

Varmanýting frystiskipa til raforkuframleiðslu og kælingar

Tæknilýsing búnaðar og
möguleikar til olíusparnaðar

Stefán Steindórsson
Ragnar Ásmundsson

Orkusjóður veitti styrk til verksins

ÍSOR-2011/012

ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR

Reykjavík: Orkugarður, Grensásvegi 9, 108 Rvk. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1699
Akureyri: Rangárvöllum, P.O. Box 30, 602 Ak. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1599
isor@isor.is – www.isor.is

Varmanýting frystiskipa til raforkuframleiðslu og kælingar

Tæknilýsing búnaðar
og möguleikar til olíusparnaðar

Stefán Steindórsson, Norðurorku
Ragnar Ásmundsson, ÍSOR

Orkusjóður veitti styrk til verksins

Skýrsla nr. ÍSOR-2011/012	Dags. Mars 2011	Dreifing <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill Varmanýting frystiskipa til raforkuframleiðslu og kælingar. Tæknilysing búnaðar og möguleikar til olíusparnaðar.		Upplag 4
		Fjöldi síðna 43
Höfundar Stefán Steindórsson og Ragnar Ásmundsson		Verkefnisstjóri Ragnar Ásmundsson
Gerð skýrslu / Verkstig		Verknúmer 800319
Unnið fyrir Íslenskar orkurannsóknir. Orkusjóður veitti styrk til verksins.		
Samvinnuaðilar Norðurorka		
<p>Útdráttur</p> <p>Kannaðir eru tæknilegir möguleikar á nýtingu glatvarma um borð í fiskiskipum. Glatvarmann má nýta annars vegar til raforkuframleiðslu og hins vegar til kælingar eða frystingar.</p> <p>Til að kanna glatvarmann og mögulega nýtingu hans eru gerðar athuganir í vélhermi og þær færðar í þann búning að athugunin endurspeglir eins og mögulegt er það sem búast má við um borð í fiskiskipi. Einnig er stuðst við gögn frá frystitogaranum Brimnesi RE sem er í eigu Brims hf.</p> <p>Í ljósi hækkandi olíuverðs er ljóst að nýtingaraðferðir á glatvarma til kælingar, frystingar og raforkuframleiðslu, sem hafa verið óhagkvæmar fram til þessa, geta verið fýsilegar nú. Einnig getur losun CO₂ verið áhrifabáttur þar sem fiskiskip losa nokkurn hluta þess magns CO₂ sem losað er á Íslandi.</p> <p>Orkusjóður styrkir þessa athugun.</p>		
Lykilorð Glatvarmi, varmanýting, tvenndarvélar, kælivélar, ísogs varmadælar, ásogs varmadælar, fiskiskip, frysting, kæling, organic rankine cycle, binary power		ISBN-númer
		Undirskrift verkefnisstjóra 
		Yfirfarið af Stefán Sturla Gunnsteinsson

Efnisyfirlit

1	Inngangur	9
2	Eldsneyti	9
2.1	Þróun olíuverðs	9
2.2	Olíunotkun, aldur og vélarafli fiskiskipaflotans.....	11
2.2.1	Aldurssamsetning togaraflotans	12
2.2.2	Eyðslustuðlar	13
2.2.3	Eldsneyti.....	14
3	Orkunýtni dísilvéla	14
3.1	Afgasvarmi.....	15
3.2	Kælivatn	15
4	Athugun í vélarrúmshermi Verkmenntaskólans á Akureyri	16
4.1	Vélarrúmshermir Verkmenntaskólans.....	16
4.1.1	Afgas.....	19
4.1.2	Birgðageymar olíu	20
4.1.3	Setgeymar svartolíu.....	21
4.1.4	Daggeymar	22
4.1.5	Olíukerfi við aðalvél.....	23
4.2	Framkvæmd athugunar	24
4.3	Greining á glatvarma.....	26
4.3.1	Aðalvél, 3840 kW, svartolíubrennsla. Varmaafli og nýting	27
4.3.2	Aðalvél, 3840 kW, flotaolíubrennsla. Varmaafli og nýting.....	28
4.4	Skip með 6000 kW aðalvél	29
4.4.1	Aðalvél, 6000 kW, svartolíubrennsla. Varmaafli og nýting.....	29
4.4.2	Aðalvél, 6000 kW, flotaolíubrennsla. Varmaafli og nýting.....	30
4.5	Eyðslustuðull vélar við breytilegt álag	31
4.6	Helstu niðurstöður athugunar í vélarrúmshermi.....	31
4.6.1	Almennt.....	31
4.6.2	Svartolíubrennsla.....	31
4.6.3	Flotaolíubrennsla	32
4.6.4	Eldri skip með einföldu kælikerfi.....	32
4.6.5	Eyðslustuðull.....	32
5	Nýting glatvarma	32
6	Raforkuframleiðsla	32
7	Frysting	34
7.1	Ísogsvarmadæli (absorption).....	34
7.2	Ásogsvarmadæli (adsorption).....	36
8	Olíunotkun við raforkuframleiðslu og frystingu	38
8.1	Mögulegur ávinningur bættrar varmanýtingar.....	38

9 Niðurstöður og staðan í dag	41
10 Heimildaskrá.....	43

Töflur

Tafla 1. Meðalaldur og meðalvélarafli togaraflotans.	12
Tafla 2. Yfirlit olíunotkunar og varmadreifingar á dag á Brimnesi árið 2009.	39
Tafla 3. Dagsmeðaltöl afls og orku á Brimnesi árið 2009.	39
Tafla 4. Mat á mögulegum nýtingarleiðum.	39
Tafla 5. Sparnaður vegna ísogs- eða ásogskerfis.....	40
Tafla 6. Samantekt á mögulegum leiðum til olíusparnaðar.....	40

Myndir

Mynd 1. Verðþróun gasolíu ISK/líttra	10
Mynd 2. Verðþróun gas- og svartolíu USD/tonn.....	10
Mynd 3. Skipting olíunotkunar 2009.	11
Mynd 4. Þróun olíunotkunar fiskiskipa 1997–2009.	11
Mynd 5. Aldursskipting togaraflotans.....	12
Mynd 6. Eyðslustuðlar eftir árgerðum véla grömm/hestaflstíma (g/hat)	13
Mynd 7. Sankey-línurit sýnir skiptingu þess afls sem sett er inn í vélina í formi eldsneytis.....	14
Mynd 8. Upplýsingaskjúr um Goldfish.....	16
Mynd 9. Stjórnborð aðalvélar.....	17
Mynd 10. Skolloftskerfi og rafmagnsframleiðslukerfi.	17
Mynd 11. Kælikerfi aðalvélar.	18
Mynd 12. Ferskoatnseimari.	18
Mynd 13. Gufukerfi með olíu og afgaskatli.....	19
Mynd 14. Birgðageymar svartolíu (botngeymar) ásamt hitunarkerfi.....	20
Mynd 15. Setgeymar svartolíu.....	21
Mynd 16. Daggeymar svartolíu og flotaolíu.....	22
Mynd 17. Olíukerfi við aðalvél.....	23
Mynd 18. Varmajöfnuður eftir álagi.....	25
Mynd 19. Hlutfallsleg nýting glátvarma við svartolíubrennslu.	26
Mynd 20. 3840 kW aðalvél. Svartolíubrennsla. Varmaafli og nýting.	27
Mynd 21. 3840 kW aðalvél. Flotaolíubrennsla. Varmaafli og nýting.....	28
Mynd 22. 6000 kW aðalvél. Svartolíubrennsla. Varmaafli og nýting.	29
Mynd 23. 6000 kW aðalvél. Flotaolíubrennsla. Varmaafli og nýting.....	30
Mynd 24. Eyðslustuðull vélar við breytilegt álag.....	31
Mynd 25. Útlitsteikning af ORC-vél sem er í þróun.....	33
Mynd 26. Ísogsvarmadæla (kælivél) sem dregur í sig varma í eimara við uppgufun á fljótandi ammoníaki.....	35

Mynd 27. Samhengi uppgufunarhitastigs og hitastigs varmagjafa og kælivatns í ammóníaks/vatns ísogsvarmadælum	36
Mynd 28. Teikning vinstra megin af einni af fjölmörgum gerðum zeólíta og hægra megin er pakki með Silica-geli sem er mjög algengt þurrkefni, framleitt úr kísilsýru.....	37
Mynd 29. Ásogskæliferlið útskýrt (vatn/zeólítar).....	38
Mynd 30. Möguleg nýting á glatvarma 6000 kW aðalvélar með breytilegt álag (flotaolía).....	42

1 Inngangur

Tilgangur skýrslunnar er að varpa ljósi á mögulega nýtingu glatvarma um borð í fiskiskipum sem má nýta annars vegar til raforkuframleiðslu og hins vegar til kælingar eða frystingar.

Orkusjóður styrkir þessa athugun.

Þær athuganir sem gerðar eru í skýrslunni skal skoða sem vísbendingar um mögulega glatvarmanýtingu en varast skal að draga of víðtækar ályktanir út frá þeim þar sem fiskiskip eru fjölbreytileg að aldri og gerð.

Til að kanna glatvarmann og mögulega nýtingu hans eru gerðar athuganir í vélhermi og þær færðar í þann búning að athugunin endurspegli eins og mögulegt er það sem búast má við um borð í fiskiskipi. Einnig er stuðst við gögn frá frystitogaranum Brimnesi RE sem er í eigu Brims hf.

Rétt er að geta þess að í skipum er glatvarmi frá vélum nú þegar nýttur á ýmsan hátt, t.d til upphitunar á íbúðum og neysluvatni og til að knýja eimara til ferskvatnsframleiðslu. Einnig er glatvarmi nýttur til hitunar á svartolíu á þeim skipum sem nota hana sem eldsneyti.

Í ljósi hækkandi olíuverðs er ljóst að nýtingaraðferðir á glatvarma til kælingar, frystingar og raforkuframleiðslu, sem hafa verið óhagkvæmar fram til þessa, geta verið fýsilegar nú. Einnig getur losun CO₂ verið áhrifaþáttur þar sem fiskiskip losa nokkurn hluta þess magns CO₂ sem losað er á Íslandi.

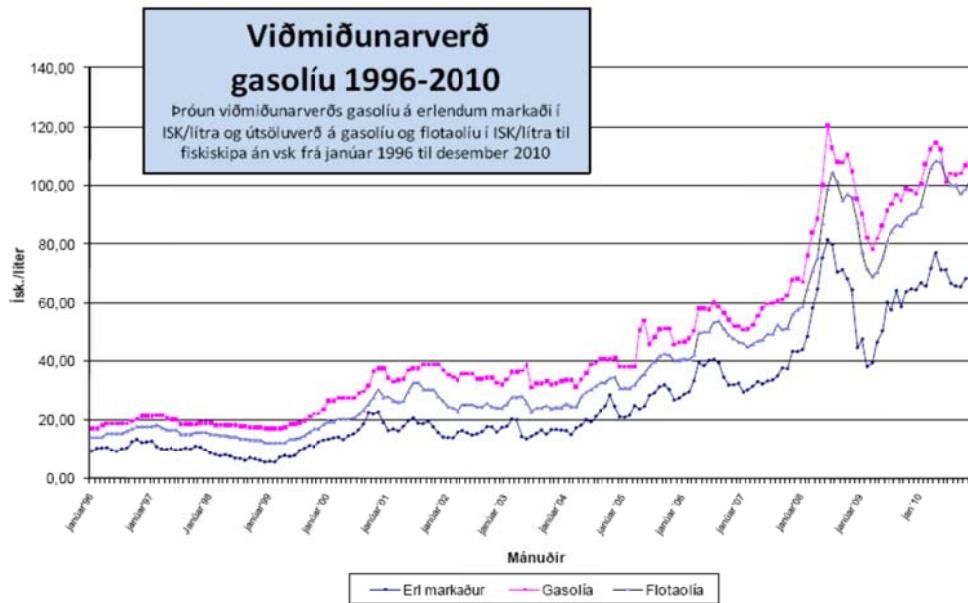
Skýrslan er fyrst og fremst skrifuð fyrir þá sem kunnugir eru vélbúnaði skipa en reynt er að haga málfari þannig að það sé sem skiljanlegast öllum.

Höfundar þakka eftirtöldum aðilum fyrir veittar upplýsingar og aðstoð við þessa athugun: Verkmenntaskólanum á Akureyri (VMA) fyrir aðgang að vélarrúmshermi, Vilhjálmi G. Kristjánssyni, vélfræðingi og kennara við VMA, Braga Ragnarssyni hjá Brim, Hallgrími yfirvélstjóra á Brimnesi og Guðfinni G. Johnsen, tæknifræðingi hjá LÍÚ

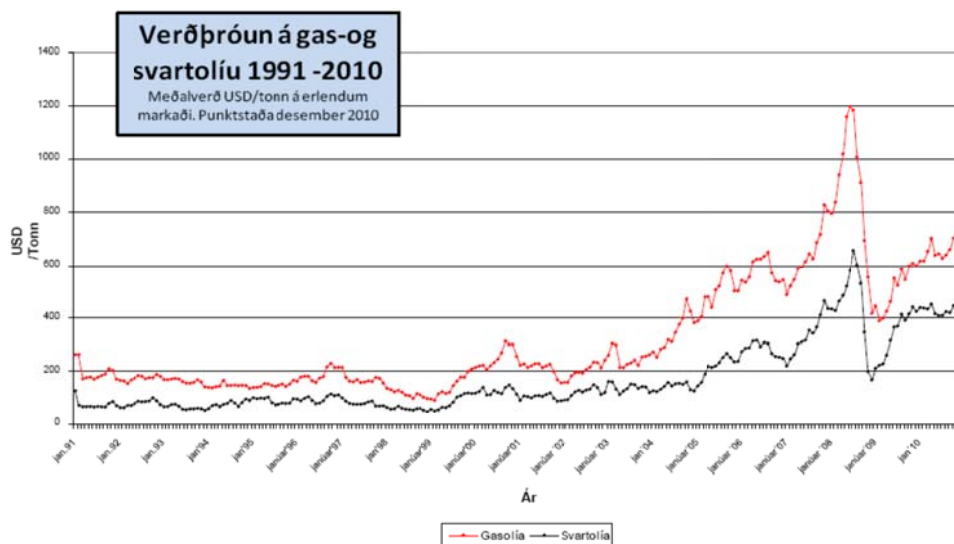
2 Eldsneyti

2.1 Þróun olíuverðs

Olíuverð hefur hækkað til íslenskra fiskiskipa bæði vegna gengisbreytinga og einnig vegna hækkunar á heimsmarkaðsverði. Líkur eru á að sú þróun haldi áfram vegna aukinnar velmegunar í mannmörgum löndum eins og Kína og Indlandi ásamt því að gjöful vinnslusvæði ganga til þurrðar og taka þarf til vinnslu ný og erfiðari svæði með tilheyrandi kostnaði sem endurspeglast í olíuverði.



Mynd 1. Verðþróun gasolíu ISK/lítra¹.



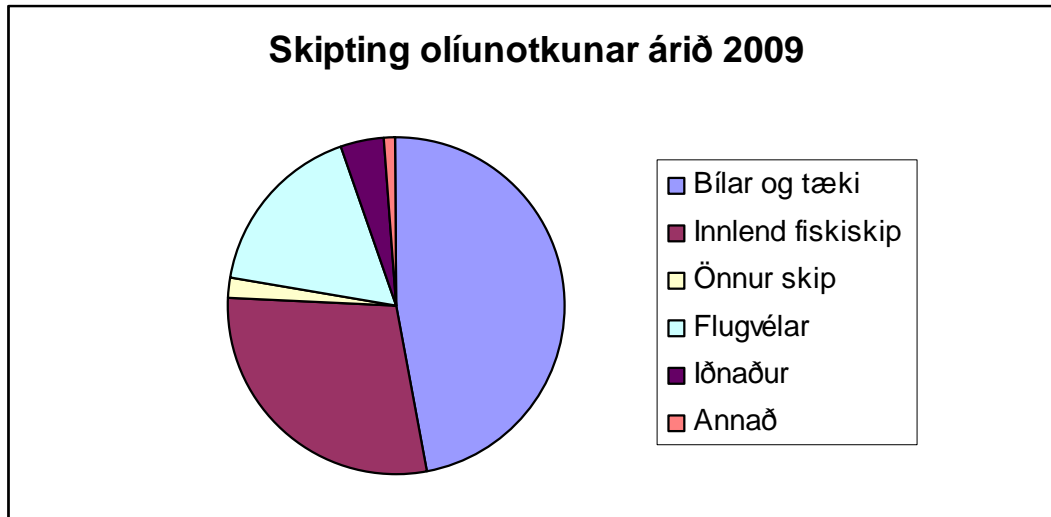
Mynd 2. Verðþróun gas- og svartolíu USD/tonn²

¹ Mynd fengin af heimasíðu LÍÚ, www.liu.is

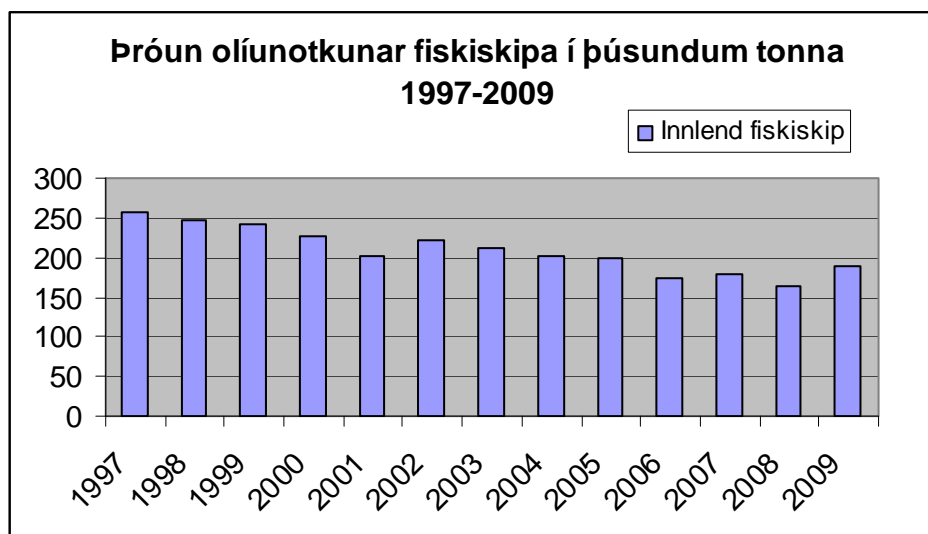
² Mynd fengin af heimasíðu LÍÚ, www.liu.is

2.2 Olíunotkun, aldur og vélarafli fiskiskipaflotans

Íslensk fiskiskip notuðu árið 2009 189.000 tonn af olíu³ og er næststærsti flokkurinn á eftir bílum og tækjum



Mynd 3. Skipting olíunotkunar 2009⁴.



