

8ui15097

Ljósveiðar: Orkusparnaður í togveiðum

Lokaskýrsla

Verkefni styrkt af Orkusjóði

Geir Guðmundsson
Kristján Leósson
Maí 2017



Nýsköpunarmiðstöð
Íslands

Inngangur

Sumarið 2015 styrkti Orkusjóður rannsóknarverkefni til að mæla orkunotkun við veiðar með Ljósörpu, og bera saman við hefðbundna botnvörpu. Verkefnið var rekið samhliða almennum veiðitilraunum með Ljósörpu, sem styrkar voru af Tækniþróunarsjóði og AVS Rannsóknasjóði í sjávarútvegi.

Mat á orkunotkun skiptist í þrjá megin hluta,

- Öflun viðmiðunargagna, samantekt og niðurstaða útreikninga
- Veiðitilraunir með Ljósörpu og söfnun raunupplýsinga um orkunotkun við veiðar
- Úrvinnsla og útreikningar

Markmiðið var að fara í þrjá 5 daga veiðileiðangra á tímabilinu 16. sept. 2015 – 15. sept. 2016. Hins vegar náðist ekki að fara í nema í tvo leiðangra á tímabilinu, samtals 6 daga veiðidaga. Auk þess var eingöngu veitt á grunnslóð, þar sem þéttleiki fiska er lítill. Því er erfitt að meta orkunotkun á aflaeiningu út frá þeim mælingum sem gerðar voru. Í október 2016 og maí 2017 var efnt til frekri tilraunaveiðar og var mælingum haldið áfram til að meta aflþörf ljósörpunnar við tog. Tekin var ákvörðun um að bíða með útgáfu lokaskýrslu vegna ofangreinds verkefnis þar til tilraunaveiðum í maí 2017 væri lokið.

Öflun viðmiðunargagna

Fræðilegur grunnur

Orkunotkun togveiðiskipa á veiðum má skipta í þrennt.

- Orku til að knýja skipið áfram og yfirvinna loft- og vökvamótstöðu þess sjálfs,
- Framleiðslu raforku fyrir ljós og ýmsan raf- og vélbúnað, og loks
- Togspyrna frá skipskrúfu til yfirvinna togmótstöðu veiðarfæris.

Aðalvél skipsins snýr skipsskrúfunni sem knýr skipið áfram og yfirvinnur þannig bæði mótstöðu skipsins og veiðarfærisins. Ljósavélar framleiða svo rafmagn sem þarf fyrir tækjabúnað skipsins, þar á meðal togspil fyrir veiðarfærið, eða þá að rafall er tengdur beint við aðalvél skipsins.

Algengast er að aðalvélar og ljósvélar togveiðiskipa noti skipagasolíu (MGO) eða flotadísilolíu (MDO), en einnig er nokkuð um að þær brenni svartolíu, sem er ódýrara eldsneyti, en hefur óhreinni og meira mengandi útblástur (meiri brennistein). Tæknilega er ekkert því til fyrirstöðu að brenna lífdísilolíu að fullu eða í bland, eins og einstaka útgerðir gera þegar í dag. Í framtíðinni er ekki ólíklegt að skip muni í auknum mæli brenna blöndu af skipaolíu og metanóli, og eða DME, og fengist þá hreinni bruni.

Sama hverslags eldsneyti er brennt, þá geta varmavélar, hvort sem er sprengihreyflar eða gastúrbínur, aldrei umbreytt varmaorkunni að fullu yfir í vélarorku án töluverðs orkutaps í formi varma. Oftast er orkunýtingin í nýrri vélum í kringum 40% þ.e. vélarafli sem hlutfall af heildar varmaafli eldsneytis, og er það nálægt þeim eðlisfræðilegu takmörkum á hámarks nýti (Carnot). Afgangurinn af orkunni fer í að hita umhverfið, en hluta af þeim varma er hægt að nýta til að halda skipinu heitu að innan og til að hita neysluvatn. Einnig eru þekktar tilraunir með að nýta afgangsvarmann til að drífa svokallaðar aðsogs kælivélar (absorption refrigerator) til að kæla aflann og þannig spara raforku sem ella færi í að drífa þjöppur í hefðbundnum kælivélum. Sú tækni er þó alls ekki almenn.

Vélaraflið út á skrúfuöxulinn nýtist svo einnig bara að hluta til í gagnlega togspyrnu til að drífa skipið áfram, eða að jafnaði minna en 60%. Töluverð orkutöp verða í skrúfunni þar sem umtalsverður hluti aflsins fer í að snúa vatninu, söga það til skrúfunnar meðfram skrokk skipsins og að þrýsta vatninu til hliðar, sem nýtist hvorki til að knýja skipið áfram né til að toga veiðarfærið. Hönnun skipsskrúfa og útreikningar á afli og nýtni þeirra, er sjálfstæð fræðigrein sem veður farið nánar út hér.

Til að draga úr eldsneytisnotkun við togveiðar er því einkum hægt að :

- bæta straumfræðilega hönnun skipsins til að draga úr mótstöðu þess,
- bæta hönnun skrúfunnar til að bæta orkunýtni skrúfunnar, og loks
- draga úr mótstöðu togveiðarfæris, án þess að minnka veiðigetu þess.

Takmarkað er hversu mikið hægt er að auka orkunýtni hefðbundinna nútíma varmaafvéla, og því er ekkert horft á það í þessu verkefni. Sömuleiðis er mögulegt að draga úr raforkunotkun í skipum með t.d. LED lýsingu og öðrum orkusparandi búnaði. Ef miðað er við að hátt í fjórðungur olíunotkunar fari í að framleiða rafmagn fyrir skipið, og hægt væri að ná raforkunotkun niður um þriðjung með nýjum rafbúnað, þá yrði það 8% olíusparnaður sem er þó nokkuð.

Fiskiskip eru hönnuð til að endast í 3 – 4 áratugi og því eru breytingar á skipaflotanum hægar og ný sparneytnari skip bætast hægt í flotann. Þróun í skipsskrúfum hefur verið nokkur, en menn horfa í dag helst til þess að stækka þvermál skrúfa ásamt því að minnka breidd blaðanna og láta þær snúast hægar. Stærri skrúfur kalla á umtalsverðar breytingar á skipum og því er oftast ekki skipt um skrúfu eftir að skipið hefur verið smíðað. Stærri skrúfur kalla á meiri djúpristu og því þarf í sumum tilfellum að dýpka hafnir. Menn binda því mestar vonir við að geta dregið úr mótstöðu togveiðarfærisins, en þar eru líka fræðilega takmörk hversu mikið er hægt að draga úr mótstöðu miðað við núverandi grunnhönnun veiðarfæra. Mikið hefur þó áunnist síðustu áratugi og töluverð þekking byggst upp á hönnun togveiðarfæra.

Hönnun Ljósörpunar er grundvallatriðum önnur en núverandi togveiðarfæra. Ljósvarpan er mun minni, notar hvorki toghlerar né grandara, og auk þess snertir Ljósvarpan ekki sjávarbotninn. Því er mótstaða Ljósörpu talsvert lægri en hefðbundinnar togörpu. Hins vegar breytist mótstaða skipsins sjálfs lítið sem ekkert við að skipta úr hefðbundinni togörpu yfir í ljósörpu. Þess vegna er eftir sem áður mikilvægt að þekkja mótstöðu og orkunotkun skipsins sjálfs, óháð veiðarfæri þess, til að geta metið heildarorkusparnað ljósörpu fram yfir hefðbundnar togörpur. Einnig þarf að þekkja nýtni skrúfunnar til að getað metið togaflíð sem skipið þarf til að draga veiðarfærið.



Frumgerð ljósörpu í maí 2016

Mótstaða skipa

Siglingar mótstöðu skipa má skipta í þrjá þætti.

- Núningsviðnám sjávar við skipsskrokk (e. frictional resistance)
- Annað viðnám skrokks vegna öldmyndunar og hringiðustreymis (e. residual resistance)
- Loftmótstaða skips vegna siglingar (e. air resistance)

Auk þess getur veður, sjógangur og sjávarstraumar haft töluverð áhrif á mótstöðu skipsins, að viðbætti auka mótstöðu sem skipsskrúfan veldur á skrokkinn þegar hún sagnar til sín sjó meðfram hliðum skrokksins og vex sá þáttur við tog.

Núningsviðnám

Vökví sem streymir á hlut veldur þrýstingi á hlutinn skv. lögmáli Bernoulli. Þrýstingurinn er háður eðlismassa vökvans, ρ , sem er í þessu tilfelli sjór, og streymishraða vökvans V í öðru veldi, í þessu tilfelli siglingarhraða skipsins:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V^2 \quad (\text{lögmál Bernoulli})$$

Þetta er sá þrýstingur sem vökvinn verkar hornrétt á sléttan flöt þegar flöturinn er færður með hraðanum V í gegnum vökvann. Núningskrafturinn sem vökvinn veldur á flötinn er jafn þrýstingnum margaldaður með flatarmáli hans, hornrétt á hreyfinguna og gegn henni.

Skip eru hins vegar straumlínulöguð í siglingastefnuna, en núningsmótstaða þess er engu að síður háð yfirborðsfleti skipsins neðansjávar og siglingarhraðanum í öðru veldi.

Þegar skip sem siglir sveigist sjórinn í kring um það. Sjórinn sem er allra næst skipsskroknum fer á hreyfingu með sama hraða og skipið. Eftir því sem fjær dregur yfirborði skipsskrokksins minnkar hraði sjávarins undir hann hreyfist ekkert. Þykktin á þessu lagi sjávar sem er á hreyfingu samhliða skipinu, er minnst við stefni skipsins, en vex eftir því sem nær dregur skut þess. Núningsmótstaðan skapast við að koma þessu vökvalagi næst skipinu á hreyfingu.

Eins og áður sagði er núningsmótstaðan línulega háð blautu yfirborði skipsins og hraða þess í öðru veldi. Núningsmótstaðan, R_F , er því fundinn með eftirfarandi:

$$R_F = \frac{1}{2} * \rho * A_s * C_F * V^2$$

Þar sem ρ er eðlismassi sjávar 1.027 kg/m^3 , A_s er blautt yfirborð skipsins (e. wet surface), C_F er víddarlaus stærð sem er einkennandi fyrir viðkomandi skip og V er siglingarhraði skipsins. Segja má að C_F sé leiðréttingarstuðull eða hlutfall milli raun núningsmótstöðu og reiknaðrar þrýstimótstöðu miðað við að allur blautur flötur skipsins væri hornrétt á siglingastefnuna. Þó svo að stuðullinn C_F sé háður formi

skipsins, þá er hann líka háður því hversu slétt blauta yfirborðið er. Þörungar og hrúðurkarlar eiga það til að festast á yfirborði skipsins neðansjávar og eykur hann mjög núningsmótstöðu skipsins (C_F hækkar). Eins flagnar botnmálning af og yfirborð ryðgar. Því er mikilvægt að botnhreinsa skip reglulega og bera á botninn góða botnmálningu sem hindrar þörungavöxt (e. anti-fouling paint). Aukning í hrjúfleika yfirborðs skipsins um 25 μm getur aukið núningsmótstöðu um 2 -3% og því til mikils að vinna að halda yfirborðinu hreinu og sléttu.

Afgangs sjávarviðnám (e. residual resistance)

Þegar skipið siglir, ryður það vatni frá sér og myndar öldur í kjölfarinu. Orka fer í að mynda þessa öldur og er það stærsti hluti afgangsviðnámsins, en einnig myndast hringiður fyrir aftan skipið og því meiri hringiður myndast ef skutur þess er ekki straumlínulagaður aftur, þ.e að breidd skipsins minnki jafnt og þétt niður í ekkert. Á skuttogurum er hringiðustreymi væntanlega meira en hjá t.d. frakt flutningaskipum, því skutur skuttogara þarf að vera breiður vegna skutrennunnar.

Mótstaða vegna öldumyndunnar vex í öðru veldi við siglingarhraðann í byrjun en eykst svo í hærra veldi eftir því sem nær dregur svokölluðum hámark siglingarhraða, en það er áður en skipið fer að sigla fram af þeim öldum sem það myndar sjálft. Willam Froude var breskur skipaverkfræðingur og vísindamaður á sviði vöквааflsfræði sem rannsakaði mótstöðu skipa á miðri 19. öld. Froude fann út að hagkvæmur hámarks siglingarhraði skips er sá hraði sem myndar öldur með sömu öldulengd og sem nemur lengd skipsins í sjónum frá stefni til skuts. Ef siglt er hraðar, þannig að farið er fram úr öldunni, þá snar eykst mótstaðan. Froude fann út að skynsamlegur hámarkshraði skips er háður kvarðarótin af lengd skipsins við sjávarlínu. Froude skilgreindi tölu sem kallast Froude fasti. Þegar siglingarhraðinn fer yfir margfeldi fastans og kvarðarótarinnar af lengd skipsins, þá vex mótstaðan umtalsvert. Þennan fasti má nálga sem töluna 2,5 sem síðan er margfölduð með kvarðarótinni af vatnslínulengd skipsins í metrum. Fæst þá út æskilegur hámarks siglingarhraði í sjómílum á klukkustund (hnútum).

