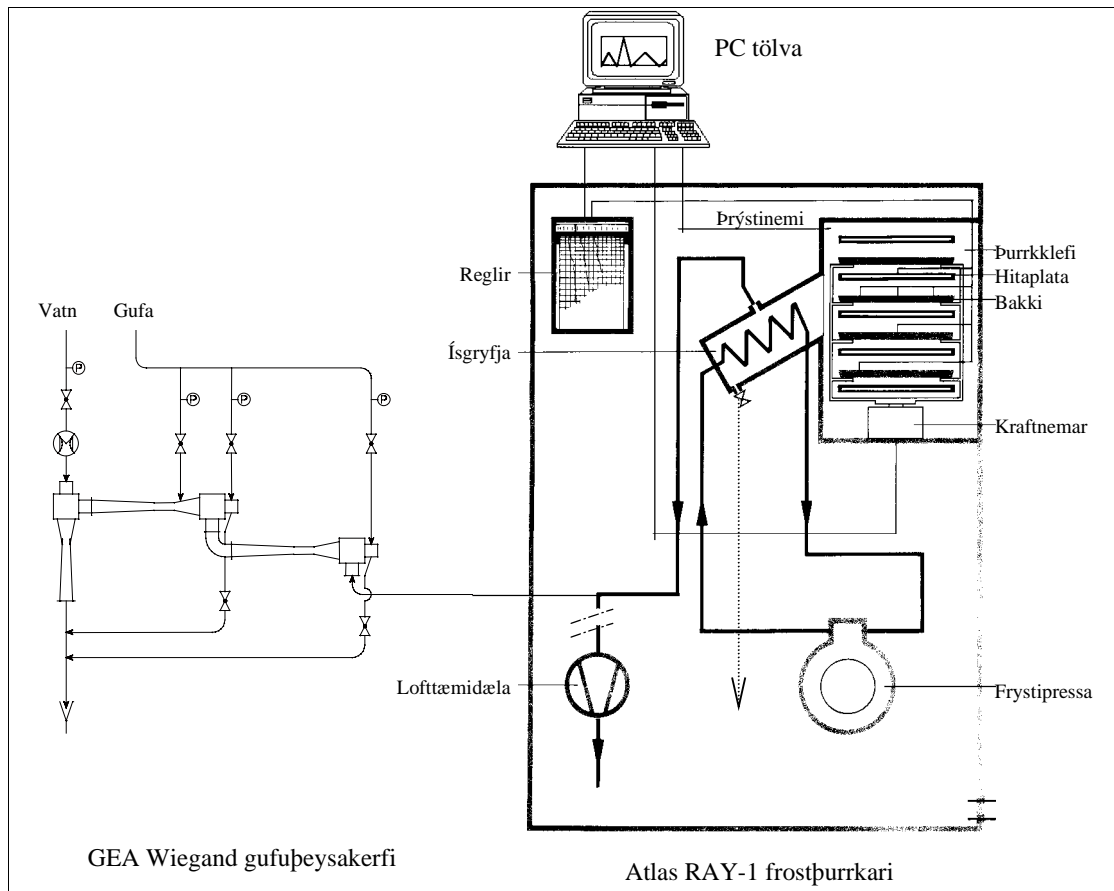
2.2 Drifvatn

heildarmagn	17 m ³ /klst
-------------	-------------------------



Mynd 8. Gufuþeysakerfi frá GEA Wiegand.

Sogstútur 1. þreps var tengdur við þurrkklefan og ísgryfja þurrkarans var ekki keyrð við tilraunirnar. Mynd 9 sýnir uppdrátt af uppbyggingu þeysakerfisins og tengingu þess við þurrkklefan.



Mynd 9. Uppsetning tilraunakerfis.

Frostþurrkarinn er af gerðinni ATLAS RAY-1, u.þ.b. 30 ára gamall, en var endurnýjaður árið 1990. Var þá endurnýjað stýri- og eftirlitskerfi hans. Eftirlitskerfið er Labtech Notebook uppsett á einmenningstölvu (PC). Með því má fylgjast með sjö hitastigum í þurrkklefanum, loftþrýstingnum og hráefnisþyngdinni og þar með þyngdarbreytingum þess. Stýrikerfið fjarstýrir hitaregli sem stillir hitastig hitaplatnanna. Hitanemi er á einni hitaplötunni sem sendir boð beint til reglisins um raunhitastig hennar. Engin stýring er á þrýstingi í klefanum heldur ræðst hann af hámarksgetu lofttæmidællunnar (lofttæmibúnaðarins). Vigtarbúnaðurinn hefur verið í ólagi í nokkur ár og var ekki ráðist í að lagfæra hann þannig að ekki var hægt að fylgjast með þyngdarbreytingum við þurrkunina. Af hitanemunum sjö sem eru í klefanum og eftirlitskerfið skráir eru tveir sem nema hita á sitt hvorri hitaplötunni og fimm stungunemar eru í klefanum sem hægt er að staðsetja að vild í klefanum og/eða í hráefninu. Þrýstineminn var endurnýjaður nokkrum mánuðum áður en tilraunakeyrslur hófust vegna bilunar. Við flutning þurrkarans til Reykjaness virðist eitthvað hafa farið úrskeiðis með hann þannig að hann var ónothæfur. Því var gripið til þess ráðs að reyna að fylgjast með þrýstingnum með því að hafa skál með vatni inni í klefanum og koma fyrir hitanema í vatninu sem síðan fraus þegar lofttæmið var komið niður fyrir þrípunktinn. Með því að skrá þannig hitastigið í ísnum á meðan hann var (þ.e.a.s. áður en hann var uppgufaður að fullu) mátti með hjálp ástandslínurits vatns áætla hver þrýstingurinn í klefanum var, þar sem ákveðið hitastig svarar til ákveðins þrýstings (gufunarþrýstings vatns, mynd 2).