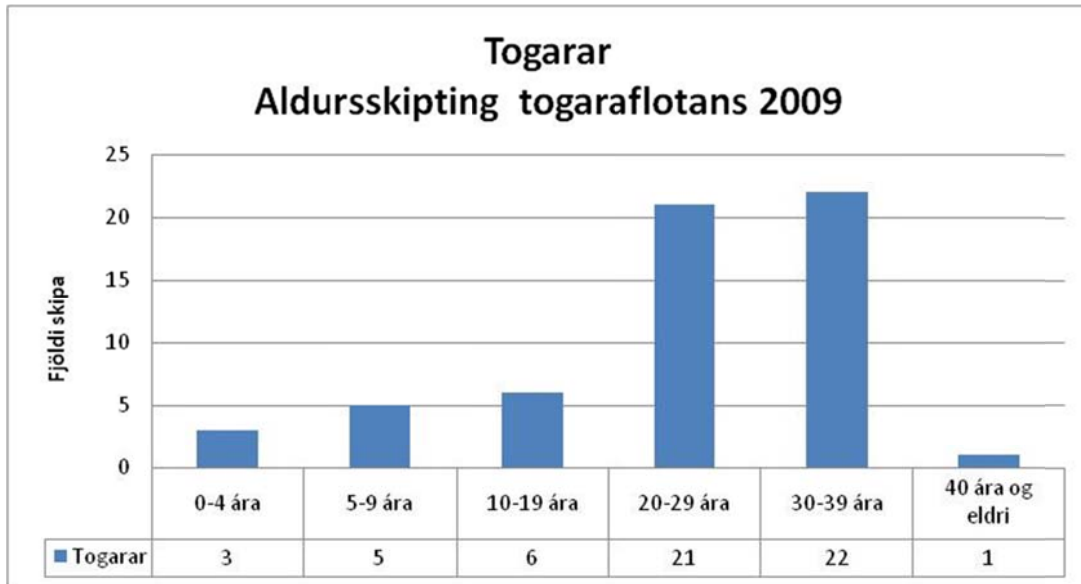
Mynd 4. Þróun olíunotkunar fiskiskipa 1997–2009.

³ Heimild Hagstofan

⁴ Heimild Hagstofan

2.2.1 Aldurssamsetning togaraflotans

Togaraflotinn er samsettur af skipum á ýmsum aldri miðað við smíðaár en reikna má með að í einhverjum tilfellum hafi verið gerðar endurbætur, t.d skipt um aðalvélar og slíkt⁵.



Mynd 5. Aldursskipting togaraflotans.

Meðalaldur og meðalvélarafli togaraflotans⁶ er sýndur í töflu 1.

Tafla 1. Meðalaldur og meðalvélarafli togaraflotans.

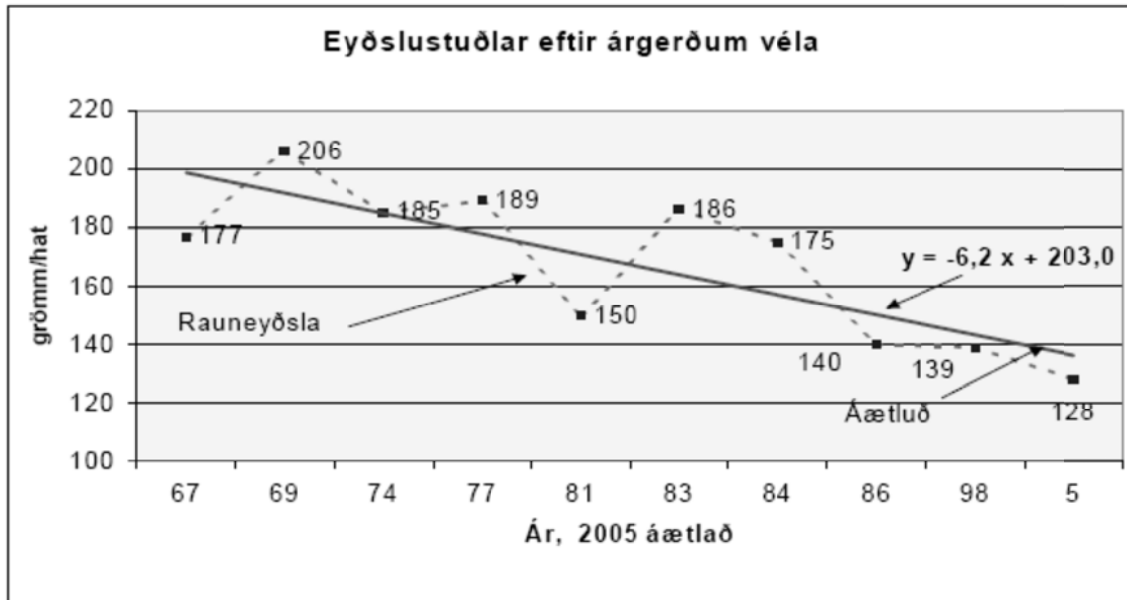
2009	Togaraflotans
Fjöldi skipa	58
Heildarafli aðalvéla kW	116686
Meðalaldur	25
Meðalafli aðalvéla kW	2012
Meðalafli aðalvéla ha	2733

⁵ Heimild Hagstofan

⁶ Heimild Hagstofan

2.2.2 Eyðslustuðlar

Eyðslustuðull er settur fram sem g/kWh, þ.e.a.s grömm af olíu á hverja kílóvattstund ásafls og hefur sú tala lækkað með árunum vegna ýmissa framfara í hönnun og smíði vélanna. Einnig hefur einingin grömm á hestafstíma (g/hat) verið notuð.



Mynd 6. Eyðslustuðlar eftir árgerðum véla grömm/hestafstíma (g/hat) (Guðbergur Rúnarsson, 2001).

Með vísan í aldursdreifingu togaraflotans er áhugavert að skoða eldsneytisstuðla véla sem samsvara aldri tveggja stærstu flokkanna 20–29 ára og 30–39 ára

Til að gefa mynd af þeim eyðslustuðli sem gæti verið í 20–29 ára gömlum vélum gæti t.d. eyðslustuðull vélar frá 1985 verið 140–175 g/hat, eða um það bil 190–237 g/kWh. Þetta er allbreitt bil en sé tekið meðaltal þessara talna gefur það 213,5 g/kWh.

Til að varpa upp sömu mynd fyrir vélar sem væru af árgerð 1975, eða þar um bil, gætu sömu gildi verið 185–189 g/hat, eða 251–256 g/kWh. Meðaltal gefur 253,5 g/kWh.

Eyðslustuðull í nýlegum vélum er lægri og gefur t.d. vélaframleiðandinn Wärtsilä upp eyðslustuðul fyrir vél ætlaða til notkunar á sjó (Marine), Wärtsilä 6L26, 185 g/kWh við 1000 snúninga á mínútu og 2040 kW⁷.

Önnur vél sem Wärtsilä framleiðir til sömu nota er 6L32, eyðslustuðull 176 g/kWh við 750 snúninga/mín. og 3840 kW⁸.

Þess skal getið að við þennan samanburð er ekki tekið tillit til mismunandi eldsneytis og einnig eru nýjar vélar mældar við staðalaðstæður í verksmíðju en tölur fyrir eldri skip væntanlega fengnar með mælingum um borð í skipum.

⁷ <http://wartsila.com/en/engines/medium-speed-engines/Wartsila26> (24.2.2011)

⁸ <http://wartsila.com/en/engines/medium-speed-engines/Wartsila32> (24.2.2011)

Einnig er vert að benda á þá staðreynd að eyðslustuðullinn breytist eftir álagi vélar og er hærri þegar álag er lítið.

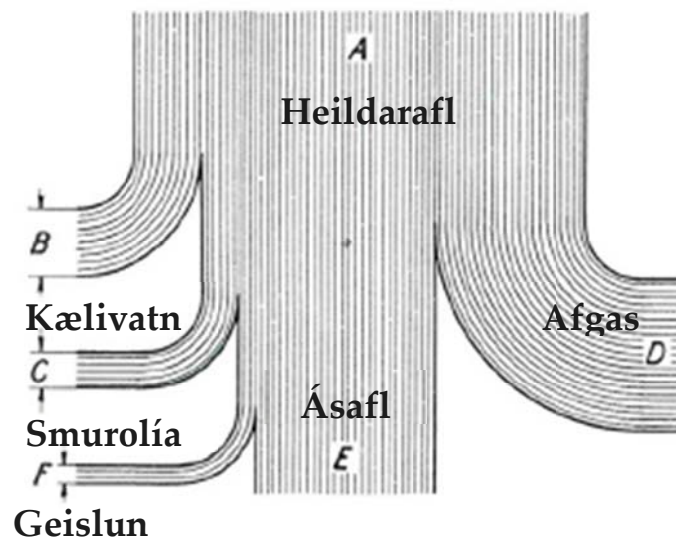
2.2.3 Eldsneyti

Eldsneyti sem notað er um borð í fiskiskipum er að mestu svokölluð flotaolía (marine diesel) en færst hefur í vöxt að notuð sé svartolía þar sem hún er ódýrari í innkaupum. Svartolíubrennslu fylgir að hita þarf olíuna í geymslutönkum fyrir notkun og krefst það umtalsverðrar varmaorku og er til þess nýttur varmi frá afgasi aðalvélar. Flotaolía er hins vegar hituð fyrir skiljun en það krefst mun minni orku.

3 Orkunýtni dísilvéla

Til að gera grein fyrir orkunýtni dísilvéla er metið hlutfall ásafls sem hlutfall af því afl sem sett er inn í formi eldsneytis. Þannig er nýtni dísilvélar frá 40–50% af heildarafl sem sett er inn í vélina á formi eldsneytis. Það afl sem ekki fer út á drifás er varmi sem fer í kælivatn, afgas, smurolíu og hitageislun. Til að sýna þetta á myndrænan hátt er oft notast við svokölluð Sankey-línurit til að sýna deilingu aflsins milli þessara þátta. Til að tákna brunagildi eldsneytis er notuð einingin kJ/kg. Brunagildi eldsneytis er tvennskonar; efra og neðra brunagildi. Þegar talað er um efra brunagildi er talin með sú orka sem fer í að breyta í gufu því vatni sem er í eldsneytinu og vatni sem myndast við brunann. Við neðra brunagildið er þessi orka dregin frá og er þetta gildi oftast notað þar sem orkan í vatnsgufunni er ekki talin nýtanleg.

Eins og sést á mynd 7 er umtalsverð orka sem er ónýtt í afgasi og kælivatni.



Mynd 7. Sankey-línurit sem sýnir skiptingu þess afls sem sett er inn í vélina í formi eldsneytis (Knak, 1987a, bls. 21).

3.1 Afgasvarmi

Skipavélar eru flestar með afgastúrbínu sem nýtir afgasið til að snúa forþjöppu sem þjappar lofti inn á brunahólf til að auka afköst vélarinnar. Sú orka sem hægt er að nýta úr afgasi er háð hitastigi afgassins eftir túrbínu sem getur verið á bilinu 300–500°C eftir vélargerðum en algengt er að hitinn sé á bilinu 300–400°C. Þetta háa hitastig gefur möguleika á nýtingu í varmaferlum, t.d. í ORC⁹ kerfum, ísogsfrysti eða ásogskælikerfum. Talið er óhætt að kæla afgasið niður í 180°C en sé farið neðar en það getur farið að falla út brennisteinssýra í skorsteininum sem veldur óðatæringu (Knak, 1987b). Mögulega má fara enn neðar ef eldsneytið inniheldur lítinn sem engan brennistein, eða skorsteinninn gerður úr málmum sem ekki tærast. Afgasvarminn er nýttur með svokölluðum afgaskatli sem komið er fyrir í skorsteini skipsins. Afgasketillinn er í raun loftvökvavarmaskiptir sem oft er með brennara til að skerpa á ef afgasvarminn dugar ekki til, t.d. á litlu álagi á aðalvél. Vökvamegin getur verið hitaolía (thermal oil) eða vatn sem er jafnvel hitað í mettaða gufu eða yfirhitaða gufu eftir aðstæðum. Orkan er síðan notuð til hitunar á t.d. olúgeymum þar sem þess er þörf og einnig eru dæmi um að í mjög stórum skipum sé framleidd raforka með gufutúrbínu.

3.2 Kælivatn

Kælivatn frá aðalvél er á bilinu 75–90°C og er það kælt með sjó í varmaskipti. Möguleg nýting kælivatnsins er t.d. upphitun en í sumum skipum er notast við rafmagn til þeirra hluta. Einnig er kælivatnið nýtt til eimingar á ferskvatni til notkunar um borð og er þá notaður þeysi (jektor) til að skapa undirþrýsting til að lækka suðumarkið þannig að eimun geti átt sér stað. Möguleg nýting gæti falið í sér þurrkun á t.d. afgangsafurðum um borð í vinnsluskipum sem nú eru frystar og fluttar að landi og þurrkaðar þar. En þar sem þurrkarar eru yfirleitt plássfrek tæki má ætla að erfitt reynist að koma þeim fyrir í núverandi skipum. Þó gæti þetta verið áhugaverður möguleiki í nýsmíði ef fjárhagslegar forsendur eru fyrir hendi að öðru leyti. Einnig gæti kælivatnið nýst í millihiturum í ORC-kerfum, ísogsfrysti eða öðrum kælikerfum.

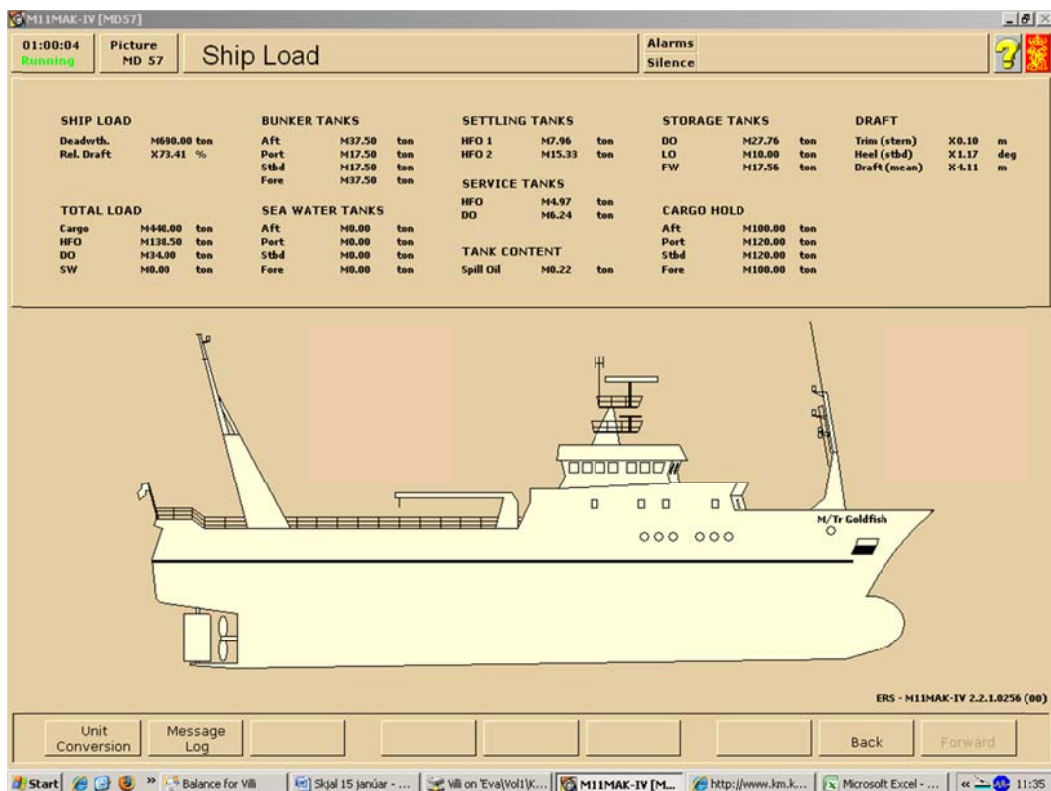
⁹ ORC=Organic Rankine Cycle er varmahringrás til raforkuframleiðslu, nánar til umræðu síðar í þessari skýrslu.