Fyrir hægán siglingarhraða (2 – 4 hnúta), sem er algengur toghraði, þá er heildar mótstaða skipsins (án togveiðarfæris) nær eingöngu núningsmótstaða skipsskrokksins. Eins og áður hefur komið fram þá vex núningsmótstaðan í öðru veldi við hraða. Knúningsaflið sem þarf til að drífa skipið áfram á jöfnum hraða er fengið sem margfeldi siglingarhraða og heildarmótstöðu þess. Út frá því má álykta að togari ætti að þurfa fjórfalt meiri orku/eldsneyti á hverja siglda sjómílu fyrir hverja tvöföldun í toghraða. Hér er bara verið að tala um orkuna til að yfirvinna mótstöðu skipsins sjálfs, en togveiðarfærið hefur oftast hlutfallslega margfalt hærri mótstöðu, en nánar verður fjallað um það síðar.

Loftmótstaða

Loftmótstaða virkar einnig gegn framdrifi skipsins, en andrúmsloft er 800 – 900 sinnum léttar en sjór og því er þessi þáttur heildarmótstöðunnar lítill, sérstaklega á hægri siglingu í logni. Ef sterkur vindur blæs hins vegar á móti þá bætist það við, og loftmótstaðan verður þá háð siglingarhraða og mótvindi samanlögðum í öðru veldi. Að öðru leiti lýtur loftmótstaða sama lögmáli og núningsmótstaða skipsins í sjónum. Loftmótstaðan, R_L , er því fundinn með eftirfarandi:

$$R_L = \frac{1}{2} * \rho * A_H * C_H * V^2$$

Þar sem ρ er eðlismassi loftis 1,225 Kg/m³ við 15°C, A_H er ofanvarp þess hluta skipsins sem stendur upp úr sjónum og snýr hornrétt á siglingastefnuna, C_H er víddarlaus stærð sem er einkennandi fyrir viðkomandi skip og V er siglingarhraði skipsins í logni, eða siglingarhraði + þáttur vindvektorsins sem er gegn stefnu skipsins.

Áhrif veðurs og sjólags

Vindur, sjávarsstraumar og sérstaklega öldur geta einnig hafa töluverð áhrif á heildar siglingarmótstöðu skipa. Á norðurslóðum þar sem notkun togveiðarfæra er algeng, eru válynd veður og öldur bæði algengar og hvað öflugastar í heimi. Birt hafa verið viðmiðunargildi um áætlaða auka mótstöðu flutningaskipa á Norður Atlantshafi vegna veðurs og sjólags, sem er að meðaltali frá 25% (sumar) upp í 35% (vetur) fyrir stór skip. Dæmi eru hinsvegar um yfir 100% aukning í mótstöðu vegna veðurs og sjólags á vissum siglingaleiðum. Þessi áhrif eru hlutfallslega meiri á smærri skip sem taka bæði og vind hlutfallslega meira miðað við stærð. Engar mælingar eða greiningar hafa þó verið birtar sem staðfesta þessi viðmiðunargildi.

Í ljós þess hversu mikil áhrif veður og sjór geta haft á heildar siglingamótstöðu skipsins, og þar með olíunotkun, þá er ljóst að mælingar á olíunotkun getur sveiflast mjög mikið þó sama trollið sé togað á sama toghraða og yfir samskonar botn.

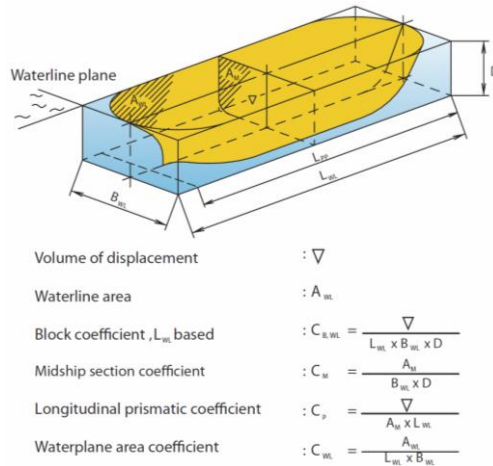
Aflþörf togskipa

Knúningsafl skips þarf að vera nægjanlegt til að yfirvinna mótstöðu þess á siglingu á hagkvæmasta hámarks-siglingarhraða skipsins í öllum veðrum. Auk þess þarf aflið að vera nægjanlegt til að draga togveiðarfærið á æskilegum toghraða fyrir þær tegundir fiska sem veiða á. Knúningsaflíð sem skipskrúfan þarf að gefa er því margfeldi siglingarhraða skipsins og heildar mótstöðu þess á þeim siglingarhraða. Áður hefur verið farið í þá mótstöðu skipsins, sem eru núningsmótstaða, mótstaða vegna öldu og iðustreymis og svo loftmótstað. Til viðbótar kemur svo að skrúfan sjálf veldur viðbótar viðnámi skipsins vegna þess að hún þarf að draga, eða öllu heldur söga sjóinn að sér, til að þrýsta honum svo aftur fyrir sig. Sjórinn sogast inn í skrúfunu á meiri hraða en skipið sjálft siglir á. Vandamálið er að skrokkur skipsins er fyrir skrúfunni og sjórinn þarf því að fara meðfram hliðum skipsins og veldur það auknu núningsviðnámi. Þáttur skrúfunnar getur verið umtalsverður af heildar mótstöðu skipsins.

Algengur toghraði er oftast á bilinu 2 – 4 hnútar. Á þeim hraða er mótstaða skipsins mjög lítil miðað við hámarks siglingarhraða eða vel innan við 10% af mótstöðu á hámarks siglingarhraða. Mismunurinn á hámarksafli skipsins og þess hraða sem þarf til að yfirvinna mótstöðu skipsins á toghraða er það afl sem skipið getur notað til að draga togveiðarfærið. Veiðafærin eru hönnuð fyrir hvert skip og er þá oftast miðað við að fullnýta það afl.

Afl skrúfu

Vélarafli aðalvélar er oftast mælt sem afl út á öxul og kallað bremsuafli vélarinnar (e. brake power). Töþ verða síðan í gír og legum skrúfuöxulsins. Aftap út á skrúfunu er 5 – 10%. Mest af aflinu tapast samt í sjálfri skrúfunni þar sem aðeins 30 – 40% af vélaraflinu umbreytist til togspyrnu sem yfirvinnur heildarmótstöð skipsins og veiðarfærinsins. Lögung skipsins hefur einnig áhrif á nýtni skrúfu og lækkar nýtnin oftast eftir því sem skipið er kubbsleggra, þ.e. hlutfall þess rúmmáls sem skipið ryður frá sér, deilt með margfeldi vatnslínu lengdar skipsins, djúpristu þess og mestu breiddar nálgast einn. Þetta hlutfall er einnig nefnt á ensku „Block Coefficient“. Algengt er að lögung togara sé kubbslegri en skipa almennt.



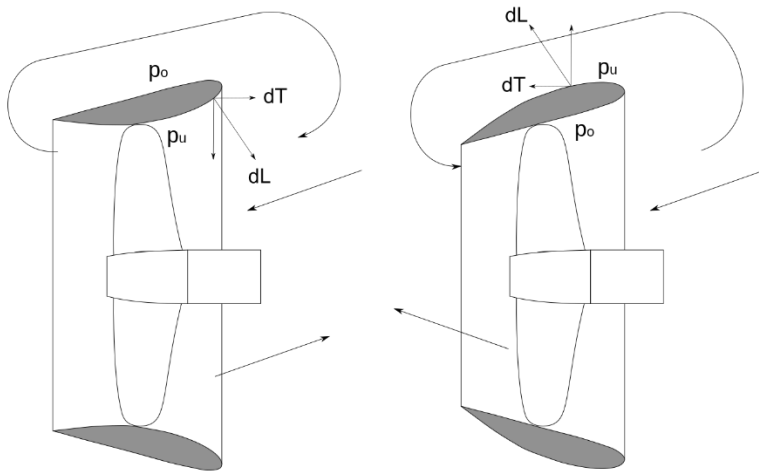
Ýmsar stærðir sem lýsa skrokk skipa. Heimild: *Basic principles of propulsion, MAN Diesel & Turbo, rit á vefsíðu MAN.*

Hönnun skrúfunnar hefur einnig áhrif á nýtni hennar. Almennt eykst nýtnin með auknu þvermál skrúfunnar sem hlutfalli af heildarflatarmáli blaðanna. Færri og lengri skrúfublöð auka þannig nýtnina. Hins vegar eru takmörk á því hversu löng og mjó/þunn skrúfublöðin geta verið af burðarþolsfræðilegum ástæðum.

Skrúfuhringur (e. Kort nozzle) sem sem hægt er að setja utan um skrúfunu eykur einnig nýtni hennar á lágum siglingarhraða (< 10 hnútum) og er því algengur á togveiðiskipum og dráttarbátum þar sem gefa þarf mikla togspyrnu á hægum hraða til að draga annað skip eða togveiðarfæri. Þverskurðar lögung skrúfuhringja hefur form vængja sem víka út í siglingastefnuna. Sog vatnsins inn í hringinn lækkar þrýsting innann hringins, en þrýstingur fyrir utan hringinn eykst og myndar þannig auka framdrifskraft. Á miklum siglingarhraða verður mótstaða skrúfuhringins hins vegar hærri en framdrifskraftur hringins, og því eru skrúfuhringir gagnlitlir fyrir skip sem sigla að jafnaði á sínum hámarkshraða.



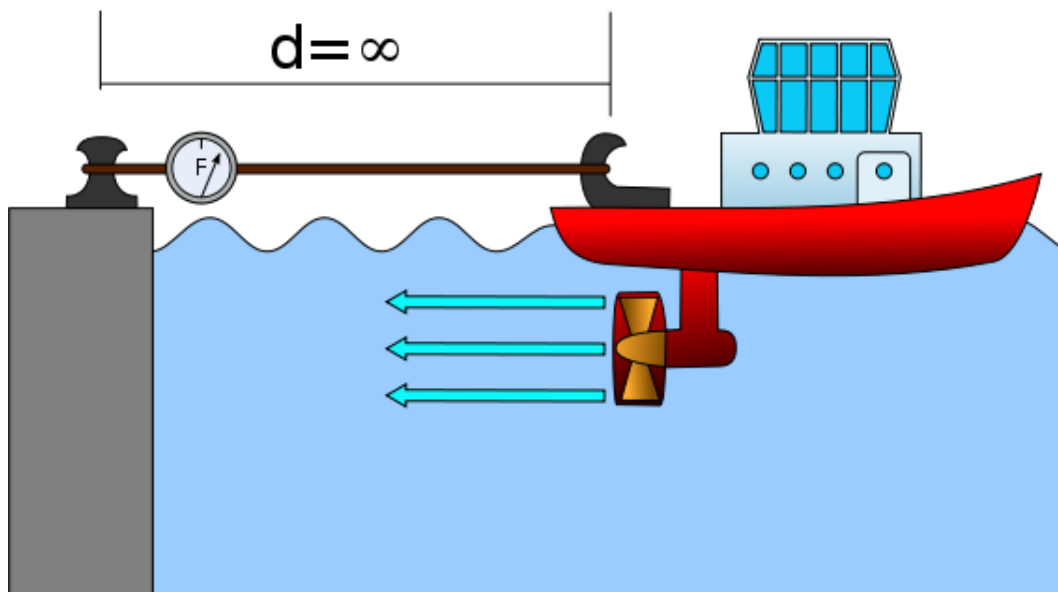
By Frederic Logghe (Maritime photo collection) [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>) or CC-BY-SA-3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)], via Wikimedia Commons



By BoH - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5074450>

Togspyrna skipa

Togveiðarfæri eru hönnuð fyrir hvert einstakt skip. Miðað er við að togspyrnan sem skipið getur gefið á toghraða dugi rétt rúmlega til að yfirvinna mótstöðu togvörpunnar á þeim toghraða. Togspyrna skipa er mæld með svokölluðu bryggjupolla-togprófi (e. Bollard pull test) sem felst í því að setja langa taug frá bryggjupolla yfir í skip og skipið síðan keyrt á fullu afli þannig að það togi í bryggjupollann án þess að skipið hreyfist. Togkrafturinn í tauginni er mældur og skilgreindur sem hámarks togspyrna skipsins. Mikilvægt er að framkvæma prófið þar sem dýpi er nægjanlegt og fjarlægð skips frá bryggju það mikil að enginn auka spyrnuáhrif komi frá bryggjukantinum eða botni. Einnig er mikilvægt að sjólag og veður séu stillt og enginn straumur eða sjávarföll á prófunarstað. Vegna framfara í tölvuhermun er í dag mögulegt áætla hámarkstogspyrnu nokkuð nákvæmlega án þess að þurfa að framkvæma bryggjupolla-togpróf.