5. TILRAUNIR

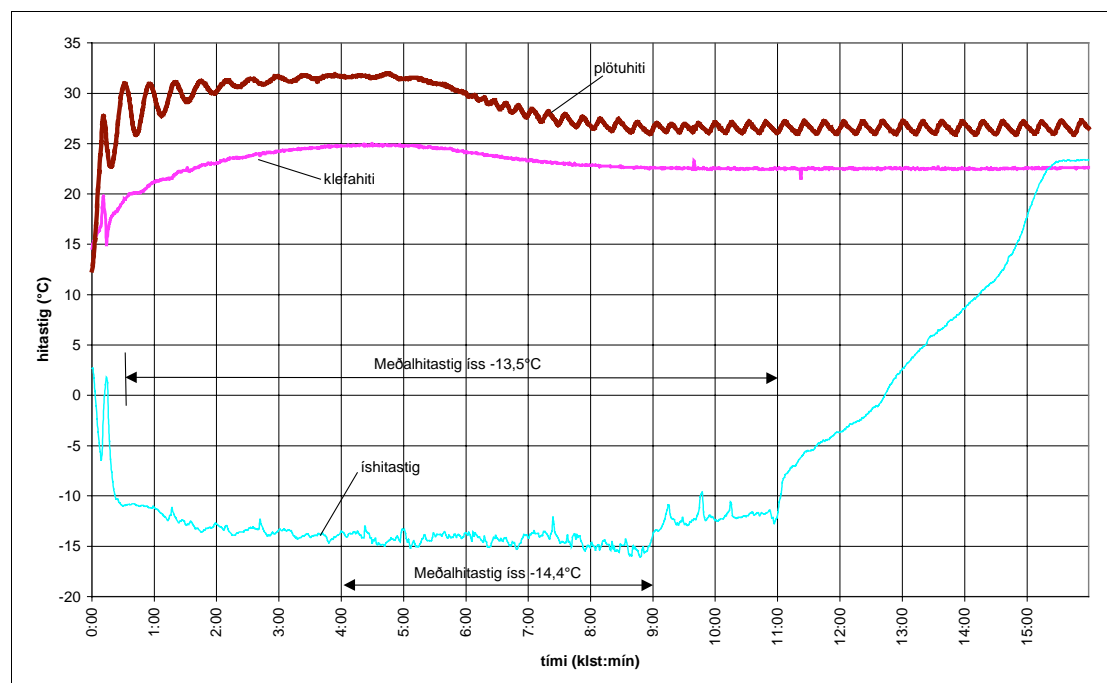
Tilraunirnar voru annars vegar tæknileg úttekt á frostþurrkunarkerfinu og hins vegar framleiðsla sýnishorna nokkurra frostþurrkaðra afurða sem kynnt voru mönnum sem áhuga kynnu að hafa fyrir hugmyndinni um uppbyggingu frostþurrkunarverksmiðju á Íslandi með nýtingu jarðgufu. Tilraunirnar fóru fram með hléum á tímabilinu september til desember 1997 og framleidd voru nokkur sýnishorn af afurðum í janúar 1998.

Varðandi niðurstöður tæknilegrar úttektar var áhuginn fyrst og fremst að kanna hvort sú jarðgufa sem er til staðar á háhitasvæðum sé nægilega stöðug til að byggja

frostþurrkunarkerfi með gufuþeysum á henni. Einnig var gerð tilraun með afkastagetu þeysakerfisins. Tæknilegir annmarkar eru á því að mæla gufunotkun, þar sem hingað til hefur ekki verið fáanlegur áreiðanlegur rennslismælir fyrir jarðgufu á Reykjanesi. Prófaðar hafa verið nokkrar gerðir slíkra mæla í saltverksmiðjunni án árangurs. Ekki þótti heldur tilgangur í því að mæla og meta rekstrarforsendur slíks kerfis þar sem þær myndu ekki nýtast sem grundvöllur fyrir stærri framleiðslueiningu. Illmögulegt er að segja til um hvers konar útfærsla þeysakerfisins verður hagkvæmust við hönnun stærra þeysakerfis en að öllum líkindum myndi verða notast við millikælingu sem breytir öllum rekstrarþáttum. Ennfremur er verðlagning jarðgufunnar ennþá óþekkt stærð.

6. NIÐURSTÖÐUR

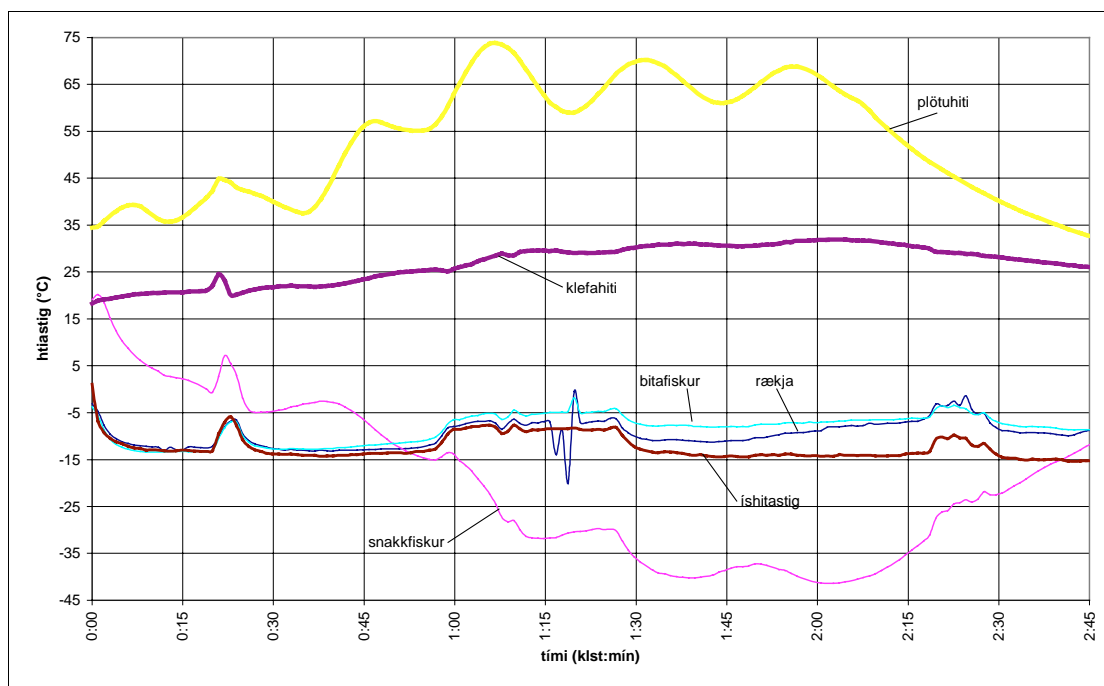
Hér er í nokkrum orðum gerð grein fyrir helstu tæknilegu niðurstöðum sem fengust við tilraunakeyslur á frostþurrkunarkerfi með gufudrifnum þeysum til lofttæmingar á þurrkklefanum. Fjallað er aðallega um stöðugleika og áreiðanleika jarðgufu sem drifkviku fyrir gufuþeysa.