4 Athugun í vélarrúmshermi Verkmenntaskólans á Akureyri

4.1 Vélarrúmshermir Verkmenntaskólans

Til að áætla það magn glatvarma sem mögulegt er að nýta fékkst aðgangur að vélarrúmshermi sem er í Vélstjórnardeild Verkmenntaskólans á Akureyri þar sem hann er notaður við kennslu. Hermirinn býður upp á að keyra stafrænt líkan af togara sem nefnist Goldfish. Hermirinn er með aðalvél af gerðinni Mak 8M32C með 3840 kW ástimplað ásafl.

Hermirinn er framleiddur af Kongsberg¹⁰ og er af gerðinni ERS M_11.

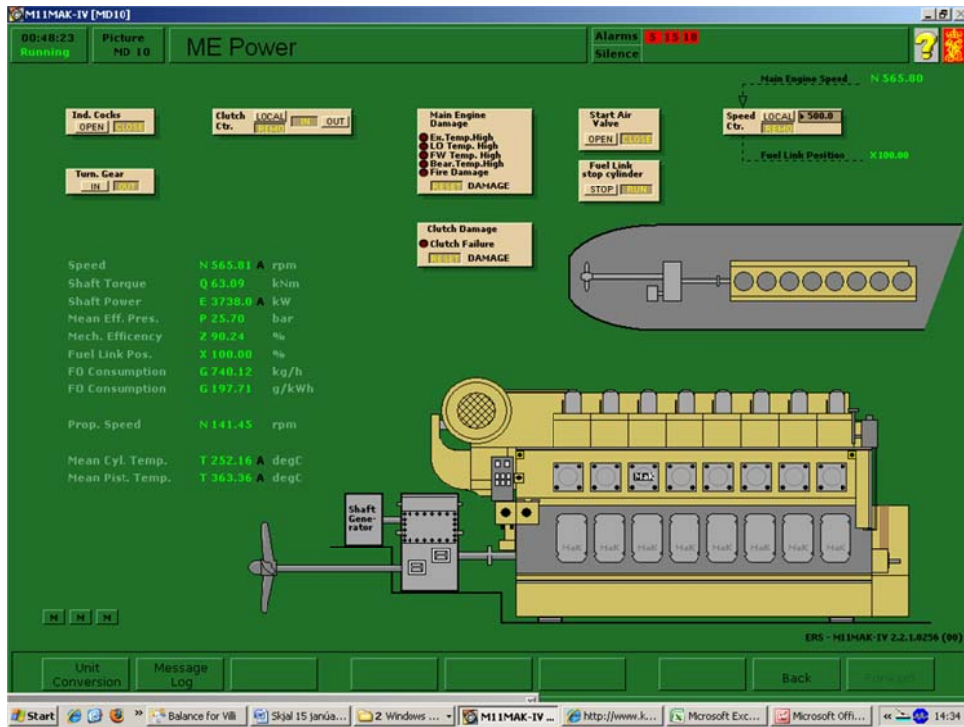


Mynd 8. Upplýsingaskjár um Goldfish.

Hægt er að lesta skipið á ýmsa vegu í herminum og breyta umhverfisþáttum, t.d lofthita og sjávarhita ásamt veðri. Þar sem þessi hermir er ætlaður til kennslu eru ekki allar stærðir mælanlegar.

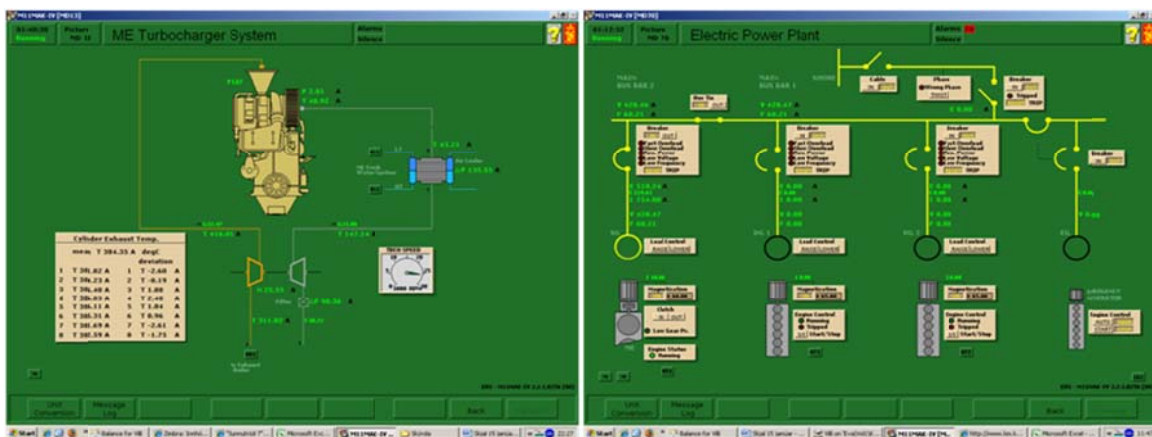
Á næstu síðum eru sýndar skjámyndir úr vélarrúmshermi til skýringar. Tekið skal fram að myndirnar endurspeglar ekki þá athugun sem gerð var og geta mæligildi verið ólík því sem eru í athugininni.

¹⁰ www.km.kongsberg.com

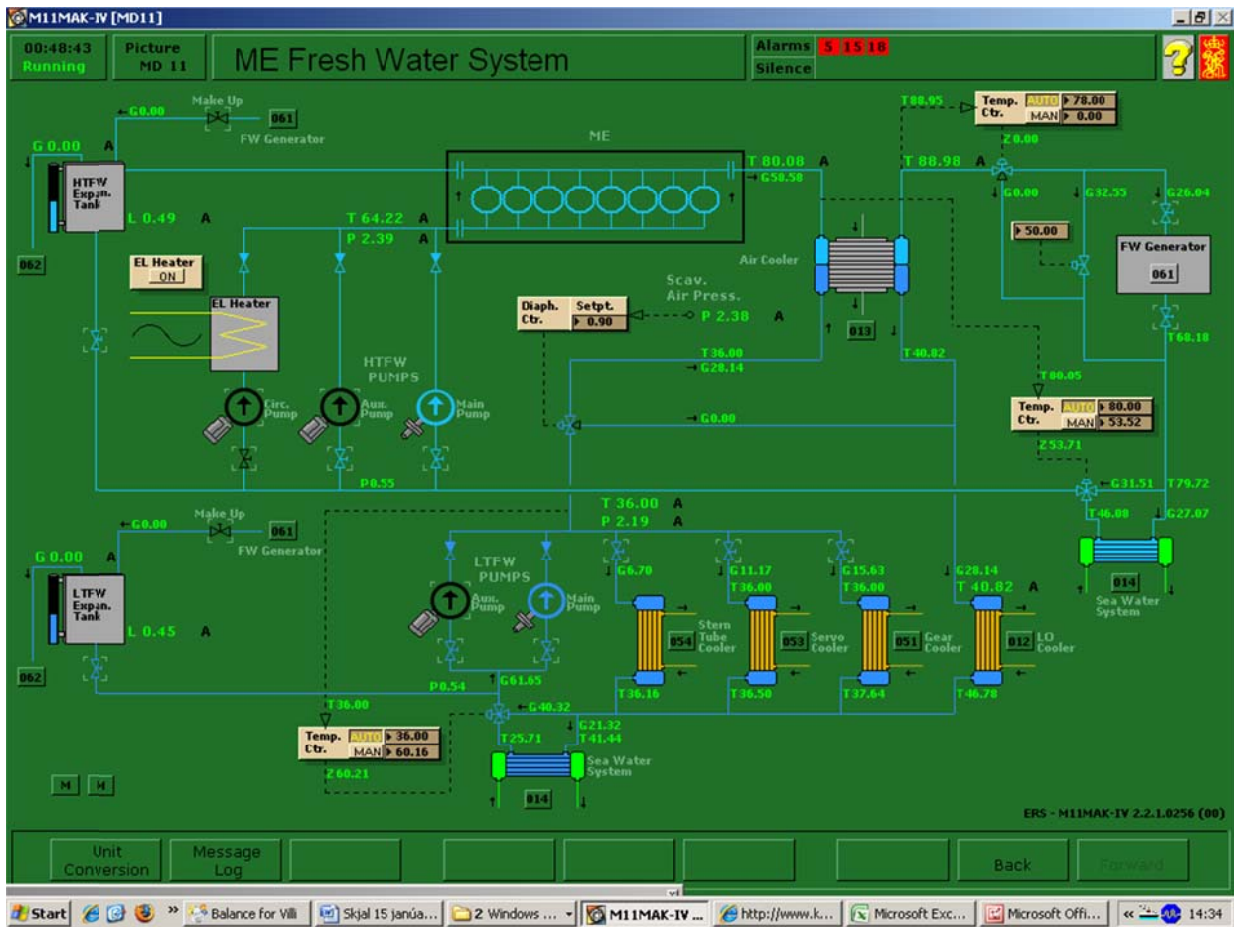


Mynd 9. Stjórnborð aðalvélar.

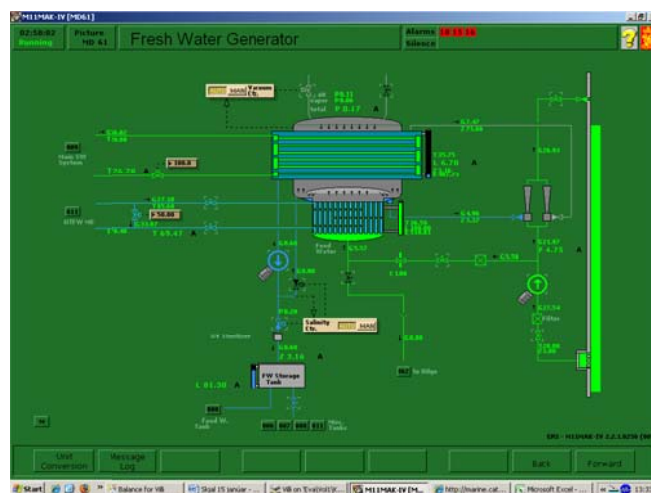
Mak 8M32C er 8 strokka línuvél með afgastúrbínu og tvískiptu kælikerfi, þ.e.a.s kælikerfinu er skipt upp í háhitakerfi (HT) og lághitakerfi (LT), hér eftir kölluð HT- og LT-kerfi. Einnig er tengdur við hana ásráfall til rafmagnsframleiðslu en einnig eru um borð þrjár ljósavélar.



Mynd 10. Skofoftskerfi og rafmagnsframleiðslukerfi.



Mynd 11. Kælikerfi aðalvélar.



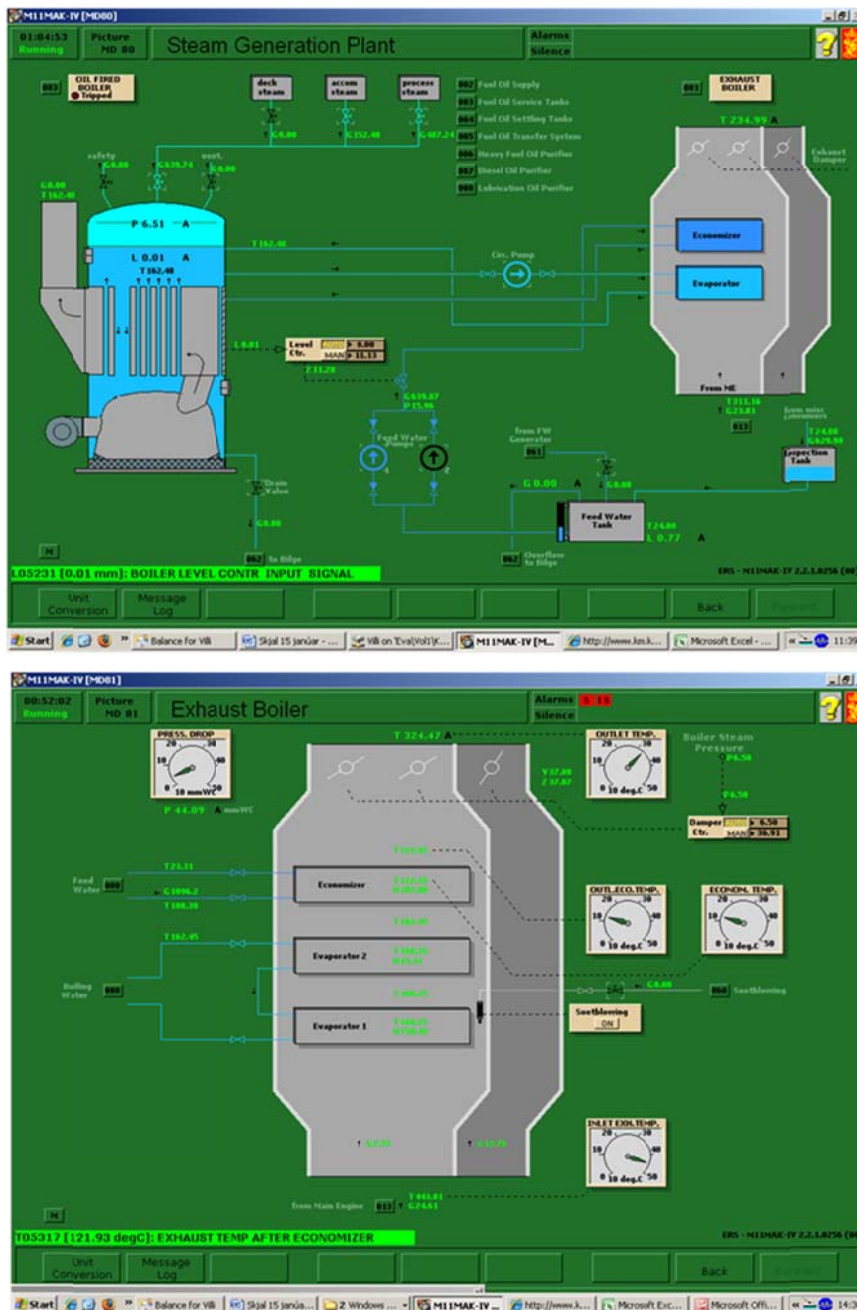
Mynd 12. Ferskvatnseimari.

Kælikerfi vélarinnar er, eins og áður var nefnt, skipt upp í HT- og LT-kerfi. Þetta er gert til að auka möguleika á varmanýtingu kælivatns. Hitastig frá HT-kerfi er um 85–90°C en LT-kerfi um 40°C. Til HT-kerfis telst strokkakæling og heitari hluti skolloftskælis. Til LT-kerfis telst seinni hluti skolloftskælis og smurolúkælir ásamt öðrum smákælum, t.d fyrir gír og

stjórnkerfi ásamt stefniröri. Í eldri vélum eru skolloftskælir og smurolúkælir oftast sjó-kældir sem þýðir að ekki er hægt að nýta þann varma um borð. Til framleiðslu á ferskvatni um borð er svokallaður eimari sem nýtir kælivatn frá HT-kerfi til að eima ferskvatn úr sjó og er það gert með því að búa til undirþrýsting með þeysi (jektor) til að lækka suðumark vatnsins.

4.1.1 Afgas

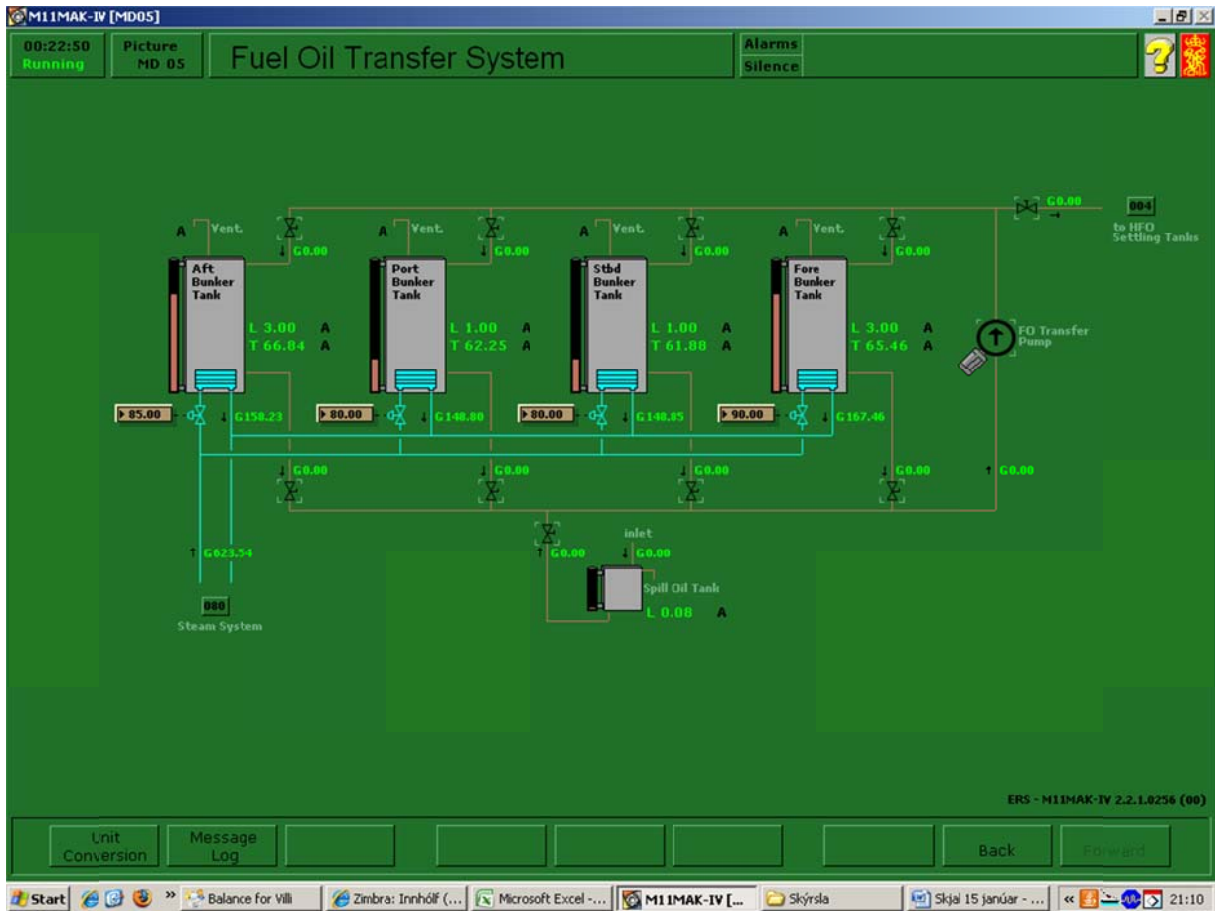
Afgas frá aðalvél er leitt í gegnum afgasketil sem nýttur er til gufuframleiðslu. Einnig er olíuketill sem hægt er að nota ef afgasið dugar ekki fyrir gufuþörf skipsins. Um borð í Goldfish er gufa notuð til að hita upp svartolíugeyma og til upphitunar á íbúðum og vatni til þrifa og neyslu.