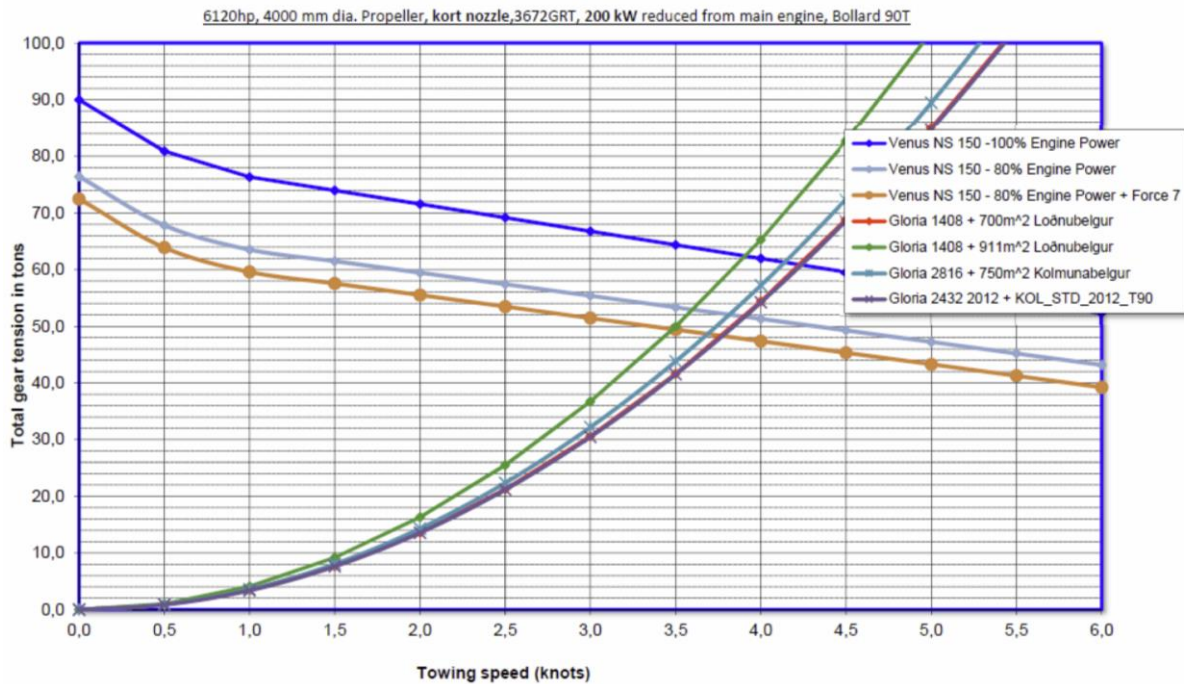


Skýringarmynd sem sýnir bryggjupolla togpróf í framkvæmd.

https://en.wikipedia.org/wiki/Bollard_pull#/media/File:Bollard_pull_idealized-2.svg

Á togveiðum er skipið ekki kyrrt, heldur siglir á 2 – 4 hnútum, allt eftir því hversu hraðsynd sú fisktegund er, sem verið er að veiða. Hluti af togspyrnunni fer þá í að yfirvinna mótstöðu skipsins. Mótstaða skipsins vex í öðru veldi við siglingarhraðann fyrir lágan hraða og mætti því ætla að togspyrnan sem eftir er fyrir veiðarfærið færi síminkandi með auknum hraða. Svo er hins vegar ekki og togspyrnan minnkar nokkuð línulega. Skýringin er sú að þegar skipið siglir, þá eykst flæði sjávar að skrúfunni og því má segja að skrúfan fái aukna togspyrnu, eða réttara sagt að minna af aflinu fari í að soga til sín sjó.

Hér að neðan er graf frá veiðarfæraframleiðanda (Hampiðjan) sem sýnir annars vegar útreiknaða togspyrnu sem fall af siglingarhraða fyrir ákveðið uppsjárveiðiskips (Venus NS 150) fyrir 100% afl og 80% afl frá aðalvél, og svo hins vegar togmótstöðu fyrir nokkrar mismunandi og misstórar flotvörpur af Gloria gerð sem fall af toghraða. Eins og sést, þá fellur togspyrnan nokkuð línulega með auknum siglingarhraða frá 1 – 6 hnútum, en mótstaða veiðarfæranna vex í öðru veldi við toghraðan og sker togspyrnu skipsins í kringum toghraðan 4 hnúta.



Mótstaða veiðarfæra og togspyrna skips sem fall af toghraða. Heimild: Kynningarefni frá Hampiðjuni, Haraldur Árnason, Sjávarútvegsráðstefnan 2016.

Hér hefur hönnun veiðarfærisins tekið mið af því að heildarmótstaða þess á hámarks toghraða, í þessu tilfelli um 4 hnúta, verði rétt undir hámarks togspyrnu skipsins á þeim hraða. Tilhneigingin er að hafa togveiðafærið eins stórt og mögulegt er til að fullnýta afl skipsins og fá þannig mestu mögulega yfirferð veiðarfærisins á tímaeiningu. Þegar veiðarfæraframleiðendum tekst að minnka mótstöðu veiðarfæra með t.d. nettara og sterkar neti, bættri lögun pokans eða betri toghlerum, þá koma iðulega óskir um stærra veiðarfæri sem fullnýtir afl skipsins og viðheldur þannig sömu olíunotkun á sóknartíma. Á móti kemur væntanlega meiri afli á sóknartíma og þar með minni olíueyðslu á aflaeiningu. Þetta er skiljanlegt í ljósi þess að efnahagslegur ávinningur af olíusparnaði á sóknareiningu (minni olíunotkun, en sami afli) er lægri en ávinningurinn af sömu olíunotkun, en meiri afla, og þar með auknum tekjum á móti svipuðum heildar kostnaði (olía, laun, viðhald og fjárfestingarkostnaður), en algengt er að eldsneytiskostnaður sé í kringum 10% -25% af heildar tekjum af veiddum afla.

Mótstaða togveiðarfæra

Hefðbundin togveiðarfæri samanstanda af nokkrum einingum sem allar valda mótstöðu við það að vera dregin í gegnum sjó. Þekking á vökvamótstöðu togveiðarfæra er það góð í dag, að hægt er að reikna út togmótstöðu þeirra nokkuð nákvæmlega á hönnunarstigi og fá niðurstöður sem passa ágætlega við raunmælingar á mótstöðunni.

Mótstaða togveiðarfæra er fyrst og fremst vökvamótstaða. Vökvamótstaðan er í réttu hlutfalli við toghraða vörpunar miðað við sjóinn í öðru veldi. Sjórinn getur verið á hreyfingu miðað við sjávarbotn vegna strauma og taka þarf tala tillit til straumhraða og straumstefnu við útreikninga á vökvamótstöðu togveiðarfærisins. Mótstaðan er skiljanlega hærri þegar togað er gegn straumi en undan.

Ef togvarpa snertir botninn kemur auk þess til núningsmótstaða við botn. Erfiðara er að reikna núningsmótstöðu við botn, en hún er bæði háð snertipyngd veiðarfæris við botn og svo núningsmótstöðustuðli milli botns og veiðarfæris (toghlerar, fótrepji). Með mælingum á stöðu toghlera og hæð höfuðlínu frá botni, er hægt að stýra því að einhverju leiti með togspilinu hversu þungt varpan hvílir á botninum. Núningsstuðull milli botnvörpu og botns er háður eðli og gerð botnsins, þ.e. hversu hrjúfur eða gljúpur botninn er og eins hversu harður eða mjúkur hann er, en það getur verið mjög breytilegt eftir toglóð. Almenn er þó gengið út frá því að núningsmótstaða við botn sé óháð toghraðanum. Ljósvarpan snertir ekki botn, svo núningsmótstaða skiptir ekki máli við útreikninga eða mat á heildartogmótstöðu Ljósörpu og verður því ekki fjallað meira um núningsmótstöðu hér.

Vökvamótstaða


Almennt gildir að vökvamótstaða togveiðarfæra (R_v) er margfeldi af:

- eðlismassa sjávar (ρ),
- þverskurðarflatarmáli veiðarfæra þvert á togstefnuna (A_v),
- mótstöðustuðli sem er einkennandi fasti fyrir viðkomandi veiðarfæri (C_v),
- toghraða vörpu í sjó (toghraða + sjávarstraumhraða í togstefnu) í öðru veldi (V).

$$R_v = \frac{1}{2} * \rho * A_v * C_v * V^2$$

Eðlismassi sjávar er háður seltu og hitastigi, en breytist í raun hlutfallslega lítið sem ekkert. Heildar þverskurðarflatarmál sjálfrar vörpunar í sjó er einnig nokkurn veginn það sama, óháð toghraða og hitastigi. Mótstöðustuðullinn er fasti og er óháður hraða vörpunar innan ákveðins hraðabils, í þessu tilfelli dæmigerðs toghraða, eða 1 – 2,5 m/sek², þ.e. 2 – 5 hnúta (sjómíllur/klst). Helsta og næstum eina breytistærðin í vökvamótstöðu vörpunar er því sjóhraði veiðarfærisins. Ef við vitum láréttan þátt í togkraftinum sem verkar á togkapalinn við vörpuna og hraða veiðarfærisins í sjónum, þá getum við fundið út margfeldið $A_v * C_v$ fyrir vörpu veiðarfærisins og þannig reiknað nokkuð nákvæmlega vökvamótstöðu hennar fyrir mismunandi toghraða.

Vökvamótstaða togkapalsins lýtur sama lögmáli og fyrir er getið. Mótstaða togkapalsins fyrir sama toghraða vex hins vegar því dýpra sem varpan fer. Ástæðan er sú að þverskurðarflatarmál kapalsins hornrétt á togstefnuna vex í réttu hlutfalli við dýpt vörpunnar ($A = \text{dýpi} * \text{kapalþvermál}$). Þáttur togkapalsins í heildar vökvamótstöðu veiðarfærisins verður því hærri sem togað er á meira dýpi. Leiðréttingarstuðulinn fyrir mótstöðu kapalsins er líka örlítið breytilegur eftir halla togkapalsins í sjónum. Því meira sem togkapallinn hallar lárétt, því straumlínulagðara verður þversnið hans (hringbogi með aukinni lengd miðað við breidd), og við það lækkar mótstöðustuðull hans. Í töflum í bókum um vökvaafisfræði er gefið upp að fyrir sívalning sem hallar 60° frá lóðréttu (sem er dæmigerður meðalhali á togkapli) þá væri mótstöðustuðullinn 0,6 miðað við lagstreymi og 0,2 fyrir iðustreymi [Sadraey M., Aircraft Performance Analysis, Chapter 3: Drag Force and Drag Coefficient bls.4, VDM Verlag Dr Mueller, 2009].

5		Laminar flow	$L/D = 2$	0.6
			$L/D = 8$	0.25
		Turbulent flow	$L/D = 2$	0.2
			$L/D = 8$	0.1

Hins vegar gefa raunmælingar á togvír í sjó mun hærri mótstöðustuðul eða allt að 1 – 1,5 sem sennilega er vegna hrjúfs yfirborðs vírsins, en hann samanstendur af mörgum fínni þráðum.

Vökvamótstaða togkapals (R_k), sem fall af dýpi vörpu fæst, með margfeldi af:

- eðlismassa sjávar (ρ),
- Dýpið sem varpan er á (d),
- þverskurðarmáli togvírsins (D_k),
- mótstöðustuðli hallandi vírs í sjó (C_k),
- hraðavörpu í sjó (toghraða + sjávarstraumhraða í togstefnu) í öðru veldi (V).

$$R_k = \frac{1}{2} * \rho * d * D_k * C_k * V^2$$

Heildar vökvamótstaða vörpu og kapals ($R_T(d,V)$) fæst þá með því að leggja saman mótstöðu beggja og fá út að heildar mótstöðuna sem fall af bæði togdýpi og sjóhraða:

$$R_T(d,V) = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * (d * D_k * C_k + A_v * C_v)$$

Ef stuðlarnir C_k og C_v eru ekki þekktir, er hægt að nota mældan togkraft togsþilsins, ásamt upplýsingum um toghraða (sjóhraða), dýpi vörpunnar og samanlagða sjóþyngd vörpu og togkapals sem er úti til að finna þá.

Togkraftur togsþilsins T_s samanstendur af láréttum þætti, sem er vökvamótstaðan, og lóðréttum þætti, sem er sjóþyngd veiðarfærisins F_v sem þarf að vera þekkt.

$$T_s^2 = R_T^2 + F_v^2$$

F_v er sjóþyngd vörpu og búnaðar að viðbætti sjóþyngd togkapals, sem er margfeldi þeirrar lengdar togkapalsins sem er úti og sjóþyngd hans á hverja lendareiningu. Sjóþyngd vörpunnar er hægt að mæla með því að dýfa henni á kaf í sjó, við höfn, með krana og mæla kraftinn sem kranninn þarf að halda á móti til að varpan sökkvi ekki til botns. Framleiðendur togkapla gefa oftast upp sjóþyngd togkapalsins, sem í tilfalli stálvírs er jákvæð stærð, en neikvæð ef hann flýtur eins t.d. ef hann er gerður úr Dyneema® efni sem hefur örlítið lægri eðlisþyngd en sjór.