Mynd 10. Hitaferlar við þurr-gufun íss.

Stöðugleiki gufunnar var metinn út frá því hversu stöðugur þrýstingur (lofttæmi) helst í þurrklefanum. Þrýstingurinn í klefanum var metinn með því að mæla hitastig í frosnu vatni í skál í klefanum og hitastig í kjarna hráefnis sem verið var að frostþurrka. Gerð var röð nokkurra hliðstæðra tilrauna en við allar keyrslur var komið fyrir vatnsskál í klefanum í þeim tilgangi að fylgjast með þrýstingnum með þessum hætti. Niðurstaðan varð sú að nokkrar sveiflur eru á þrýstingnum við keyrslu og nokkur mismunur milli einstakra keyrslna. Í tilraun sem gerð var með uppgufun íss við 25 - 30 °C hita á hitaplötum kom í ljós að meðalhitastigið í ísnum yfir tímabilið frá 30 mín. til 11 klst. var -13,5 °C (mynd 10) sem svarar til að þrýstingurinn hafi verið u.þ.b. 1,3 Torr (mynd 2).

Önnur tilraun var gerð með mismunandi afurðum ásamt vatnsskál þar sem gerðar voru örar breytingar á plötuhitastigi. Leiddi sú tilraun svipaðar niðurstöður í ljós og ágæta samsvörun milli kjarnhitastigs tveggja afurða og hitastigs íss í skál (mynd 11). Þriðja afurðin, snakkfiskur sem er marningur mótaður í litla bita og þeir frystir skar sig nokkuð úr að því leyti að kjarnhitastig þess sveiflaðist með plötuhitastigi og fór allt niður í -40 °C. Ekki tókst að skýra ástæður þessa, en hugsanlegt er að kryddblöndun hráefnisins hafi haft þessi áhrif.



Mynd 11. Hitaferlar við frostþurrkun mismunandi afurða og þurrufun íss.

Í viðauka 2 má sjá niðurstöður á línuritum yfir fleiri tilraunakeyrslur. Í flestum tilfellum kom fram nokkuð flókt á íshitastigi og kjarnhitastigi hráefnis sem bendir til óstöðugleika gufunnar. Fór meðalhitastig íss í einstökum keyrslum allt niður í $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ sem svarar til að þrýstingurinn í klefanum hafi farið niður í 1 Torr (mynd 2). Algengt er að frostþurrkun fari fram við 0,5 - 2 Torr. Misjafnt er hver er kjörþurrkhraði mismunandi hráefnis er, en hann ræðst af hitastigi hitaplatna og þrýstingi í þurrkklefanum. Það er því ljóst að engin vandkvæði eru að framleiða frostþurrkaðar afurðir í búnaðinum sem einnig kom í ljós við tilraunir þar sem þurrkaðar voru með góðum árangri eftirtaldar afurðir: rækja, ýsubitar og ýsuflök og loðnuhrogn. Ennfremur voru frostþurrkuð afskorin blóm og hörpudiskskraftur. Einnig var búnaðurinn notaður á meðan á tilraunum stóð til að frostþurrka rannsóknarsýni til efnamælinga á rannsóknarstofum Rf, eins og t.d. þara.



Mynd 12. Unnið við frostþurrkun í tilraunakerfi með gufuþeysum tengdum við tilraunaþurrkara í saltverksmiðjunni á Reykjanesi.

Við tilraunirnar var einnig fylgst með gufuþrýstingi og vatnsnotkun, en eins og áður sagði var ekki mögulegt að mæla gufunotkun. Á meðan á tilraunum stóð komu upp rekstrartruflanir við dreifikerfi jarðgufunnar sem rekja mátti til ónógs viðhalds og lýsti sér í því að kerfisþrýstingur lækkaði. Venjulegur kerfisþrýstingur er 10 bör_y en féll allt niður í 7,5 bör_y. Ekki var hægt að koma auga á beint samband milli þrýstingsins og lofttæmisins þar sem svipuð hitastig voru að mælast í ís og kjarna hráefnis við báðar aðstæður. Galli virtist þó vera í uppsetningu kerfisins, þar sem þrýstingsmunur milli þreps 1 og þreps 2 var 1,0 - 1,5 bör og var hann jafnan hærri á þrepi 2. Við 10 bara_y kerfisþrýsting var þrýstingur á þrepi 1 u.þ.b. 6,5 bör_y og 7,5 - 8,0 bör_y á þrepi 2. Þrep 2 er nær inntaki gufunnar og er ástæðan því líklega sú að pípulagnir fyrir gufuna hafi verið of grannar þannig að þrýstifall í þeim þetta mikið. Gufuþrýstingur inn á þeysana náði því aldrei 10 bör_{um,abs} (9 bör_{um,y}) eins og hönnunarforsendur kerfisins gerðu ráð fyrir.

Mælingar á vatnsnotkun reyndust vera um 18,8 m³/klst. og vatnsþrýstingur yfirleitt 5,0 - 5,5 bör_y en rekstrarforsendur framleiðanda voru 17 m³/klst. við 2,5 bör_y. Meiri vatnsnotkun er því eðlileg í ljósi hærri þrýstings.

7. UMRÆÐA

Með tilraunum þeim sem lýst er í þessari skýrslu hefur verið sýnt fram á að mögulegt er að nota jarðgufu, í þessu tilfelli úr borholu saltverksmiðjunnar á Reykjanesi sem drifkviku fyrir fjölþrepa gufuþeysakerfi til að lofttæma frostþurrkunarklefa og fjarlægja uppgufað vatn hráefnis sem er til þurrkunar. Þrátt fyrir nokkra ágalla kerfisins var ekkert því til fyrirstöðu að frostþurrka þær afurðir sem reyndar voru.