Mynd 13. Gufukerfi með olíu og afgasketli.

4.1.2 Birgðageymar olíu

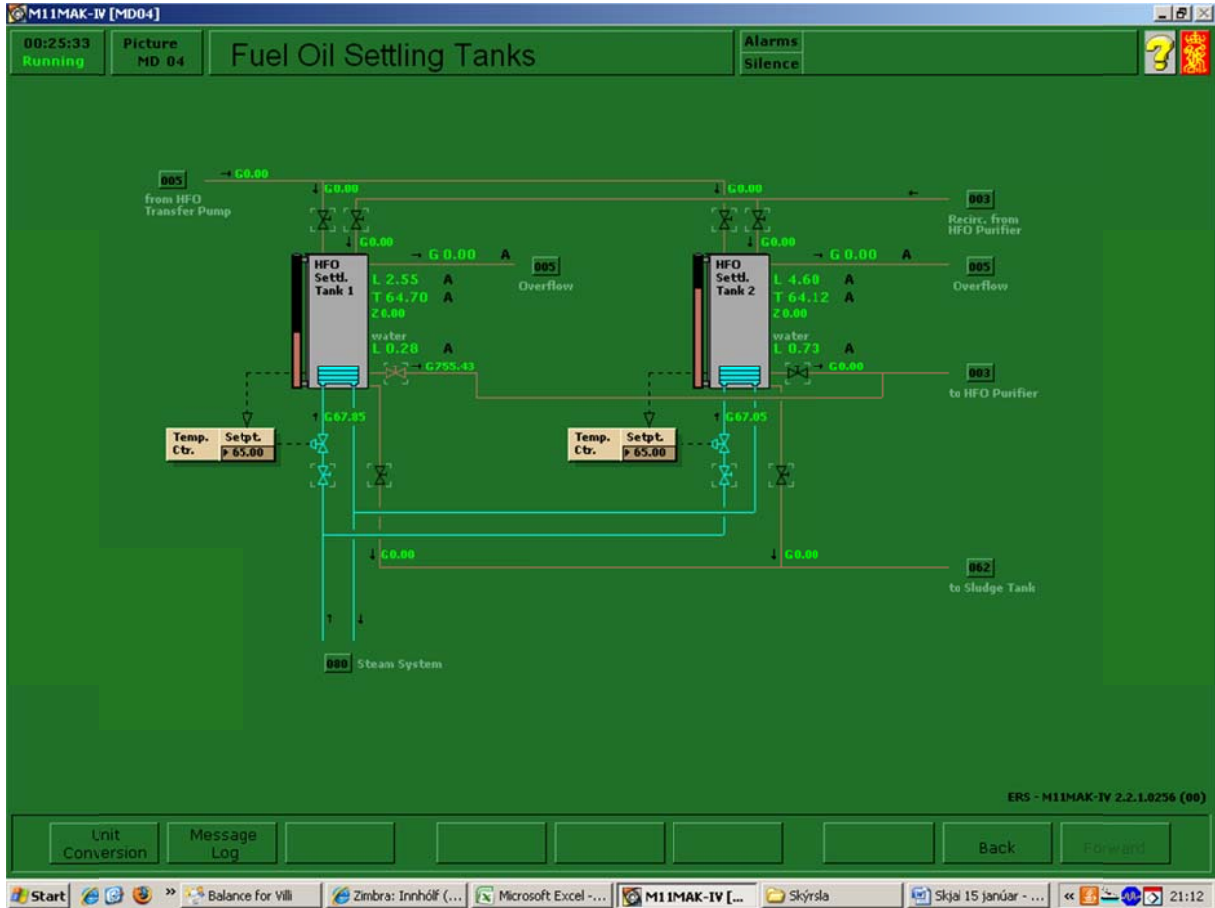
Goldfish er útbúinn til svartolíukeyrslu og birgðageymar (botngeymar,) sem eru fjórir talsins, eru hitaðir með gufu frá afgang- eða olúkatli eftir aðstæðum. Hitastig olíunnar í þessum geymum er samkvæmt hermi 62–65°C. Fyrirkomulag sést á skjámynd.



Mynd 14. Birgðageymar svartolíu (botngeymar) ásamt hitunarkerfi.

4.1.3 Setgeymar svartolíu

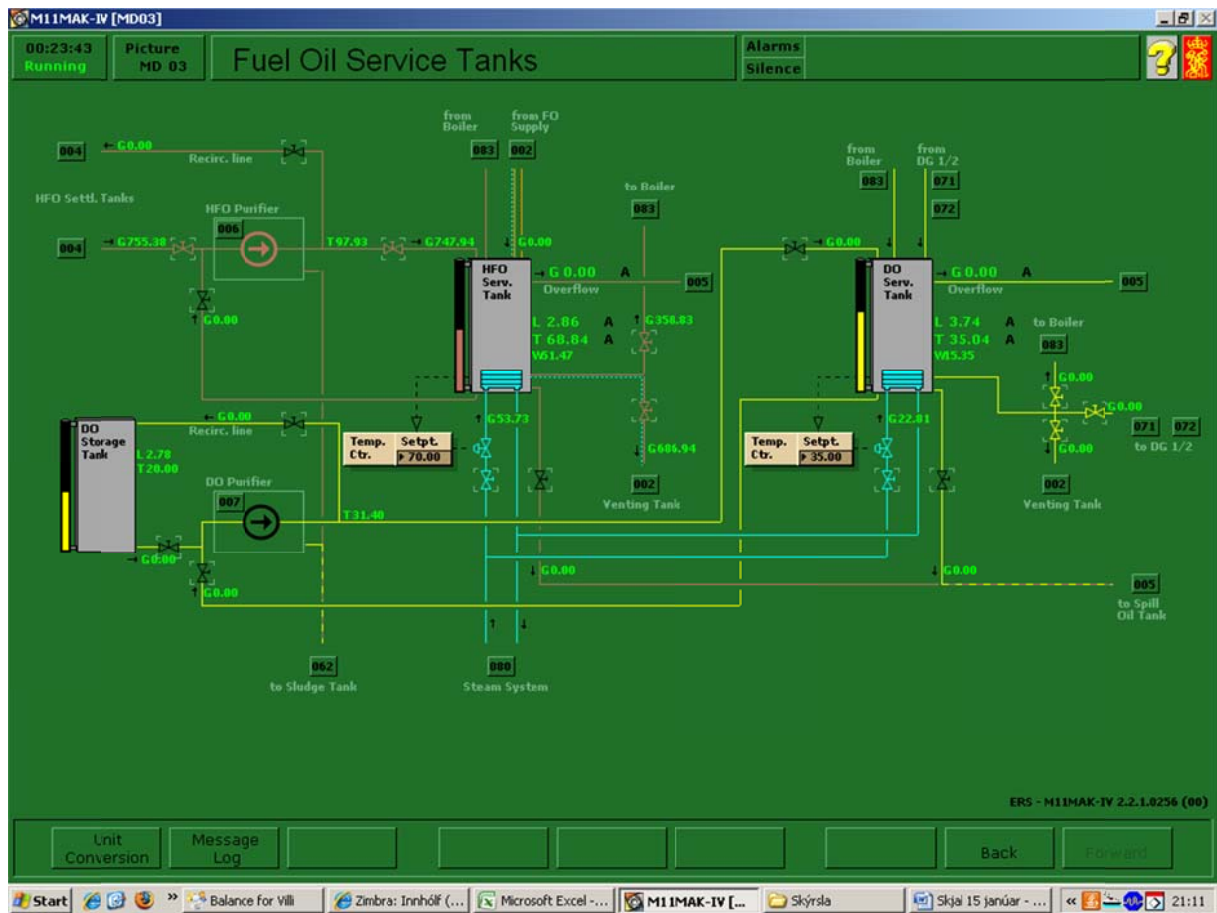
Olíunni er dælt frá birgðageymum að setgeymum (Settling Tanks). Þar er vatnið í olíunni látið skilja sig frá olíunni og setjast og því síðan tappað undan. Geyrnir eru hitaðir með gufu frá gufukerfi og er hitastig um 65°C.



Mynd 15. Setgeymar svartolíu.

4.1.4 Daggeymar

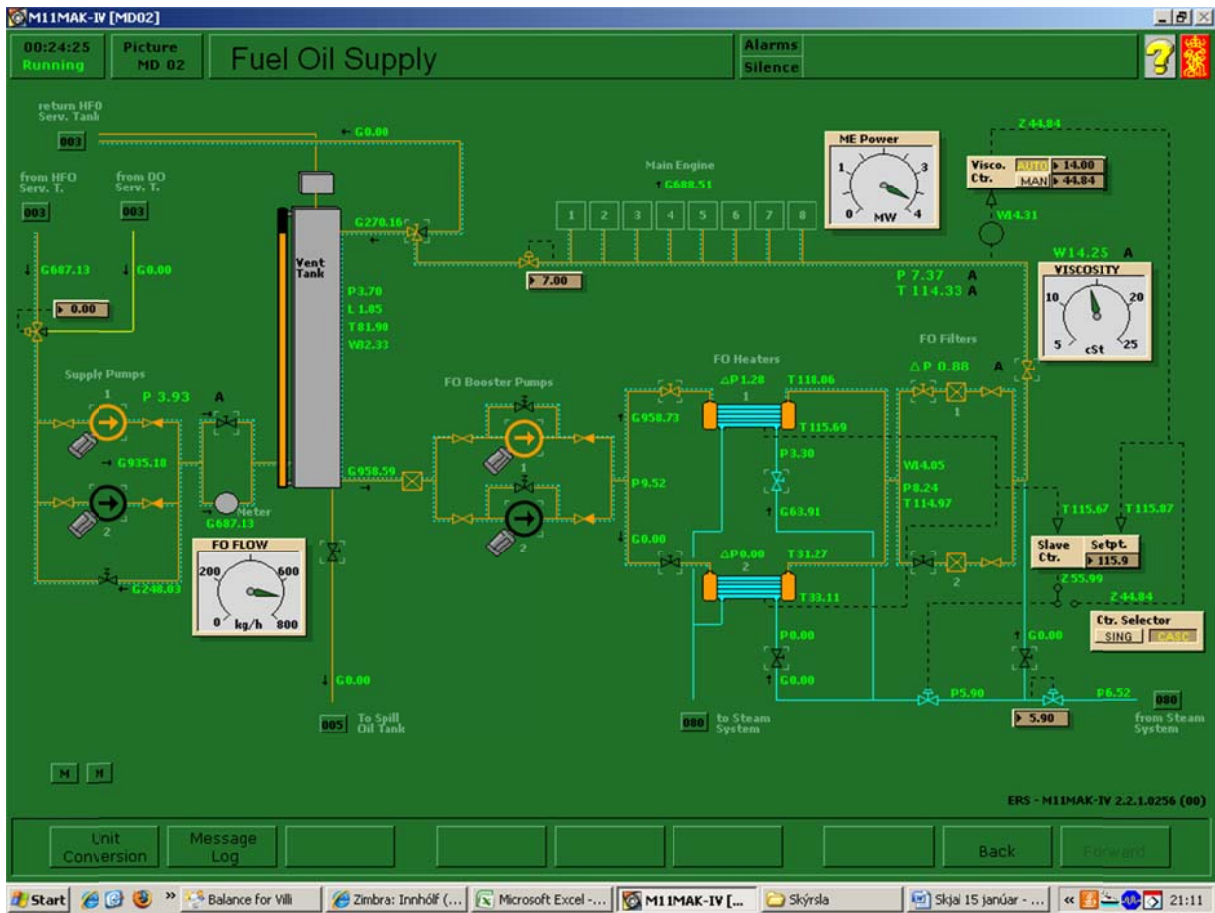
Olían er skilin í skilvindu (HFO Purifier) frá setgeymum á daggeymi þar sem einnig er hægt að tappa vatni undan. Daggeymar eru tveir, annars vegar svartolíugeymir (HFO) og hins vegar flotaolíugeymir (MDO). Einnig sést birgðageymir flotaolíu á myndinni og er olían skilin með skilvindu (DO purifier) af birgðageymi á daggeymi. Einnig er hægt á báðum daggeymum að hringrása innihaldi daggeymis gegnum skilvindu. Frá daggeymi fer olía til oliukerfis.



Mynd 16. Daggeymar svartolíu og flotaolíu.

4.1.5 Olúkerfi við aðalvél

Frá daggeymum er olían leidd að milligeymi (vent tank) gegnum hitara sem hitaðir eru með gufu frá gufukerfi og þaðan inn á aðalvél.



Mynd 17. Olúkerfi við aðalvél.

4.2 Framkvæmd athugunar

Goldfish er með svartolíukerfi og er það væntanlega lík útfærsla og það sem almennt þekkist í fiskiskipum.

Tilgangur athugunarinnar er ekki síst að fá fram aflþörf svartolíukerfis og upphitunar íbúða ásamt aflþörf til ferskvatnsframleiðslu í eimara.

Til að reikna það varmaafli sem fer til hitunar á olíu, íbúðum og vatni til neyslu og þrifa var reiknað varmaafli gufu til notenda reiknað út frá hitamismun milli gufu frá katli og þéttigeymis og tekið tillit til þéttivarma gufunnar¹¹.

Til útreikninga á nýtanlegu afli í afgasi var notast við massastraum ásamt hita eftir afgastúrbínu og hitastig eftir afgasketil sett á 180°C til að forðast tæringarhættu eins og fram hefur komið. Rétt er að geta þess að hitastig afgass í umhverfi var sett á 80°C þar sem ekki reyndist unnt að finna viðmiðunarhitastig á neðra brunagildi þegar það er mælt í svo kölluðum varmamæli (bomb calorimeter) en eðlilegast er að það sé hitastigið sem miðað er við. Þetta hefur ekki áhrif á útreikninga á nýtanlegu afli þar sem neðra hitastigið er fastsett þar.

Afl í kælivatni HT-kerfis er reiknað út frá massastraum og hitamismun yfir strokkakælingu og HT-hluta skolloftskælis.

Afl í LT-kerfi er reiknað út frá massastraum og hitamismun yfir LT-hluta skolloftskælis og smurólúkæli.

Hermir gefur upp 40963,98 kJ/kg inn á aðalvél sem er þá neðra brunagildi við 145°C. Neðra brunagildi er sá varmi (J) sem er í eldsneyti að frádregnum þeim varma sem fer í að breyta því vatni sem er í eldsneyti og myndast við brunann í gufu. Efra brunagildi inniheldur hins vegar heildarvarmann í eldsneytinu að vatnsgufunni meðtalinni.