Ef togkraftur sem togspilið notar til að halda á móti togveiðarfæri (þ.e. ef það snertir ekki botn) er þekktur, og dregið er á jöfnum siglingarhraða, í engum sjávarstraum, þannig að togveiðarfærið nær jafnvægisdýpi, og það dýpi er mælt, þá er hægt að reikna út hver heildar vökvamótstöðukraftur togveiðarfærisins er fyrir viðkomandi dýpi og toghraða, eða:

$$R_t = \sqrt{(T_s^2 - F_v(d)^2)}$$

Sem einnig má rita:

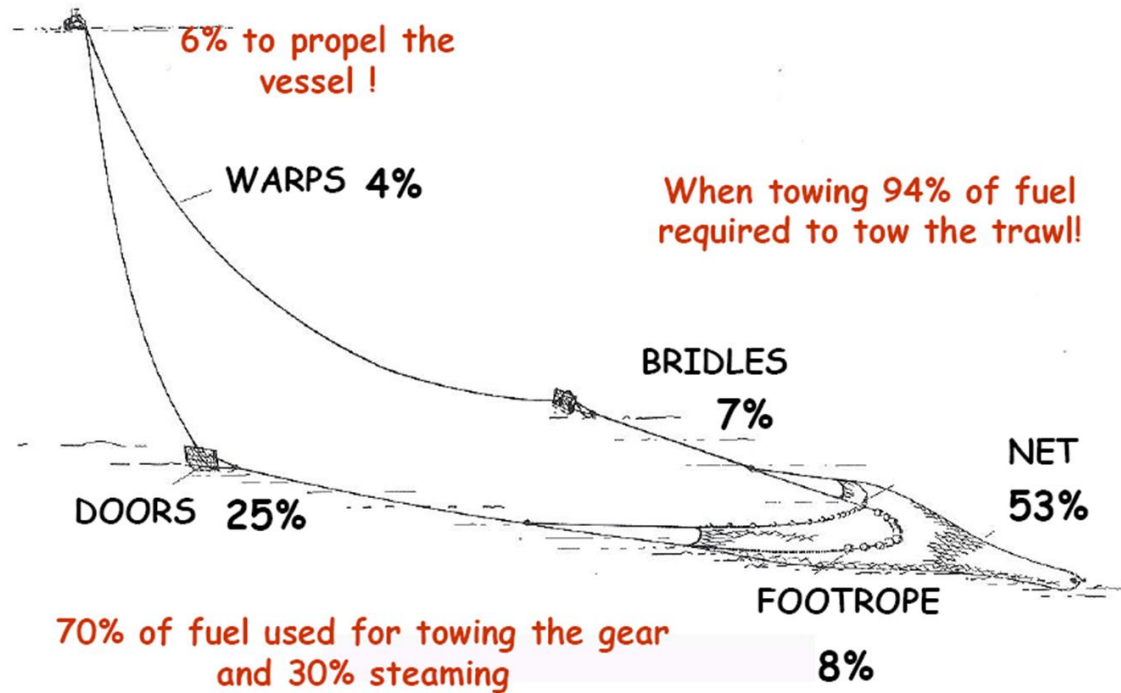
$$(d * D_k * C_k + A_v * C_v) = \sqrt{(T_s^2 - F_v(d)^2)} / (1/2 * \rho * V^2)$$

Hér er 'd' dýpi vörpunnar, 'Dk' er þvermál vírsins og 'Av' er þverskurðarflatarmál vörpunnar.

Með því að mæla togkraft spilsins fyrir tvö mismunandi dýpi fást tvær jöfnur með tveimur óþekktum stærðum, C_k og C_v , sem hægt er að leysa út hvaða gildi fá.

Þegar C_k og C_v eru þekkt er hægt að reikna togspyrnuna sem skipið þarf til viðbótar til að draga vörpuna, þ.e. til viðbótar við það sem þarf til að yfirvinna eigin mótstöðu skipsins. Með því að margfalda togspyrnuna með toghraðanum fæst svo hversu mikla orku þarf. Ef nýtnitölur fyrir skipsskrúfu og aðalvél eru þekktar og hversu mikilli olíueyðslan er fyrir mismunandi afl út á öxul, þá má reikna hversu mikil olía fer á togtíma/yfirferð botns og bera saman milli orkuþörfu Ljósörpu við hefðbundin togveiðarfæri.

TYPICAL BREAKDOWN OF DRAG FOR A BOTTOM TRAWL



Source: Dominic Rihan, Ireland

Olíunotkun á aflaeiningu

Ekki er nóg að vita hver olíunotkunin er á togtíma eða yfirferð eftir botni (togtími * toghraði). Einnig þarf að vita hversu mikið aflast að meðaltali á togtíma/yfirferð. Það getur hinsvegar verið mjög breytilegt eftir aðstæðum á toglóð. Magn og þéttleiki fiska á toglóðinni getur verið misjafn og einnig eru viðbrögð fiska við veiðarfærinu mismunandi frá degi til dags, eða tíma sólarhringsins. Þess vegna fæst ekki raunhæfur samanburður milli veiðarfæra nema með reynslutölum yfir langan tíma þar sem meðalafli á togtíma er reiknaður út.

Hagstofa Íslands heldur utan um hagtölur íslenskra útgerða og birtir þar m.a. heildaafli togveiðiskipa eftir fiskitegundum og veiðarfærum. Einnig er hægt að fá olíukostnað fyrir togveiðiskip á verðlagi hvers árs, og með upplýsingum um olíuverð og tölur Hagstofunnar er hægt að meta meðal olíunotkun á aflaeiningu fyrir togveiðiskip. Hins vegar kemur ekki fram úthaldstími né hlutfall togtíma af heildar úthaldstíma. Hagtölur Hagstofunnar gefa því sterka vísbendingu, en betra væri að hafa raungögn frá útgerðum sem gæfu betri mynd og nákvæmari mynd af olíunotkun á aflaeiningu. Í þessu verkefni fékkst hins vegar ekki aðgangur að upplýsingum frá útgerð eins og til stóð.

Evrópusambandið safnar einnig sambærilegum hagfræðitölum frá sjávarútvegi og eru gögnin flokkuð eftir löndum, veiðisvæðum, veiðarfærum og stærð skipa. ESB safnar einnig upplýsingum um

úthaldsdaga skipa og olíunotkun, en ekki skiptingu úthaldstíma milli togtíma er á móti siglingartíma á miðin og milli þeirra.

Samkvæmt ofangreindu er hægt að fá gróft mat á meðal olíunotkun á aflaeiningu.

Olíunotkun íslenskra togara

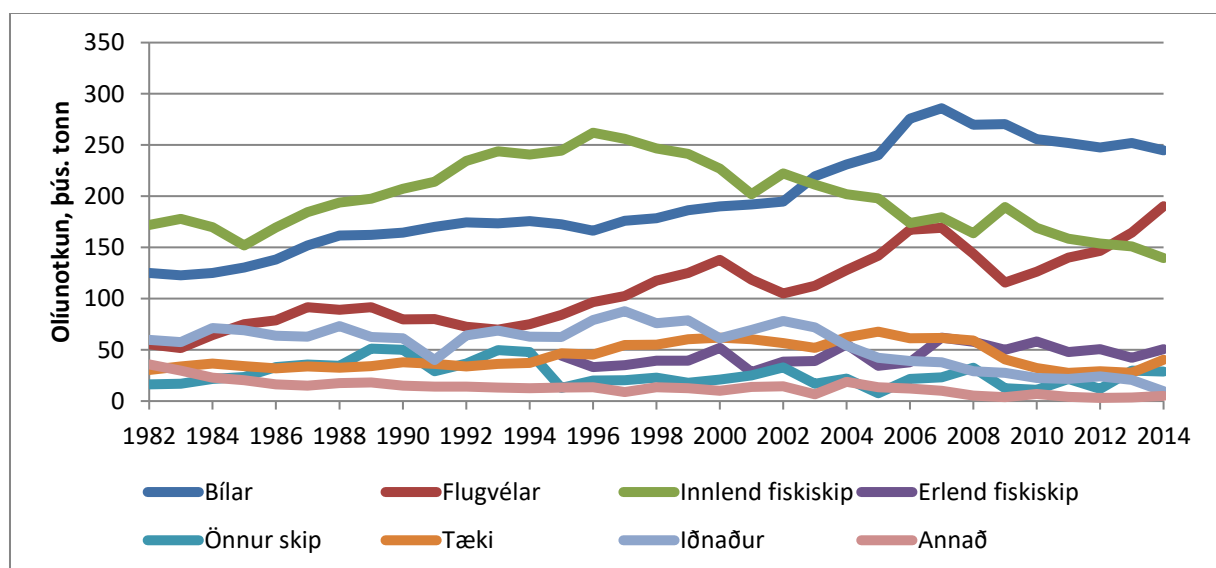
Á tímabilinu 1999-2015 fækkaði íslenskum togurum um helming, eða frá um 91 niður í 46.

Togarar	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999
100-499 bt	4	4	4	4	5	5	5	5	5	2	3	4	5	7	8	8	9
500-999 bt	20	21	21	22	23	24	24	25	27	29	29	31	33	35	40	43	47
1.000-1.499 bt	11	12	14	15	16	15	15	16	18	19	20	21	21	21	21	23	25
1.500-4.999 bt	11	12	12	15	13	13	14	14	14	12	12	13	12	13	11	10	10
>5.000 bt	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-
Alls	46	49	51	56	58	57	58	60	64	63	65	70	71	76	80	84	91

Fjöldi og stærðardreifing íslenskra togara eftir árum. Heimild Hagstofan

Heildar afli togara hefur hins vegar haldist svipaður á tímabilinu, sem þýðir að hvert skip aflar meira í dag en fyrir 16 árum. Þessari framleiðniaukningu í útgerð er fyrst og fremst að þakka betra skipulagi og stjórnun, sem aftur má rekja til betri stjórnunar fiskiveiða með uppbyggingu fiskimiða að leiðarljósi í gegnum aflamarkskerfi (kvótakerfi). Í aflamarks-kerfinu, þar sem útgerðir þurfa ekki að keppa við hvora aðra um fisknum geta þær skipulagt sínar veiðar betur og veitt jafnar og skynsamlegar sem hjálpar til við að draga úr orkunotkun á aflaeiningu.

Samkvæmt gögnum um olíunotkun innanlands sem Orkustofnun safnar, þá hefur heildar olíunotkun innlendra fiskiskipa minnkað umtalsvert frá 1999 eða úr 240 þús. tonnum niður í 140 þús. tonn árið 2014. Sé árleg olíunotkun fyrir allan innlenda fiskiskipaflota deilt niður á heildar aflabyngd, fæst að olíunotkun er að meðaltali um 0,11 kg olía / kg fisks.



Olíunotkun á Íslandi eftir árum. Innlend fiskiskip eru merkt sem græn. Heimild Orkustofnun.

Ár	2012	2013	2014	Meðaltal
Afli [þ.tonn]	1.448	1.363	1.077	1.296
Olíunotkun [þ.tonn]	154	151	140	148
Olía á aflaeiningu	0,11	0,11	0,13	0,12

Meðaltals olíunotkun á aflaeiningu gefur þó villandi mynd, því mikill breytileiki er á olíunotkun eftir veiðarfærum, gerð fiskiskipa og fisktegundum. Þannig er uppsjávarfiskur eins og loðna, síld, kolmuni og makrill mikið veiddur með hringnót sem þurfa litla orku. Magnið af þessum tegundum er hins vegar mikið (2/3 af heildarafla) en verðmæti á aflaeiningu mun lægra en fyrir þær tegundir sem veiddar eru með botnvörpu (15 -17% af heildar afla). Þættir eins og fjarlægð á fiskimið, þéttleiki fiskitorfa og hversu hraðsynd fiski tegundin er, hafa einnig áhrif á olíunotkun á aflaeiningu. Gott dæmi eru loðna og kolmuni sem eru veidd í samskonar flotvörpu. Loðna er í mun þéttari torfum en kolmuni sem krefst þrisvar sinnum meiri olíu á aflaeiningu.