Hugmyndin um nýtingu jarðgufu til frostþurrkunar á matvælum er ekki ný af nálinni og hafa verið unnar nokkrar skýrslur um hönnun, rekstrargrundvöll og markaðsmál frostþurrkunarverksmiðju. Þetta er hins vegar í fyrsta sinn sem tæknin er reynd þótt í litlum mælikvarða sé. Tækifærið hefur verið notað til að kynna hugmyndina og tæknina og hafa nokkrir aðilar sýnt hugmyndinni áhuga og sumir með nýstárlegar hugmyndir að afurðum. Enn er þó mikið verk óunnið áður en slík verksmiðja getur orðið að raunveruleika þar sem enn eru til staðar óvissuþættir í

tækni- og markaðsmálum. Eðlilegasta framhald þessa verkefnis er að láta á það reyna hvort hægt sé að stofna undirbúningsfélag sem hefði það meginmarkmið að koma á fót tilraunaverksmiðju og kanna grundvöll fyrir framleiðsluverksmiðju.

Markmiðunum yrði t.d. náð með því:

- að nýta þá fjárfestingu sem þegar er búið að gera í þeysakerfi og koma upp tilraunaþurrkklefa sem tengdur yrði þeysakerfinu.
- að framleiða sýnishorn afurða í tilraunaverksmiðjunni til markaðskynningar.
- að öðlast ítarlegri reynslu af tækninni og eyða tæknilegum óvissuþáttum.
- að gera ítarlega markaðskönnun studda af tilraunaframleiðslu.
- að hanna, ákveða stærð og gera ítarlega rekstraráætlun fyrir frostþurrkunarverksmiðju.

8. HEIMILDIR

1. Darri Gunnarsson. (1989). *Frostþurrkun með jarðhita. Lokaverkefni í vélaverkfræði*. Háskóli Íslands.
2. Eiður Guðmundsson, Finnur Stefánsson, Gestur Bárðarson, Sigurjón Arason og Örn D. Jónsson. (1994). *Frostþurrkun sjávarfangs*. 39 rit. Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins.
3. Ginnette, L. F. & Kaufman, V. F. (1968). *Freeze Drying of Foods*. The freezing Preservation of Foods. Volume 3. Chapter 13. The AVI Publ. Co.
4. Hanson, S. W. F. *et al.* (1961). *The Accelerated Freeze-Drying (AFD) Method of Food Preservation*. Ministry of Agriculture , Fisheries and Food.
5. King, C. Judson. (1973). *Freeze Drying*. Food Dehydration. Volume 1. Chapter 6. The AVI Publ. Co.
6. Orri Eiríksson. (1991). *Frostþurrkun. Lokaverkefni í vélaverkfræði*. Háskóli Íslands.
7. Ryans, James L., & Roper, Daniel L. (1986). *Process Vacuum System Design & Operation*. McGraw-Hill.
8. Sigurjón Arason. (1976). *Tørring af hakket torskekød*. Lab. for Levnedsmiddelindustri.
9. Van Arsdel, W. B. and Copley, M. J. (1973). *Properties of Water, Water Vapor and Air*. Food Dehydration. Volume 1. Chapter 4. The AVI Publ. Co.

VIÐAUKI

**Gufuþeysa- og
frostþurrkunarkerfi**

S12 0740

B. Beck

RF

Telefax

GEA WIEGAND

TECHNICAL SPECIFICATION NO. 7920-53-94.354
 VARMAVERK HF., Hafnarfirdi, Iceland - Ref. No. 95-938

22.11.1995 - NWSD/Lü/hf
 Seite/page 1 von/of 5

- 01 1 VACUUM SYSTEM, consisting of**
 - 2-stage Steam Jet Vacuum Pump
 - Liquid Jet Vacuum Pump

1. Operating Data**1.1 Suction Side**

Suction Pressure, abs		1.3	mbar
Suction Temperature		-18	°C
Suction Flow	Water Vapour	(MW 18)	2.0 kg/hr
	Air	(MW 29)	0.4 kg/hr
	Total		2.4 kg/hr

1.2 Discharge Side

Discharge Pressure, abs 1,013 mbar

1.3 Motive Medium

Steam (MW 18)

Pressure, abs. 10 bar
 Temperature 180 °C

Motive steam contains up to 2 % CO₂ and 0.05 % H₂S by weight.

1.4 Motive Medium (Liquid Jet Pump)

Water

Inlet Pressure, abs. 2.5 bar g
 Inlet Temperature, max. 6 °C

1.5 Installation

non-barometric

Telefax

GEA WIEGAND

TECHNICAL SPECIFICATION NO. 7920-53-94.354
 VARMAVERK HF., Hafnarfirdi, Iceland - Ref. No. 95-938

22.11.1995 - NWSD/Lü/hf
 Seite/page 2 von/of 5

2. Utility Data

2.1 Motive Steam

Stage 1	13	kg/hr
Stage 2	38	kg/hr
Total	51	kg/hr

2.2 Motive Water (Liquid Jet Pump)

Total Flow	17	m ³ /hr
------------	----	--------------------

3. Construction and Material

3.0 Standard

Unless otherwise specified here, the items mentioned under the below paragraph 4 (Scope of Supply) are in accordance with the relevant GEA Wiegand and manufacturer's standards.

3.1 Steam Jet Ejectors

Ejectors in welded/cast design based on the relevant standards.

To avoid icing and/or deposits the steam jet ejector (1st stage) is heatable with heating steam (MW 18).

Mechanical Design

Design Code: AD-Merkblätter	Design Pressure / Temperature	
Motive Nozzle	-1/10 bar g /	200 °C
Casing	-1/2 bar g /	200 °C
Heating Jacket (1st stage)	10 1/2 bar g /	200 °C

Customer ensures by appropriate measures that these mechanical design data will not be exceeded.

Telefax

GEA WIEGAND

TECHNICAL SPECIFICATION NO. 7920-53-94.354
 VARMAVERK HF., Hafnarfirdi, Iceland - Ref. No. 95-938

22.11.1995 - NWSD/Lü/hf
 Seite/page 3 von/of 5

According to the German Pressure Vessel Regulations, an official inspection is not required and will, therefore, not be carried out.

Materials of Construction

Casing	Stainless Steel (DIN Material No 1.4571)
Motive Nozzle	Stainless Steel (DIN Material No 1.4571)
Heating Jacket (1st Stage)	Carbon Steel
(Loose) Flanges	Carbon Steel

Flanges

Suction Nozzle	DIN	PN	10
Discharge Nozzle	DIN	PN	10
Motive Steam Inlet Nozzle	DIN	PN	16

3.2 Liquid Jet Ejector

Ejector in cast design based on the relevant standards.