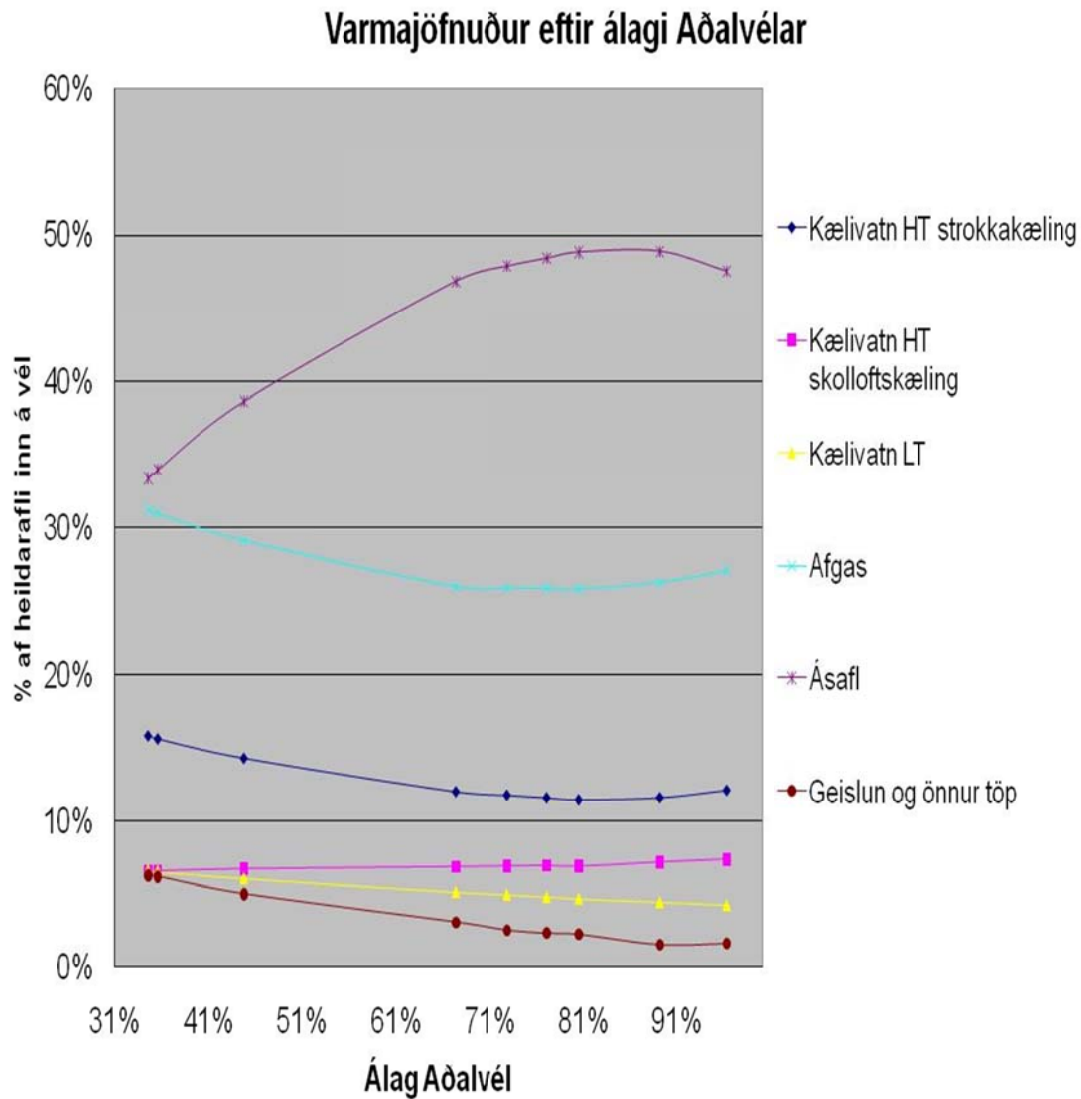
Lofthiti (ambient temperature) var stilltur á 5°C og sjóhiti á 5°C.

Geislun og önnur töp voru reiknuð sem afgangsstærð þegar ásafl, afl í afgasi og kælivatni höfðu verið dregin frá því afli sem sett er inn á vélina í formi eldsneytis.

¹¹ Aage Bredahl Eriksen og fl. (2004)

Fyrsta skref var að setja upp hlutfallslegan varmajöfnuð vélarinnar þar sem varmajöfnuðurinn er sýndur við breytilegt álag. Ekki var farið út í að framreikna ferlana heldur aðeins notast við mælingar við gerð línuritsins. Glatvarminn er fólgin í afgangi, kælivatni og geislun.

Eins og sést á línuritinu á mynd 18 breytast hlutföll ásafls og glatvarma við breytilegt álag og einnig breytast innbyrðis hlutföll glatvarmans.



Mynd 18. Varmajöfnuður eftir álagi.

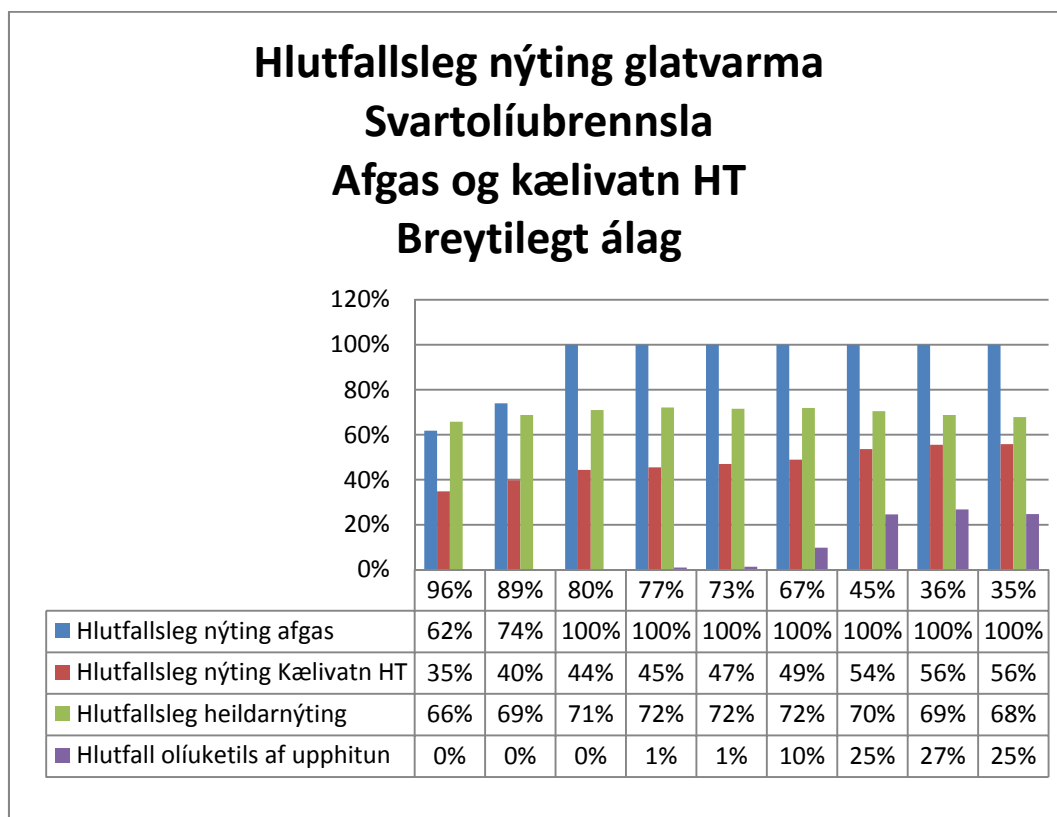
4.3 Greining á glatvarma

Nýtanlegur glatvarmi um borð í skipi er fyrst og fremst fólgin í afgasi og HT-hluta kælikerfis en hitastig LT-kerfis er lágt, um 40°C eftir vél, og því ekki nýtanlegt nema mögulega sem einhvers konar forhitun eða slíkt. Því er ekki tekið tillit til LT-hluta kælikerfisins.

Þar sem Goldfish er útbúinn til svartolíukeyrslu er glatvarmi frá afgasi nýttur til upphitunar á olíu í geymum og er gufa nýtt sem orkumiðill. Ennig er hægt að keyra olíuketil ef afgangketillinn annar ekki orkuþörfinni. Hitastig afgass eftir túrbínu er frá 282–422°C.

Hitastig kælivatns er frá 83–89°C og er það nýtt til að eima ferskvatn. Í þessu tilfelli eru eimaðir 600 l af ferskvatni á klukkutíma.

Hlutfallsleg nýting glatvarmans á svartolíukeyrslu með breytilegu álagi sést á mynd 19.



Mynd 19. Hlutfallsleg nýting glatvarma við svartolíubrennslu. (Sjá frekari skýringar hér á eftir.)

Hlutfallsleg nýting afgass er hlutfallið milli nýtanlegs hluta afgass og þess sem nýtt er til gufufuramleiðslu. Afgasið getur talist fullnýtt þar sem nýtingarmörk eru talin 180°C en þó er ekki loku fyrir það skotið að með bættri nýtingu afgasvarmans væri möguleiki á að nýta hann til annarra hluta. Einnig gæti verið skynsamlegt að nýta kælivatnið frekar til upphitunar íbúða og vatns til þrifa og neyslu og nýta afgasvarmann þar sem hann kemur að meira gagni.

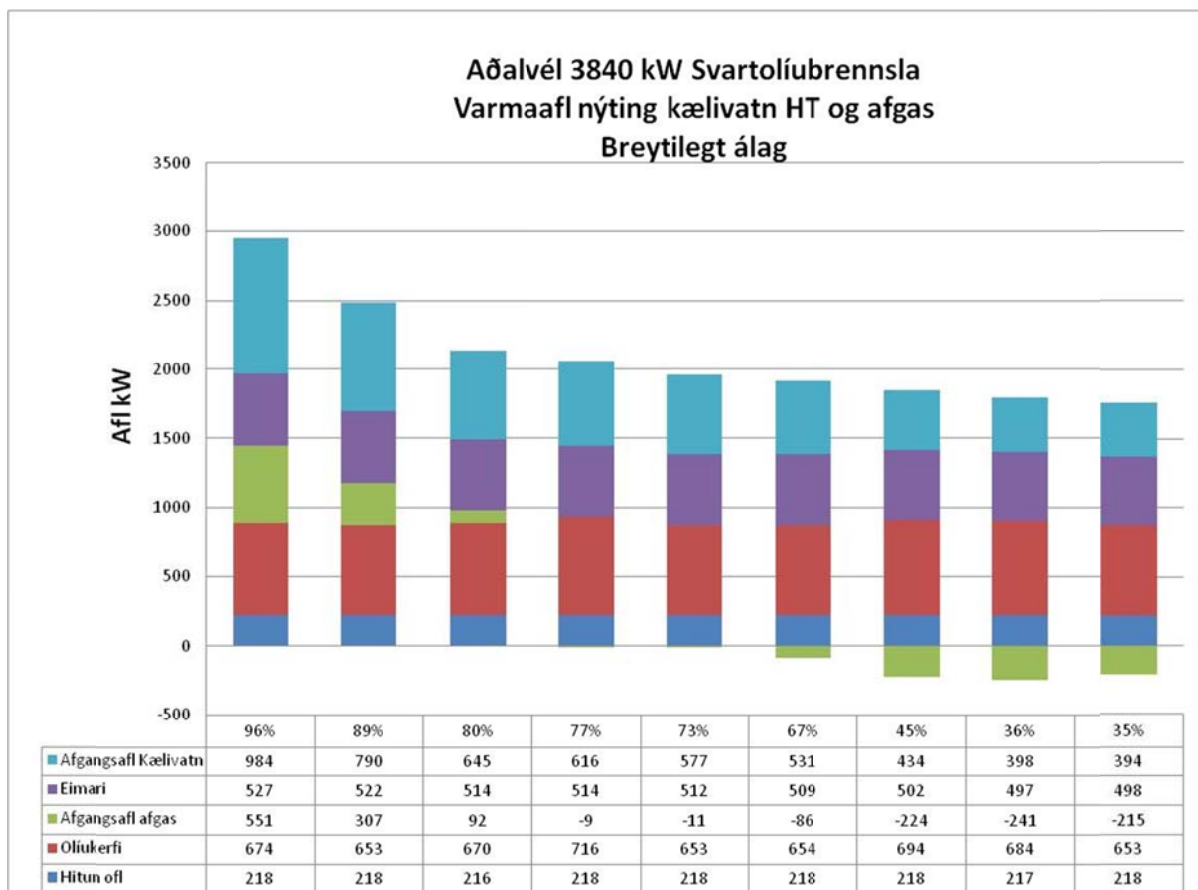
Hlutfallsleg nýting kælivatns HT er hlutfallið milli heildarvarmaafslins í kælikerfi HT og þess sem nýtt er til eimingar á neysluvatni um borð.

Hlutfallsleg heildarnýting er hlutfallið milli afls sem sett er inn í aðalvél formi olíu og þess hreyfi (ásafli) og varmaafli sem er notað um borð. Varmaflið sem nýtt er felst þá í framleiðslu gufu til hitunar og eimingu á neysluvatni.

Hlutfall olíuketils af upphitun. Eins og sést á myndinni kemur olíuketill inn þegar afgasketill nær ekki að anna varmaeftirspurn hitunarkerfa sem eru tengd honum. Þetta má rekja til þess að stjórnkerfi Goldfish gerir ráð fyrir að fullur hiti sé á öllum botngeymum. Þarna mætti væntanlega spara olíu um borð og er full ástæða fyrir vélstjóra skipa að gæta að þessu atriði og hafa þá t.d ekki fullan hita á öllum geymum.

4.3.1 Aðalvél, 3840 kW, svartolíubrennsla. Varmaafli og nýting

Mynd 20 sýnir að gufukerfi notar nánast allan afgangsvarmann við um 80% álag á aðalvél. Þar sem græna súlan, sem tákna afgangsafl afgangss, fer niður fyrir 0 er það í rauninni það afl sem olíubrennarinn þarf að bæta við til að hitakerfi fái það afl sem þau þurfa. Benda má á það að ef hitun íbúða og vatns væri á kælivatninu ætti afgasið að standa undir nánast allri hitunarþörf olíukerfis.

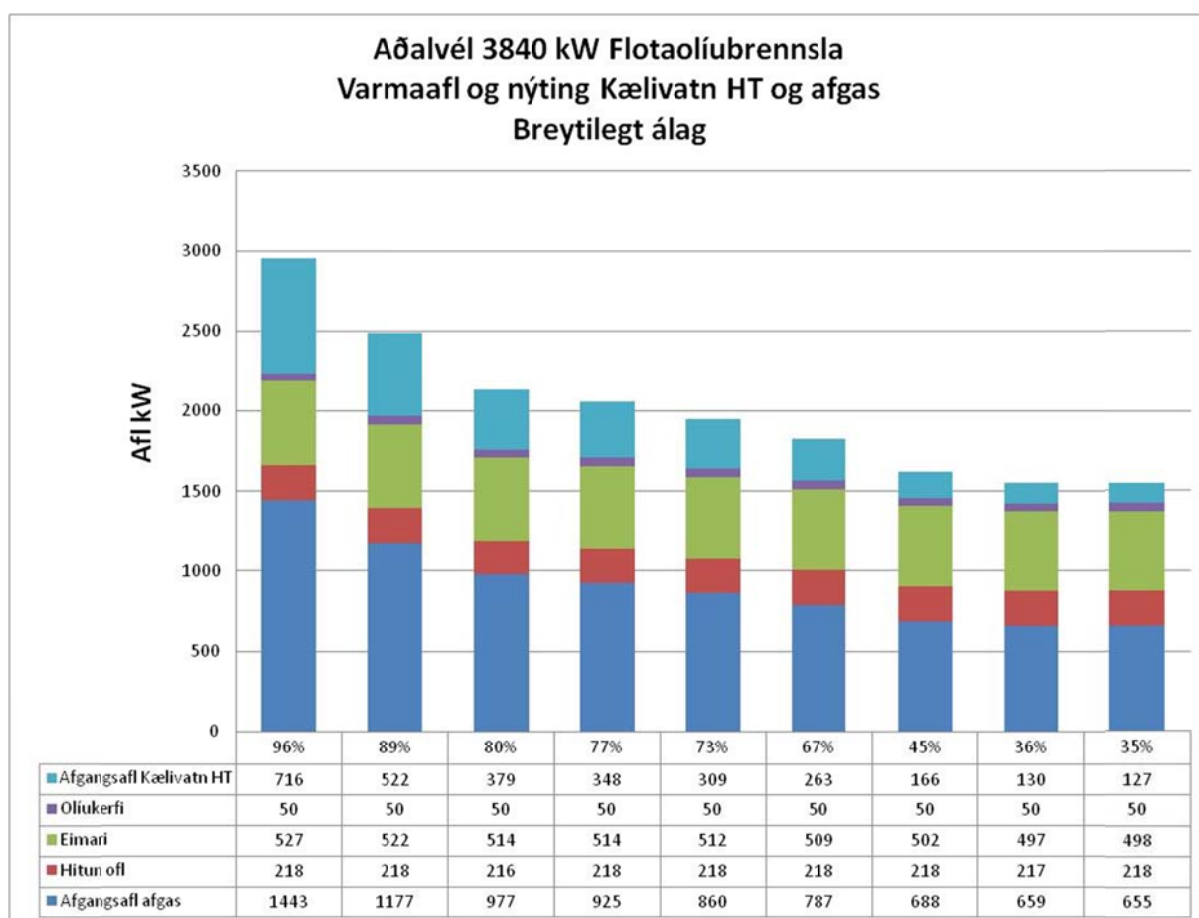


Mynd 20. 3840 kW aðalvél. Svartolíubrennsla. Varmaafli og nýting.

4.3.2 Aðalvél, 3840 kW, flotaolíubrennsla. Varmaafli og nýting

Mynd 21 sýnir sama sama skip Goldfish sem brennir flotaolíu (MDO) og því er upphitunarþörf olíunnar mun minni þar sem ekki þarf t.d að hita botntanka skipsins. Aðrar stærðir eru óbreyttar og brunagildi olíu er óbreytt en það skal tekið fram að neðra brunagildi flotaolíu er að jafnaði hærra og er um 42.700 kJ/kg¹².

Hitunarþörf olíunnar er áætluð 50 kW og er það tekið af kælivatni. Hitun íbúða og neysluvatns er tekin af kælivatni ásamt eimara þannig að mögulegt er að nýta varmaafli afgassins til annars.



Mynd 21. 3840 kW aðalvél. Flotaolíubrennsla. Varmaafli og nýting.

