



# **Varmaendurvinnsla**

**Kristján Pálsson**

**Lokaverkefni í vél- og orkutæknifræði**

**2012**

Höfundur: Kristján Pálsson

Kennitala: 270582-5409

Leiðbeinandi: Indriði Sævar Rikharðsson

Tækni- og verkfræðideild

School of Science and Engineering



## Tækni- og verkfræðideild

### Heiti verkefnis:

Varmaendurvinnsla

### Námsbraut:

Vél- og orkutæknifræði BSc

### Tegund verkefnis:

Lokaverkefni í tæknifræði BSc

### Önn:

Vorönn

### Námskeið:

LOK 1012

### Ágrip:

Markmið verkefnisins er að sjá hvort varmadælur eru fýsilegur kostur í upphitun og hve mikið af varmaorku er ónýtt í fiskvinnslu Skinney-Þinganes.

### Höfundur:

Kristján Pálsson

Skinney-Þinganes er með varmavinnslu sem nýtir hluta af varma sem frystikerfið gefur frá sér. Gerðir voru reikningar á núverandi kerfi og breytingum á kerfinu miðað við að nýttur sé hluti af varmanum og að allur varmi sé nýttur. Reikningar voru gerðir í forritinu EES.

### Umsjónarkennari:

Indriði Sævar Ríkharðsson

Niðurstöður sýna að arðbært sé að endurnýja núverandi varmavinnslu.

### Leiðbeinandi:

Áætla má að miklum varma sé sóað í fiskiðnaði á Íslandi og ættu útgerðarfyrirtæki að skoða þessi mál út frá efnahagslegum- og umhverfissjónarmiðum.

### Fyrirtæki/stofnun:

Skinney-Þinganes

### Dagsetning:

14.maí 2012

### Lykilorð íslensk:

Frystihús,  
varmadæla, húshitun

### Lykilorð ensk:

Heat Pump, House  
heating, Refrigeration

### Dreifing:

opin



lokuð



til:



## Formáli

Verkefnið er lokaverkefni í B.Sc í Vél-og Orkutæknifræði í Háskólanum í Reykjavík. Hugmyndina að verkefninu átti afi minn, Pétur Valdimarsson tæknifræðingur og kann ég honum bestu þakkri fyrir að benda mér á það og alla hans aðstoð við gerð verkefnisins. Ég vill þakka Skinney-Þinganes fyrir að taka á móti okkur og leyfa okkur að skoða varmavinnsluna í frystihúsinu þeirra. Einnig vil ég þakka Róberti Hafsteinssyni og Ingólfi Vopna Ingvasyni fyrir upplýsingar um varmavinnsluna. Að lokum við ég þakka konu minni, Birnu Ingadóttir, fyrir yfirlestur og aðstoð.

Reykjavík 14. maí. 2012

---

Kristján Pálsson



## Efnisyfirlit

1.	Inngangur .....	1
1.1.	Verkefnið.....	1
1.2.	Markmið og hvatning .....	2
2.	Varmavinnsla .....	3
2.1.	Varmadælar .....	3
2.1.1.	Bakgrunnur – Sögulegt ágríp .....	3
2.1.2.	Fræði.....	5
2.1.3.	Kælimiðlar .....	7
3.	Kælikerfi .....	9
3.1.	Kæling með kæliturnum og sjókælingu .....	9
4.	Húshitun á Íslandi .....	11
4.1.	Hitun húsnæðis .....	11
4.1.1.	Veggofnar.....	12
4.1.2.	Lofthitun .....	13
4.1.3.	Gólfhiti .....	13
4.2.	Húshitun í Höfn í Hornafirði.....	14
4.2.1.	Oliúkynding .....	14
4.2.2.	Rafmagnskynding .....	14
5.	Framkvæmd.....	16
5.1.	Aðferðir og tól .....	16
5.2.	EES .....	17
5.3.	Visio .....	17
6.	Fiskvinnsla Skinney-Pinganes .....	18
6.1.	Lýsing á núverandi varmavinnslu .....	18
6.2.	Lýsing á frystikerfi Skinney-Pinganes.....	19



6.3. Húsnæði á svæðinu .....	21
7. Tillaga að breytingu varmavinnslukerfis .....	23
8. Niðurstöður .....	25
8.1. Núverandi kerfi.....	25
8.1.1. Ályktanir.....	25
8.2. Breytt kerfi .....	26
8.2.1. Næmnigreining.....	26
8.2.2. Ályktanir.....	28
8.3. Umræða .....	28
9. Heimildaskrá .....	30
10. Mynda og töfluskrá .....	32
Viðauki 1- Frystiútreikningar.....	34
Viðauki 2- Kælivélar .....	36
Viðauki 3-Varmadælu útreikningar: Núverandi kerfi.....	37
Viðauki 4-Varmadælu útreikningar:Endurbætur á kerfi.....	42
Viðauki 5-Rafmagnssparnaður .....	45
Rafmagnssparnaður: Núverandi kerfi .....	46
Rafmagnssparnaður: Breyting á kerfi. ....	47
Viðauki 6-Núvirði varmadælu .....	49
Viðauki 7-Bæklingar fyrir frystipressur.....	50



## 1. Inngangur

Mikilvægi sparnaðs á rafmagns- og hitanotkun hefur aukist með hækkandi orkuverði og aukinni umhverfisvitund. Mikið hefur verið rætt um varmadælur í því samhengi, sérstaklega á svæðum þar sem ekki er jarðvarmaveita. Við frystingu á fiski þarf að fjarlægja mikið magn varmaorku. Þessi varmaorka er oftast fjarlægð með því að kæla frystimiðilinn í loftkældum eimsvala (kæliturni) eða í sjókældum eimsvala með miklum kostnaði. Mögulegt er að nýta þessa orku og spara með því aðra orkugjafa. Þetta er gert með samskonar vél og við frystingu en í þessu tilfalli er vélin notuð til hitunar og kallast varmadæla.

Öll hús þurfa hita, því var ákveðið að skoða hvort ekki væri hægt að nýta þann varma sem ekki er nýttur af fyrirtækinu í dag, til hitunar annarra húsa í eigu fyrirtækisins eða í samvinnu við fjarvarmaveitu bæjarfélagsins, sem nú er hituð með raforku og eða olíu.

### 1.1. Verkefnið

Umfjöllunarefni verkefnisins er varmavinnsla í frystihúsi hjá útgerðinni Skinney-Pinganes og hvaða breytingar er mögulegt að gera á núverandi kerfi til betri nýtingar og sparnaðar.

Núverandi varmavinnsla var sett upp árið 1985, í framhaldi af mikilli umræðu sem hófst vegna verðhækkana á olíu árin 1973 og 1979 (Kerr, 1998). Varmavinnslan samanstendur af tveim CIAT varmadælusamstæðum, sem hvor um sig hefur tvær stimpilpressur sem framleiddar eru af Copeland. Kerfið nýtir aðeins að litlu leyti þá varmaorku sem myndast við frystingu og geymslu frosinna afurða, það er að segja varmann úr kælivatni olíukæla á varmadælum, frystipressum og tveggja lítilla vatnskældra eimsvala staðsettum í vélasal.

Síðan varmavinnslan var sett upp hafa afköst frystihússins margfaldast, það er frá frystingu á ca. 2,5 tonnum á klst. upp í um það bil 17 tonn á klukkustund. Þetta þarf að taka til viðmiðunar við hönnun nýrrar varmavinnslu sem nú þarf að endurnýja.

Líkan var gert af kerfinu í EES (Energy Equation Solver) til að sýna varma afköst frystikerfa og einnig er reiknað hugsanleg afköst nýrrar varmadælu. Ekki var tekið tillit til sparnaðar í vatnsnotkun í útreikningum, en með þessu kerfi sparast mikið vatn og peningar til kælingar, þar sem kælikerfið er lokuð hringrás.



## 1.2. Markmið og hvatning

Markmið verkefnisins er að sjá hvort varmadælur eru fýsilegur kostur í upphitun og hve mikið af varmaorku er ónýtt í fiskvinnslu Skinney-Þinganes.

Þessi athugun gæti einnig gefið til kynna hver staða varmavinnslu er, í öðrum frystihúsum og iðnfyrirtækjum á Íslandi, sem nota mikið vatn til kælingar. Ennfremur er nauðsynlegt að gera sér grein fyrir notkun vatns til kælingar í iðnaði, vegna kostnaðar og mengunar.

Helsta hvatning til verkefnisins er áhugi á nýtingu á varma auk þess að Pétur Valdimarsson, tæknifræðingur og afi minn hannaði varmavinnslu Skinney-Þinganes. Við leit á lokaverkefni benti hann mér á að varmavinnslan þar væri orðin gömul og forsendur hennar breyst töluvert. Ekki er algengt að nota vatn-vatn varmadælu til að nýta hita sem verið að henda og því ákvað ég að skoða þau mál nánar.



## 2. Varmavinnsla

Varmavinnsla er þegar varmi úr einu efni er fluttur yfir í annað. Því samkvæmt grundvallar lögmáli varmafræðinnar er ekki hægt að búa til eða eyða orku, einungis er hægt að breyta orku úr einu formi í annað (Guntoft & Lauritsen, 2003).

### 2.1. Varmadælur

Helstu gerðir varmdæla má sjá í töflu 1.

Eimari	Eimsvali
Loft	Loft
Loft	Vatn
Vatn	Vatn
Vatn	Loft
Jörð	Vatn
Jörð	Loft

Tafla 1: Helstu gerðir varmadæla

Fyrri dálkurinn er varmagjafi eimara og seinni dálkurinn segir til um þiggjanda varma í eimsvala (Johnsen, 1977) Algengustu varmadælurnar eru loft-loft varmadælur sem nýta útiloft sem varmagjafa. Slík kerfi hafa verið notuð til að hita upp hús í mörg ár. Gallinn við loft-loft varmadælur er að nýtni þeirra minnkar með lækandi útihitastigi slík kerfi henta því betur í löndum þar sem að meðal útihitastig er hærra en hér á landi (Ásmundsson, 2005).

#### 2.1.1. Bakgrunnur – Sögulegt ágríp

Varmadælur eru ekki algengar á Íslandi enda er um 86% af öllum húsum kynnt með hitaveitum. Rúm 1 % er hitað með öðrum jarðvarmaveitum og 3 % með olíu eða rafmagns hitaveitum. Rafhitun er því notuð af ca. 10 % landsmanna (Húshitun).

Þegar Olíukreppan skall á árið 1973 hækkaði heimsmarkaðsverð olíu um 9 dollara á einu ári, en frá 1974 til 1980 var hækkunin um 25 dollara (Kerr, 1998). Í kjölfarið var sett á laggirnar verkefnið, Húshitunaráætlun í umsjón Orkustofnunar og Rafmagnsveita Ríkisins. Verkefnið hafði það markmið að nýta innlenda orkugjafa í stað olíu. Afrakstur verkefnisins var að nær allir landsmenn áttu kost á að hita húsin sín með jarðhita eða rafmagni, semsagt innlendum orkugjöfum. Einungis afskekktir staðir og eyjar þurfa enn að kynda hús með olíu en það var um 0,1 % af öllum landsmönnum (Gunnarsdóttir, o.fl., 1984).





Ekki er til skrá yfir allar varmadætur á Íslandi en Orkustofnun hefur fylgst með og skráð reynslu manna af fjölmörgum varmadælum hér á landi.

Staður	Notkunartími	Gerð	Vinnslumiðill	Varmafköst [kW]	Hiti varmalindar [°C]	Hiti framrásar [°C]	Ársvarma- stuðull
Búrfellsvirkjun	1969-?						
Bændaskólinn á Hvanneyri		Loft/loft					
Þorgautsstaðir, Hvítársíða	1981-1991	Aquastar, vatn/vatn	R12	9	17	55	2,9
Bakki, Bjarnarfirði	1983-	Aquastar, vatn/vatn	R12, síðar MP39	9	16-18	42-50	
Hofsstaðir, Mývatnssveit	1983-	Cantherm, vatn/vatn	R502/R22	14	13	58	2,6
Stöng, Mývatnssveit	1987-1995	Cantherm, vatn/vatn	R502/R22	17	25		3,2
Grænavatn, Mývatnssveit	-1993	Cantherm, vatn/vatn	R502/R22	11	6		2,2
Nauteyri				17	36		2,9
Tálknafjörður	1987-	Copeland, vatn/vatn	R12, síðar MP66	50	36		3,6
Staður Grindavíkur				(75)	7 (jarðsjór)		Ekki þekkt
Akureyri	1984-1998	Sabroe, vatn/vatn	R12	2600	bakrásarvatn	50-62	3-4
Grænivík, sundlaug	1991-	Sabroe, vatn/vatn	NH <sub>3</sub>		16	30	8
Akureyri	1998-	Gram, vatn/vatn	NH <sub>3</sub>	4000	27 (bakrásarvatn)	50	4,5
Þrándarstaðir, Austur-Hérað	2003-	Qvantum, berg/vatn	R407C	10	10, borholur	50	3-3,3
Klaustursey, Jökuldalur	2003-	Loft/loft					1,3
Grænivík, frystihús	1980-	Kvæerner, vatn/vatn	Freon		4-10	16-20	
Síglufjörður, frystihús		vatn/vatn					
Hornafjörður, frystihús	1980-	Ciat, vatn/vatn					
Hnífsdalur, frystihús		Grasse	Freon				

Tafla 2: Yfirlit yfir varmadætur á Íslandi, tafla var fengin úr skýrslu Ragnars K. Ásmundarsonar, Varmadætur hagkvæmni á Íslandi frá árinu 2005

Tafla 2 sýnir yfirlit yfir varmadætur á Íslandi sem Orkustofnun hafði vitneskju um árið 2005. Flestar þessar varmadætur eru vatn-vatn varmadætur frá 9 kW upp í 4000 kW.



Fjöldmörg fyrirtæki á Íslandi selja loft-loft varmadælur og hafa þau notið aukinnar vinsælda til upphitunar á sumarbústöðum og minna húsnæði sem ekki eru tengd varmaveitu. Því má gera ráð fyrir að til séu fjöldinn allur af loft-loft varmadælum sem eru undir 9 kW óskráðar. Mögulegt er að fá styrk til kaupa á varmadælum eða öðrum búnaði sem dregur úr rafhitun eða olíukyndingu. Ríkið greiðir semsagt hluta af framreiknuðum orkusparnaði. Hægt er að áætla eingreiðsluna í reiknivél á vef Orkuseturs og má fljótt sjá að loft-loft varmadælur ásamt öðrum tegundum varmadæla yrðu fljótar að borga sig upp með styrk frá ríkinu (Varmadælur:Eingreiðslur).