Settar hafa verið fram viðmiðunarstuðlar um olíunotkun á aflaeiningu fyrir mismunandi fiskiskip og veiðarfæri og er nýjasta útgáfan birt í skýrslu Orkuspárnefndar fyrir Eldsneytisspá 2008 – 2050. Viðmiðunarstuðlar byggja á fyrri vinnu vinnu Orkuspárnefndar og Fiskifélags Íslands, og rannsóknum neðangreindra þriggja aðila:

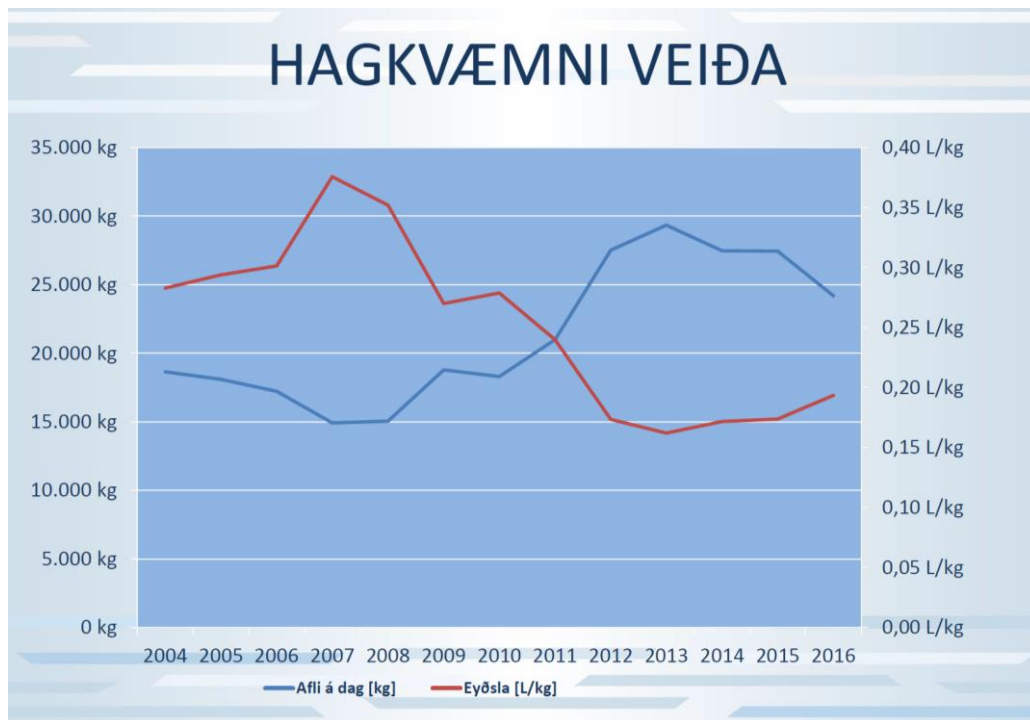
- Emil Ragnarson [Erindi á Orkuþingi 2006],
- Eypór Björnsson [Olíunotkun íslenska fiskiskipaflotans og losun gróðurhúsalofttegunda frá honum, Lokaverkefni við Háskólann á Akureyri 004]
- Guðbergur Rúnarsson [Upplýsingar um eldsneytisnotkun fiskiskipa, 2007]

Samkvæmt þessu var meðal olíunotkun á aflaeiningu árið 2002 eins og sjá má í neðangreindri töflu:

Olíunoktunarstuðlar fiskiskipa eftir veiðarfærum árið 2002			
	Opnir bátar	Vélskip	Skuttogarar
Veiðarfæri	kg olíu/ kg fisks	kg olíu/ kg fisks	kg olíu/ kg fisks
Heildaraflí	0,136		
Lína		0,119	
Net		0,119	
Handfæri		0,119	
Dragnót		0,153	
Botnvarpa		0,297	0,416
Flotvarpa (síld)		0,051	
Flotvarpa (loðna)		0,027	
Flotvarpa (kolmunni)		0,075	
Humarvarpa		0,361	
Nót (síld)		0,070	
Nót (loðna)		0,017	
Rækjuvarpa		0,722	0,908
Hörpudiskplógur		0,085	
Kúfiskplógur		0,022	
Önnur veiðarfæri			
Fiskiskip: Úthafskarfi / flottroll			0,446
Fiskiskip: Barentshaf			1,080
Fiskiskip: Flæmingjagrunn			1,035
	Miðað er við að eðlisþyngd gasolíu sé 0,848 kg/lítra.		
	Heimild: Guðbergur Rúnarsson, 2007 og Eldsneytisspá 2001		
	Fengið úr skýrslu Orkuspánefndar um Eldsneytisspá 2008 - 2050		

Með því að bera þessi gögn saman við gögn Hagstofu, þar sem m.a. er hægt að sjá skiptingu afla eftir gerð fiskiskipa og veiðarfæra, ásamt útgjöldum til olíukaupa fyrir einstaka skipaflokka, þá passa þessir orkustuðlar nokkuð vel við hagtölur. Þessar tölur eru hins vegar 14 ára gamlar.

Á sjávarútvegsráðstefnunni 2016 kynnti Kristján Vilhelmsson hjá Samherja gögn fyrir olíunotkun á aflaeiningu sem sýnir töluverða lækkun á olíunotkun á aflaeiningu frá fyrri tíð. Á sama tímabili eykst aflí á dag umtalsvert. Olía á aflaeiningu upp á 0,15 -0,20 l/kg fisks er meira en helmingi lægri en miðað er við í Eldsneytisspá Orkuspánefndar fyrir skuttogara með botntroll.



Heimild: Kristján Vilhelmsson, erindi á Sjávarútvegsráðstefnunni 2016: „Skipsmíðar, hvar eru framfarir?“, glæra fengin af vef Sjávarútvegsráðstefnunnar.

Í erindi Emils Ragnarssonar á Orkuþingi 2006: „Olíunotkun og orkubúskapur fiskveiða“ kemur fram að á tímabilinu 1991 – 2005 var hlutdeild togveiðiskipa 78% af heildar olíunotkun íslenskra fiskiskipaflotans. Þetta hlutfall hélst nokkuð stöðugt milli ára á því tímabili, en heildarolíunotkun árið 2005 var um 198 þ.tonn árið 2005, en árið 2014 var hún komin niður í 140 þ.tonn, eða 30% minni.

Tilraunir með Ljósörpu

Mæling á olíunotkun um borð í Dröfn RE-35

Rannsóknaskipið Dröfn RE-35 var smíðað á Seyðisfirði 1981. Á þeim tíma voru olíumælar í skipum mjög sjaldgæfir, en til að meta olíueyðslu var einfaldlega lesið reglulega af stöðu olíutanka. Einnig gátu vélstórar metið olíunotkunina á hverjum tíma út frá hitastigi á afgangi, snúningshraða vélar og stigningu skrufublaða. Notast var við töflur og gröf frá framleiðenda skipsvélarinnar sem í þessu tilfalli er Caterpillar 421 kW (573 hö) árgærd 1980. Þessar töflur og gröf eru nú glötuð fyrir aðalvél Drafnar og erfitt virðist að fá þau beint frá Caterpillar. Engu að síður var ákveðið að skrá niður snúningshraða vélar, skurð skrufu og afganghitastig við tog með Ljósörpuna ef ske kynni að hægt væri að grafa upp upprunalegu töflurnar síðar. Snúningshraði vélar, afganghitastig og stigningu skrufu er hægt að lesa af mælum í stjórnbrú skipsins og skrá handvirkt. Eini gallinn er að hitamælir fyrir afgang byrjar ekki að sýna fyrr við yfir 300°C. Því hitastigi var ekki náð þegar togað var með Ljósörpunni. Mæling á afganghita fékkst hins vegar við hefðbundinn siglingarhraða (8 – 9 hnúta) þegar verið var að sigla til og frá miðum. Það gagnast hins vegar lítið til að meta olíueyðslu við sjálfar veiðarnar.



Mynd af mælum aðalvélar Drafnar RE 35. Afgashitastig (e. Exhaust) og snúningshraði vélar (RPM) á eru neðarlega til hægri. Myndi er tekin á siglingu (8 hnúta hraði) og nær afgashitinn rétt yfir 300°C.

Í upphafi verkefnis var gert ráð fyrir að setja upp olíueyðslumæli um borð í Dröfn. Athugað var hvort þeir olíueyðslumælur sem Marorka hefur mælt með fyrir sína viðskiptavinum væru hentugir, og eins var leitað til þjónustuaðilans sem annast viðhald og viðgerðir á aðalvél Drafnar. Ljóst var að olíueyðslubúnaður myndi ekki kosta undir 1 m.kr. auk nokkurrar vinnu við uppsetningu. Á sama tíma var eigandi Drafnar einnig búinn að setja skipið á sölu. Því var nokkur óvissa hvort það væri skynsamlegt að fjárfesta í og setja upp olíueyðslumæli fyrir skipið.

Í byrjun árs 2016 var verkefnið kynnt fyrir forsvarsmönnum Hafsins - Öndvegissetur um sjálfbæra nýtingu og verndun hafsins. Á vegum Hafsins voru háskólanemendur að þróa ódýrari og einfaldari orkumæla og upplýsingarkerfi, með áherslu á eldri og smærri skip sem fyrirtæki eins og Marorka sinna ekki. Hugmyndin var að þróa ódýran og einfaldan olíuflæðismæli sem byggir á hljóðbylgjutækni (e. Doppler effect). Þessi flæðimælitækni, sem er þekkt í efnaiðnaði, hefur þann kost að hægt er að smella mælum á leiðslur án þess að taka þær í sundur, og er tæknin því einföld og ódýr í uppsetningu. Verkefnishópur Ljósörpunnar samþykkti að Dröfnin yrði notuð til að prófa frumgerð af olíuflæðismælinu á sjó að afloknum prófunum mælisins á rannsóknarstofu. Stefnt var að því að mælir væri kominn upp og kvarðaður fyrir veiðiprófanir með Ljósörpu vorið 2016. Hins vegar kom í ljós í prófunum að hávaði og titringur frá vél truflar mælinguna það mikið að ekki er hægt að treysta á þessa tækni um borð í skipum. Mælirinn var því ekki settur upp í Dröfn.

Eins og kemur fram í kaflanum um fræðilegan grunn, þá er heildar olíunotkun togveiðiskips ekki bara háð togveiðarfærinu, heldur einnig háð mótstöðu skipsins og orkunýtni vélarinnar og skráfunnar. Á síðustu þremur til fjórum áratugum hefur hönnun skipavéla batnað og orkunýtni þeirra aukist. Dröfn RE 35, sem er smíðuð 1981, gæti því haft talsvert meiri olíueyðslu en nýrri togveiðiskip sem drægju

Ljósörpuna á sama toghraða og við sama sjólag. Mælingu á olíueyðslu þyrfti því að leiðrétta með tilliti til hvers skips og nýtni vélar þess og skrófu. Olíueyðslumæling gæfi því bara vísbendingu um hver orkusparnaðurinn væri vegna orkugrennri veiðarfæris. Leiðrétta þyrfti eyðsluna fyrir hvert einstak skip útfra mótstöðu þess og nýtni vélar og skrófu.