Materials of Construction

Casing	Stainless Steel (DIN Material No 1.4581)
Diffuser	Stainless Steel (DIN Material No 1.4571)
Motive Nozzle	Stainless Steel (DIN Material No 1.4571)
Spiral	Stainless Steel (DIN Material No 1.4571)
Flanges	Carbon Steel

Flanges	DIN	PN	10
---------	-----	----	----

Telefax

GEA WIEGAND

TECHNICAL SPECIFICATION NO. 7920-53-94.354
 VARMAVERK HF., Hafnarfirdi, Iceland - Ref. No. 95-938

22.11.1995 - NWS/Lü/hf
 Seite/page 4 von/of 5

3.3 Surface Finish

Parts in Carbon Steel
 Parts in Stainless Steel

derusted and painted one coat of primer.
 pickled and passivated.

3.4 Quality Assurance

The items mentioned here under paragraph 4 (Scope of Supply) will be checked in accordance with the requirements of the GEA Wiegand Quality Assurance System which has been certified as per DIN ISO 9001/EN 29001 under the Registration No. 041 00 42 11.

4. Scope of Supply

4.1 Steam Jet Ejectors (with a removable motive nozzle each)

1 off	steam jet ejector	DN 100/100	(stage 1, heatable)
1 off	steam jet ejector	DN 100/80	(stage 2)

as well as performance test of the steam jet ejectors on the test bench (GEA Wiegand Laboratories).

4.2 Liquid Jet Ejector

Dimensions as per Catalogue sheet 80 fvp 2, fig. 7, size 7.

4.3 Bolts, Nuts, Gaskets (to interconnect the above mentioned items).

4.4 Pre-assembly in the workshop as well as dismantling for shipment (if necessary).

4.5 Documents (three copies; in English, French or German), comprising

- Assembly Drawing with dimensions for installation and connection,
- General Assembly, Operating and Maintenance Instructions.

Telefax

GEA WIEGAND

TECHNICAL SPECIFICATION NO. 7920-53-94.354
VARMAVERK HF., Hafnarfirdi, Iceland - Ref. No. 95-938

22.11.1995 - NWSD/Lü/hf
Seite/page 5 von/of 5

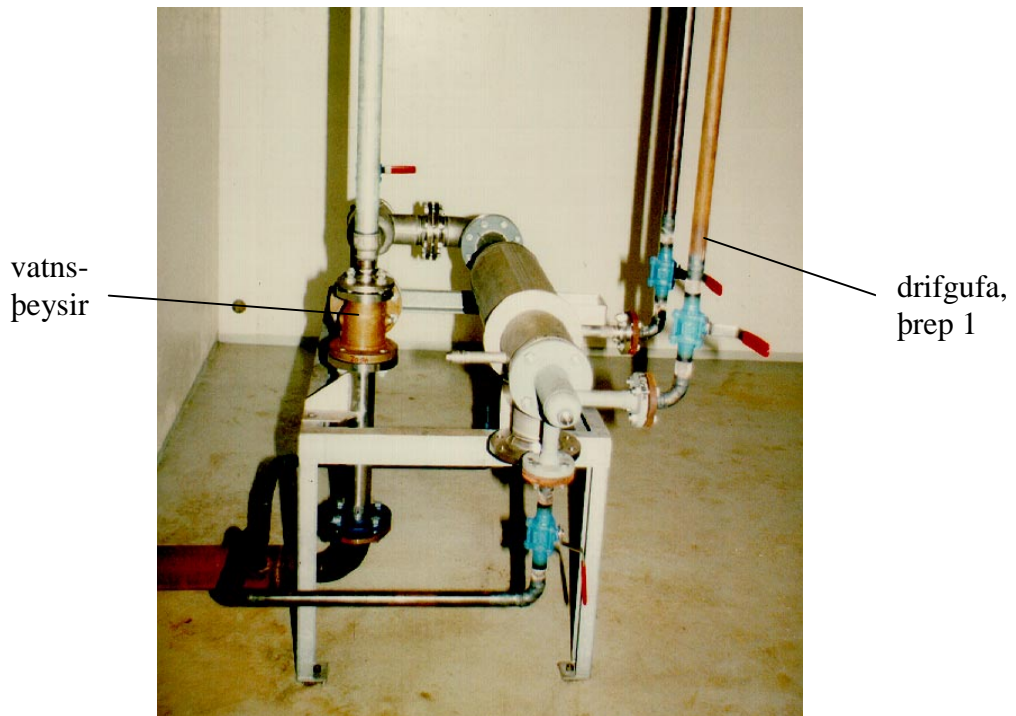
5. Remarks

5.1 Scope of Supply

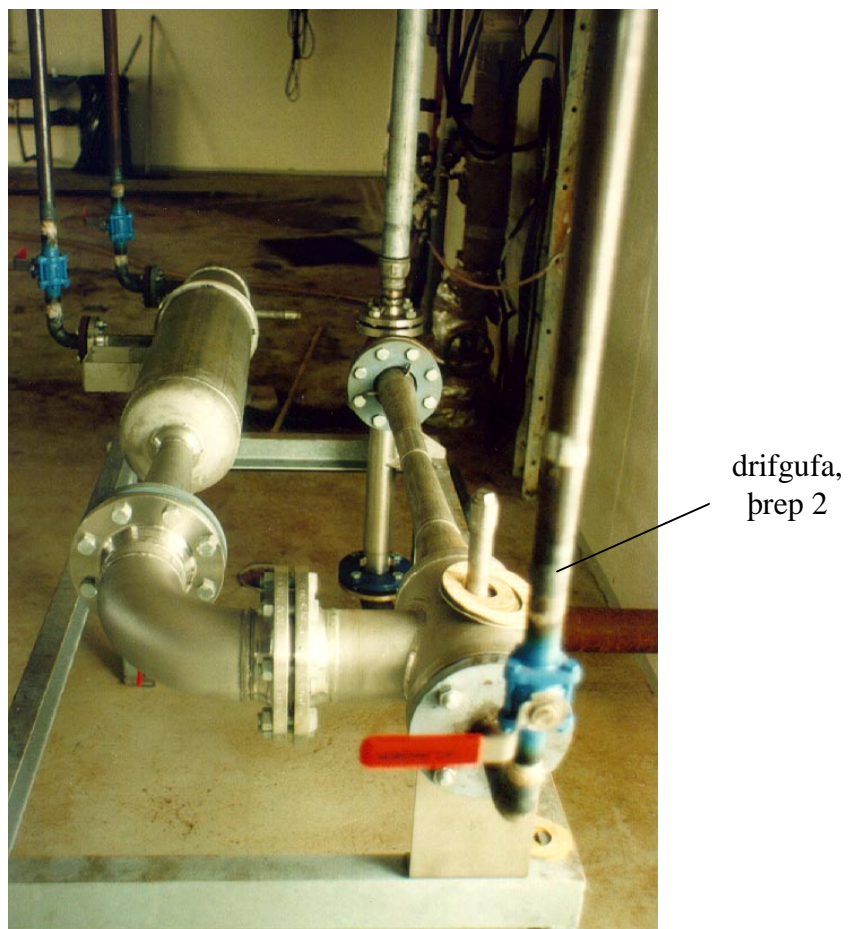
Excluded from the GEA Wiegand scope of supply are