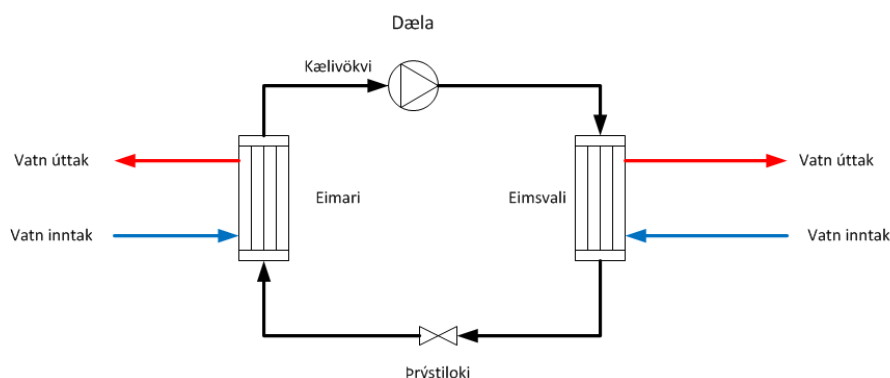
Á ýmsum stöðum á landinu henta jörð-vatn eða jörð-loft varmadælur þar sem jarðhiti er nægilega hár en því getur fylgt þónokkur stofnkostnaður við að leggja lagnir í jörðu og bora tilraunaholur til að áætla hita í jörðinni (Ásmundsson, 2005).

### 2.1.2. Fræði

Varmadælukerfi eru í raun eins og öfugsnúin kælikerfi og geta því einnig verið notuð til kælingar með breytingum (Moran & Shapiro, 2008).

Varmadælukerfi innihalda sömu grunn íhluti og kælikerfi:

- Eimir: Kælimiðill fær til sín varma (Hitastig hækkar)
  - Eimsvali: Kælimiðill gefur frá sér varma (Hitastig lækkar)
  - Dæla: Heldur hringrás kælimiðils, byggir upp þrýsting og hitastig
  - Þrýstijöfnunarloki: Fellur þrýstingin eftir eimsvala (Hitastig hækkar)
- (Moran & Shapiro, 2008)



Mynd 1: Virkni vatn-vatn varmadælukerfis



Mynd 1 sýnir dæmigert vatn-vatn varmadælukerfi. Kerfið vinnur þannig að dæla byggir upp þrýsting og hita í kælimiðli kerfisins. Eimsvalinn flytur hitann úr varmadælukerfinu yfir í kerfi sem getur nýtt varmann til hitunar í ofna, neysluvatn o.s.frv. Þrýstilokinn fellir þrýstinginn og hitann á kælimiðlinum og svo endurheimtir eimirinn hluta af hitanum sem fór í eimsvalann (Moran & Shapiro, 2008).

Þegar nýtni eða COP (e. Coefficient Of Performance) varmavinnslunnar er reiknuð þannig að, varminn sem eimsvali gefur frá sér er deildur með vinnu dæluvarmunnar jafngildir nýtni kerfis:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{\text{út}}}{\dot{W}_{\text{inn}}} \text{ (jafna 1.1)}$$

þar sem  $\eta$  er nýtni kerfis,  $\dot{Q}_{\text{út}}$  er varmi í wöttum og  $\dot{W}_{\text{inn}}$  er rafmagn í wöttum (Moran & Shapiro, 2008).

Til að sjá mestu fræðilegu nýtni má nota jöfnuna:

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_H}{T_H - T_K} \text{ (jafna 1.2)}$$

þar sem  $T$  er hitastig í Kelvin gráðum og  $T_H$  er hitastigið sem varmadælukerfið skilar frá sér og  $T_K$  er hitastigið sem varmadælukerfið fær til sín. Jafna 1.2 sýnir betur sambandið á milli hitastiga og nýtni varmadælu og hversu mikil áhrif það hefur á nýtni að hafa  $T_K$  sem hæst (Moran & Shapiro, 2008).

Dæmi:

Varmadælu kerfi fær til sín 30°C heitt vatn og skilar því frá sér 70°C heitt þá verður nýtni varmadælukerfis:

$$\eta_{\text{max}} = \frac{70 + 273}{(70 + 273) - (30 + 273)} = 8.5$$

Ef kerfið fær til sín 10°C heitt vatn og skilar því frá sér 70°C heitt þá verður nýtnin:

$$\eta_{\text{max}} = \frac{70 + 273}{(70 + 273) - (10 + 273)} = 5.7$$

Bætt er við 273 við hitastigin til að fá Kelvin gráður.



Þessi nýtni gerir ekki ráð fyrir neinum töpum og sýnir mestu fræðilegu nýtni í kerfinu, til að sjá hve raunveruleg lágmarks nýtni yrði má nota formúluna (Johnsen G. V., 1976):

$$\eta_R = 0.5 * \eta \text{ (jafna 1.3)}$$

fyrir grófa nálgun en hún byggir á reynslutölum og því yrði raunveruleg nýtni kerfanna:

$$\eta_R = 0.5 * 8.5 = 4.25$$

$$\eta_R = 0.5 * 5.7 = 2.85$$

Nýtni varmadælna er í kringum 2-6 og má ekki fara mikið undir 3 til að kerfið teljist lélegt. Sé varmadælukerfi með COP stuðul upp á 4 þýðir það að fyrir hvert 1 kW af raforku fæst 4 kW af varmaorku.

Varmaafli eimsvala eru reiknuð með formúlunni:

$$q = \dot{m} * (h_{út} - h_{inn})$$

þar sem  $q$  er varmi í wöttum,  $\dot{m}$  er massastreymi í kg/s,  $h_{út}$  og  $h_{inn}$  eru enthalpi vökvans inn og úr eimsvalanum (Moran & Shapiro, 2008). Nánari lýsingu á útreikningum má finna í Viðauki 3-Varmadælu útreikningar.

### 2.1.3. Kælimiðlar

Varma- og kælikerfi nota eiginleika kælimiðla til að færa varma. Hiti leitar ávallt í kalt og því þarf að nota varmaskipta og mismunandi vökva til að færa varman á þann stað sem óskað er (Moran & Shapiro, 2008). Kælimiðlar hafa mismunandi eiginleika og því verður aðeins skoðað eiginleika á þeim kælimiðlum sem um er fjallað hér sjá Tafla 3.

	Suðupunktur við 1 bar	Frystipunktur við 1 bar
R717 (Ammoníak ;NH <sub>3</sub> )	-78,4 °C	-160 °C
R134a (CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub> )	-26,2 °C	-96 °C
R22 (Freon; CHF <sub>2</sub> CL)	-40,8°C	-160 °C
R12 (CF <sub>2</sub> CL <sub>2</sub> )	-21,8 °C	-252 °C

Tafla 3: Yfirlit Kælimiðla

Kælimiðlarnir R12 og R22 hafa verið bannaðir hér á landi vegna áhrifa þeirra á ósonlag jarðar. Reglugerð var sett sem bannar innflutning á búnað sem notar ósoneyðandi efni en heimild var gefin til að þjónusta tæki sem nota slík efni til ársins 2010 (Ásmundsson, 2005).



Aðrir kælimiðlar hafa komið í stað R12 og R22 en t.d er R134a komið í staðinn fyrir R12 (Moran & Shapiro, 2008).



### 3. Kælikerfi

Kælikerfi hafa það hlutverk að fjarlægja varma. Þau eru byggð upp á fjórum grunn íhlutum líkt og varmadælukerfi:

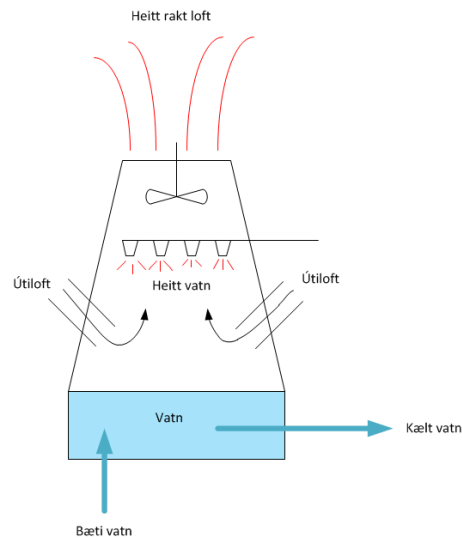
- Eimir: Kælimiðill fær til sín varma (Hitastig hækkar)
- Eimsvali: Kælimiðill gefur frá sér varma (Hitastig lækkar)
- Dæla: Heldur hringrás kælimiðils, byggir upp þrýsting og hitastig
- Þrýstijöfnunarloki: Fellir þrýstinginn eftir eimsvala (Hitastig lækkar)

Enthalpy er hugtak sem er mikið notað í varmaútreikningum og stendur fyrir varmaorku. Enthalpy er táknuð með bókstafnum H og er summa innri orku (U), þrýstings (p) og rúmmáls (V). Frjálst er að skilgreina hvar núllpunktur enthalpy er og því segir enthalpy ekki til um ákveðið varmainnihald. Til að reikna út orkuna sem fæst úr hitastigsbreytingu þarf að skoða enthalpy breytinguna sem verður vegna hækkun hitastigs (Moran & Shapiro, 2008).

Frysti og kælikerfi nota dælur til að þjappa lofttegund(kælimiðli) saman og mynda með því varmaorku, til þess að nýta þessa varmaorku þarf að kæla lofttegundina í eimsvala, sem nýtir vatn eða loft til kælingarinnar. Þegar lofttegundin er orðin það köld að hún þéttist í vökva er hægt að nýta hana sem kælimiðil. Vökvinn er nú leiddur að svokölluðum uppgufunarloka þar sem vökvinn þenst út og myndar kælingu. Hvað kælingin á að vera mikil fer eftir því hvað þrýstingurinn er mikill eftir uppgufun (Moran & Shapiro, 2008).

#### 3.1. Kæling með kæliturnum og sjókælingu

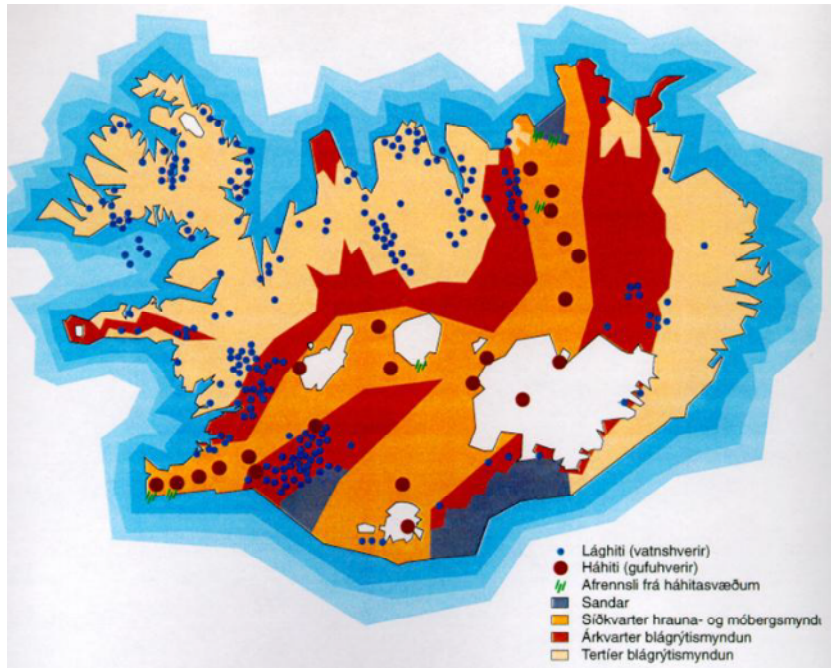
Kæliturnar hafa það hlutverk að fjarlægja varma úr vökva. Til eru ýmsar gerðir af kæliturnum en í grunnin byggja þeir á að nota útiloft og viftu til að fjarlægja varma. Virknin er byggð upp þannig að heitu vatni er úðað inn í kæliturninn til að auka varmafærslu frá heita vatninu til loftsins. Vifta sem er efst í turninum sér um að draga inn andrúmsloft að neðanverðu í turninum. Andrúmsloftið ris upp í turninum og fjarlægir varma úr vatnsúðanum og er síðan blásið út efst í turninum. Vatnsúðinn fellur síðan í söfnunartank neðst í turninum þar sem því er dælt aftur til kælingar. Eitthvað vatnsmagn tapast í raka sem er blásið út í andrúmsloftið og því þarf vatnslögn inn í söfnunartankinn til að bæta upp það vatn sem tapast svo að vatnsmagnið í kælirásinni haldist eins, sjá nánar á Mynd 2 (Moran & Shapiro, 2008).



**Mynd 2: Virkni kæliturns**

Sjókælar eru varmaskiptar sem nota sjó til að kæla kælimiðil. Kosturinn við þá er að sjórinn hefur tiltölulega lágt hitastig, hitastig sjávar breytist lítið á Íslandi og það er til nóg af honum. Hægt er að líta á sjókælingu sem hálfgerða „fría“ kælingu, í staðinn fyrir að kæla vökva með kæliturri (sem notar rafmagn). Hins vegar fylgja ýmsir ókostir sjókælingu. Sjórinn er ekki tær vökvi og honum fylgja óhreinindi (e.fouling) sem setjast innan á vegg röra varmaskiptisins og þar af leiðandi minnkar varmaleiðni hans. Menn hafa leyst það vandamál að hluta til með því að bæta klór í hringrás sjókælingar. Því fylgir þó oft að klór lekur út í sjóinn sem er mengandi. Einnig má nefna að sjórinn er saltur og er því tærandi á málminn í varmaskiptinum (Zhao, Liu, Wang, Wang, & Müller-Steinhagen, 2005, Volume 60, Issue 17).