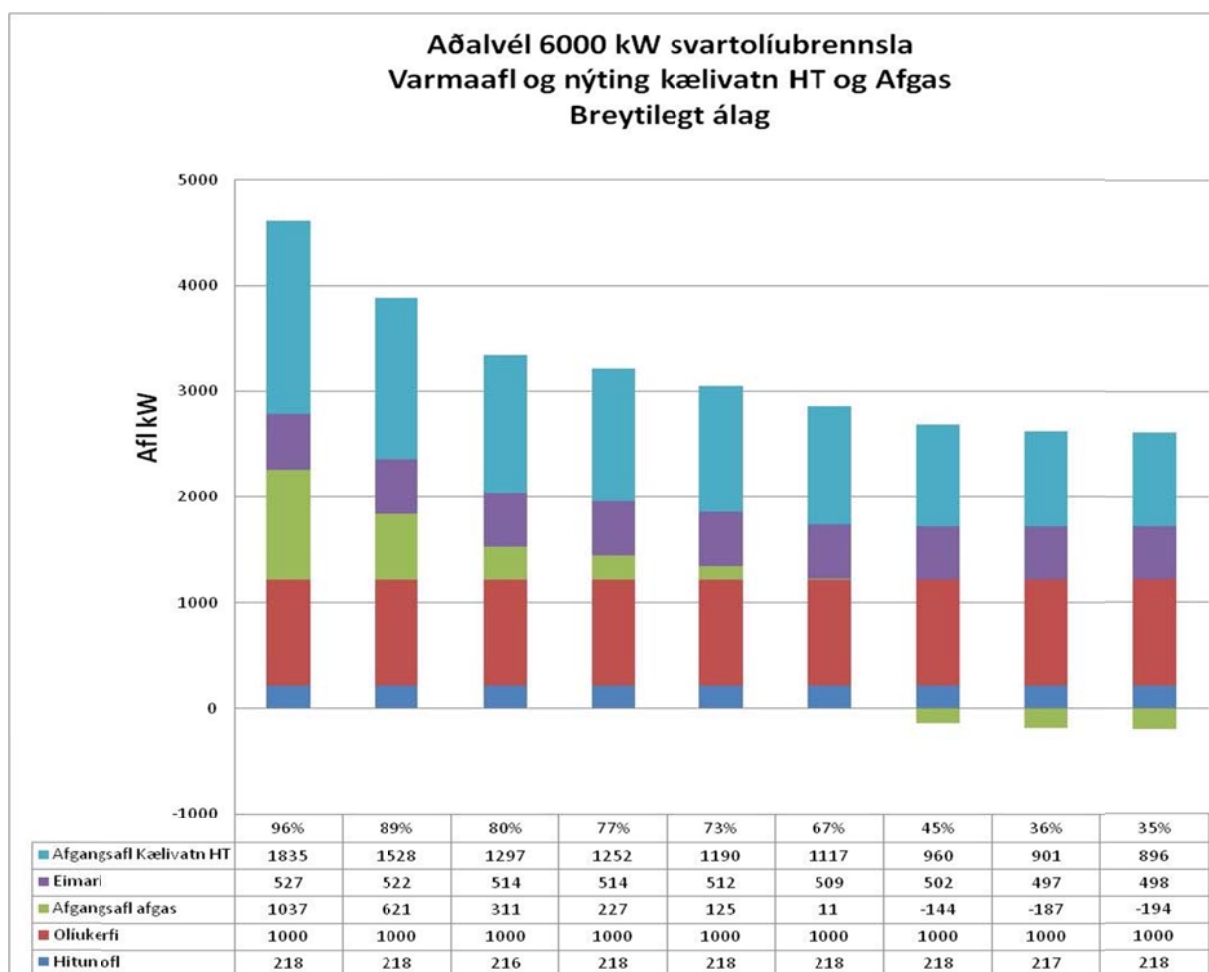
¹² Gildi fengið úr vélhermi C00506 DO heat value storage tank.

4.4 Skip með 6000 kW aðalvél

Til að kanna áhrif stærri aðalvélar á glatvarmann var varmajöfnuðurinn úr athugun í hermi einingareiknuð, það er að segja stillt upp sem kWvarma/ kWásafli og afl glatvarma reiknað út frá 6000 kW aðalvél. Aflþörf til hitunar olíukerfis var áætluð 1000 kW við allar álagsmælingar en aðrar stærðir óbreyttar.

4.4.1 Aðalvél, 6000 kW, svartolíubrennsla. Varmaafli og nýting

Eins og sést á mynd 22 dugar afgangið til hitunar niður undir 70% álag. Þar sem græna súlan, sem táknar afgangsafl afgass, fer niður fyrir 0 er það í rauninni það afl sem olíubrennarinn þarf að bæta við til að hitakerfi fái það afl sem þau þurfa. Benda má á það að ef hitun íbúða og vatns væri á kælivatninu ætti afgangið að standa undir nánast allri hitunarþörf olíukerfis.

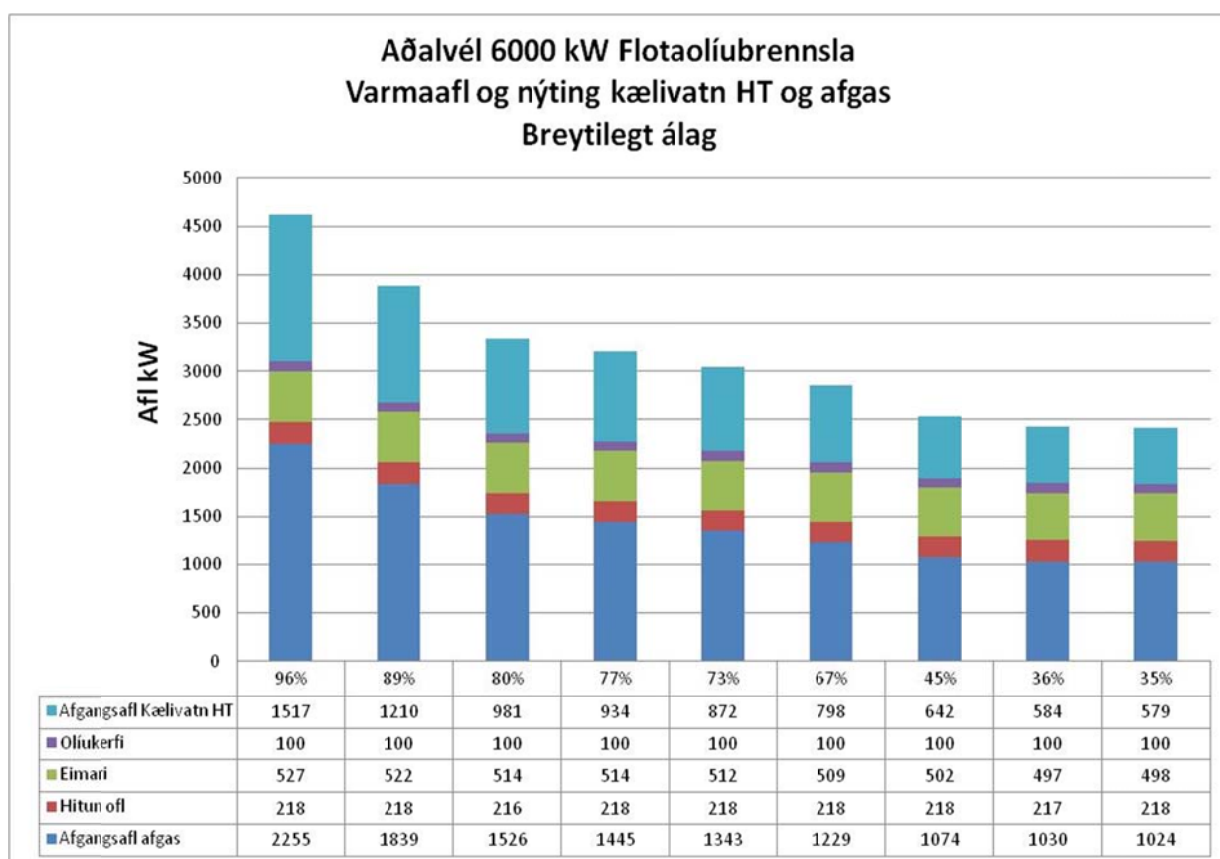


Mynd 22. 6000 kW aðalvél. Svartolíubrennsla. Varmaafli og nýting.

4.4.2 Aðalvél, 6000 kW, flotaolíubrennsla. Varmaafli og nýting

Mynd 23 sýnir sama skip og á mynd 22 sem brennir flotaolíu (MDO) og því er upphitunarþörf olíunnar mun minni þar sem ekki þarf t.d að hita botntanka skipsins. Aðrar stærðir eru óbreyttar og brunagildi olíu er óbreytt en það skal tekið fram að neðra brunagildi flotaolíu er að jafnaði hærra og er um 42700 kJ/kg.¹³

Hitunarþörf olíunnar er áætluð 100 kW og er það tekið af kælivatni. Hitun íbúða og neysluvatns er tekin af kælivatni ásamt eimara þannig að mögulegt er að nýta varmaafli afgassins til annars.

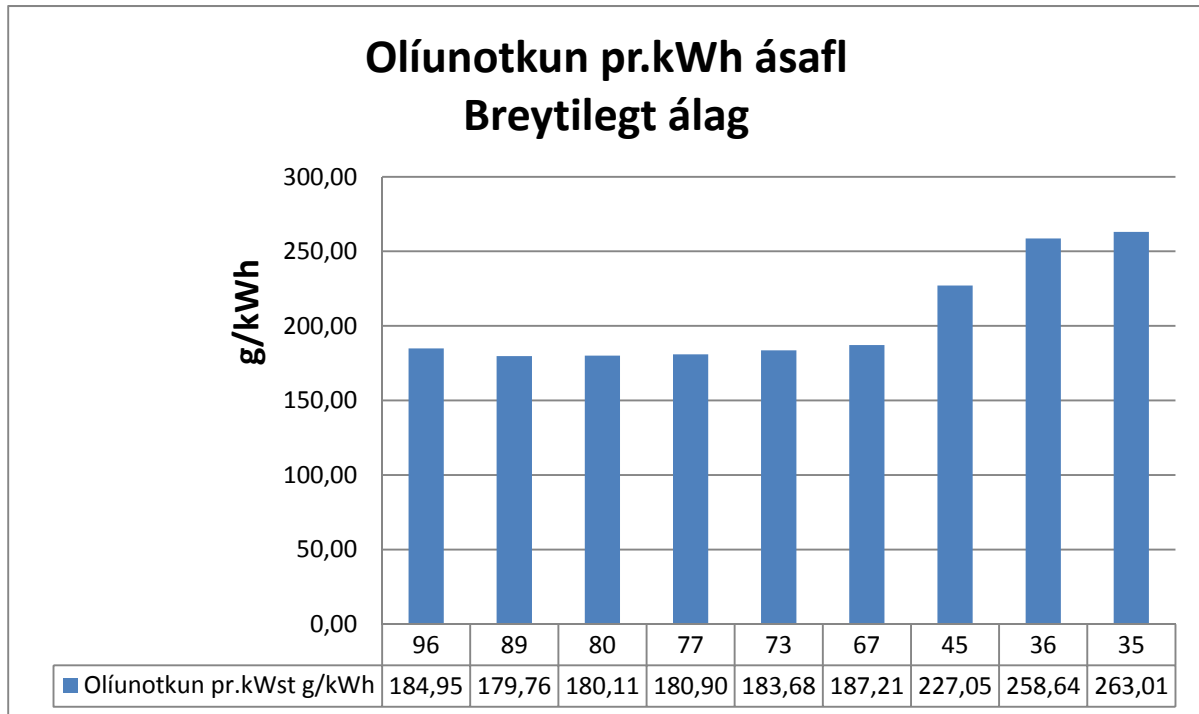


Mynd 23. 6000 kW aðalvél. Flotaolíubrennsla. Varmaafli og nýting.

¹³ Gildi fengið úr vélhermi C00506 DO heat value storage tank

4.5 Eyðslustuðull vélar við breytilegt álag

Á mynd 24 má sjá samhengi eyðslustuðuls og álags. Eins og sést fer stuðullinn hækkandi með minnkuðu álagi, enda best að keyra vélina á yfir 50% álagi.



Mynd 24. Eyðslustuðull vélar við breytilegt álag.

4.6 Helstu niðurstöður athugunar í vélarrúmshermi

4.6.1 Almennt

Þar sem álagsmynstur aðalvéla er mismunandi eftir t.d. veiðiaðgerðum og veðri er erfitt að gera grein fyrir þeirri orku sem vinnanleg væri úr glatvarma en athugunin sýnir að eftir einhverju gæti verið að slægjast.

Einnig væri áhugavert að kanna hvort lækka mætti nýtingarmörk á hita eftir afgasketil þar sem umtalsverð orka fer út í umhverfið þar.

4.6.2 Svartolíubrennsla

Þessar niðurstöður sýna að glatvarmanýting á svartolíubrennslu er frekar góð og er einna helst sóknarfæri í því að minnka notkun hitakerfa með því að nýta frekar kælivatn til upphitunar á íbúðum og vatni til neyslu og þrifa. Einnig er möguleiki á því að nýta afgas betur til upphitunar botngeyma svo olíubrennari sé ekki í gangi að óþörfu. Möguleiki væri að vinna raforku úr kælivatni með lághitavél en það veltur á álagsmynstri og kostnaði við búnað hvort slíkt geti talist hagkvæmt. Einnig er mögulegt að nýta það sem hitagjafa í ísogs-eða ásogskerfi (absorption eða adsorption) en hitastig kælivatnsins setur nokkrar skorður við

þá kælingu sem mögulegt er að fá út úr þeim kerfum. Einnig veltur það á álagsmynstri og kostnaði við slíkan búnað hvort það getur talist hagkvæmt.

4.6.3 Flotaolíubrennsla

Athugunin sýnir að miðað við þær forsendur sem gefnar voru í athuguninni þá er það afl sem telst til afgangsafls í afgasi það mikið og hitastig það hátt að fýsilegt er að nýta það t.d til raforkuvinnslu í lághitavél eða sem hitagjafa í ísogs- eða ásogsfrystikerfi en það veltur á álagsmynstri og kostnaði við búnað hvort slíkt getur talist hagkvæmt.

4.6.4 Eldri skip með einföldu kælikerfi

Eldri vélar sem eru með sjókælda skollofts- og smurolíukæla gefa aðra mynd af varmanýtingu þar sem aflið sem fékkst úr HT-hluta kælikerfisins í skolloftskæli samkvæmt athugun í vélhermi er ekki í boði. Smurolíukælir í athuguninni er á LT-kerfi sem er ekki talið nýtanlegt. Reikna má með að nýtni þessara eldri véla sé verri sem gefur þá meiri glatvarma í strokkakælingu og afgasi. Erfitt er að leggja mat á þessar stærðir nema með mælingum um borð í viðkomandi skipum en mögulega getur prufuplan viðkomandi vélar gefið vísbendingar um glatvarmann.

4.6.5 Eyðslustuðull

Óhagkvæmt er að keyra vél undir 50% álagi með tilliti til eyðslustuðuls samkvæmt niðurstöðum athugunarinnar.

5 Nýting glatvarma

Glatvarma fiskiskipa má nýta annars vegar til raforkuframleiðslu og hins vegar til kælingar. Niðurstaða athugunar í vélarrúmshermi, sem hér hefur verið greint frá, gefur vísbendingar um að þar megi nálgast glatvarma á þeim hitastigum sem heppileg eru til raforkuframleiðslu með tvenndarvélum og einnig til kælingar eða jafnvel frýstingar með ísogs- eða ásogsvarmadælum. Hér á eftir er gert grein fyrir nokkrum þeirra tæknilegu lausna sem til eru og mætti nýta um borð í fiskiskipum.

6 Raforkuframleiðsla

Raforka er unnin úr varma með milligöngu gufu (t.d. vatnsgufu ef hár hiti er til staðar) eða annars vökva eða gufu sem nýta má til að knýja hverfil til raforkuframleiðslunnar. Ásrafall frá aðalvél sinnir yfirleitt raforkuþörfinni um borð í skipum en einnig ljósavélar. Glatvarmi frá aðalvél er best nýttur með svokölluðum ORC-vélum (Organic Rankine Cycle í binary- eða tvenndarvélum) þar sem vinnsluvökvi í lokaðri hringrás gufar upp, snýr rafli og þéttist svo aftur til að loka hringrásinni. Uppgufunin krefst varma en þéttingin þarf kælingu. Á skipi kemur varminn frá meginvél (glatvarmi) og kæling ýmist úr lofti eða sjó.

Nýting glatvarma úr iðnaði til raforkuframleiðslu er umfangsmikil víða erlendis þar sem raforkuverð er hátt og viðkomandi ríki styðja „græna“ orkunýtingu. Sem dæmi þá hefur ítalska fyrirtækið Turboden sett upp 165 MW rafafli frá ORC-tvenndarstöðvum í 155 orkuverum í 14 löndum. Yfirleitt eru slíkar stöðvar nokkur hundruð kW, og flestar um og yfir 500 kW, vegna þess kostnaðar sem felst í lagnakerfum, varmaskiptum, hverfli og öðrum vélrænum búnaði sem gerir minni uppsetningar óhagkvæmar. Þó eru minni stöðvar til á

markaði, t.d. 10 kW vél frá Infinity Turbine® og 125 kW frá Calnetix Power Solutions. Nýverið hóf Turboden, ásamt meðeigendum Pratt and Whitney Power Systems samstarf við Wärtsilä um smíði á skipsvél með sambyggðri ORC vél (kallast hjá þeim ECC=Engine Combined Cycle) og fyrsta vél þeirrar gerðar er væntanleg á markað á þessu ári (sjá mynd 25). Glatvarminn er fenginn frá skorsteini skips og/eða kælivatni vélar. Dæmigerð stærð uppsetts rafafls getur verið á bilinu nokkur hundruð kW upp í nokkur MW.



Mynd 25. Útlitsteikning af ORC-vél sem er í þróun í samstarfsverkefni Turboden og Wärtsilä. Myndin er úr fréttatilkynningu Turboden.