- motive steam and cooling media piping,
- fittings, measuring instruments etc.

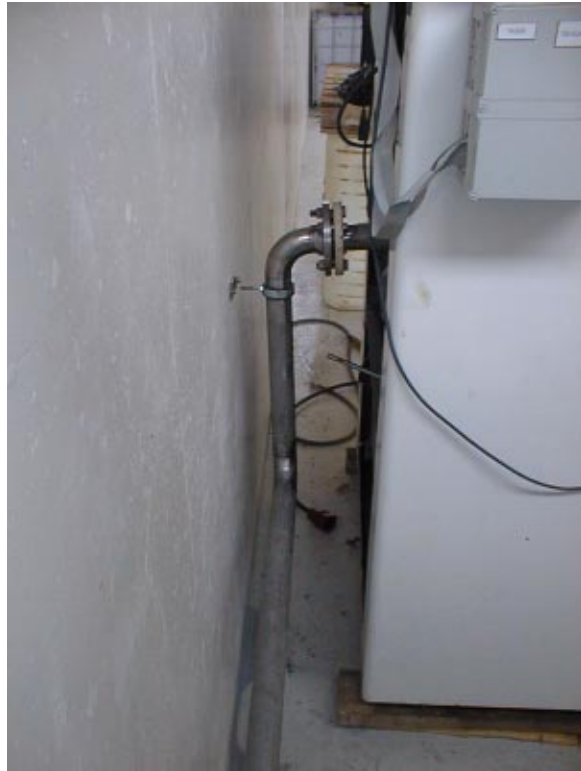
=====



Mynd V1. Gufuþeysakerfi.



Mynd V2. Gufuþeysakerfi.

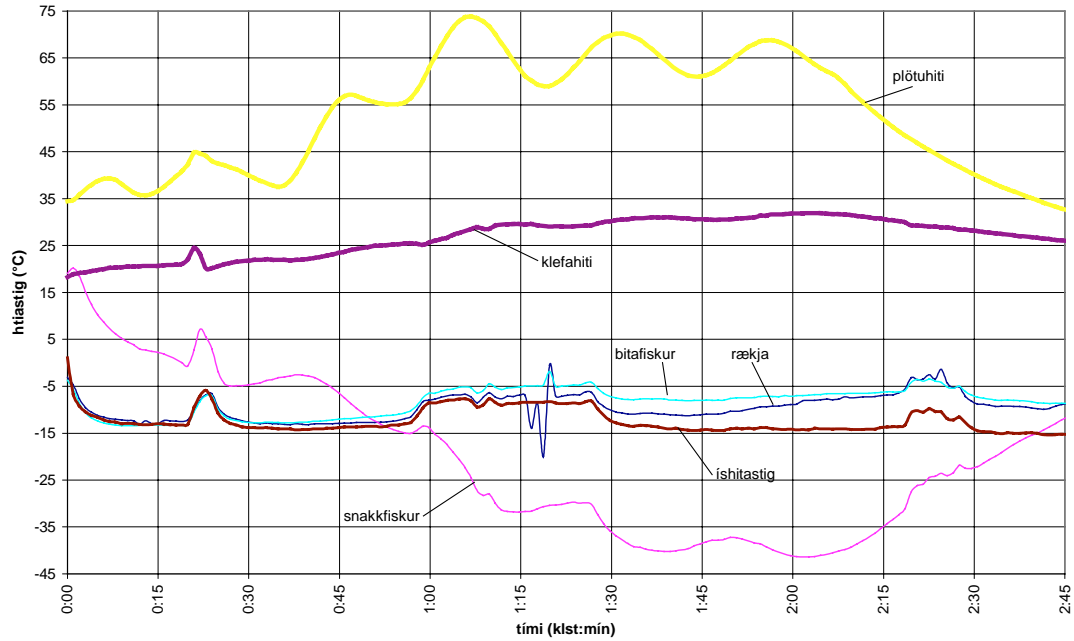


Mynd V3. Tenging soglagnar við þurrklefa.



Mynd V4. Uppsetning frostþurrkunarkerfis.

Tilraunir



Tilraun með þurrkun þriggja mismunandi afurða 21. okt. 1997.

Afurðir: frystir niðursagaðir ýsubitar (u.þ.b. 1 cm þykkir), lausfryst smárækja og mótaðir, frystir marningsbitar (snakkfiskur).