## 4. Húshitun á Íslandi



Mynd 3: Jarðhitasvæði á Íslandi

Á Íslandi er mikill jarðvarmi sem nýttur er til rafmagnsframleiðslu og í hitaveitu. Þetta á hins vegar ekki við um allt landið. Ísland liggur á plötuskilum Evrópu og Ameríku. Á plötuskilunum er háhita svæði sem liggur í gegnum landið frá suðvestri til norðaustur. Eins og og sjá má á mynd 3. eru „köldu“ svæði landsins á austur- og vesturhluta landsins (Steingrímsson, 2010). Þetta er þó ekki algilt, hægt er að finna ýmsa staði á köldu svæðunum, bæði austan og vestanlands, þar sem hægt er að finna nægjanlega heitt vatn til húshitunar. Á Austurlandi er hægt að finna heitt vatn því t.d. á Eskifirði hefur tekist að finna heitt vatn til nýtingar í hitaveitu en á Reyðarfirði er rafmagnskynding, þó eru einungis í kringum 17 km á milli bæjarfélaganna. Höfn í Hornafirði liggur á slíku köldu svæði. Hitun þar er framkvæmd með Rafmagns- og Olíukyndingu.

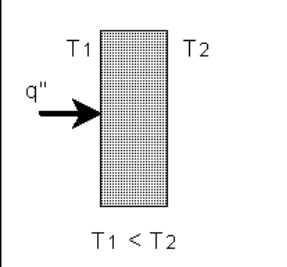
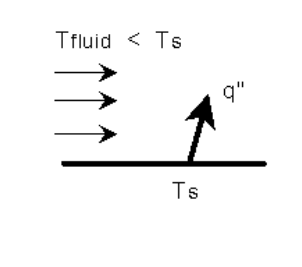
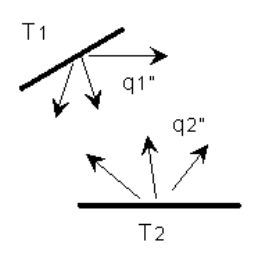
### 4.1. Hitun húsnæðis

Hitun húsnæðis er mismunandi eftir því hvaða hitastig vatns er í boði og hvað kostnaður má vera. Hitun er framkvæmd með færslu varma og er þá annað hvort nýtt lögmálið að hiti leitar ávallt í kulda til að koma á jafnvægi eða þá að knýja varman á þann stað sem óskað er eftir með afli (dæla,blásari) (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007).



Varmafærsla gertur farið fram eftir þrem mismunandi leiðum:

- Varmaburður: Varmi flyst frá einu efni í annað þar sem annað efnið er á hreyfingu (e. Convection).
- Geislun: Efni gefur frá sér varma til umhverfis (e. Radiation).
- Varmaleiðni: Varmi fer í gegnum efni eða vökva (e. Conduction) (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2007).

Conduction through solid or a stationary fluid	Convection from a surface to a moving fluid	Net radiation exchange between two surfaces
		

Mynd 4: Varmafærslur mynd fengin: <http://www.eng.shirazu.ac.ir/eng/chem-dept/courses/heat/image%5Ccond.gif>

Helstu gerðir hitunar eru:

- Veggofnar
- Lofthitun
- Gólfvarmi

#### 4.1.1. Veggofnar

Veggofnar er án efa algengasta tæki til hitunar húsa hér á landi. Þeir virka þannig að heitu vatni er dælt í gegnum þá og varmaburður á sér stað með geislun og varmaburði frá ofninum út í rýmið sem á að hita. Gallinn við veggofna er að hitun verður ójöfn. Veggofnar eru festir við vegg húsnaðis og geisla frá sér hita. Langan tíma tekur að ná jöfnum hita og á meðan verið er að hita upp rýmið getur ofninn orðið brennandi heitur. Einnig verður varmaleiðni í gegnum vegginn sem hann stendur við ef veggurinn er kaldari en ofninn, og þar af leiðandi að eyða varma í að hita útvegginn (Harris, 1995)



#### **4.1.2. Lofthitun**

Lofthitun er algeng í iðnaðar og skrifstofuhúsnæði. Lofthitun er framkvæmd með því að láta viftu blása gegnum sérhannaða lofthitara. Þannig fæst heitt loft sem síðan er leitt í stokka sem liggja að rýmum sem þarf að hita. Kostir lofthitunar er hitinn á loftinu sem blásið er inn í hús þarf ekki að vera nema 22-26 °C einnig er loftendurnýjun mikill kostur (Johnsen G. V., 1977).

#### **4.1.3. Gólfhiti**

Gólfvarmi er að verða sífellt vinsælli hitunarkostur fyrir húsnæði. Gólfhitun virkar þannig að lagnir eru lagðar í gólfið á húsinu. Heitu vatni er dælt í gegnum lagnirnar og varminn berst í gegnum gólfið með varmaleiðni. Kostir gólfhita eru vatnið þarf mun lægra hitastig á vatninu, æskilegt hitastig er í kringum 35-40°C. Hitadreifing er mjög jöfn en gólfagnirnar eru lagðar þannig að þær þekja nánast allan grunnflöt húsnæðis. Bakrás gólfhitans er síðan hægt að nýta í hitun á bílaplani. Galli gólfhita er að hann er lengi að bregðast við hitabreytingum (Johnsen G. V., 1976).

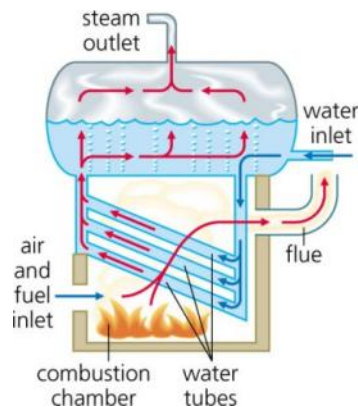


## 4.2. Húshitun í Höfn í Hornafirði

Höfn í Hornafirði er líkt og áður var nefnt staðsett á köldu svæði. RARIK rekur þar hitaveitu sem er kynnt með olíu og rafmagni.

### 4.2.1. Olíukynding

Hitaveituvæðing íslands byrjaði í kringum 1943 þegar að Hitaveita Reykjavíkur var stofnuð. Fram að því voru flest hús á Íslandi kynnt með olíu eða kolum. Nútíma olíukatlar hafa í kringum 65 % nýtni ef talin eru með ketil-og dreifitöp.



Mynd 5: Olíukynding mynd fengin: [http://www.heatusa.com/wp-content/uploads/2011/01/boiler\\_diagram.jpg](http://www.heatusa.com/wp-content/uploads/2011/01/boiler_diagram.jpg)

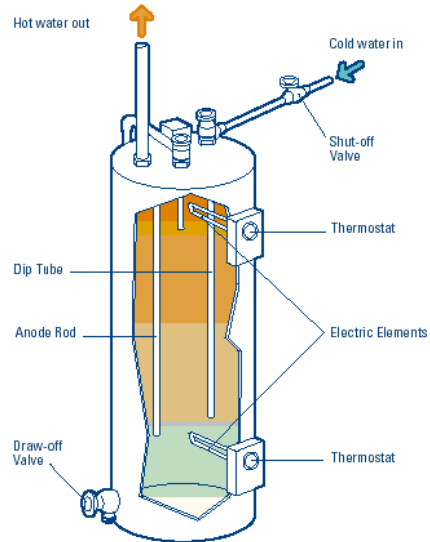
Myndin sýnir einfaldaða mynd af olíukatli. Virkin er í raun sú sama og í rafmagnskatlinum en í staðin fyrir að nota hitöld (e.Element) til að hita vatnið er kveikt í olíu til að mynda bruna sem hitar vatnið. Augljósir ókostir olíukyndingar eru að við erum háð erlendum orkugjöfum, olían mengar, olíuverð mun einungis hækka og orkunýting ketils er um 65-75%. Á meðan við framleiðum umhverfisvænt rafmagn ættu olíukyndingar einungis að vera til staðar sem neyðarkynding (Haraldsson, Þórisdóttir, & Ketilsson, 2010).

### 4.2.2. Rafmagnskynding

Rafmagnskynding er hitun á vatni með notkun rafmagns. Notaður er rafmagnsketill sem er í grunninn alveg eins og venjulegur hraðsuðuketill. Venjulegur rafmagnsketill er þannig uppbyggður að hann hefur vatnsgeymir með hitöld. Þegar rafmagni er hleypt í gegnum hitöldin hitna þau og hita þar af leiðandi vatnið í geyminum. Heita vatninu er leitt úr geyminum til afnota í framrás og nýtt kalt vatn í bakrás er leitt inn í geyminn til upphitunar. Rafmagnskatlar hafa mjög góða nýtni, ef umhverfistöp til umhverfis eru frátalin þá hefur hann 100% nýtni eða nýtingarstuðullinn(COP) 1. Það er að segja að fyrir hvert 1 kW af



rafmagni færðu 1 kW af varmaorku. Rafmagnsketill getur talist umhverfisvænn húshitunarkostur ef rafmagnið sem hann notar er framleitt á umhverfisvænan hátt, eins og mest allt rafmagn á Íslandi.

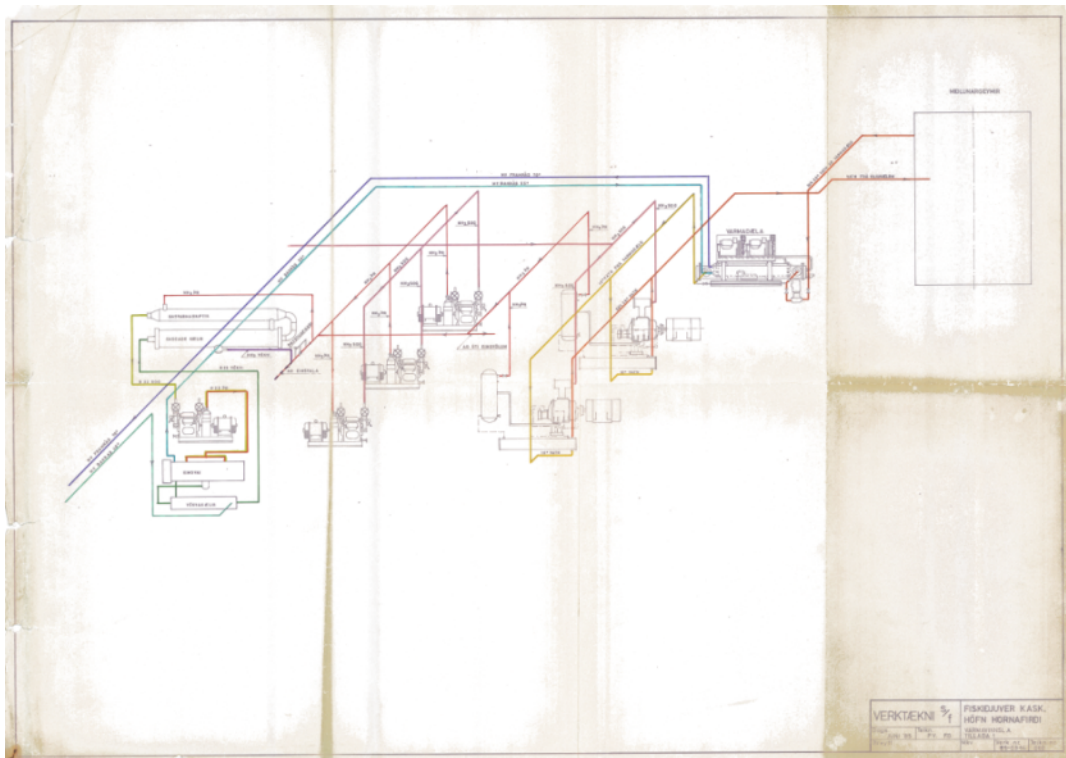


Mynd 6: Rafmagnskynding mynd fengin: <http://manualinks.com/wp-content/uploads/2011/10/Electric-Water-Heater-Diagram.gif>)



## 5. Framkvæmd

Farið var í heimsókn til Skinney-Pinganes í Höfn í Hornafirði í janúar 2011 til að skoða frystihúsið þeirra og varmavinnsluna. Kerfið var skoðað og teknar helstu upplýsingar af frystikerfinu og varmavinnslunni. Engin kerfismynd var til af kerfinu í heild sinni þannig að að teikna þurfti upp kerfið í frá grunni. Til stuðnings voru til handteiknaðar myndir af kerfinu sjá dæmi á Mynd 7. Ekki var til nein teikning sem sýndi kerfið í heild sinni og því þurfti að fá aðstoð frá hönnuði kerfis til að fá heildarmynd.



Mynd 7: Handteiknuð mynd af varmadælum og hluta af frystipressum

### 5.1. Aðferðir og tól

Núverandi kerfi er teiknað upp og reiknað í EES til að finna út hver afköst þess eru. Reiknaður verður hve miklum varma þarf að fjarlægja miðað við gefna frystigetu. Frystikerfið verður síðan sett upp í EES til að reikna út afköst þess og hve mikil varmi er nýtanlegur úr frystikerfinu. Að lokum verður gert líkan í EES af varmadælu sem nýtir allan þann varma sem gefna frystigetan þarf að losa sig við. Afköst Síðan verður gert líkan af kerfinu með endurbótum og séð hvernig nýtingin eykst.



## 5.2. EES

EES er reikniforrit með innbyggðum eiginleikatöflum um fjölda vökva. Forritið hentar einkar vel í varmaútreikningum vegna þess að ekki þarf að fletta upp eiginleika þess vökva sem verið er að skoða. Til að fá tölugildi vökva nægir að vita tvennt um stöðu þess. T.D ef þú vilt vita þrýsting vatns þarftu að vita hitastigið og enthalpiú eða þá entrópiú og gufuhlutfall og svo framvegis. Ekki skiptir máli í hvaða röð jöfnunar eru. Hægt er að láta forritið reikna áhrif þess á kerfið að breyta einni eða fleiri breytum Sjá nánar í Viðauki 2- Kælivélar, Viðauki 3- Varmadælu útreikningar: Núverandi kerfi og Viðauki 4-Varmadælu útreikningar:Endurbætur á kerfi.

## 5.3. Visio

Kerfið var teiknað í Microsoft Visio eftir gömlum teikningum og minni hönnuðar. Visio hentar vel í kerfisteikningar því það hefur innbyggt svo til öll ták fyrir búnað varma- og frystikerfa auk annarra tákna.



## 6. Fiskvinnsla Skinney-Pinganes

Skinney-Pinganes er útgerð í Höfn í Hornafirði. Það var stofnað 1999 með sameiningu útgerðarfélaganna Skinney, Pinganes og Borgey. Fyrirtækið er með saltfiskverkun allt árið, humarfrystingu, loðnufrystingu og síldarfrystingu, - söltun og – niðurlagningu. Einnig á fyrirtækið fiskimjolsverksmiðju. Í frystihúsinu starfa um 85-100 manns. Fyrirtækið er með 10 fiskiskip og 70 manns í áhafnir. Heildar fjöldi starfsmanna er um 180-200. Skipunum tilheyra 10.500 tonna kvóti í þorskígildum. Félagið fær einnig úthlutað 20% humarkvótans, 17% af síldarkvóta og 3% af loðnukvóta (Gunnarsson, 2003).