Hefðbundnar ORC-vélar eru yfirleitt með hverfli (túrbínu), enda nýtir hverfill mjög vel varma til að framleiða vinnu, þ.e. valda snúningi sem þá knýr rafal til raforkuframleiðslu. Hins vegar er einnig hægt að nota aðrar varmavélar þó svo nýtnin sé ekki jafn mikil ef kostnaður er minni og tæknin að öðru leyti viðráðanleg um borð í skipum. Í hérlendum skipaflota er helst að líta til frystitogara sem hafa um borð kælibúnað sem knúinn er með skrúfuþjöppum. Þessum skrúfuþjöppum má snúa við og framleiða raforku úr glatvarma. Í stað þess að raforka sé nýtt á þjöppunum til að færa varma frá kæliþýmunum til umhverfis þá er glatvarminn látinn knýja þjöppuna og kælt á móti með kælivatni, og er þá nærtækast að nota sjó til slíkrar kælingar. Helstu fyrirtækin á þessu sviði eru í Svíþjóð og fyrirtækið Opcon starfar nú með Wallenius Marine að slíkri lausn sem miðar að því að spara á bilinu 4–6% skipaolíu. Áætlað er að fyrsta skrúfuþjappa Opcon (Opcon Powerbox) fari um borð í ágúst á þessu ári (2011) og muni gagnast flota Wallenius og tengdra aðila með sérhæfingu í farmskipum fyrir ökutæki. Slík skip hafa vélarafli af stærðargráðu 10 MW.

Lengi hafa menn slegist við lögmál varmafræðinnar til að ná meiri vinnu úr varma. Mörgum hefur þótt erfitt að setta sig við að nýta ekki varma betur til vinnu en í besta falli um 50% í háhitavélum og við lægri hitastig (niður að um 100°C) þykir ágætt að vera með um 10% nýtingu. Fljótlegast er að skýra þetta með lögmáli kennt við Carnot sem kveður á um að nýtni verður aldrei meiri en sem nemur því hitafalli sem verður við varmanýtinguna, deilt með uppsprettuhitastiginu (m.ö.o. deilt í hitamismuninn með herra hitastiginu, mælt í Kelvin-gráðum). Í Kelvin-gráðum er umhverfishiti á yfirborði jarðar um 300 K og varmi sem nýttur er til vinnu er sjaldnast felldur undir það hitastig, og yfirleitt er það eitthvað herra. Ekki síður mikilvægt er að átta sig á því að varmanýtingin fæst ekki nema með kælingu (þ.e.

með því að valda hitabreytingu) og erfitt er að viðhalda varmahringrás með mjög hárrí hitasveiflu. Að lokum eru takmörk á hitapölmörkum efna og hefðbundið eldsneyti gefur rétt yfir 2000°C við bestu skilyrði.

Þegar varminn sem nýta skal kemur frá hitauppsprettu sem er yfir um 200°C er algengt að vatnsgufa sé nýtt á hverfla, enda er vatn náttúrulegt efni, alls staðar fáanlegt og brennur ekki.

7 Frysting

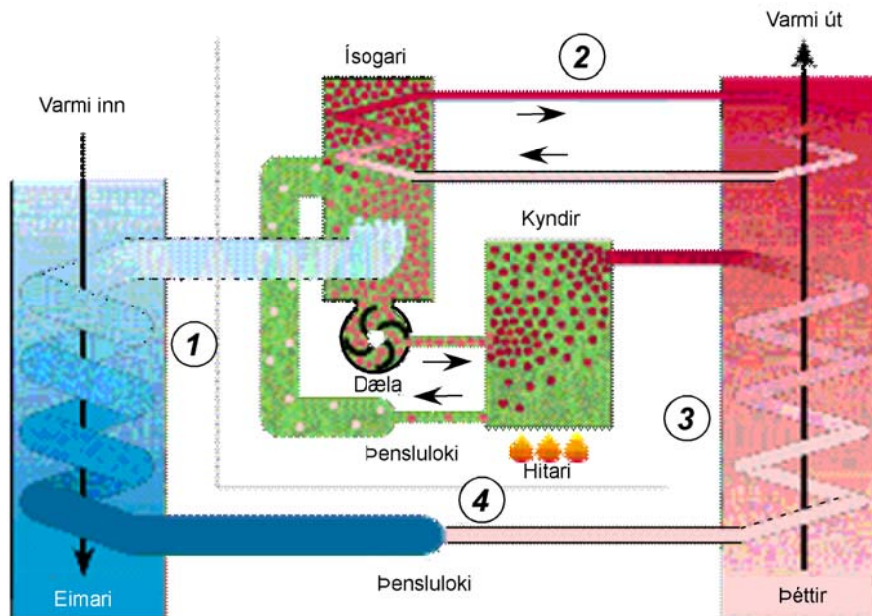
Frysting og kæling afla um borð í fiskiskipum krefst notkunar kælivéla sem knúnar eru með raforku framleiddri með olíu í rafli (ljósavél eða ásráfall). Skipsvélin brennir einnig olíu og í báðum tilvikum myndast umtalsverður glatvarmi. Þennan varma má nýta til að knýja kælivélar um borð í skipum. Þetta kann að hljóma einkennilega en varma (í þessu tilviki glatvarma) má nýta til að knýja hringrás vinnslumiðils í lokuðu kerfi þannig að vinnslumiðilinn færi varma frá einum stað til annars, hvort heldur sem er til hitunar eða kælingar. Þessar varmaflutningsvélar eru þá varmadælur sem eru keyrðar áfram með varma (hér glatvarma) í stað raforku. Nýtni dísilvélar til raforkuframleiðslu er ekki yfir 50% og því er tækifæri til umtalsverðs olíusparnaðar ef hægt er að nýta varmaknúna hringrás til kælingar í stað rafknúinnar hringrásar.

Tvær gerðir kælivéla koma til greina þegar nýta skal varma til kælingar og kallast þær ísögs (absorption) og ásögs (adsorption) varmadælur.

Nú þegar hefur fýsileiki þess að frysta með ísögsvarmadælum verið kannaður út frá mælingum á glatvarma um borð í fiskiskipi (Fernández-Seara o.fl., 1998) og einnig kæling með ásögsvarmadælum (sjá yfirlit í t.d. Wang og Wang, 2005). Einnig eru til heimildir frá 1951 um ísögsfrysti um borð í fiskiskipi (Popular Mechanics, júní 1951).

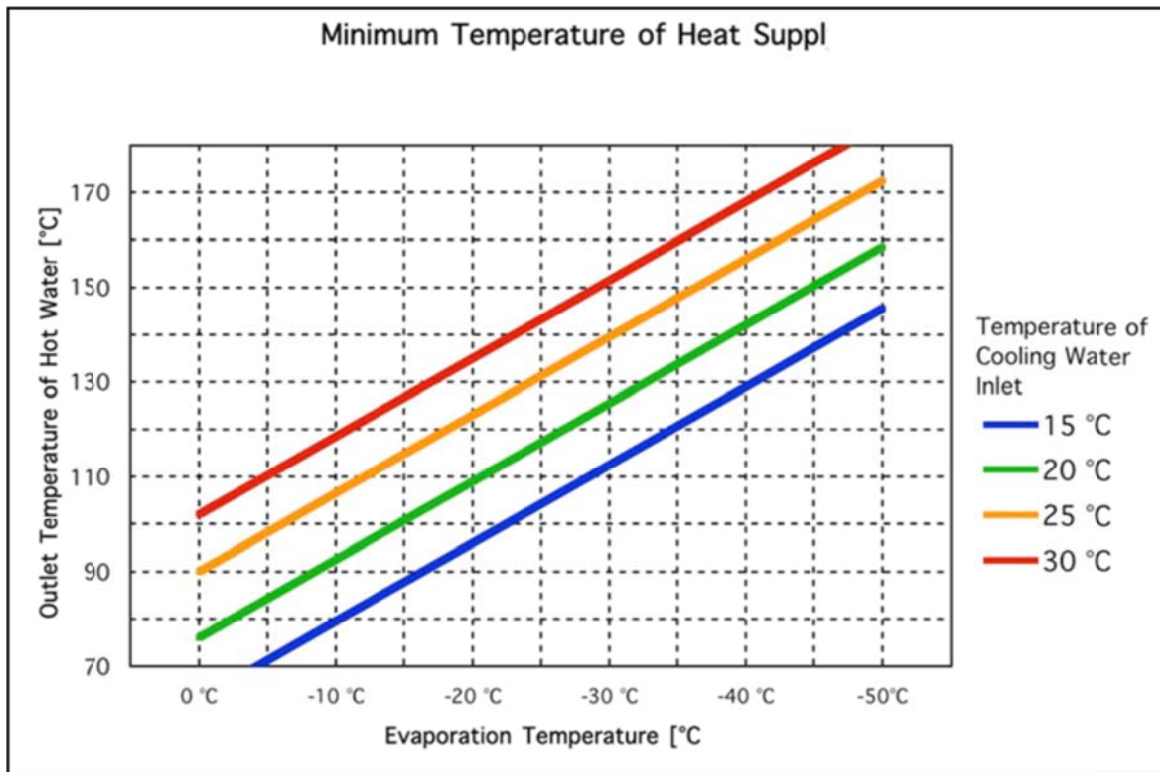
7.1 Ísögsvarmadælur (absorption)

Ísögsvarmadælur hafa vökvablöndu í innri hringrás, t.d. ammoníak blandað vatni. Ammoníakið er knúið úr lausninni með varma (hér glatvarma) og þéttist síðan við kælingu (sjókælingu). Kalda ammoníakið dregur þá í sig varma við uppgufun sem dugar til að kæla frystigeymslur skipanna. Ammoníakið blandast svo aftur upp í vatni og hringrásin lokast (sjá mynd 26).



Mynd 26. Ísogsvarmadæla (kælivél) sem dregur í sig varma í eimara (1) við uppgufun á fljótandi ammoníaki. Ammoníakið blandast svo vatni í ísogara. Við blöndunina leysist úr læðingi varmi sem losna þarf við með sjökælingu (2). Hitari (á myndinni táknadur með gasloga en í þessari skýrslu er átt við glatvarma skipsvéla) losar ammoníakið aftur úr vatnslausninni sem þéttist svo í varmaskipti við sjökælingu (3). Hreint ammoníak á vökvaformi fer svo aftur til eimara í gegnum þensluloka (4). Skýringarmyndin fékkst á vefsíðu heatpumcentre.org.

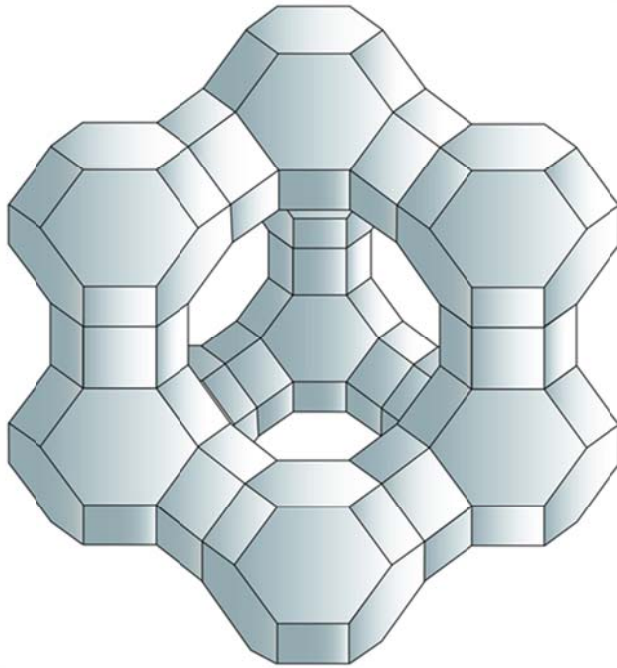
Ísogsvarmadæla hentar vel til frystingar og fræðilega mætti frysta niður í um -60°C með tilteknum vökvablöndum (sjá t.d. He o.fl., 2005). Vatns/ammoníaksblandan er algeng í ísogsvarmadælum en frystir ekki niður fyrir -50°C í einu þrepi (með fleiri þrepum, þ.e. með raðtengingu kælivéla, fæst meiri kæling). Slíkt hitastig dugar á frystiskipum þar sem krafa er um frystingu niður undir -40°C en þó er hægt að spara raforku með samsetningu hefðbundinnar kæliþjöppu og ísogsvarmadælu. Samband eimsvalahitastigs og uppgufunarhita (í eimara) við ólíkt hitastig varmauppsprettu (glatvarma) sést á mynd 27.



Mynd 27. Samhengi uppgufunarhitastigs og hitastigs varmagjafa og kælivatns í ammóníaks/vatns ísogsvarmadælum (mynd frá Colibri b.v., www.colibri-bv.com).

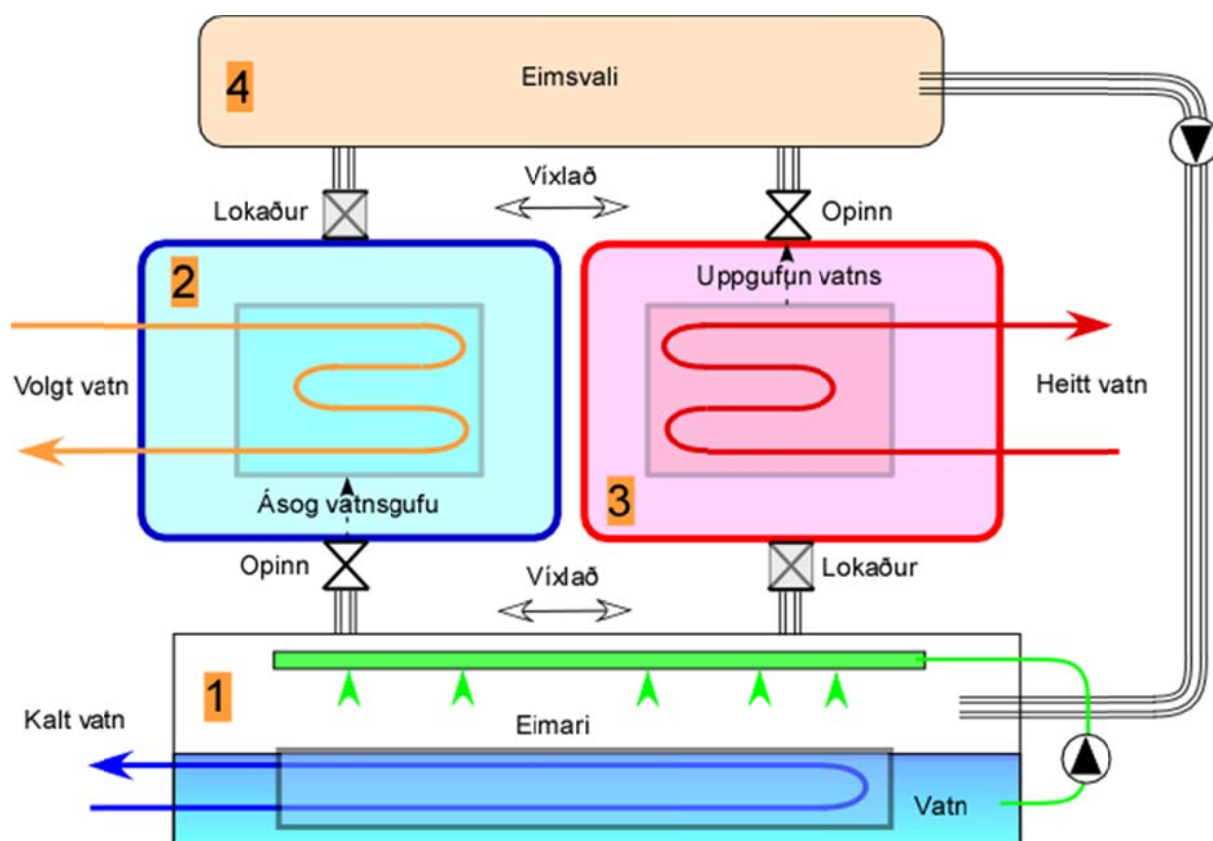
7.2 Ásogsvarmadælu (adsorption)

Ásogsvarmadælu má lýsa með svipuðum hætti og ísogsdælu en í stað vökvalausnar er fast yfirborð sem vinnslumiðill á gasformi sest á. Varminn sem knýr hringrásina (hér glatvarmi) er notaður til að losa vinnslumiðilinn aftur frá fasta efninu. Dæmi um vinnslumiðil sem nýtist í frystihringrás, t.d. til ísgerðar, er metanól og hið fasta efni sem metanólið sest á er fínkornótt kolefni (activated carbon). Almenn hefur fasta efnið þann eiginleika að vera holótt og mynda e.k. möskva sem gasið getur sveimað um og lauslega bundist yfirborðinu. Algengt er að nota vissar gerðir zeólíta (álkísilsteindir með alkalímálmum), sérstaklega þegar gleypa þarf vatn eða ammoníak. Veikir rafkraftar halda gasefninu að yfirborði. Varmaorka losnar úr læðingi þegar gasið sest á yfirborð og hana þarf að losna við með kælingu. Varma þarf til að losa gasefnið aftur af yfirborðinu, hér glatvarma eins og áður sagði.



Mynd 28. Teikning vinstra megin af einni af fjölmörgum gerðum zeólita sem sýnir samtengd holrými sem gas með svipað þvermál og vídd opanna getur sveimað um. Myndin fékkst frá NASA Galleries, Marshall Image Exchange (MIX), <http://mix.msfc.nasa.gov/>. Hægra megin er pakki með Silica-geli sem er mjög algengt þurrkefni, framleitt úr kísilsýru.