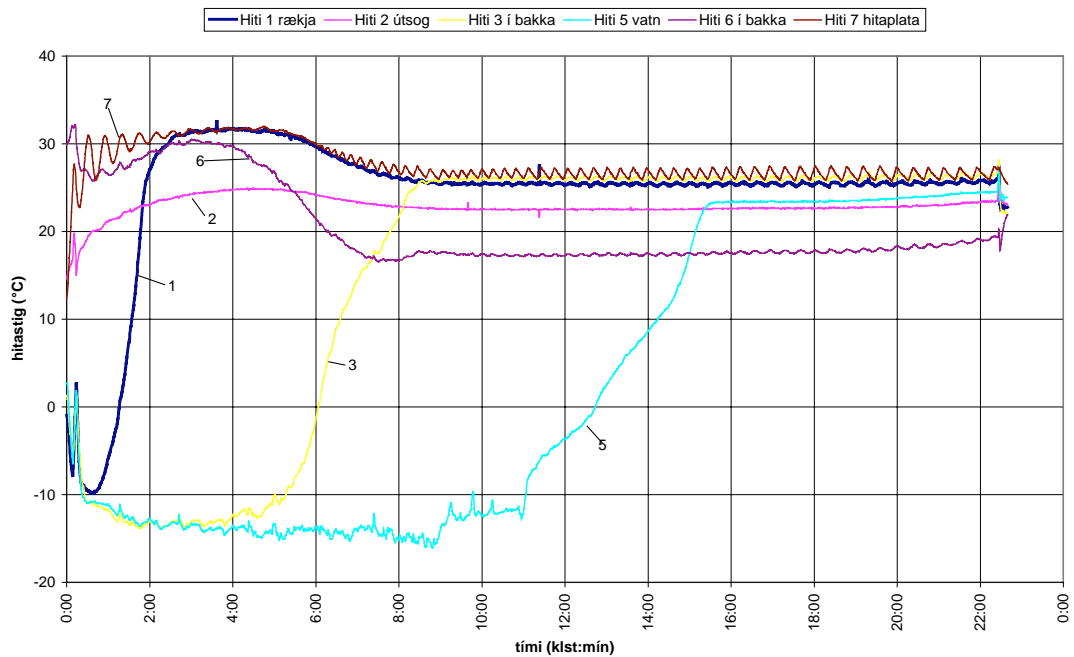
Einum hitanema komið fyrir í vatnsskál (ís) einum nema í kjarna sýnis af hverri afurð.

Gufuþrýstingur, þrep 1: 5,5 bar

Gufuþrýstingur, þrep 2: 6,5 bar

Vatnsþrýstingur: 5,2 bar

Loftþrýstingur í klefa: 1,8-2,2 mbar



Tilraun með þurrkun á rækju 3. - 4. nóv. 1997.

Tveimur hitanemum (3 og 6) komið fyrir í skál með vatni (vatnið fraus eftir u.þ.b. 2. mín.) og tveir hitanemar lagðir í bakkana innan um rækjuna (1 og 5).

Gangsett 3.11.1997 kl. 16:45

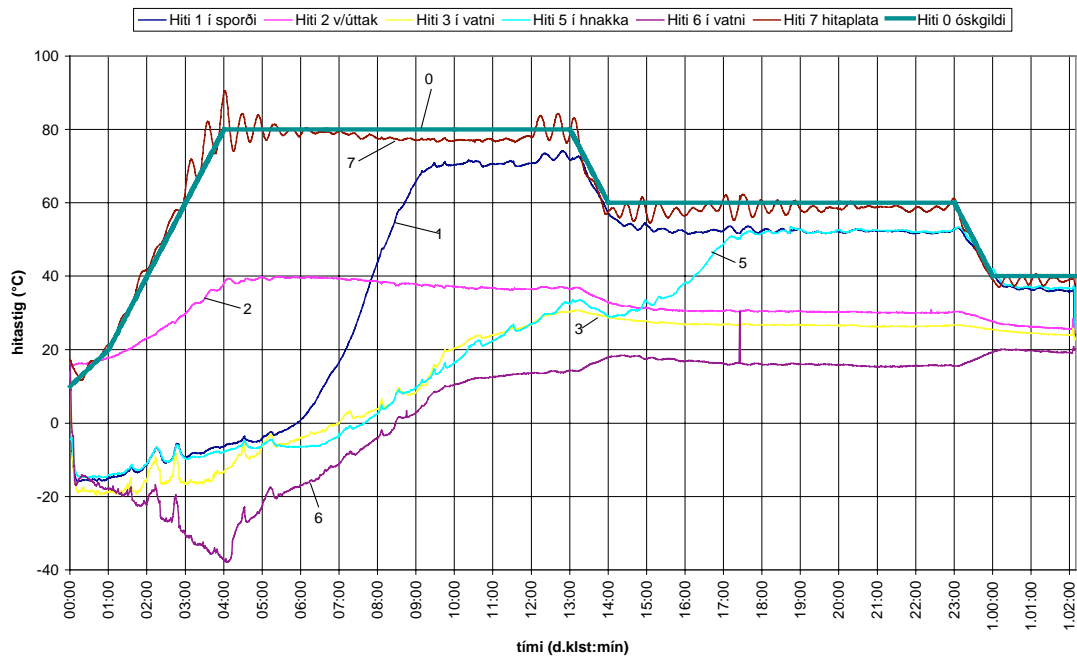
Gufuþrýstingur, þrep 1: 4,9 bar
 Gufuþrýstingur, þrep 2: 6,0 bar
 Vatnsþrýstingur: 5,6 bar
 Vatnsmælir: 2783,0 m³

Stöðvað 4.11.1997 kl. 15:25

Gufuþrýstingur, þrep 1: 4,9 bar
 Gufuþrýstingur, þrep 2: 6,0 bar
 Vatnsþrýstingur:
 Vatnsmælir: 3225,0 m³

Þurrktími: 22 klst. 40 mín.

Vatnsnotkun: 442 m³ = 19,5 m³/klst.



Tilraun með þurrkun ýsubita 10. - 11. nóv. 1997.

Þrjú ýsuflök með roði söguð í þrennt, sporðstykki (samt. 288,0 g), miðstykki (samt. 498,7 g) og hnakkastykki (samt. 332,8 g).

Einum hitanema komið fyrir í kjarna sporðstykkis (1), einum í kjarna hnakkastykkis (5) og tveimur (3 og 6) í vatnsskál (vatn fraus eftir 2 - 3 mín.).

Gangsett 10.11.1997 kl. 13:16.