### 6.1. Lýsing á núverandi varmavinnslu

Skinney-Pinganes er með frystiklefa, blástursfrysta og plötufrysta til að frysta fiskafurðir. Til að kæla frystiklefana eru 14 frystipressur. Fyrir nokkrum árum síðan var bætt við 7 Amerio Sjálfvirkum plötufrystum og 6 frystipressum (nýi salur) sem eru kældar með kæliturnum. Varmavinnslan í Skinney-Pinganes er uppbyggð þannig að það eru tvær varmadælusamstæður. Ein samstæða samanstendur af tveim stimpilpressum, eimi og eimsvala ásamt ýmsum öðrum minni búnaði, sjá á Mynd 8. Varmadælnar ganga fyrir R12 og R22 kælimiðli. Kerfið er hannað þannig að varmadælan sem gengur fyrir R22 hitar vatnið frá 20-40°C upp í 45-55°C og síðan hitar R12 varmadælan frá 45-55°C upp í ca. 70°C. Til að auka nýtni varmadælanna er nýtt eitthvað af þeim hita sem frystipressurnar gefa frá sér. Ákveðið var að nýta varmann sem fæst frá frystikerfinu, það er olíukælum frystipressanna, olíukælum varmadælanna og litlum eimsvala sem staðsettur er í vélasal, til að eima kælimiðilinn í varmadælu. Miðlunargeymir er nýttur fyrir kælivatnið/hitunarvatnið (Vatnið tekur til sín hita í olíukælunum en gefur frá sér hita í eimum varmadælanna). Miðlunargeymirinn er um 15 til 20 tonn og notaður til að geyma kælivatn fyrir olíukæla frystipressana, olíukæla varmadælanna og heitt vatn fyrir eima varmadælanna. Það er lokað kerfi og hringrásar frá miðlunargeymi í olíukæla og eima varmadælanna, þaðan í fyrri eimsvala frystikerfis, til að lækka hitastigið á kælivökvanum á þrýstihliðinni, og síðan í olíukæla frystipressana. Miðlunargeymirinn er vel einangraður og hitastigið á vatni frá honum er í kringum 26-30°C. Vatn er leitt í gegnum eimsvala varmadælanna tveggja og hitnar með því frá 35-40°C upp í 70°C. Hluti vatnsins er síðan leitt að loftkældum hitara sem hitar loftið í lofthitun vinnslusala, hinn hlutinn fer í ofnakerfi hússins. Bakrás frá ofnakerfi og lofthitunum lofthitunarkerfi vinnslusala fer svo aftur inn á eimsvala varmadælanna til



upphitunar. Varmadæurnar eru tvær og með tvær stimpilpressur hvor. Önnur varmadælan er 50% óvirk sökum þess að önnur stimpilpressan fór í henni. Varmadælu samstæðan sem er virk er með 1.8 - 2 bar og 21°C á soghlið og 17 bar og 120°C á þrýstihlið. Ekki var farið í frekari nýtingu á varma frá frystipressunum sökum of mikils kostnaðar. Kerfið er að anna allri hitaþörf í húsinu sem það er staðsett í.



Mynd 8: Varmadæla Skinney-Þinganes

## 6.2. Lýsing á frystikerfi Skinney-Þinganes

Allar frystivélar fyrirtækisins nota Ammoníak sem kælimiðil eru keyrðar á  $-40^{\circ}\text{C}$  eða  $-0,3$  bar á soghlið og 7-7,5 bar á þrýstihlið, þannig geta allar vélarnar unnið saman þegar álag krefst þess. Fimm af frystipressunum eru tengdar við varmavinnsluna, sjá Mynd 9. Kælimiðilinn á þeim er kældur með vatni frá varmavinnslunni er því hægt að endurnýta vatnsorkuna sem varmagjafa fyrir varmadælu. Hinar níu frystipressurnar eru kældar með kæliturnum sjá nánar í Tafla 4.





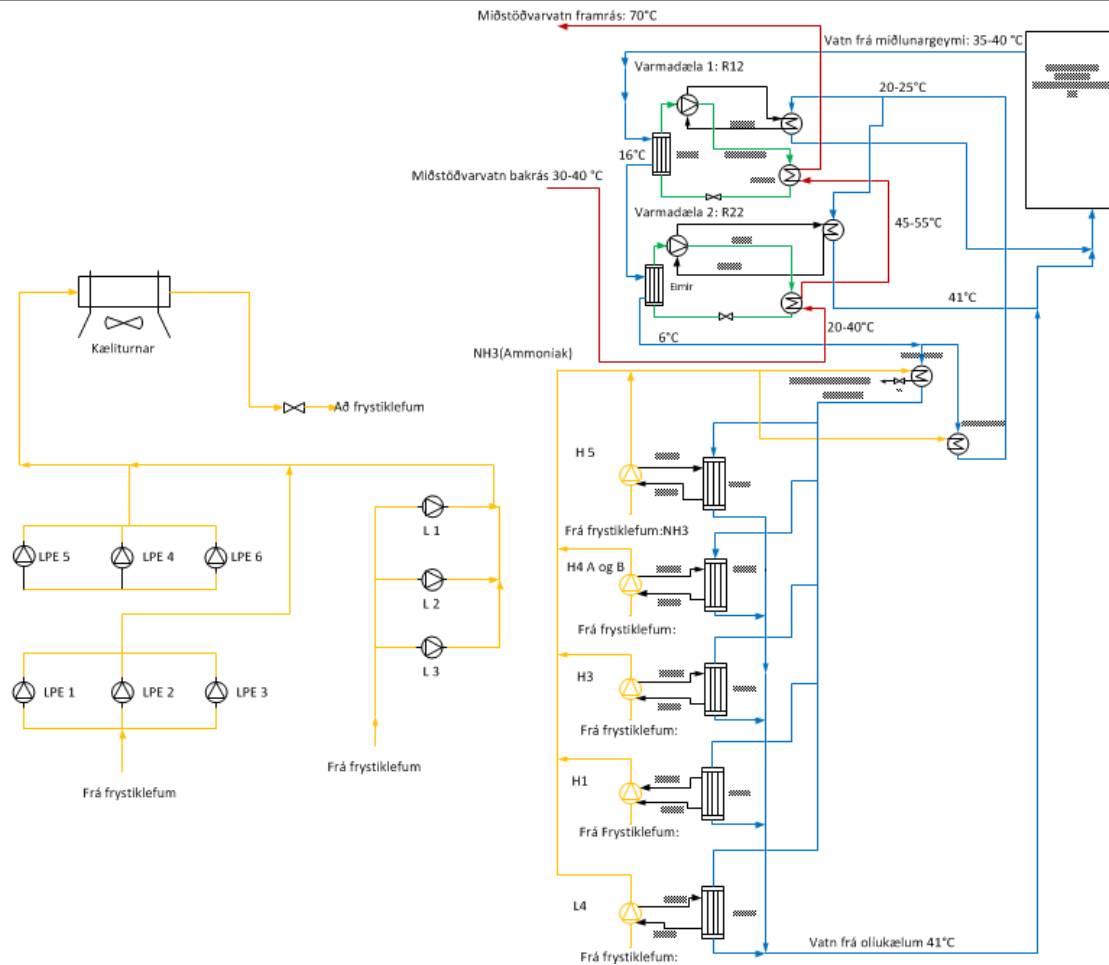
Heiti vélar	Framleiðandi	Gerð	Fjöldi	Frysti afköst
Stimpilpressu samstæða	Hery Söbye	RMF-120,3	1	
Stimpilpressa	Sabroe	SMC-6-100	1	
Stimpilpressa	Sabroe	SMC-8-100	3	
Skrúfupressa	Howden	WRV-204	2	
Skrúfupressa	Howden	WRV- 255	5	
Skrúfupressa	Gram	GSV-185	1	
Skrúfupressa	Sabroe	SAB-202 LF	1	
Plötufrystar	Stal		4	40tonn/24klst
Sjálfv. Plötufrystar	Amerio	35	7	400tonn/24klst
Lausfrystir	Óþekkt		1	16tonn/24 klst
Blástursfrystir	Óþekkt		2	28tonn/24klst
		<b>Frystiafköst samtals</b>		<b>484tonn/24klst</b>

Tafla 4: Frystipressur og frystar Skinney-Pinganes

Öll þessi frystitæki geta verið í gangi á sama tíma, en það er sjaldgæft en algengt er að stór hluti alls frystikerfisins sé í gangi þegar verið er að frysta uppsjávarfisk. Hann er frystur í Amerio plötufrystunum og algengt að þeir séu með afköst 400 tonn á sólarhring stanslaust í allt að 9 mánuði á ári. Sjá má nánari lýsingu á varmavinnsluni og frystikerfinu má sjá á Mynd 10.



Mynd 9:Frystipressur kælikerfis



Mynd 10: Kerfismynd af núverandi varmavinnslu og hluti af frystikerfinu

### 6.3. Húsnæði á svæðinu

Skinney-Pinganes á fjölmörg hús á svæðinu (fá mynd og finna út hve mörg) en einungis frystihúsið þeirra er kynnt með varmadælu. Hin húsirn eru kynnt með fjarvarmaveitu. Við enduruppbyggingu varmavinnslunnar yrðu öll hús þeirra sem eru í nágrenni fiskiðjuversins hituð með heitu vatni frá varmavinnslukerfinu. Á Mynd 11 má sjá húsnæði í eigu Skinney-Pinganes, í raun ert þau fleiri en ekki fengust nánari upplýsingar frá fyrirtækinu.



Mynd 11: Húsnæði í eigu Skinney-Þinganes eru merkt með rauðum hring



## 7. Tillaga að breytingu varmavinnslukerfis

Kerfið í núverandi mynd er í kringum 27 ára gamalt og kominn tími á að skipta um báðar varmadælnar. Endurbæturnar gera ráð fyrir nýjum varmadælum með öðrum kælivökva. Þegar kaupa á nýja varmadælu sem er í þessari stærðargráðu, 1000 kw og stærra, er ekki hægt að panta eitt stykki frá framleiðanda. Varmadælur í þessari stærð eru sérsniðnar að óskum kaupanda og eru hannaðar með aðstæður hans í huga. Við útreikninga á nýrri varmadælu var því horft á hitan sem kerfið hefur aðgang (30°C) að og óskgildi á hitastigi frá kerfinu (65 °C). Með þessar tölur í huga og að hægt sé að nýta 3858 kW (varmaorka frá eimsvala frystikerfis) af varma frá frystikerfinu var reiknað mesta fræðilega nýtni kerfis sem og hún síðan helminguð skv jöfnu til að fá grófa mynd á hvað nýja varmadælan ætti að skila. Þessi tillaga gerir ráð fyrir því að nýttur sé allur varmi sem varmadælan framleiðir hvort sem að Skinney-Þinganes geti notað hana alla eða að samið verði um að selja umframmagnið.

Lækkun á hitastigi miðstöðvarvatns gefur betri nýtingu á varmavinnslukerfinu. Núverandi kerfi skilar frá sér í kringum 70°C heitu vatni en með lækkun vatnshitans niður í 65°C mun nýtingarstuðull varmadælanna hækka. Húshitunin fer fram með lofthitun í vinnslusölum og með hefðbundnum veggofnum í skrifstofu, matsal og starfsmannaaðstöðu. 65 °C heitt vatn er nægjanlega heitt fyrir lofthitunina og veggofnanna.

Breytingarnar gera ráð fyrir að fryst sé 400 tonn á sólarhring allan ársins hring. Afkastageta frystikerfisins er um 480 tonn á sólarhring en það ekki á fullum afköstum allan ársins hring. Ekki fengust upplýsingar um hve mikið er fryst á ári og því var valið að miða breytingarnar við frystingu upp á 400 tonn á sólarhring og að frystipressurnar séu á fullum afköstum. Sjá má á Mynd 12 hvernig hægt er að nýta varman frá frystikerfinu. Til einföldunar eru olíukælar ekki með á myndinni en mikin varmi má nýta úr þeim. Einnig er kæliturnin ekki á myndinni en hann má enn nýta sem varakælingu.





## 8. Niðurstöður

Niðurstöður verða teknar saman bæði fyrir núverandi kerfi og kerfi eftir breytingar. Næmnigreining var gerð á helstu óvissupáttum í breyttu kerfi sem eru stofnkostnaður og söluverð varmaorku.

### 8.1. Núverandi kerfi

	Núverandi varmadæla	Ný varmadæla
COP stuðull	2,5 kW	4,25 kW
Ársparnaður í upphitun	650.000 kr.	1.700.000 kr.

Tafla 5: Niðurstöður fyrir núverandi kerfi.

Varmavinnslan í Skinney-Þinganes er að skila 160 kW eða um 1.291.200 kWh á ári. Útreikningar eru miðaðir við fullum afköstum varmadælnnar. Sjá nánari útreikninga á varmavinnsluni í Viðauki 3-Varmadælu útreikningar. Útreikningu á núverandi kerfi sýnir að hann er með COP stuðulin 2,5. Kerfið er að taka við ca. 30°C heitu vatni og skila frá sér ca. 70°C heitu vatni. Kerfið ætti að vera með hærri COP stuðul en samkvæmt þessum hitastigum ætti mesti fræðilegi COP stuðullinn að vera í kringum 8,5 og þá raunverulegi í kringum 4,25 samkvæmt reynslutölum. Þetta þýðir að fyrir 1 kW af rafmagni sem varmadælukerfið notar er það að skila af sér ca. 2,5 kW en gæti skilað nær 4,2 kW fyrir hvert 1 kW. Vitað er að núverandi kerfi er að anna húshitun á aðalbyggingu Skinney-Þinganes. Til að gera samanburð á útreiknuðum varmaafköstum og raunafköstum núverandi varmadælu var skoðað hver varmaþörf húsnæðisins er, sjá Viðauki 5-Rafmagnssparnaður. Reiknuð varmaþörf miðað við áætlaðan rúmmetrafjölda reyndist vera 489.180 kWh. Þar sem núverandi varmadæla er úr sér gengin er sparnaður í upphitun borinn saman við sparnað dælu væri að starfa með meiri nýtni sjá Tafla 5. Munurinn á árssparnaði felst í rafmagnskostnaði við rekstur varmadælu.

#### 8.1.1. Ályktanir

Núverandi varmadæla er samkvæmt útreikningum að skila rúmlega tvöfalt meira magn en reiknuð þörf.