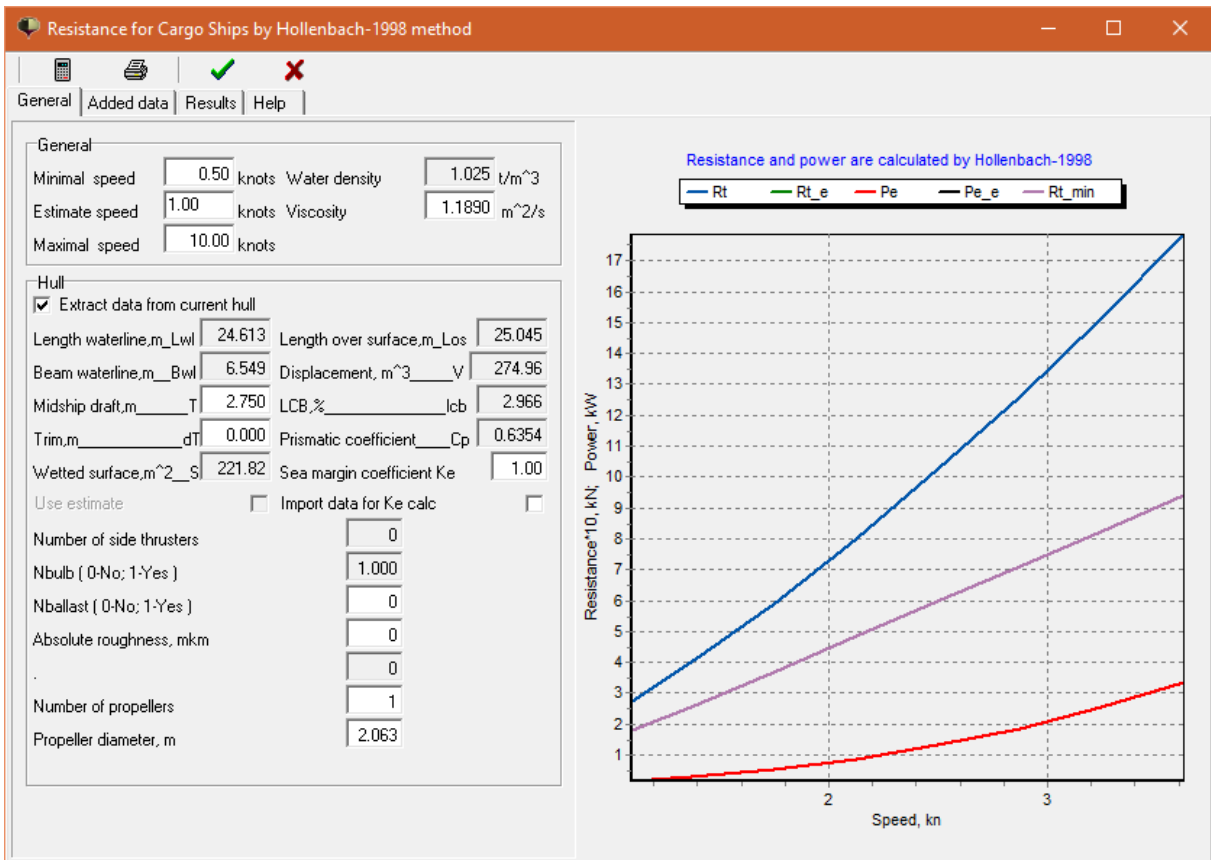
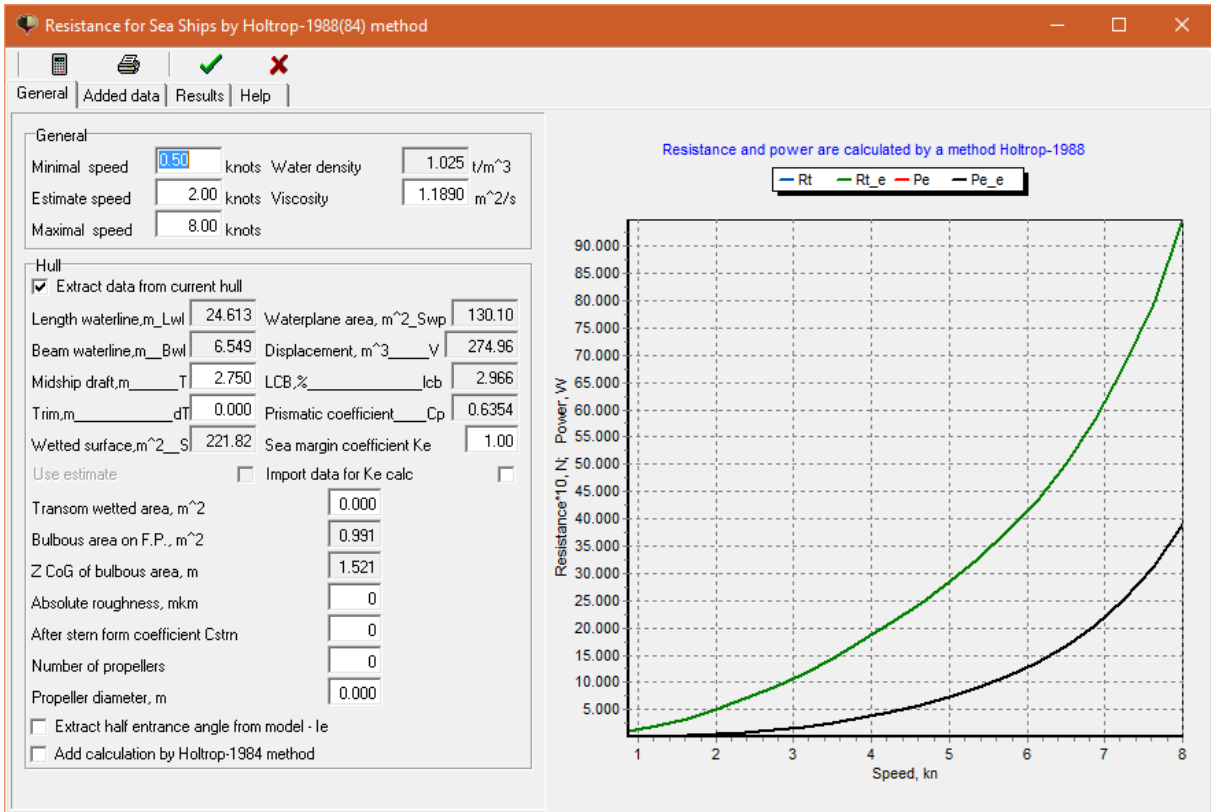
Fyrri rannsóknir Emils Ragnarssonar við Háskólann á Akureyri benda til þess að á togveiðum fari um 76% af olíueyðslunni í framdrif skipsins og veiðarfærisins, en 24% til rafmagnsframleiðslu. Um 85% af framdrifsaflinu fer í að yfirvinna mótstöðu veiðarfærisins og 15% í mótstöðu skipsins, en mótstaða skipa er almennt lág á hægri siglingu (2 – 4 sjómílur/klst.).

Ef bera á saman orkusparnað tveggja ólíkra veiðarfæra á sama skipi er því gagnlegt að þekkja mótstöðu hvors veiðarfæris fyrir sig, ásamt mótstöðu skipsins til að reikna áætlaðan olíusparnað.

Útreikningar á líklegri mótstöðu fyrir Dröfn RE 35

Engar mælingar liggja fyrir um mótstöðu á skipskrokk Drafnar og því var ákveðið að beita aðferð Holtrop og Hollenback til að áætla líklega mótstöðu út frá megin máli skipsins. Notað var forritið Free!Ship sem er opinn hugbúnaður byggður á hugbúnaði sem upphaflega var þróaður við tækniháskólann í Delft í Hollandi. Þessi hugbúnaður var sóttur af vefsíðunni Hydronship.net, sem nú hefur verið lokað.

Upplýsingar um lögun skipskrokks Drafnar komu frá Skipasýn ehf í formi bandatafna og teikninga af aðalfyrirkomulagi Drafnar. Þessi göng voru notuð til að teikna upp skipskrokkinn í þrívídd í hönnunarforritinu RhinoCeros og 3D tölvulíkanið svo flutt inn í Free!Ship. Einhverjir hnökrar voru á tölvulíkaninu af Dröfn sem urðu til þess að útreikningar á mótstöðu í Freeship voru ómarktækir. Til að meta mótstöðuna fyrir sambærilegt skip og Dröfn, var tekið tölvulíkan af dráttarskipi sem fylgdi með forritinu og það líkan skalað í þrívídd þannig að það hafði sömu vatnslínulengd, djúpristu og breidd og Dröfn hefur. Hins vegar var lögun þess skrokks ferkantaðri en skrokkur Drafnar, sem hefur ávalt þversnið. Fyrir vikið var yfirborð og rúmmáls hins skalaða tölvulíkans meira en á Dröfn, og því líklegt að núningsviðnám á því skipi sem líkanið var af yrði hærra í raunveruleikanum en hjá Dröfn. Þetta líkan var keyrt í Freeship fyrir bæði Holtrop og Hollenback.



Útreikningar sýna að mótstaðan við siglingarhraðann 2 hnúta er í kringum 500 N fyrir Holtrop og á bilinu 450 til 750 N fyrir Hollenback, en síðari aðferðin gefur alltaf upp tölfraðileg efri og neðri mörk sem raunveruleg mótstaðan liggur líklega á milli. Í útreikningunum er hvorki gert ráð fyrir skrúfu né stýri, og auk þess vantar á þrívíddartölvulíkanið börð sem eru meðfram hliðum skrokks Drafnar, en þau þjóna þeim tilgangi að gera skipið stöðugra. Til viðbótar eru á skipinu nokkur úttök fyrir dýptarmæla, fiskileitartæki og utanáliggjandi varmaskiptir sem eykur mótstöðu þess umfram það sem tölvulíkanið tekur tillit til. Útreikningarnir miða við þá mótstöðu sem þarf að yfirvinna við að draga skipið skrúfu- og stýrislaust á tveggja hnúta hraða af t.d. öðru skipi og er ekki tekið tillit til aukinnar mótstöðu skrokksins vegna áhrifa frá skrúfunni. Því má gera ráð fyrir að eiginleg mótstaða skipsins við siglingu á 2 hnúta hraða sé nokkuð hærri en 500 -750 N. Líklega er að mótstaðan sé 1.000 – 2.000 N í reynd við 2 hnúta siglingu.

Þegar veiðifæri er auk þess togað og skrúfan þarf að gefa aukna togspyrnu, má gera ráð fyrir enn meiri mótstöðu skrokksins vegna áhrifa frá skrúfunni við að gefa þá viðbótar togspyrnuna sem þarf til að yfirvinna mótstöðu veiðarfærisins

Mælingar á togviðnámi Ljósörpu og togvirs í veiðitilraunum

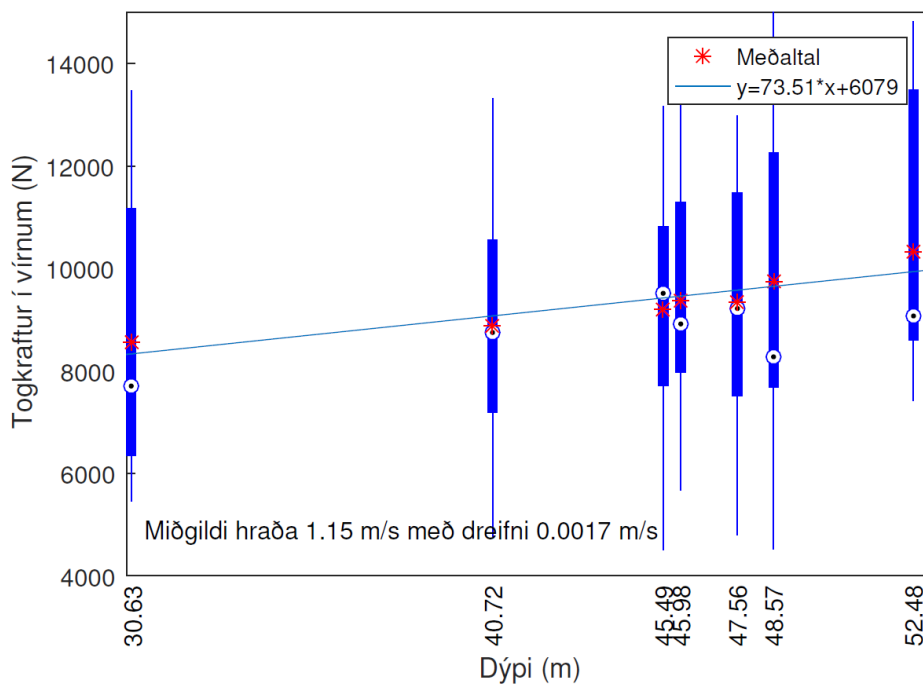
Ljósvarpan notar sérhannað togspil fyrir togkapal Ljósörpunnar, en togkapallinn inniheldur bæði ljósleiðara og rafleiðara og þarf sérstakt snúningstengi (sliphring) í tospilinu svo hægt sé að koma rafmagni og nettenginu yfir í togkapalinn. Togspil fyrir togveiðafæri eru í dag almennt ekki hönnuð fyrir togkapal með ljósleiðara og rafleiðara.

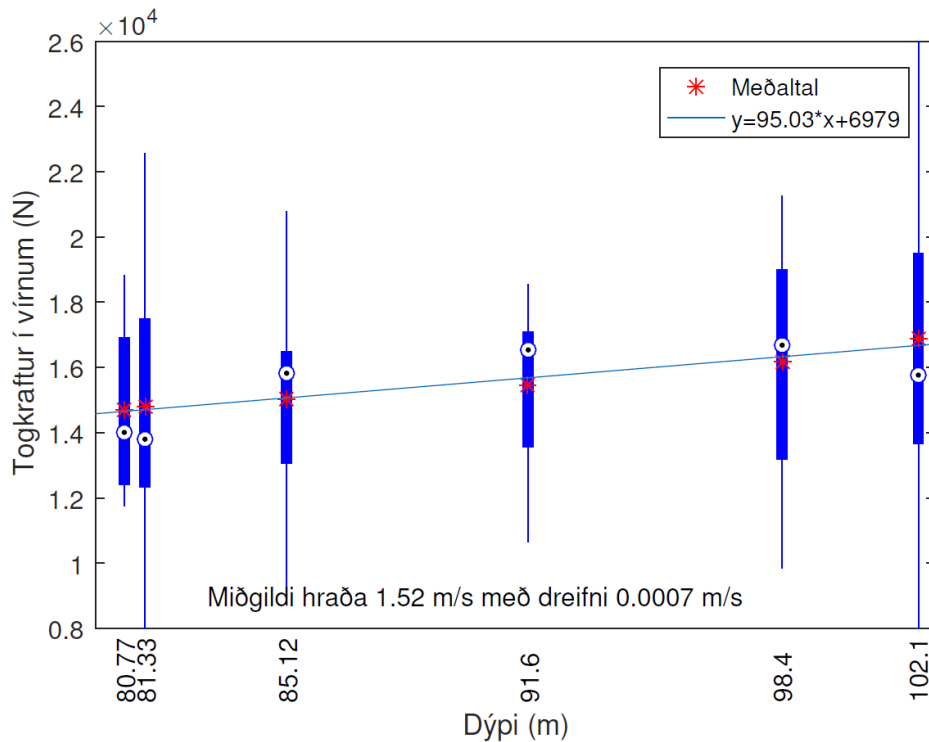
Hæðar- og dýptarstýring Ljósörpunnar stýrir togvægi spilsins í sífellu og slakar út togtogkapal eða hífir inn eftir þörfum til að halda hæð vörpunnar frá sjávarbotni nákvæmlega í skilgreindri óskahæð frá botni. Tölva skráir hversu mikið snúningsvægi (átak) rafmótorinn beitir hverju sinni til að halda á móti togkrafti togkapalsins. Samhliða skráir tölvan dýpt Ljósörpunnar í sjónum og hversu mikill togkapall er úti. Togkrafturinn í togkaplinum er jafn átaki togspilsins, sem reiknað er út frá snúningsvægi mótorsins og þvermáli kapaltromlunnar, en þvermálið er háð því hversu mikill togkapall er úti hverju sinni. Stýrigögn frá Ljósörpunni um stöðu hæðarstýris (vængs) er einnig skráð. Með upplýsingum um toghraðann (GPS mæling) og stöðu hæðarstýrisins er hægt að áætla hversu mikill krafturinn er sem hæðarstýrið er að beita hverju sinni til að lyfta vörpunni upp frá botni eða þrýsta niður til að elta ójöfnur í sjávarbotninum og fylgja snöggum breytingum í sjávardýpi. Hér er gert ráð fyrir að þyngd Ljósörpunnar í sjó sé þekkt og sömuleiðis sjóþyngd hvers lengdarmetra togkapalsins. Togkraftinn í togkaplinum er hægt að skipta upp í mótstöðu (láréttur kraftþáttur) og samanlögð sjóþyngd (lóðréttur kraftþáttur) Ljósörpunnar og togkapalsins. Með þessar upplýsingar að vopni er hægt að reikna togmótstöðu Ljósörpunnar og togkapalsins á hverri stundu sem fall af dýpi og toghraða.