Ásogsferlið í varmadæluhringrás er ekki samfellt því að fyrst þarf gasið að loða við yfirborðið og svo þarf að hita þetta sama yfirborð á öðrum stað í varmadælunni. Þetta er leyst ýmist með því að flytja þurrkefnið til eða breyta varmastreyminu. Samfelli er náð með því að færa þurrkefnið milli ásogs og uppgufunarklefa eða með fleiri en einum þurrkklefa og stýra varmastreyminu með lokum (sjá mynd 29 til skýringar). Yfirleitt eru ásogsvarmadælur kælivélar sem útvega kalt vatn, til neyslu eða í iðnaði. Tæknilega er þó hægt að frysta með ásogsferlinu líkt og gert er með ísogsvarmadælum og hægt er að kaupa ásogsfrysti sem fer niður í -25°C .



Mynd 29. Ásogskæliferlið útskýrt (vatn/zeólítar). Vatn gufar upp við lágan hita og undirþrýsting í eimara (1) þar sem varmi er tekinn úr kælivatni, sem þá kólnar enn frekar. Ásog vatns-gufunnar fer einnig fram í undirþrýstum klefa (2) þar sem ásogsvarmi leysist út í volgt vatn og kraninn ofan við er þá lokaður á meðan. Í þurrklefa (3) gufar vatn upp frá þurrkefninu og er það ferli knúð áfram af varmauppsprettu (t.d. glatvarmi). Í eimsvala þéttist vatnið og er dælt aftur í eimara. Þegar stöðu lokanna er víxlað (opinn/lokaður) gufar vatnið upp í klefanum vinstra megin þegar heita vatninu er hleypt á hann og hægra megin hefst þá ásogskerlið með volgu vatnsstreymi (útfærsla AQSOA® varmadælu frá Mitsubishi Plastics).

8 Olíunotkun við raforkuframleiðslu og frýstingu

Olíunotkun fiskiskipaflota Íslands er um 30% af heildarolíunotkun landsmanna. Flotinn notar um 260 milljónir lítra árlega af olíu, nánast alfarið gasolíu (dísil). Þar af fara um 35 milljónir lítra í raforkuframleiðslu.

8.1 Mögulegur ávinningur bættrar varmanýtingar

Þar sem olíueyðslutölur frá frýstitogaranum Brimnesi RE 27 fengust var gerð athugun á samsetningu glatvarma þar um borð og voru til þess notaðar meðaltalstölur varmajöfnuðar úr athugun í vélarrúmshermi. Meðaltöl voru tekin frá 97%–65% álagi að báðum álagsgildunum meðtöldum.

Þar sem Brimnes brennir flotaolíu (MDO) er neðra brunagildi sett 42.700 kJ/kg

Notaðar voru meðaltalsolíueyðslutölur frá árinu 2009.

Tafla 2. Yfirlit olíunotkunar og varmadreifingar á dag á Brimnesi árið 2009.

Olíunotkun að meðaltali 2009	l/dag	14012
Olíunotkun að meðaltali 2009	kg/dag	11490
Eðlismassi olíu	g/l	0,82
neðra brunagildi	kJ/kg	42700
Heildarorka á dag í eldsneyti	kJ/dag	490633217
Heildarorka á dag í eldsneyti	kWh	136287
	Meðaltal varmajöfnuðar	kwh Pr.dag
Kælivatn HT strokkakæling	11,7%	15977
Kælivatn HT skolloftskæling	7,0%	9585
Kælivatn LT	4,7%	6471
Afgas Heild	26,2%	35669
Afgas nýtanlegt	15,8%	21543
Ásafl	48,1%	65515
Geislun og önnur töp	2,3%	3071
Samtals	100,0%	136287

Tekin voru saman dagsmeðaltöl afls og orku fyrir glatvarma og núverandi nýtingu¹⁴ ásamt ásafla

Tafla 3. Dagsmeðaltöl afls og orku á Brimnesi árið 2009.

Afl og orka	KW meðal afl pr.dag	kWh pr. dag
Hitun ofl	218	5220
Eimari	511	12254
Afgangs afl og orka Kælivatn HT	337	8087
afgangs afl og orka Afgas nýtanlegt	898	21543
Ásafl	2730	65515

Mat á þremur mögulegum óháðum nýtingarleiðum eru sýnd í töflu 4. Athugið að orkan sem gefin er upp fyrir ísogs- eða ásogskerfi er varmaflutningsorka en ekki raforka. Gert er ráð fyrir 95% nýtni í varmakerfum.

Tafla 4. Mat á mögulegum nýtingarleiðum.

Möguleg nýting afgangsglatvarma	Nýtingarleið	COP	Meðal afl	kWh pr.dag
afgangs afl og orka Afgas nýtanlegt	Ísogs eða ásogskerfi	0,5	426	10233
afgangs afl og orka Afgas nýtanlegt	ORC kerfi	0,1	85	2047
Kælivatn HT	ORC kerfi	0,07	22	538
Töp		Nýtni		
Nýtni varmakerfa		0,95		

Þar sem nýtnistuðull frystipressukerfa (COP¹⁵) getur verið mismunandi er valið að setja þrjú tilfelli fyrir mögulegan olíusparnað vegna ísogs- eða ásogskerfa (sjá töflu 5). Einnig er lagt mat á mögulegan olíusparnað ORC-kerfis á afgasi og kælivatni.

¹⁴ Tölur fyrir hitun og eimara eru meðaltalstölur úr athugun í vélhermi.

Tafla 5. Sparnaður vegna ísogs- eða ásogskerfis.

Ísogs eða ásogskerfi	COP pressukerfis	KW meðalafli /dag	kWh/dag	olíusparnaður kg/dag	Lítrar/dag
Rafafl pressukerfis sem sparast	2	213	5116	931	1136
Rafafl pressukerfis sem sparast	2,5	171	4093	745	908
Rafafl pressukerfis sem sparast	3	142	3411	621	757
Oliúnotkun g/kWh	182				
ORC kerfi	Kwh/dag	olíusparnaður kg/dag	Lítrar/dag		
afgangs afl og orka Afgas nýtanlegt	2047	372	454		
Kælivatn HT	538	98	119		

Samantekt sparnaðarleiða er í töflu 6.

Tafla 6. Samantekt á mögulegum leiðum til olíusparnaðar.

Heildarolíusparnaður 1 ár	Úthaldsdagar 2009	330
Ísogs eða ásogskerfi	COP	Lítrar pr. ár
Rafafl pressukerfis sem sparast	2	374.747
Rafafl pressukerfis sem sparast	2,5	299.798
Rafafl pressukerfis sem sparast	3	249.832
ORC kerfi		
afgangs afl og orka Afgas nýtanlegt		149.899
Kælivatn HT		39.390
Heildarolíúnotkun 2009	4.624.121	Lítrar

Í töflu 6 má sjá að mesti sparnaðurinn næst með ísogs- eða ásogskerfi til nota við frystingu. Þó skal hafa þann varnagla að ekki er víst að fari saman framboð á glatvarma til frystingar og frystipörf en gæti þó ávallt nýst að hluta með núverandi pressukerfi. Einnig er ljóst að þessi kerfi eru allnokkuð stór um sig og því gæti verið erfiðleikum bundið að koma þeim fyrir í eldri skipum.

ORC-kerfi til að nýta afgangsvarmann er kostur sem er þess virði að kanna betur þar sem sumar útfærslur sem eru í boði eru breyttar skrufupressur sem eru þá notaðar sem aflagjafi og ætti þá umfangið að vera svipað og á sambærilegri frystipressu, þ.e.a.s með svipuðu mótorafl. ORC-kerfi á kælivatni er sísti kosturinn þar sem reikna má með svipuðu innkaupsverði og á ORC-kerfi fyrir afgang en mun verri nýtingu.

Afli Brimness á árinu 2009 var 7874¹⁶ tonn af frosnum afurðum sem gerir um 24 tonn á dag. Samkvæmt athugun sem Emil Ragnarsson (2006) gerði um borð í vinnsluskipum Granda hf. var meðalraforkunotkun frystikerfis 242 kWh á fryst tonn. Í töflu 5 kemur fram að raforkunotkun pressukerfis á Brimnesi miðað við COP=2 er 5116 kWh/dag.

Til að setja þessar stærðir í samhengi mundi þurfa 5774 kWh af raforku á dag til að frysta 24 tonn á dag sem var meðalaflinn á dag árið 2009. Af þessu má áætla að ísogskerfi gæti að jafnaði uppfyllt frystipörf skipa á stærð við Brimnes.

¹⁵ COP=Coefficient of Performance

¹⁶ http://brimhf.is/brim/upload/images/nyjar_myndir/frettir2011/aflaverd2010a.jpg (27.2.2011)

Til að setja þessa stærð í samhengi við olíunotkun gæti mögulegur eyðslustuðull verið 182 g/kWh¹⁷ sem myndi þá gera 44,044 kg af olíu pr. tonn af frosnum afurðum eða 0,044 kg olíu pr. kg af frosnum afurðum. Olíunotkun vinnsluskipa er talin vera 0,432 kg olíu pr. kg fisk (Brynhildur Davíðsdóttir o.fl., 2009, tafla 4-30, bls. 116).

9 Niðurstöður og staðan í dag

Tæknilega er mögulegt að nýta glatvarma í fiskiskipum til kælingar, frystingar eða rafmagnsframleiðslu. Tæknin er þekkt og margreynd þótt lítið hafi farið fyrir notkun ORC-kerfa og ísogs- og ásogskerfa um borð í skipum hefur áhugi útgerða um allan heim á þessum möguleikum aukist og eru t.d Kínverjar framarlega í þróun ásogskerfa til notkunar um borð í fiskiskipum til ísframleiðslu og kælingar. Fyrirtækið GEA Grenco hefur unnið að þróun ísogskerfa fyrir skip og hafa gert einn samning um uppsetningu á slíku kerfi en vegna gjaldþrots skipasmíðastöðvarinnar stöðvaðist það verkefni. Áætlaður olíusparnaður vegna frystikerfisins er sagður um 200.000 lítrar¹⁸ og minnka raforkunotkun um um 80%. Einnig hefur fyrirtækið Thermal Frost¹⁹ í Kanada verið að þróa ásogskerfi fyrir fiskiskip í samvinnu við aðila þar í landi.

Varðandi ORC-kerfin þá er einhvers að vænta af samstarfi Turboden og Wärtsilä eins og áður hefur verið nefnt. Nýlega hefur sænska fyrirtækið Opcon undirritað samstarfsamning við MAN Diesel sem er stór vélaframleiðandi²⁰. Einnig hefur verið nokkur þróun í framboði á forsmíðuðum ORC-einingum frá ýmsum aðilum þar sem vélbúnaður kemur samansettur og tengist við hitagjafa og kælingu og er boðið upp á einingar í nokkrum stærðarflokkum.

Helsta vandamál varðandi glatvarmanýtingu um borð í fiskiskipum er það að framboð glatvarmans er óreglulegt, þ.e.a.s það er háð álagi á aðalvél sem fylgir veiðiaðgerðum og veðri. Einnig eru skipin mismunandi að aldri og misvel í stakk búin til að bæta nýtingu glatvarma. Hins vegar fer olíuverð hækkandi og stærri framleiðendur vélbúnaðar eru nú þegar farnir að þróa aðferðir til bættrar varmanýtingar.

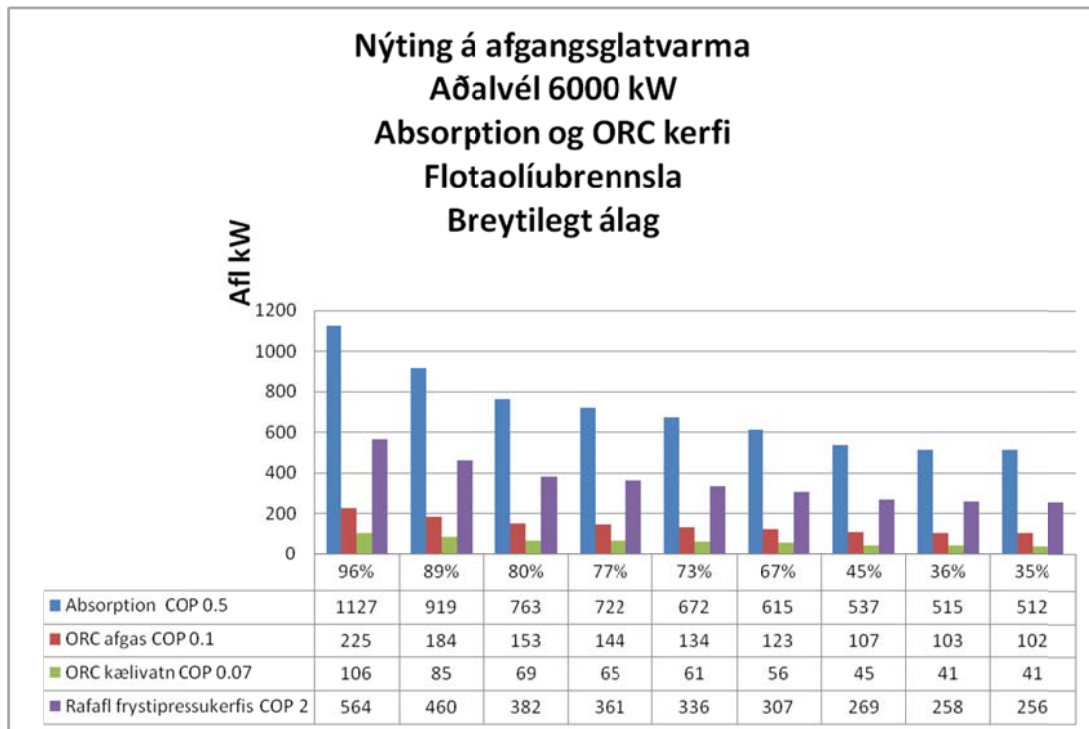
Besta leiðin er væntanlega að mæla þann varma sem er nýtanlegur um borð í skipunum yfir eitthvert tímabil, t.d 1 ár, og meta hagkvæmni bættrar nýtingar út frá þeim mælingum. Möguleg nýting glatvarma er sett fram á myndrænan hátt fyrir 6000 kW aðalvél á mynd 30.

¹⁷ Meðaltals eyðslustuðull 97–65% álag úr athugun í vélhermi.

¹⁸ http://www.gearefrigeration.com/en-us/News-and-Media/news/Pages/CSGrenco_Grenco-absorption-refrigeration-system-marine.aspx (27.2.2011)

¹⁹ www.thermalfrost.com

²⁰ http://opcon.se/web/Pressreleaser_1_2.aspx?rid=214753 (27.2.2011)



Mynd 30. Möguleg nýting á glatvarma 6000 kW aðalvélar með breytilegt álag (flotaolía).

Um borð í frystiskipi er hægt að velja á milli nýtingar afgangsglatvarma beint til frystingar eða til raforkuframleiðslu. Nýting glatvarmans frá afgangi er háþyrkuð ef hann er nýttur beint til frystingar. Næsti kostur gæti verið að framleiða raforku með ORC-vél og nýta til þess afgangvarma en einnig væri hægt að nýta kælivatn til raforkuframleiðslunnar en þá með minni nýtni.

Ljóst er að glatvarmi um borð í fiskiskipum er nýtanlegur tæknilega en mögulegar útfærslur verður að aðlaga hverju skipi. Hagkvæmni þarf einnig að skoða í hvert sinn.

10 Heimildaskrá

- Aage Bredahl Eriksen, Søren Gundtoft og Aage Birckjær Lauritsen (2004): *Termodynamik Teoretisk grundlag, praktisk anvendelse*. 1. udgave. Ingeniørenbøger København ISBN 87-571-2221-0.
- Brynhildur Davíðsdóttir, Ágústa Loftsdóttir, Birna Hallsdóttir, Bryndís Skúladóttir, Daði Már Kristófersson, Guðbergur Rúnarsson, Hreinn Haraldsson, Pétur Reimarsson, Stefán Einarsson og Þorsteinn Ingi Sigfússon (2009). *Möguleikar til að draga úr nettóútspreymi gróðurhúsalofttegunda á Íslandi*. Skýrsla Sérfræðinganevndar. Umhverfisstofnun.
- Emil Ragnarsson (2006). Orkubúskapur vinnslutogara – rannsókn í togurum Granda. *Ægir*, 99 (2), 2006, 48–51.
- Fernández-Seara, J., Vales, A. og Vázquez, M. (1998). Heat recovery system to power an onboard NH₃-H₂O absorption refrigeration plant in trawler chiller fishing vessels. *Applied Thermal Engineering* 18, 1189–1205.
- Guðbergur Rúnarsson (2001). *Orkunotkun og fiskveiðar*. Fiskifélag Íslands. Erindi flutt á Orkuþingi 2001.
- He, Y., Hong, R. og Chen, G. (2005). Heat driven refrigeration cycle at low temperatures. *Chinese Science Bulletin*. Vol. 50. No. 5, 485–489.
- Knak, C. (1987a). *Skibsmotorlære Tegninger*. 17. Udgave. GEC Gads forlag København 1987 ISBN 87-12-01794-9.
- Knak, C. (1987b). *Skibsmotorlære Tekst*. 17. Udgave. GEC Gads forlag København 1987 ISBN 87-12-01793-0.
- Popular Mechanics, júní 1951.
- Wang, S. G. og Wang, R. Z. (2005). *Recent developments of refrigeration technology in fishing vessels*. *Renewable Energy*. 30, 589–600.