Mismunirinn getur stafað af eftirfarandi:

- Ekki fékkst nákvæm fermetratala hvað þá rúmmetra tala fyrir húsnæðið.



- Útreiknuð varmaafköst núverandi varmadælu eru miðuð við hámarksafköst en ekki fengust tölur um hver „venjuleg“ afköst eru.

Varmadælan sem er í notkun er að annar varmaþörf hússins en vegna slits og bilana er verið að borga óþarflega mikið fyrir kWh af varma. Varmadæla hefur einnig verið í notkun í tæp 30 ár og líftími varmadælna er áætlaður um 20-30 ár. Þess vegna er nauðsynlegt að huga að endurnýjun dælu hvort sem að hún verði í sömu stærð og nú eða auka eigi afköst.

## 8.2. Breytt kerfi

COP stuðull	5,5
Varmaafli	4705 kW
Rafmagnsnotkun	863,1 kW
Árshagnaður	79 milljónir
Fullnægir varmaþörf á ársgrundvelli	u.þ.b. 800 hús

Tafla 6: Samantekt niðurstaðna fyrir breytt kerfi

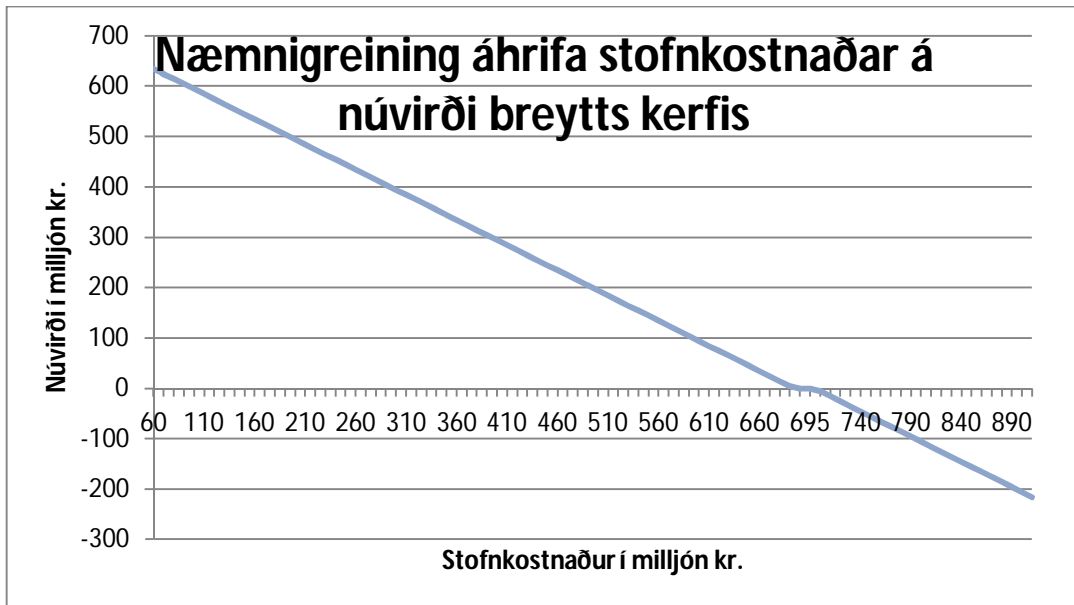
Samantekt niðurstaðna má sjá í Tafla 6. Endurbætta kerfið gefur 4705 kW sem gerir um það bil 38.000.000 kWh á ári. COP stuðull kerfisins reiknast í kringum 5,5. Við útreikningum á nýrri varmadælu var lagt upp með að hægt væri að nýta alla þá orku sem gefna frystikerfið gæfi frá sér. Þótt að Skinney-Þinganes eigi flest öll húsin í kringum aðalbygginguna þá er þetta mun meiri varmi en þeir geta notað og því er hugsað að umfram aflið sé selt. Hagnaður vegna varmadælu er reiknaður m.v. að RARIK kaupi varmann á helmingsvirði söluverðs þeirra. Varmaþörf er miðuð við 200 fm einbýlishús með 3 m lofthæð. Sjá nánari útreikninga í Viðauki 4-Varmadælu útreikningar:Endurbætur á kerfi og Viðauki 5-Rafmagnssparnaður.

### 8.2.1. Næmnigreining

Helstu óvissuþættir niðurstöðu um hagkvæmi breytts kerfis eru stofnkostnaður og söluverð varmaorkunnar. Forsendur útreikningana eru eftirfarandi: að söluverð sem Skinney-Þinganes fái fyrir varmaorkuna sé 50% af söluvirði RARIK. Að stofnkostnaður varmadælu sé í samræmi við skýrslu Odds B. Björnssonar, Varmadælu og hlutverk þeirra á Íslandi. Þar kemur fram að uppsett 4 MW varmadæla með aflstuðul á bilinu 4-5, kostaði 29 milljónir íslenskar krónur árið 1998. Það er um 72 milljónir á núvirði m.v. hækkun byggingavísitölu, nánari útreikninga má sjá í Viðauki 6-Núvirði varmadælu (Björnsson, 2003).

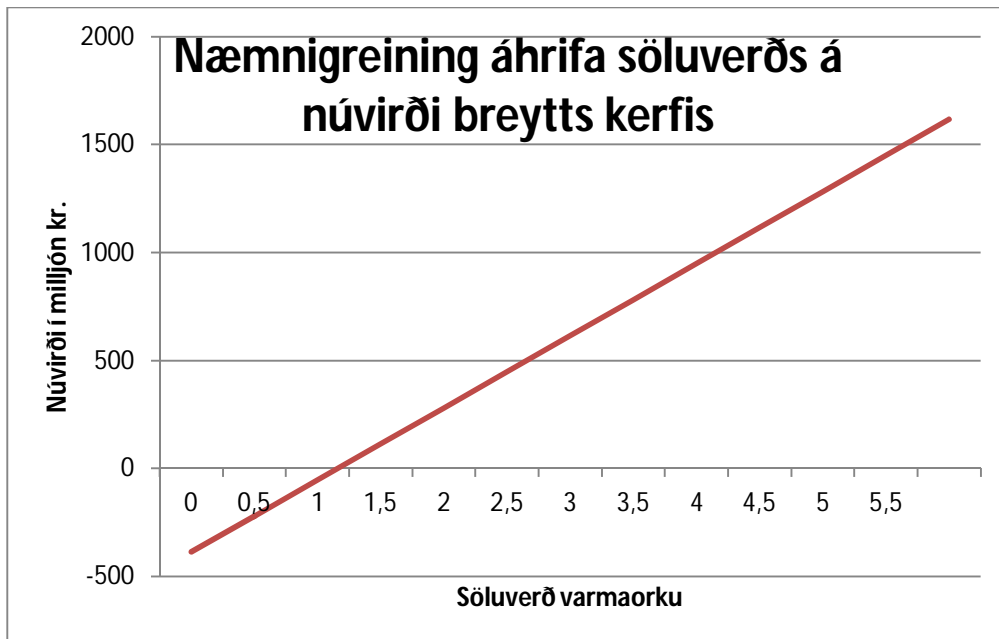


Báðar þessar nálganir eru háðar þónokkuri óvissu og því var næmnigreining framkvæmd miðað er við ávöxtunarkröfuna 10% sjá nánar í Viðauki 6-Núvirði varmadælu.



Mynd 13: Næmnigreining áhrifa stofnkostnaðar á núvirði breytts kerfis

Á Mynd 13 má sjá graf af niðurstöðu næmnigreiningu stofnkostnaðs. Hún sýnir að ef að stofnkostnaður er í samræmi við forsendur margborgar sig að fjárfesta í slíkri varmadælu. Upphafskostnaður má fara upp í 690 milljónir svo fjárfestinginn sé arðbær.



Mynd 14: Næmnigreining áhrifa söluverðs varmaorku á núvirði breytts kerfis





Á Mynd 14 má sjá niðurstöðu næmnigreingu söluverðs varmaorkunnar. Næmnigreiningin sýnir að til að til að fjárfestingin verði arðbær þarf söluverðið að vera um 1,5 kr/kWh.

Þó næmnigreiningarnar sýni möguleika á miklum hagnaði, skoða þær einungis óvissu annars þáttar í einu. Óvissan á þessum forsendum er þó svo mikil að til að fá raunhæfa næmnigreiningu hefði þurft að skoða samspil þessara þátta saman.

### 8.2.2. Ályktanir

Niðurstöður sýna að breytingarnar á kerfinu gefa það mikið varmaafli að Skinney-Þinganes getur ekki notað það allt, þrátt fyrir að þeir eigi fjöldi húsa í nágrenni frystihússins. Hitaveitan í Höfn notar rafmagns- og olúkyndingu sem eru óhagkvæmari en varmaframleiðslan í frystihúsi Skinney-Þinganes. Breytingarnar sýna að varmavinnslan í Skinney-Þinganes getur annað stórum hluta af varmaþörf Hafnar og ætti þar að leiðandi að vera hægt að draga úr framleiðslu varma með óhagkvæmari kyndikostum eins og rafmagns- og olúkyndingu. Niðurstöðurnar gefa einungis grófa mynd af hugsanlegri varmavinnslu en ekki er tekið tillit til töp í pípum, varmatöp til umhverfis og fleira ásamt því að ekki er skoðað kostnaður við að tengjast veituað hitaveitunar og vandræðum sem munu fylgja því að reyna að sannfæra RARIK um að kaupa varman. Breytingarnar á kerfinu gera ráð fyrir hámarksafköstum frystipressanna og að fryst sé 400 tonn á sólarhring allan ársins hring. Útreiknaður nýtnistuðull fyrir kerfið var 5,47 sem er eflaust í hærra lagi.

### 8.3. Umræða

Útreikningar kælikerfana og varmadælanna gefa eflaust ekki nákvæma mynd af núverandi kerfi. Sökum mikils ferðakostnaðar var einungis einu sinni farið í Höfn í Hornafirði og heimsótt Skinney-Þinganes. Mikið var stuðst við að fá upplýsingar í gegnum tölvupóst og síma sem er aldrei jafn gott og að vera sjálfur á staðnum. Engu að síður ættu þær grunnupplýsingar ásamt útreikningum byggðum á þeim að gefa grófa mynd af því magni af varma sem er ónýttur í fiskiðnaði. Erfitt var að finna upplýsingar um núverandi búnað í frysti- og varmakerfi Skinney-Þinganes. Margar pressurnar eru komnar til ára sinna og þegar að leitað var eftir upplýsingum um þær, kom oft í ljós að framleiðandinn væri annað hvort hættur eða hafi verið yfirtekin af stærri framleiðanda kælibúnaðar. Uppýsingar um varmadælurnar voru enn sjaldgæfari en varmadælur af þessari stærð eru sérpantaðar með þínum óskum og aðstæðum í huga og því veigra framleiðendur við því að gefa upp upplýsingar. Ljóst er að



nauðsynlegt er að endurnýja varmadælurnar og því þurfa Skinney-Þinganes að ákveða hvað þeir vilja nýta mikið af þeim varma sem í boði er. Auðveldast væri að kaupa nýjar varmadælur í svipaðri stærðargráðu og nú er fyrir og halda áfram að spara húshitunarkostnað í frystihúsinu þeirra. En ef farið er út í frekari rannsóknir varðandi nákvæmt varmaafli á ári og viðræður um hugsanleg kaup og sölu á varmanum væri hægt að afla tekjur á sölu varma. Að þessu má sjá að miklum varma er sóað í fiskiðnaði á Íslandi og ættu útgerðar fyrirtæki að skoða þessi mál, bæði út frá efnahagslegum- og umhverfissjónarmiðum.

## 9. Heimildaskrá

Air Conditioning, Heating and Refrigeration Institute. (2011). *2008 Standard for Performance Rating of Unitary Air-Conditioning & Air-Source Heat Pump Equipment*. Arlington: ANSI.

Ásmundsson, R. K. (2005). *Varmadætur Hagkvæmni á Íslandi*. Reykjavík: ÍSOR.

Björnsson, O. B. (2003). *Varmadætur og hlutverk þeirra á Íslandi*. Reykjavík: Jarðhitafélag Íslands.

Compressors, H. (9. Nóvember 2001). Service Bulletin: MSC Limitations on starting and stopping the compressors. Hartford: Hartford Compressors.

Guðmundsson, S. G. (2007). *Útfærslur neysluvatnskerfi til varnar brunaslysum af völdum heits vatns*. Reykjavík.

Gunnarsdóttir, M. J., Vilhjálmsson, J., Sæmundsson, K., Pálmason, G., Tryggvi, H., Þórðarson, P., o.fl. (1984). *Húshitunaráætlun: Lokaskýrsla. Samanburður hitunarkosta*. Reykjavík: Orkustofnun.

Gunnarsson, A. (2003). *Fyrirtækið*. Sótt 20. Mars 2012 frá Skinney-Pinganes: <http://www.sth.is/Firma.asp>

Guntoft, S., & Lauritsen, A. B. (2003). *Køleteknik*. Kaupmannahöfn: Nyt Teknisk Forlag.

Haraldsson, I. G., Þórisdóttir, P. H., & Ketilsson, J. (2010). *Efnahagslegur samanburður húshitunar með jarðhita og olíu árin 1970-2009*. Reykjavík: Orkustofnun.

Harris, D. (1995). Use of metallic foils as radiation barriers to reduce heat losses from buildings. *Applied Energy*, 52(4), 331-339.

*Húshitun*. (án dags.). Sótt 20.. mars 2012 frá Orkusetur: [www.orkusetur.is](http://www.orkusetur.is)

Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). *Introduction to Heat Transfer*. Hoboken: John Wiley & Sons.



Johnsen, G. V. (1976). *Varmadælar*. Reykjavík: Orkustofnun.

Johnsen, G. V. (1977). *Varmadælar og notkunarmöguleikar á Íslandi*. Reykjavík: Orkustofnun.

Kerr, R. A. (21. ágúst 1998). The Next Oil Crisis Looms Large-and Perhaps Close. *The American Association for the Advancement of Science*, 281(5380), 1128-1131.

Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2008). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. Hoboken: Wiley.

Ragnarsson, Á. (1989). *Orkunotkun við hitun húsnæðis, Nr.3 Höfn í Hornafirði*. Reykjavík: Orkustofnun.

Steingrímsson, B. (18. janúar 2010). Jarðhitarannsóknir. *Fyrirlestur VT-JAH 1003*. Reykjavík: ÍSOR.