Vegna þess að togspilið er síkvíkt við að draga inn og slaka út, þá sveiflast togkrafturinn í togkaplinum, jafnvel þó siglingarhraði skipsins sé stöðugur. Til að fá raunverulega mótstöðu þarf því að reikna meðaltal af mörgum mælingum á togkraftinum yfir tímabil þar sem og toghraðinn er stöðugur og jafn. Með aðfallsgreiningu á meðaltogkraftinum fyrir mismunandi dýpi þar sem toghraðinn er jafn er hægt að

sundurliða togkraftinn í þættina heildarmótstöðu og sjóþyngd Ljósörpunnar. Mótstöðu Ljósörpunnar sem falla af dýpi er svo aftur hægt að skipta upp í mótstöðu sjálfrar Ljósörpunnar annars vegar og mótstöðu togkapsins hins vegar en hún er háð því hversu djúpt togað er.

Mælingargögn frá tilraunaveiðum á rækju með Ljósörpu í október 2015 voru notuð til að reikna togkraftinn sem fall af mismunandi dýpi Ljósörpu fyrir tvo mismunandi toghraða. Mælingar fóru fram á 5 klukkustundum þar sem mældur var hraði togarans, lengd togvírsins í sjó, togkraftur í vír, aðfallshorn hæðarstýrisins og dýpt ljósörpunnar u.þ.b. 20 sinnum á sekúndu. Mælingar fóru fram í Ísafjarðardjúpi við lygnan sjó. Sjávarstrumur við botn var ekki þekktur og eykur það óvissu við útreikninga. Dýpi veiðarfæris var mælt með þrýstinema á veiðarfærinu, toghraði skipsins var mældur með GPS-tæki, togkraftur í kaplinum var reiknaður út frá átaki togsþils að teknu tilliti til þvermáls tromlu og þykkt kapalsins á tromlu. Spilstýringin gefur upplýsingar um lengd vírs úti. Öll úrvinnsla á gögnum og öll myndræn framsetning gagna var unnin í MATLAB [útgáfa R2016a The MathWorks, Inc]. af Ásgeir Tryggvasyni, eðlisfræði stúdents við HÍ, sumarið 2016 [Orkusparandi fiskveiðar, Stærðfræðilíkan fyrir togkraft í vír við veiðar með Ljósörpu, sjá viðhengi].





Eins og við var að búast er breytileiki togkraftsins nokkuð mikill. Breytileikinn er ekki bara vegna þess að togspilið er stöðugt að hífa og slaka að beiðni sjálfvirku hæðarstýringarinnar, heldur líka vegna síkvikrar stöðu hæðarstýrisins með tilsvarendi breytingum í lóðréttum lyftikrafti og mótstöðu hæðarstýrisins sem ýmist bætist við eða dregst frá togkraftinum. Titrangur og sveiflur í togkaplinum auka án efa sveiflur í togkraftinum, en mjög erfitt er að meta hlutfall þeirra þátta í sveiflum í togkraftinum. Reiknuð er besta lína í gegnum meðaltal togkraftsins fyrir mismunandi dýpi.

Samantekt niðurstaðna

Ljóst er af ofangreindu að margir þættir hafa áhrif á orkunotkun í togveiðum og mögulegur orkusparnaður með notkun Ljósörpu snýr aðallega að því að núningsmótstaða við botn hverfur. Sú mótstaða er mjög breytileg fyrir hefðbundnar botnvörpur og ólíka gerð sjávarbotns sem torveldar nákvæman samanburð. Mótstaða togvírs er enn veruleg og sambærileg við hefðbundin veiðarfæri. Ótvíræð jákvæð umhverfisáhrif, sem alþjóðasamfélagið hefur ítrekað kallað eftir, hljóttast þó af því að geta stundað botnveiðar án þess að raska lífríki á sjávarbotni. Ekki reyndist unnt að gera beinar mælingar á olíunotkun í veiðitilraunum vegna ónákvæms tækjabúnaðar og vinna við þróun á nákvæmari olíuflæðisbúnaði reyndist ekki hentug til notkunar í raunadstæðum. Verkefnið hefur þó skilað ýmsum gagnlegum niðurstöðum varðandi togviðnám skipa og veiðarfæra sem nýtast munu í áframhaldandi þróunarvinnu á þessari mikilvægu orkusparandi og umhverfisvænu tækni sem Ljósvarpan er.

Viðauki

Skýrsla Ásgeirs Tryggvasonar, styrkt af verkefninu og Nýsköpunarsjóði námsmanna.

STÆRÐFRÆÐILÍKAN FYRIR TOGKRAFT Í VÍR
VIÐ VEIÐAR MEÐ LJÓSVÖRPU

Orkusparandi fiskveiðar

Höfundur:
Ásgeir Tryggvason

Umsjónarmaður:
Torfi Þórhallsson

25. september 2016

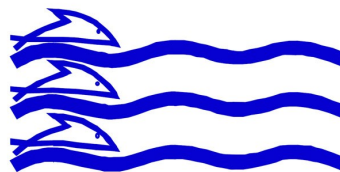


NÝSKÖPUNARSJÓÐUR
NÁMSMANNA

Orkusjóður



Nýsköpunarmiðstöð
Íslands



HAFRANNSÓKNASTOFNUN

1 Útdráttur

Þessi skýrsla kynnir stærðfræðilíkan fyrir togkraft í vír við veiðar með ljósvörpu. Líkanið var hannað í þeim tilgangi að kanna dragkraft á vír sem er í réttu hlutfalli við togkraftinn í vírnum. Líkan fyrir dragkraftinn var hannað út frá mælingum sem voru teknar á nettum togara við veiðar með ljósvörpu. Þar sem viðnám togara er u.þ.b. 5% af heildar viðnámi kerfisins. Mælingar fóru fram á togkrafti í vír, lengd vírs, dýpt veiðafæris og hraða togara. Líkanið var hannað með nálgunum til einföldunar, gert var ráð fyrir að vírinn væri beinn og að dragstuðlar aðrir en fyrir hraða vökva hornrétt á vírinn væru núll. Það var ekki vel hannað fyrir snöggar breytingar á lengd vírs sem eiga sér stað þegar togarinn dregur aflann inn eða gefur út vír. Þrátt fyrir það gefur líkanið gott mat á heildar togkraft í vír fyrir hraða á bilinu $1-2 \frac{m}{s}$.

Þetta líkan er ætlað fremur litlum og léttum veiðafærum þar sem dragkrafturinn á vírinn hefur umtalsverð áhrif á heildar togkraftinn en það á ekki endilega við öll veiðafæri.

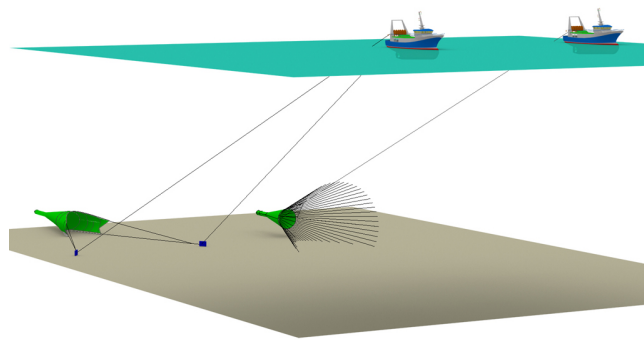
2 Inngangur

Þetta verkefni er styrkt af Nýsköpunarsjóði námsmanna með leiðsögn og aðstoð frá fyrirtækinu Optitog sem starfar í Nýsköpunarmiðstöð Íslands. Einnig er verkefnið unnið í samstarfi við Hafrannsóknastofnun. Optitog hefur unnið við hönnun á veiðafæri, ljósvörpu, sem nýtist til botnfiskveiða líkt og botnvarpan. Ljósvarpan er sjálfstýrt veiðarfæri sem „svífur“ yfir sjávarbotni og hefur því umtalsvert lægra togviðnám, auk þess sem áhrif togveiddanna á sjávarbotninn eru hverfandi. Fiski er smalað í vörpuna með „neti“ laser-geisla sem varpan sendir frá sér (sjá mynd 1 og 2). Áhugi er á að bera saman ljósvörpuna og botnvörpuna hvað varðar orkusparnað.

Botnvarpan er umdeilt veiðafæri vegna áhrifa þess á hafsbotninn til marks um það er þrýstingur á ESB að banna botnvörpur[1]. Einnig hafa botnvörpur verið ræddar reglulega á vettvangi Sameinuðu þjóðanna[2]. Á árunum 1991-2005 var orkunotkun togveiða við Íslandsmið um 80% af orkunotkun fiskveiðiflotans[3]. Rannsókn á mælanlegum umhverfisáhrifum togveiða sýndi að mestu áhrifin við veiðarnar voru af bruna jarðefnaeldsneytis við tog vörpunnar[4]. Orkunotkun togara er í hlutfalli við stærð þeirra. Vegna lítils togviðnáms ljósvarpa er krafa veiðafæris á stærð togara minni. Með notkun minni togara myndi orkunotkun fiskveiðiflotans minnka talsvert þrátt fyrir sömu afköst. Slíkt hefði í för með sér umtalsverðan fjárhagslegan sparnað fyrir útgerðir og minni koltvísýringslosun.

Markmið þessarar rannsóknar er að meta dragkraft á vír sem liggur á milli togara og ljósvörpu. Það er mikilvægt vegna þess að við mælingar Optitog á tilraunaljósvörpu kom í ljós viðbótar togkraftur í vírnum sem ekki var búið að gera ráð fyrir. Tilgátan er að dragkrafturinn á vírinn hafi umtalsverð áhrif á togkraftinn í vírnum. Niðurstöður þessarar rannsóknar eru mikilvægar til þess að meta orkunotkun togara við drátt ljósvörpu. Hana má meta með hreyfijöfnunum sem Torfi Þórhallsson útleiddi að hætti Chun-Woo Lee og Ju-Hee Lee sem útleiddu hreyfijöfnur fyrir flotvörpu með hlera.

Til þess að meta heildar orkunotkunina þarf að finna dragkraft á kerfið sem stafar af togaranum. Hluti verkefnisins er þá að meta dragkraft á togarann með



Mynd 1: Samanburður á hefðbundinni botnvörpu, til vinstri, og ljósvörpu.



Mynd 2: Tilraunaljósvarpa, ljósmyndin var tekin í maí 2016

líkanagerð á lögum hans. Hluti verkefnisins er að rannsaka lögum vírs í sjó við drátt ljósvörpu, þannig væri hægt að gera nákvæmara líkan fyrir dragkraft á vír og betrubæta tölvubúnað fyrir ljósvörpuna. Önnur tilgátan er að vírinn liggi eins og breiðbogakósínus, $\cosh(x)$, líkt og fyrir lagningu sæstrengs[5]. Vegna lítils hraða togara við veiðarnar er líklegt að þyngd vírs hafi meiri áhrif á lögum vírsins en dragkrafturinn.

3 Aðferð

Þátttakendur í verkefninu voru á vegum Optitog sem tóku saman mælingar á tilraunaljósvörpu við rækjuveiðar október 2015. Mælingar fóru fram á 5 klukku-stundum þar sem mældur var hraði togarans, lengd vírsins, togkraftur í vír, horn vængs við lárétt (sjá mynd 3) og dýpt ljósvörpunnar u.þ.b. 20 sinnum á sekúndu. Togarinn fór hefðbundinn hring og við lygnan sjó.

Dýpi veiðafæris var mælt með þrýstinema sem festur var á veiðafærið, hraði skips var mældur með gps-tæki, togkraftur í vír var reiknaður út frá átaki togvindu að teknu tilliti til þvermáls tromlu og þykkt vírs á tromlu. Spilstýringin gefur upplýsingar um lengd vírs úti. Öll úrvinnsla á gögnum og öll myndræn framsetning gagna var unnin í MATLAB R2016a The MathWorks, Inc.