Gufuþrýstingur, þrep 1: 4,7 bar

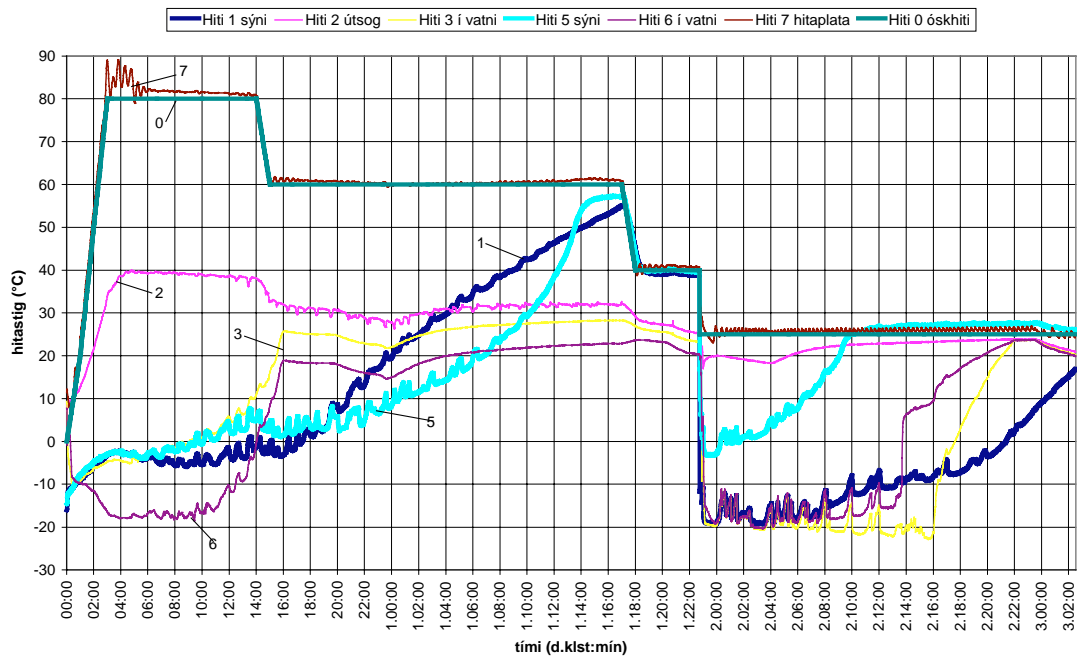
Gufuþrýstingur, þrep 2: 5,7 bar

Vatnsþrýstingur: 5,0 bar

Vatnsmælir í upphafi: 5515,1 m³

Vatnsmælir í lok: 6005,9 m³

Vatnsnotkun: 490,8 m³ = 18,8 m³/klst.



Frostþurrkun þarasýna 2. - 5. des. 1997.

Þurrkuð sýni þriggja þarategunda, marínkjarna, stórþara og hrossaðara.

Tveimur nemum stungið inn á milli þarablaðanna (1 og 5) og tveimur (3 og 6) í skál með vatni (vatnið fraus eftir u.þ.b. 3 - 4 mín.).

Gangsett 2.12.1997 kl. 12:50

Gufuþrýstingur, þrep 1: 6,5 bar

Gufuþrýstingur, þrep 2: 8,1 bar

Vatnsþrýstingur: 5,0 bar

Vatnsmælir í upphafi: 6021,0 m³

4.12.1997 kl. 11:33

Eftir tæplega 47 klst. keyrslu (46:43) voru hitanemar færðir til í sýnunum og vatni bætt á í vatnsskál.

Vatnsmælir (kl. 11:46): 6902,0 m³ (samsv. u.þ.b. 18,8 m³/klst.)

Stöðvað 5.12.1997 kl. 15:39

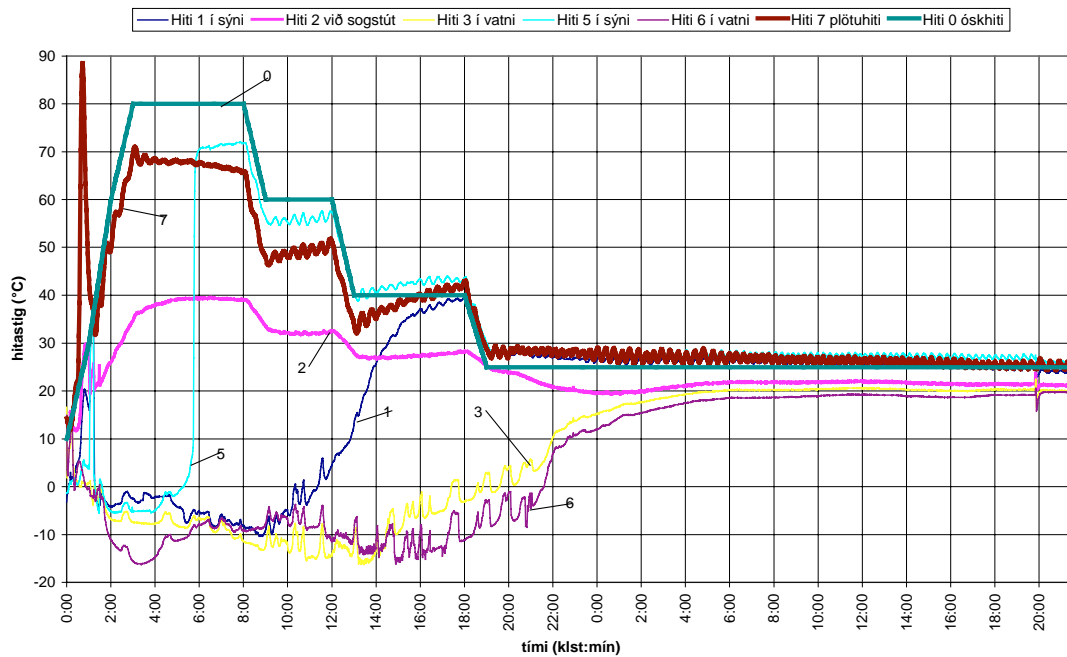
Gufuþrýstingur, þrep 1: 6,5 bar

Gufuþrýstingur, þrep 2: 8,0 bar

Vatnsþrýstingur: 5,4 bar

Vatnsmælir í upphafi: 7427,4 m³

Vatnsnotkun: 1406,4 m³ = 19,3 m³/klst.



Frostþurrkun hörpudiskskrafts 12. - 14. des. 1997.

Tveir nemar lagðir í sitt hvorn bakkann undir sýni (1 og 5) og tveir nemar settir í vatnsskál (3 og 6).

Gufuþrýstingur, þrep 1: 6,3 bar

Gufuþrýstingur, þrep 2: 7,5 bar

Vatnsþrýstingur: 5,4 bar