Stoecker, W. F. (1998). *Industrial Refrigeration Handbook*. McGraw-Hill.

*Varmadælar:Eingreiðslur*. (án dags.). Sótt 5. apríl 2012 frá Orkusetur: [www.orkusetur.is](http://www.orkusetur.is)

Zhao, Q., Liu, Y., Wang, C., Wang, S., & Müller-Steinhagen, H. (2005, Volume 60, Issue 17). Effect of surface free energy on the adhesion of biofouling and crystalline fouling. *Chemical Engineering Science*, 4858-4865.



## 10. Myndaskrá

Mynd 1: Virkni vatn-vatn varmadælukerfis .....	5
Mynd 2: Virkni kæliturns .....	10
Mynd 3: Jarðhitasvæði á Íslandi.....	11
Mynd 4: Varmafærslur mynd fengin: <a href="http://www.eng.shirazu.ac.ir/eng/chem-dept/courses/heat/image%5Ccond.gif">http://www.eng.shirazu.ac.ir/eng/chem-dept/courses/heat/image%5Ccond.gif</a> .....	12
Mynd 5: Olúkynding mynd fengin: <a href="http://www.heatusa.com/wp-content/uploads/2011/01/boiler_diagram.jpg">http://www.heatusa.com/wp-content/uploads/2011/01/boiler_diagram.jpg</a> .....	14
Mynd 6: Rafmagnskynding mynd fengin: <a href="http://manualinks.com/wp-content/uploads/2011/10/Electric-Water-Heater-Diagram.gif">http://manualinks.com/wp-content/uploads/2011/10/Electric-Water-Heater-Diagram.gif</a> ) .....	15
Mynd 7: Handteiknuð mynd af varmadælum og hluta af frystipressum.....	16
Mynd 8: Varmadæla Skinney-Pinganes .....	19
Mynd 9:Frystipressur kælikerfis .....	20
Mynd 10:Kerfismynd af núverandi varmavinnslu og hluti af frystikerfinu.....	21
Mynd 11: Húsnæði í eigu Skinney-Pinganes eru merkt með rauðum hring.....	22
Mynd 12: Varmavinnsla endurbætt .....	24
Mynd 13: Næmnigreining áhrifa stofnkostnaðar á núvirði breytts kerfis.....	27
Mynd 14: Næmnigreining áhrifa söluverðs varmaorku á núvirði breytts kerfis .....	27
Mynd 15:Niðurstöður frystikerfis.....	36
Mynd 16: Stöður í EES.....	39
Mynd 17:Niðurstöður fyrir núverandi varmadælukerfi .....	42
Mynd 18:Niðurstöður nýrrar varmadælu .....	44
Mynd 19:Sabroe kælipressur .....	50
Mynd 20:Howden skrúfupressur.....	51



## 11. Töfluskrá

Tafla 1: Helstu gerðir varmadæla .....	3
Tafla 2: Yfirlit yfir varmadælur á Íslandi, tafla var fengin úr skýrslu Ragnars K. Ásmundarsonar, Varmadælur hagkvæmni á Íslandi frá árinu 2005.....	4
Tafla 3: Yfirlit Kælimiðla .....	7
Tafla 4: Frystipressur og frystar Skinney-Pinganes .....	20
Tafla 5: Niðurstöður fyrir núverandi kerfi.....	25
Tafla 6: Samantekt niðurstaðna fyrir breytt kerfi .....	26
Tafla 7: Söluverð vatns.....	45



## Viðauki 1- Frystiútreikningar

Plötufrystirinn getur fryst 400 tonn af fisk á sólarhring. Til að finna út orkuna sem þarf að fjarlægja við þetta notar maður jöfnuna

$$\dot{Q} = m * (h_{upphaf} - h_{enda}) * \frac{1}{t_k * 3600}$$

$\dot{Q}$  = Afl sem þarf að fjarlægja kW

$m$  = þyngd vöru í kg

$t_k$  = tíminn í klukkustundum sem á að kæla vöru

$h_{upphaf}$  = Enthalpy vöru við upphafshitastig í  $\frac{kJ}{kg}$

$h_{enda}$  = Enthalpy vöru við lok frystingar í  $\frac{kJ}{kg}$

$$(h_{upphaf} - h_{enda}) = c_{pkæling} * (t_{upphaf} - (-2)) + q_{is} + c_{pfrysting} * (-2 - t_{endahitastig})$$

$c_{pkæling}$  = Varmarýmd við kælingu

$c_{pfrysting}$  = Varmarýmd við undirkælingu

$q_{is}$  = Vermis sem þarf að fjarlægja í frystingu

$t = -2^\circ\text{C}$  er lágsta frostmark fyrir fisk

$$(h_{upphaf} - h_{enda}) = 350,8 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q} = 400.000 \text{ kg} * 350,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * \frac{1}{24 \text{ klst} * 3600\text{s}} = 1624 \text{ kW}$$

(Guntoft & Lauritsen, 2003)

Þetta er það afl sem eimirinn þarf að fjarlægja á sekundu miðað við að fryst sé 400 tonn á einum sólarhring.



Pressurnar dæla ammoníaki og er eðlismassi þess breytilegur eftir hitastigi. Valið var að nota eðlismassa þess við inntak pressanna. Hitastig og þrýstingur fyrir lágþrepið er 1 bar og -33,58 °C og 1,5 bar og -4,4 °C fyrir háþrepið.

Vitað er að hitastig inn á eimi er -40 °C og þrýsingur 1 bar. Hitastig eftir háþrepið er 70°C og 7 bör. Þessar upplýsingar voru nýttar þegar að gert var líkan af frystikerfinu í EES.

"Nýtni dælu"

$\eta = 0,8$

"Staða 1, inntak á pressu"

$T[1] = -40$  [°C]

$x[1] = 1$

$h[1] = \text{Enthalpy}(\text{Ammonia}; T=T[1]; x=x[1])$

$P[1] = \text{Pressure}(\text{Ammonia}; T=T[1]; h=h[1])$

$s[1] = \text{Entropy}(\text{Ammonia}; T=T[1]; h=h[1])$

"Staða 2\_s, fræðileg afköst dælu"

$P_{2_s} = P[2]$

$s_{2_s} = s[1]$

$h_{2_s} = \text{Enthalpy}(\text{Ammonia}; P=P_{2_s}; s=s_{2_s})$

"Staða 2, úttak pressu, fyrir eimsvala"

$P[2] = P_{\text{sat}}(\text{Ammonia}; T=14)$

$h[2] = h[1] + (h_{2_s} - h[1]) / \eta$

$T[2] = 70$  [°C]

"Staða 3, eftir eimsvala, fyrir þrýstjöfnunarloka"

$P[3] = P[2]$

$x[3] = 0$

$h[3] = \text{Enthalpy}(\text{Ammonia}; P=P[3]; x=x[3])$

$T[3] = \text{Temperature}(\text{Ammonia}; P=P[3]; x=x[3])$

"Staða 4, fyrir eimi, eftir þrýstjöfnunarloka"

$P[4] = P[1]$

$T[4] = \text{Temperature}(\text{Ammonia}; P=P[4]; h=h[4])$

"Varmi sem eimir tekur til sín"

$Q_{\text{eimir}} = 1624$  [kW]

"Massastreymi Ammoníaks"

$\dot{m}_{\text{Ammonia}} = 2,47$  [kg/s]

$\dot{m}_{\text{Ammonia}} = Q_{\text{eimir}} / (h[1] - h[4])$

"varmi sem eimsvali gefur frá sér"

$Q_{\text{eimsvali}} = \dot{m}_{\text{Ammonia}} * (h[2] - h[3])$





## "Orka sem pressa þarf"

$$W_{\text{pressa}} = \dot{m}_{\text{Ammonia}} \cdot (h[2] - h[1])$$

### Unit Settings: SI C bar kJ mass deg

$\text{COP}_{\text{varmadæla},1} = 2,576$	$\eta = 0,8$
$h_{2,s} = 215 \text{ [kJ/kg]}$	$\dot{m}_{\text{Olía}} = 1,876 \text{ [kg/s]}$
$\dot{m}_{\text{R12}} = 1,033 \text{ [kg/s]}$	$\dot{m}_{\text{Vatn}} = 0,9572 \text{ [kg/s]}$
$P_{2,s} = 17 \text{ [bar]}$	$Q_{\text{eimari},1} = -97,88 \text{ [kW]}$
$Q_{\text{eimsvali},1} = 160 \text{ [kW]}$	$Q_{\text{Olíukælir}} = 76,3 \text{ [kW]}$
$s_{2,s} = 0,6881 \text{ [kJ/kg}\cdot\text{K]}$	$W_{\text{dæla},1} = -62,13 \text{ [kW]}$

### Mynd 15: Niðurstöður frystikerfis

Sjá má á Mynd 15 niðurstöður frystikerfis miðað við að fryst séu 400 tonn á sólarhring.

## Viðauki 2- Kælivélar

Skinney-Þinganes hefur 14 frystipressur sem sjá um að frystingu. Upplýsingar fengust um tegundir og gerðir pressanna, og þurfti þá að grafa eftir tæknilegum upplýsingum á netinu. Þrjár frystipressur eru fyrir frystiklefan, tvær eru háþrepspressur og ein er lágbrepspressa. Fundið var rúmmálsflæði pressana út frá bæklingum framleiðanda (sjá viðauka) fyrir utan Gram pressuna en rúmmálsflæðið á henni var ágískað með tilliti hvað hinar voru að skila. Til að finna massastreymi frystipressana nota ég jöfnuna:

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho} \rightarrow \dot{m} = V * \rho$$

(Moran & Shapiro, 2008)

þar sem  $V$  er rúmmálsstreymi í  $\frac{m^3}{s}$ ,  $\dot{m}$  er massastreymi í  $\frac{kg}{s}$  og  $\rho$  er eðlismassi í  $\frac{kg}{m^3}$ .



Pressa	Mótor í kW/Sn á min	Rúmmálsstreymi í m <sup>3</sup> /h	Massastreymi í kg/s
HOWDEN MK6A/WRV 204 1.65	95 kW/3000 sn/min	1220	0,20
HOWDEN MK3/WRV 204 1.65	150 kW/3000 sn/min	1220	0,20
HOWDEN MK4B/WRV 255 1.65	132 kW/3000 sn/min	2395	0,40
SABROE SMC 8-100	37 kW/1400 sn/min	565	0,09
SABROE SMC 8-100	50 kW/980 sn/min	565	0,09
SABROE SMC 8-100	75 kW/1465 sn/min	565	0,09
2 STK. HENRY SÖBY RMF 120.3	90 kW/3000 sn/min	413	0,07
SABROE SMC 6-100	30 kW/980 sn/min	424	0,07
Howden MK4C/WRV 255	315 kW/2965 sn/min	1590	0,26
Howden MK4C/WRV 255	315 kW/2965 sn/min	1590	0,26
Howden MK4C/WRV 255	315 kW/2965 sn/min	1590	0,26
SABROE SAB 202 LF	355 kW/2960 sn/min	1700	0,28
Howden MK4C/WRV 255	317 kW/2965 sn/min	1590	0,26
GRAM GSV 185	250 kW/3000 sn/min	1200	0,20
Samtals		16627	2,73

### Viðauki 3-Varmadælu útreikningar: Núverandi kerfi

Varmadælusamstæðurnar sem eru í gangi núna nota kælimiðlana R12 og R22. Önnur samstæðan er óvirk og því er bara sett upp líkan af R12 varmadæluni. Upplýsingar sem fengust um R12 varmadæluna voru:

Hiti á soghlið varmadælu	21 °C
Þrýstingur á soghlið varmadælu	1,8-2 bör
Hiti á þrýstihlið varmadælu	120 °C
Þrýstingur á þrýstihlið varmadælu	17,5 bör
Hiti að oliukæli	21 °C
Hiti frá oliukæli	41 °C
Rúmmálsstreymi varmadælu	360 m <sup>3</sup> /h



Rúmmálsstreymið er umreiknað í massastreymi með því að nota jöfnuna:

$$\dot{m} = V * \rho$$

Rúmmálsstreymið á sekundu verður  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  og eðlismassi R12 er tekin við  $21^\circ\text{C}$  og 2 bör og er  $10,33 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Massastreymi verður því  $1,033 \text{ kg}/\text{s}$ . Ekki fengust upplýsingar um hver hitin á olíuni væri og því var ákvarðað að hentugt hitastig á olíuni yrði  $48^\circ\text{C}$  að olíukæli og  $30^\circ\text{C}$  frá kæli. Mælt er með að olíuhitastig sé í kringum  $60^\circ\text{C}$  (Stoecker, 1998). Ekki var vitað hver þrýstingur væri á kælivatni né á olíuni, því var ákveðið að hafa þrýstingin á kælivatninu 2 bör og 5 bör á olíuni. Þetta var ákveðið út frá því að framleiðendur mæla með að hafa að minnsta kosti 3 bör í mismuna þrýsting á vatni og olíu í olíukælum. Hitastig neysluvatn að og frá eimsvala fékkst uppgafið ca.  $25\text{-}30^\circ\text{C}$  að eimsvala og ca.  $70^\circ\text{C}$  frá eimsvala.

Varmadælan er reiknuð alveg eins og kælikerfi eru reiknuð og verður hér útskýrt jöfnunar sem notaðar eru:

Vinna dæluinnar er fundin út frá eftirfarandi jöfnu:

$$W_{dæla} = \dot{m} * (h_{út} - h_{inn})$$

(Moran & Shapiro, 2008)

Þar sem  $\dot{m}$  er massastreymi kælimiðils í  $\text{kg}/\text{s}$ ,  $W_{dæla}$  er orka dælu í  $\text{kW}$  og  $h_{út} - h_{inn}$  er entalpíubreyting sem verður þegar að dælan þjappar kælimiðlinum. Gert er ráð fyrir 80 % dælunýtni.

Varmaorka eimsvala er fundin út frá jöfnuni:

$$Q_{eimsvali} = \dot{m}_{kælimiðill} * (h_{út} - h_{inn})$$

$$Q_{eimsvali} = \dot{m}_{kælivatn} * (h_{út} - h_{inn})$$

(Moran & Shapiro, 2008)

Þetta sýnir að varminn sem kælimiðillin gefur frá sér er sá sami og kælivatnið tekur til sín.

Varmaafli eimara er fundið með nákvæmlega sömu aðferðum og með eimsvala:



$$Q_{eimari} = \dot{m}_{kælimiðill} * (h_{út} - h_{inn})$$

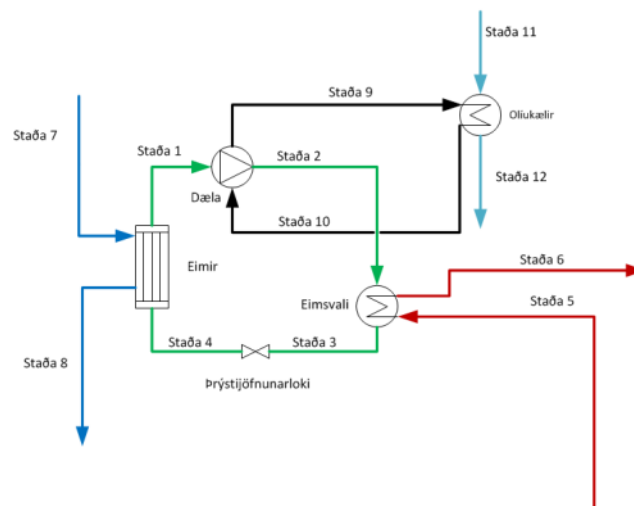
$$Q_{eimari} = \dot{m}_{kælivatn} * (h_{út} - h_{inn})$$

(Moran & Shapiro, 2008)

Sömu lögmál gilda með eimsvala og eimara, nema að núna tekur kælimiðillin til sín varma frá kælivatninu.

Nýtnisstuðull varmadælu er reiknaður með eftirfarandi jöfnu:

$$COP = \frac{Q_{eimsvali}}{W_{dæla}}$$



#### Mynd 16: Stöður í EES

Mynd 16 sýnir hvar á varmadælu stöðurnar sem notaðar eru í EES.

Skýringar á táknum í EES:

h= Verm (e. Enthalpy) (kj/kg)

P= þrýstingur (bar)

T=Hitastig (°C)

s=Óreiða (e. Entropy) (kj/kg\*K)



$x$ =gufuhlutfall ( $x=0$  er 100 % vökvi,  $x=1$  er 100% gufa)

$\dot{m}$  = massastreymi (kg/s)

Nánari útskýringar á hvernig núverandi varmadælukerfi er reiknað má sjá í EES kóðanum að neðan:

"Varmadæla með eimsvala"

\$UnitSystem SI C bar kJ mass deg

eta= 0,8 "nýtni dælu er frá 75-85 %, vel 80 %"

"Staða 1, Inntak á dælu; Full mettaður eimur R12"

$T[1]=21$  [°C]

$x[1]=1$

$h[1]=\text{Enthalpy}(\text{R12};T=T[1];x=x[1])$

$s[1]=\text{Entropy}(\text{R12};T=T[1];h=h[1])$

$P[1]=2$  [bar]

"Staða 2\_s, eftir dælu"

$P_{2\_s}=P[2]$

$s_{2\_s}=s[1]$

$h_{2\_s}=\text{Enthalpy}(\text{R12};P=P[2];s=s_{2\_s})$

"Staða 2, fyrir eimsvala"

$P[2]=17$  [bar]

$h[2]=\text{Enthalpy}(\text{R12};P=P[2];T=T[2])$

$T[2]=120$  [°C]

"Staða 3, eftir eimsvala, fyrir throtling valve:"

$P[3]=P[2]$

$h[3]=\text{Enthalpy}(\text{R12};P=P[3];x=0)$

$T[3]=\text{Temperature}(\text{R12};P=P[3];h=h[3])$

"Staða 4, eftir throtling, fyrir eimara"

$h[4]=h[3]$

$P[4]=P[1]$

$T[4]=\text{Temperature}(\text{R12};P=P[4];h=h[4])$

"Staða 5, varmavinnsla eimsvala(inntak)"

$T[5]=30$  [°C]

$h[5]=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T[5];P=P[5])$

$P[5]=2$  [bar]

"Staða 6, varmavinnsla eimsvala(úttak)"

$x[6]=0$



$$T[6]=70 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$h[6]=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T[6];x=x[6])$$

"staða 7 fyrir eimara(inntak,vatnshlið)"

$$T[7]=30 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$x[7]=0$$

$$h[7]=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T[7];x=x[7])$$

"staða 8 eftir eimara(úttak,vatnshlið)"

$$x[8]=0$$

$$T[8]=\text{Temperature}(\text{Water};h=h[8];x=x[8])$$

"massastreymi kælimiðils R12"

$$m\_dot\_R12=1,033 \text{ [kg/s]}$$

"Dæla"

$$W\_dæla\_1=m\_dot\_R12*(h[1]-h[2])$$

"Eimsvali"

$$Q\_eimsvali\_1=\text{abs}(m\_dot\_R12*(h[3]-h[2]))$$

$$Q\_eimsvali\_1=m\_dot\_Vatn*(h[6]-h[5])$$

" Eimari "

$$Q\_eimari\_1=m\_dot\_R12*(h[4]-h[1])$$

$$Q\_eimari\_1=\text{abs}(m\_dot\_Vatn)*(h[8]-h[7])$$

"Nýtnis stuðull varmadælu"

$$\text{COP\_varmadæla\_1}=Q\_eimsvali\_1/\text{abs}(W\_dæla\_1)$$

"Olíukælir"

"staða 9 Olíukælir (inntak, olíuhlið)"

$$P[9]= 5 \text{ [bar]}$$

$$T[9]= 48 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$h[9]=\text{Enthalpy}(\text{n-Nonane};T=T[9];P=P[9])$$

"staða 10, Olíukælir(úttak, olíuhlið)"

$$h[10]=\text{Enthalpy}(\text{n-Nonane};T=T[10];P=P[10])$$

$$P[10]=5 \text{ [bar]}$$

$$T[10]= 30 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

"Staða 11, Olíukælir(inntak, vatnshlið)"

$$P[11]= 2 \text{ [bar]}$$

$$T[11]= 21 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$h[11]=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T[11];P=P[11])$$

"staða 12, Olíukælir(úttak, vatnshlið)"

$$P[12]= 2 \text{ [bar]}$$

$$T[12]= 41 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$h[12]= \text{Enthalpy}(\text{Water};T=T[12];P=P[12])$$



### "Olíukælir varmadælu"

$$Q_{\text{Olíukælir}} = \dot{m}_{\text{Olía}} \cdot \text{abs}((h[10] - h[9]))$$

$$Q_{\text{Olíukælir}} = \dot{m}_{\text{Vatn}} \cdot (h[12] - h[11])$$

#### Unit Settings: SI C bar kJ mass deg

$$\text{COP}_{\text{varmadæla},1} = 2,576$$

$$\eta = 0,8$$

$$h_{2,s} = 215 \text{ [kJ/kg]}$$

$$\dot{m}_{\text{Olía}} = 1,876 \text{ [kg/s]}$$

$$\dot{m}_{\text{R12}} = 1,033 \text{ [kg/s]}$$

$$\dot{m}_{\text{Vatn}} = 0,9572 \text{ [kg/s]}$$

$$P_{2,s} = 17 \text{ [bar]}$$

$$Q_{\text{eimari},1} = -97,88 \text{ [kW]}$$

$$Q_{\text{eimsvali},1} = 160 \text{ [kW]}$$

$$Q_{\text{Olíukælir}} = 76,3 \text{ [kW]}$$

$$s_{2,s} = 0,6881 \text{ [kJ/kg}\cdot\text{K]}$$

$$W_{\text{dæla},1} = -62,13 \text{ [kW]}$$

Mynd 17: Niðurstöður fyrir núverandi varmadælukerfi

## Viðauki 4-Varmadælu útreikningar: Endurbætur á kerfi

Við útreikninga á nýrri varmadælu var skoðað hvað kerfið hefði aðgang að. Útreikningar á frystikerfinu sýna að hægt er að nýta 3858 kW af varma frá eimsvala þess. Ákveðið var að varmadælan myndi fá til sín 30 °C heitt vatn og skila frá sér 65 °C heitu vatni. Valið var að nota ammoniak sem kælimiðill. Þrýstingur og hitastig fyrir og eftir þjöppu voru valin miðað við að hafa þrýstingin aðeins hærra en á kælikerfinu. Hitastig og þrýstingur fyrir þjöppu er -5°C og 3,5 bar. Hitastig og þrýstingur eftir þjöppu er 109°C og 13,5 bar. Þar sem að ákveðið er að nýta varman frá eimsvala frystikerfis er ákveðið að hann fari allur í eimara varmadælunnar. Nánari lýsingu á útreikningum má sjá í EES kóðanum að neðan:

### "Nýtni pressu"

$$\text{eta} = 0,8$$

### "Staða 1, inntak pressu"

$$T[1] = -5 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$x[1] = 1$$

$$h[1] = \text{Enthalpy}(\text{Ammonia}; T = T[1]; x = x[1])$$

$$s[1] = \text{Entropy}(\text{Ammonia}; T = T[1]; h = h[1])$$

$$P[1] = \text{Pressure}(\text{Ammonia}; T = T[1]; h = h[1])$$

### "Staða 2\_s, eftir dælu"

$$P_{2_s} = P[2]$$

$$s_{2_s} = s[1]$$

$$h_{2_s} = \text{Enthalpy}(\text{Ammonia}; P = P[2]; s = s_{2_s})$$



"Staða 2, fyrir eimsvala"

$$P[2]=P\_sat(\text{Ammonia};T=35)$$

$$h[2]=h[1]+(h\_2\_s-h[1])/\eta$$

$$T[2]=\text{Temperature}(\text{Ammonia};P=P[2];h=h[2])$$

"Staða 3, eftir eimsvala, fyrir throtting valve:"

$$P[3]=P[2]$$

$$h[3]=\text{Enthalpy}(\text{Ammonia};x=0;P=P[3])$$

$$T[3]=\text{Temperature}(\text{Ammonia};P=P[3];x=0)$$

"Staða 4, eftir throtting, fyrir eimara"

$$P[4]=P[1]$$

$$h[4]=h[3]$$

$$T[4]=\text{Temperature}(\text{Ammonia};h=h[4];P=P[4])$$

"Staða 5, varmavinnsla eimsvala(inntak)"

$$T[5]=30\text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$h[5]=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T[5];x=0)$$

"Staða 6, varmavinnsla eimsvala(úttak)"

$$T[6]=\text{Temperature}(\text{Water};h=h[6];x=0)$$

"staða 7 fyrir eimara(inntak,vatnshlið)"

$$T[7]=35\text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$h[7]=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T[7];x=0)$$

"staða 8 eftir eimara(úttak,vatnshlið)"

$$x[8]=0$$

$$T[8]=\text{Temperature}(\text{Water};h=h[8];x=x[8])$$

"Varmi sem eimari varmadælur fær til sín"

$$Q\_eimari=3858\text{ [kW]}$$

$$Q\_eimari=m\_dot\_Vatn*(h[7]-h[8])$$

"Massastreymi ammoníaks"

$$m\_dot\_Ammonia=Q\_eimari/(h[1]-h[4])$$

"Orkuþörf dælu"

$$W\_dæla=m\_dot\_Ammonia*(h[2]-h[1])$$

"Afl sem eimsvalin gefur frá sér"

$$Q\_eimsvali=m\_dot\_Ammonia*(h[2]-h[3])$$

$$Q\_eimsvali=m\_dot\_Vatn*(h[6]-h[5])$$

"Eðlisvarmi vatns"

$$C\_p\_vatn=4,2\text{ [kJ/kg}\cdot\text{K]}$$

"Hitastig á vatni frá eimsvala"

$$T\_vatn\_ut=65\text{ [}^\circ\text{C]}$$





"Hitastig á vatni inn á eimsvala"

$$T_{\text{vatn,in}}=30 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

"Massastreymi kælivatns eimsvala og eimara"

$$\dot{m}_{\text{dot\_Vatn}}=Q_{\text{eimsvali}}/(C_{\text{p\_vatn}}*(T_{\text{vatn\_ut}}-T_{\text{vatn\_in}}))$$

"Nýtnis stuðull varmadælu"

$$\text{COP}_{\text{varmadæla}}=Q_{\text{eimsvali}}/W_{\text{dæla}}$$

### Unit Settings: SI C bar kJ mass deg

$$\text{COP}_{\text{varmadæla}} = 5,554$$

$$\eta = 0,8$$

$$\dot{m}_{\text{Ammonia}} = 3,539 \text{ [kg/s]}$$

$$P_{2,s} = 13,51$$

$$Q_{\text{eimsvali}} = 4705$$

$$T_{\text{vatn,in}} = 30 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$W_{\text{dæla}} = 847,2$$

$$C_{\text{p,vatn}} = 4,2 \text{ [kJ/kg}\cdot\text{K]}$$

$$h_{2,s} = 1648$$

$$\dot{m}_{\text{Vatn}} = 32,01 \text{ [kg/s]}$$

$$Q_{\text{eimari}} = 3858 \text{ [kW]}$$

$$s_{2,s} = 5,685$$

$$T_{\text{vatn,ut}} = 65 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Mynd 18: Niðurstöður nýrrar varmadælu



## Viðauki 5-Rafmagnssparnaður

Við mat á orkukostnaði og orkuþörf Skinney-Þinganes var skoðað hversu mikla orku

### Seyðisfjörður og Höfn: Sala á heitu vatni(RARIK)

H2 Annað en íb.hús, án niðurgr.	Eining	Án vsk.	Með 2% skatti	M.7% vsk
Fastagjald	kr/ár	28.133	28.696	30.704
Vatnsgjald	kr/m <sup>3</sup>	77,68	79,24	84,78
Orkugjald	kr/kWh	5,92	6,04	6,46

Tafla 7: Söluverð vatns

Verð á rafmagni: Almenn notkun 5,89 kr/kWst og rafhitun: 5,02 kr/kWst (Orkusalan)

RARIK(Rafmagnsveitur ríkisins) reka hitaveitu í höfn sem er olíu- og rafmagnskynt. Verð á heitu vatni frá þeim er 6,46 kr/kWh.

Orkunotkun húsnæðis er mæld í kWh/m<sup>3</sup> á ári. Orkusetur gefur upp að meðalorkuþörf til húshitunar á íbúðahúsnæði sé 60 kWh/m<sup>3</sup> á ári. Gerð var skýrsla um orkunotkun á hitun húsnæðis á Höfn í Hornafirði árið 1989 og kom í ljós að íbúðarhús nota 78,5 kWh/m<sup>3</sup> á ári og iðnaður þar notar 77,5 kWh/m<sup>3</sup> á ári til húshitunar. Þessar tölur nota rúmmálstölur frá fasteignaskrá (Ragnarsson, 1989). Til að finna út hve mikla orku þarf til að hita húsnæði Skinney-Þinganes var reynt að finna stærð húsnæðis þess í rúmmetrum. Ekki fengust upplýsingar um nákvæmum fermetra fjölda og því þurfti að fara í fasteignaskrá og áætla út frá henni hver fermetra fjöldin væri. Fasteignaskrá gefur einungis upp fermetra og því var ákveðið að gefa sér það að meðal hæð húsnæðisins sé 4 metrar. Skipting húsnæðisins er eftir farandi:

Notkun	Byggingar ár	Stærð (m <sup>2</sup> )
Iðnaðarhús	1982	1110,4
Starfsmannarými	1982	271
Vélasalur	2004	196,6
	<b>Samtals m<sup>2</sup></b>	<b>1578</b>
	<b>Samtals m<sup>3</sup></b>	<b>6312</b>



Orkan sem þarf þá til að hita upp húsnæði Skinney-Þinganes er þá:  $6312 \text{ m}^3 * 77,5 \text{ kWh/m}^3 = 489.180 \text{ kWh}$ . Samkvæmt verðskrá RARIK kosta kWh 6,46 kr með vsk. og þá yrði heildahúshitunar kostnaður á ári:  $489.180 \text{ kWh} * 6,46 \text{ kr/kWh} = 3.160.102 \text{ kr}$

Ofan á þetta leggst svo fastagjald sem er greitt árlega sem er 30.704 kr.

### Rafmagnsparnaður: Núverandi kerfi

Þar sem að misræmi er í útreiknuðum afköstum núverandi varmadælu og varmapörf húsnæðis er valið að skoða hvað núverandi varmadæla er að skila í sparnaði og hvað ný varmadæla sem afkastar sama magni en með betri nýtingarstuðul myndi spara. Notast er við afköst varmadælu séu varma þörf húsnæðis og eru þau reiknuð:

Árleg varmapörf eru 489.180 kWh og því er deilt með fjölda klukkustunda á ári til að fá stærð varmadællunnar í kW

$$\frac{489.180 \text{ kWh}}{8070 \text{ h}} = 60,6 \text{ kW}$$

Núverandi varmadæla hefur eftirfarandi COP stuðul:

$$COP = \frac{Q_{eimsvali}}{W_{pressa}} \rightarrow 2,5 = \frac{60,6 \text{ kW}}{W_{pressa}} \rightarrow W_{pressa} = 24,24 \text{ kW}$$

Ný varmadæla er áætluð að hafa nýtingarstuðulinn 4,25 og myndi skila sama magni af varma. Reiknað er hvað slík varmadæla myndi nota af rafmagni með því að leysa út úr jöfnuni fyrir  $W_{pressa}$ .

$$4,25 = \frac{60,6 \text{ kW}}{W_{pressa}} \rightarrow W_{pressa} = 14,42 \text{ kW}$$

Dæluaflið er síðan margfaldað með 8070 klst til að fá ársnotkun þeirra.

$$W_{núverandi} = 24,24 \text{ kW} * 8070 \text{ klst} = 195.617 \text{ kWh á ári}$$

$$W_{ný \text{ varmadæla}} = 14,24 \text{ kW} * 8070 \text{ klst} = 114.917 \text{ kWh á ári}$$

Rafmagnskostnaður fyrir núverandi dælu á ári er því miðað við að kWh kosti 5 kr:



$$195.617 \text{ kWh} * 5 \text{ kr} = 978.804 \text{ kr}$$

Rafmagnskostnaður fyrir nýja varmadælu, miðað við 5 kr/kWh er:

$$114.917 \text{ kWh} * 5 \text{ kr} = 574.584 \text{ kr}$$

### Rafmagnssparnaður: Breyting á kerfi.

Breytingarnar gera ráð fyrir að hægt sé að nýta allan þann varma sem frystikerfið gefur frá sér. COP stuðullinn reiknast 5,47, eimsvala aflið er 4705 kW og dælu aflið er 863,1 kW

$$COP = \frac{Q_{eimsvali}}{W_{pressa}} \rightarrow 5,47 = \frac{4705 \text{ kW}}{863,1 \text{ kW}}$$

Árleg varmaafköst sem breytingarnar skila eru:

$$4705 \text{ kW} * 8070 \text{ klst á ári} = 37.969.350 \text{ kWh á ári}$$

Árleg rafmagnsnotkun á ári verður:

$$863,1 \text{ kW} * 8070 \text{ klst á ári} = 6.965.217 \text{ kWh á ári}$$

Ef miðað er við að hægt sé að selja varman á 3 kr/kWh er gefur það:

$$37.969.350 \text{ kWh} * 3 \frac{\text{kr}}{\text{kWh}} = 113.908.050 \text{ kr á ári}$$

Árlegur rafmagnskostnaður er miðaður við að kWh kosti 5 kr:

$$6.965.217 \text{ kWh} * 5 \frac{\text{kr}}{\text{kWh}} = 34.965.389 \text{ kr á ári}$$

Heildar hagnaðaður á ári yrði þá:

$$113.908.050 - 34.965.389 = 78.942.661 \text{ kr á ári}$$

Ákveðið var að skoða hversu mörg hús væri hægt að hita með afköstum breyttrar kerfis.



Afköst þess eru 37.969.350 kWh á ári. Árleg varmaþörf húsnæðis í Höfn í Hornafirði er 77,5 kWh/m<sup>3</sup>. Afköstin eru deild með varmaþörfinni til að finna fjöldan af rúmmetrum sem hægt er að kynda.

$$\frac{37.969.350 \text{ kWh á ári}}{77,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}} = 489.927 \text{ m}^3$$

Ég gef mér að meðal lofthæð í húsum sé 3 metrar og því deili ég með 3 til að fá fermetrafjöldan.

$$\frac{489.927 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} = 163.309 \text{ m}^2$$

Ég gef mér að hvert hús sé 200 m<sup>2</sup> og deili því með heildar fermetrafjöldanum til að fá fjölda húsa sem hægt er að kynda:

$$\frac{163.309 \text{ m}^2}{200 \text{ m}^2} = 816 \text{ hús}$$



## Viðauki 6-Núvirði varmadælu

Núvirði varmadælu er miðuð við byggingavísitölu frá maí 1998, 231, og byggingarvísitölu í maí 2012, 576

Jafna fyrir núvirðinu er:

$$\frac{29m}{231} * 576 \cong 72m$$

Jafnan fyrir núvirði er:

$$N_v = B * \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} - I_o$$

Þar sem  $N_v$  er núvirði,  $B$  er sparnaður/hagnaður á hverju ári,  $r$  er ætluð árleg vaxtaþrósent,  $n$  er líftími vélarinnar og  $I_o$  er stofnkostnaður (Ásmundsson, 2005).

Til að framkvæmdin borgi sig þarf núvirði að vera jákvæð tala.

Næmnigreining fyrir söluverð

söluverð	Hagnaður á ársgrundvelli	Núvirði
0	-35	-386.4481709
0.5	-16	-219.5477353
1	3	-52.64729964
1.5	22	114.253136
2	41	281.1535716
2.5	60	448.0540072
3	79	614.9544429
3.5	98	781.8548785
4	117	948.7553141
4.5	136	1115.65575
5	155	1282.556185
5.5	174	1449.456621
6	193	1616.357057



## Viðauki 7-Bæklingar fyrir frystipressur

Model	Number of cylinders	Bore x stroke mm	Min./max. rpm <sup>1)</sup>	Swept volume at min./max. rpm m <sup>3</sup> /h	Capacity control range %	Nominal capacity kW	Approx. dimensions L x W x H mm	Sound pressure level at max. rpm dB (A)
CMO 24	4	70 x 70	900/1800	58-116	12-100	102	1800-2100 x 800 x 1700	69
CMO 26	6	70 x 70	900/1800	87-175	8-100	153	1800-2100 x 800 x 1700	70
CMO 28	8	70 x 70	900/1800	116-233	6-100	204	1800-2100 x 800 x 1700	71
CMO 34	4	70 x 82	900/1800	68-136	12-100	119	1800-2100 x 800 x 1700	69
CMO 36	6	70 x 82	900/1800	102-204	8-100	179	1800-2100 x 800 x 1700	70
CMO 38	8	70 x 82	900/1800	136-273	6-100	239	1800-2100 x 800 x 1700	71
SMC 104 S	4	100 x 80	700/1500	106-226	12-100	209	2400-2900 x 1000 x 1900	80
SMC 104 L	4	100 x 100	700/1500	132-283	12-100	266	2400-2900 x 1000 x 1900	81
SMC 104 E	4	100 x 120	700/1500	158-339	12-100	324	2400-2900 x 1000 x 1900	81
SMC 106 S	6	100 x 80	700/1500	158-339	8-100	313	2500-3100 x 1000 x 1900	81
SMC 106 L	6	100 x 100	700/1500	198-424	8-100	398	2500-3100 x 1000 x 1900	82
SMC 106 E	6	100 x 120	700/1500	238-509	8-100	486	2500-3100 x 1000 x 1900	82
SMC 108 S	8	100 x 80	700/1500	211-452	6-100	417	2600-3100 x 1000 x 1900	82
SMC 108 L	8	100 x 100	700/1500	264-565	6-100	531	2600-3100 x 1000 x 1900	83
SMC 108 E	8	100 x 120	700/1500	317-679	6-100	648	2600-3100 x 1000 x 1900	83
SMC 112 S	12	100 x 80	700/1500	317-679	8-100	626	3000-3600 x 1100 x 1900	83
SMC 112 L	12	100 x 100	700/1500	396-848	8-100	796	3000-3600 x 1100 x 1900	83
SMC 112 E	12	100 x 120	700/1500	475-1018	8-100	972	3000-3600 x 1100 x 1900	83
SMC 116 S	16	100 x 80	700/1500	422-905	6-100	834	3100-3800 x 1150 x 1900	84
SMC 116 L	16	100 x 100	700/1500	528-1131	6-100	1062	3100-3800 x 1150 x 1900	84
SMC 116 E	16	100 x 120	700/1500	633-1357	6-100	1297	3100-3800 x 1150 x 1900	84

Normal capacities are based on 1500 rpm and 5°C liquid cooling  
<sup>1)</sup> The max. rpm indicated is the most common, and can vary depending on operating conditions and refrigerant.

### Mynd 19: Sabroe kælipressur



HOWDEN COMPRESSOR SPECIFICATION	*SWEPT VOLUME 50Hz		*SWEPT VOLUME 60Hz		SUCTION PORT Ø		DISCHARGE PORT Ø		DIMENSION A		DIMENSION B		DIMENSION C		DIMENSION D		WEIGHT APPROX.	
	m <sup>3</sup> /hr	cfm	m <sup>3</sup> /hr	cfm	mm	in	mm	in	mm	ft in	mm	ft in	mm	ft in	mm	ft in	Kg	lb
WRV 163/1.45	550	325	660	390	125	5	75	3	1063	3 5 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	490	1 7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	248	0 9 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	250	0 9 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	470	1036
WRV 163/1.80	680	400	820	480	125	5	75	3	1120	3 8 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	490	1 7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	248	0 9 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	250	0 9 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	495	1091
WRV 204/1.10	815	480	975	575	150	6	100	4	1201	3 11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	640	2 1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	310	0 12 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	315	0 12 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	760	1675
WRV 204/1.45	1095	645	1315	775	200	8	125	5	1273	4 2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	640	2 1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	310	0 12 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	315	0 12 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	850	1874
WRV 204/1.65	1220	720	1465	860	200	8	125	5	1314	4 3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	640	2 1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	310	0 12 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	315	0 12 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	887	1955
WRV 204/1.93	1340	790	1610	950	200	8	125	5	1370	4 6	640	2 1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	310	0 12 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	315	0 12 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	925	2039
WRVi 255/1.10	1590	935	1905	1120	200	8	150	6	1493	4 10 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	692	2 3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	349	1 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	362	1 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1200	2645
WRVi 255/1.30	1755	1035	2105	1240	200	8	150	6	1544	5 0 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	692	2 3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	349	1 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	362	1 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1270	2799
WRVi 255/1.45	2150	1270	2580	1520	255	10	200	8	1583	5 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	692	2 3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	349	1 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	362	1 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1325	2921
WRVi 255/1.65	2395	1410	2870	1690	255	10	200	8	1633	5 4 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	692	2 3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	349	1 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	362	1 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1422	3134
WRVi 255/1.93	2630	1550	3155	1855	255	10	200	8	1705	5 7	692	2 3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	349	1 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	362	1 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1540	3395
WRV 255/2.20	3190	1880	3830	2255	255	10	200	8	1815	5 11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	692	2 3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	349	1 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	362	1 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1650	3638
WRVi 321/1.32	3830	2255	4595	2705	255	10	200	8	2005	6 7	940	3 1	471	1 6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	500	1 7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2925	6447
WRVi 321/1.65	4790	2820	5745	3380	300	12	255	10	2110	6 11	940	3 1	471	1 6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	500	1 7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3150	6943
WRVi 321/1.93	5260	3095	6310	3715	300	12	255	10	2200	7 2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	940	3 1	471	1 6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	500	1 7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3260	7186
WRV 321/2.20	6385	3760	7660	4510	350	14	300	12	2345	7 8 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	940	3 1	471	1 6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	500	1 7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3500	7715
WRVi 365/165	6771	3985	8012	4716	350	14	300	12	2418	7 11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1125	3 8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	565	1 10 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	590	1 11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	5500	12125
WRVi 365/193	7920	4662	9372	5516	350	14	300	12	2520	8 3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1125	3 8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	565	1 10 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	590	1 11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	6100	13450
WRV 510/1.32	7660	4510	9190	5410	350	14	255	10	2920	9 7	1560	5 1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	750	2 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	750	2 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	10800	23806
WRV 510/1.65	9575	5640	11490	6760	400	16	300	12	3090	10 1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1560	5 1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	750	2 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	750	2 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	11500	25349
WRV 510/1.93	10510	6190	12615	7425	400	16	300	12	3233	10 7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1560	5 1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	750	2 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	750	2 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	11800	26010

The company operates a policy of continuous product development and reserves the right to alter the data provided without notice.  
\*Swept volume at 3000 rpm except WRV510 range which is measured at 1500rpm \*\*Swept volume at 3600 rpm except WRV510 which is measured at 1800 rpm.

## Mynd 20:Howden skrifupressur