Útreikningar á dragkraft á togarann eru unnin í forritinu Freeship frá Freeship. Forritið vinnur úr tölvuteikningu á yfirborði togarans sem byggir á Holtrop og Hollenbach aðferð[6][7].

3.1 Forsendur

Dragkraftur á vír fylgir jöfnu

$$F_{drag} = \frac{1}{2} \rho C A v^2 \quad (1)$$

þar sem ρ er eðlismassi sjávar, C er dragstuðull vírs, A er flatamál vírs og v er hraða vírs miðað við sjó. Við útleiðslu hreyfijafnanna var gert ráð fyrir því að dragkrafturinn á vírinn væri aðeins vegna flæðis vökva hornrétt á vírinn. F_{drag} er endurskilgreint

$$F_{drag} = \frac{1}{2} \rho C_{normal} d h v^2 \quad (2)$$

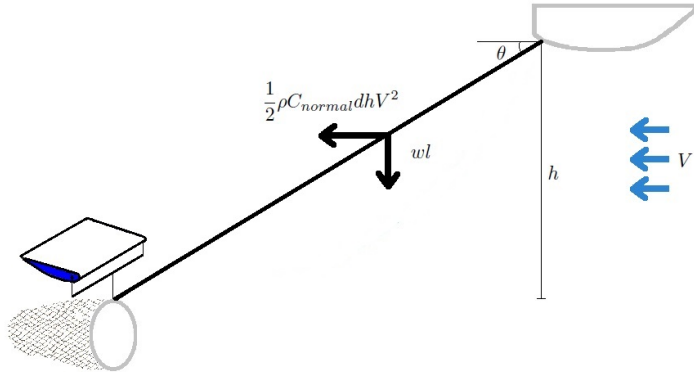
þar sem C_{normal} er dragstuðull fyrir flæði vökva hornrétt á vír, d er þvermál vírs og h er dýpt. Skoða á flatarmál vírs, A í jöfnu (1), sem ofanvarp lengdar á flöt hornréttan á flæði vökva. Gert var ráð fyrir að flæði vökva væri lárétt.

Gert var ráð fyrir línulegu sambandi á milli togkrafts og dýpis þar sem gerð var sú nálgun að vírinn væri beinn. Líkan fyrir togkraft í vír er þ.a.l.

$$F_{tog} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \rho C_{normal} d h v^2\right)^2 + (w l)^2} + F_{tog,grind+net} \quad (3)$$

þar sem $h = l \cdot \sin(\theta)$ og $w = \frac{W}{l}$, W er heildar þyngd vírsins í sjó (sjá mynd 5). Hlutfleidda togkrafts með tilliti til l er

$$\frac{\partial F_{tog}}{\partial l} = \sqrt{\frac{1}{4} \rho^2 C_{normal}^2 d^2 \sin^2(\theta) v^4 + w^2} \quad (4)$$



Mynd 3: Kraftamynd sem sýnir dragkraft og þyngd, ásamt einfaldri mynd af ljósvörpunni með væng sem hæðarstilli.

$$C_{normal} = \sqrt{\frac{\frac{\partial F_{toga}}{\partial h}^2 \sin^2(\theta) - w^2}{\frac{1}{4} \rho^2 d^2 \sin^2(\theta) v^4}} \quad (5)$$

3.2 Úrvinnsla gagna

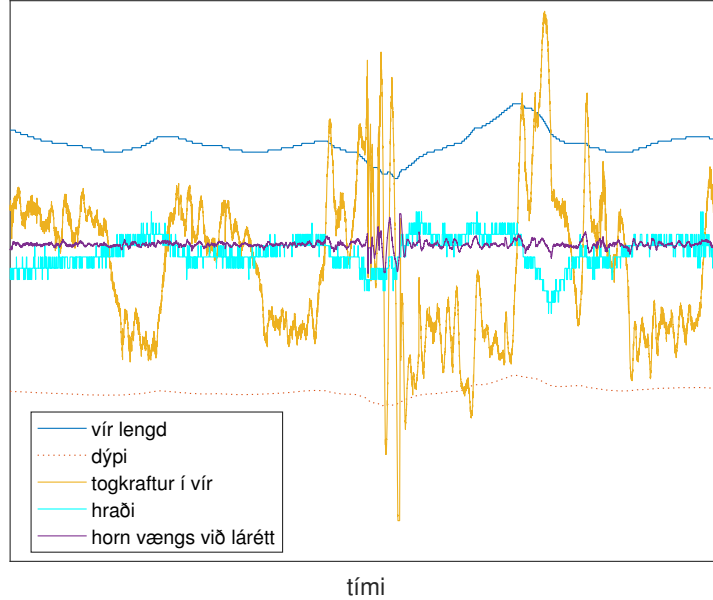
Gögnin sýna greinilega að kerfið er mjög virkt og að togkraftur í vírnum er háður öllum mældum breytistærðum (sjá mynd 4) þ.á.m. lengdar vírs sem styður tilgátu eitt.

Eina óþekkta stærðin í jöfnu (2) er C_{normal} , til þess að meta C_{normal} var gert ráð fyrir að líkan togkrafts, jafna (3), gildi. Mælingar togkrafts voru skoðaður sem fall af dýpi, h . Dregin var besta lína í gegnum meðaltalið á dreifingu togkraftsins og C_{normal} metin út frá hallatölu línunnar $\frac{\partial F_{toga}}{\partial h}$ með jöfnu (5) (sjá myndir 2 og 3).

Til þess að skoða togkraft sem fall af dýpi voru tekin saman valin tímabil úr gögnunum þar sem kerfið var næstum því í stöðugu ástandi þ.e.a.s. tímabil með litlar breytingar á horni vængs við lárrétt, hraða og lengd. Á þessum ákveðnum tímabilum var skráð dýpi og dreifing togkraftsins þar sem hann var breytilegur fyrir fast dýpi (sjá myndir 2 og 3). Tímabil þegar spilið á togaranum dregur aflann inn eða gefur vírinn út hratt eru ómarktæk þar sem togkraftur eykst og minnkar verulega í þeirri röð sem áður var getið. Skyndileg aukning í togkraftinum eins og þessi er ekki lýsandi fyrir dragkraftinn á vírinn á þessu dýpi þar sem fleiri kraftar verka á kerfið í þessu virka ástandi.

Stuðullinn C_{normal} er háður horni sem hraði vökva myndar við vírinn, θ , og ferð vökvans, v . Úr gögnunum var hægt að útbúa tvö gröf fyrir tvo mismunandi hraða. Hallatölur bestu línanna, $\frac{dF_{toga}}{dh}$, úr gröfunum voru ekki þær sömu þar sem C_{normal} eykst með hraða.

Til þess að reikna C_{normal} fyrir aðra hraða en þá sem eru í gröfunum var skoðuð hallatala bestu línu, $\frac{dF_{toga}}{dh}$, sem fall af hraða, v . Samband hallatölu og hraða var línulegt með upphafspunkti viðbættum, upphafspunkturinn er fengin með þeirri nálgun að $\frac{dF_{toga}}{dh} = 0$ þegar $v = 0$. Hallatala línunnar h' var notuð til þess að endurbæta líkanið, jöfnu (5), þar sem $\frac{dF_{toga}}{dh} = v \cdot h'$. Nú er



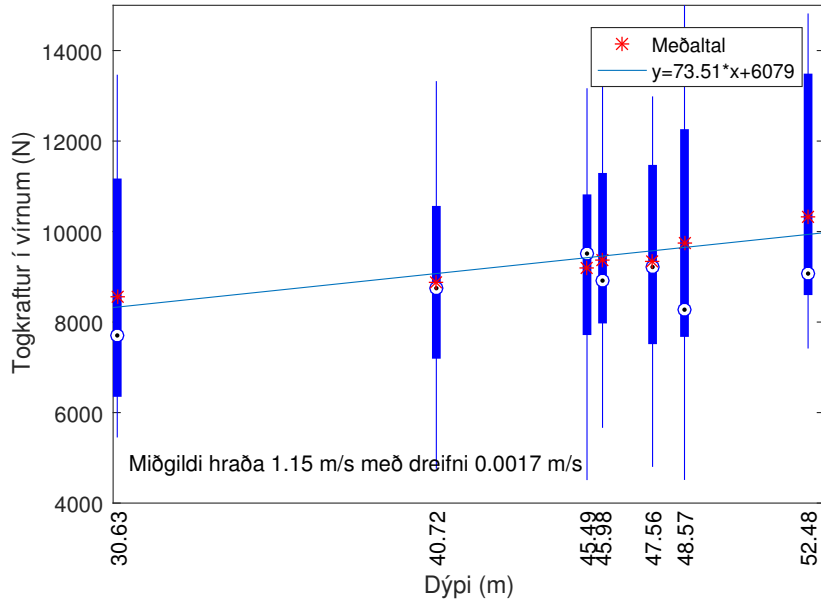
Mynd 4: Mynd sem sýnir hversu virkt kerfið er. Ath ásarnir eru óskalaðir

$$C_{normal} = \sqrt{\frac{(vh')^2 \sin^2(\theta) - w^2}{\frac{1}{4}\rho^2 d^2 \sin^2(\theta) v^4}} \quad (6)$$

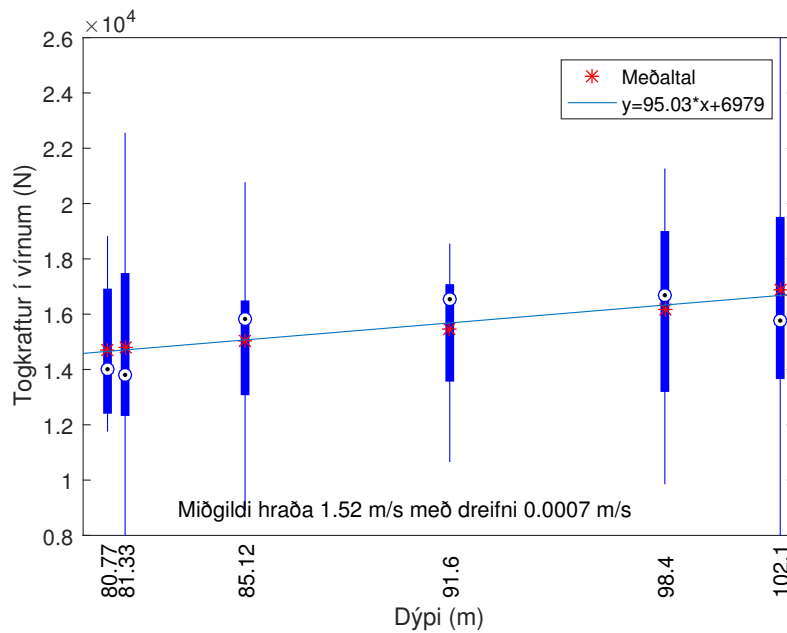
Til þess að kanna hvort C_{normal} gefi gott mat á dragkraftinn þá var mældur togkraftur borinn saman við fræðilegan togkraft. Fræðilegi togkrafturinn var reiknaður með jöfnu (3). $F_{tog,grind+net}$ var metið með töflugildum fyrir dragkraft og flatarmál ljósvörpu metið út frá teikningu vörpunnar. Upplýsingar um dragkraft á netið voru fengnar frá Hafrannsóknastofnun. Hlutfallsóvissan var $\frac{\Delta F_{tog}}{F_{tog}} = 0.062$ óvissan stafar af óvissu í θ og óvissu í $F_{tog,grind+net}$. Fræðilegi togkrafturinn var reiknaður með jöfnu (3) en fyrir illa skilgreindu tímabilin þá fellur togkrafturinn í ákveðin gildi. Tromlan beytir lágmarks togkrafti þegar hún gefur hratt út vír til þess að vírin vindi ekki upp á sig, sá kraftur er settur inn í líkanið. Fyrir hin illa skilgreindu tímabilin þegar breyting í vírlengd er ekki hröð fellur togkrafturinn alltaf niður í ákveðið gildi sem er metið úr gögnumum.

4 Niðurstöður

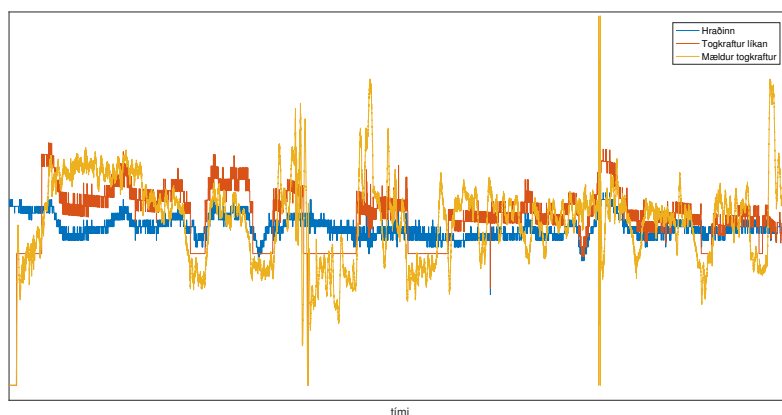
Tekin var saman heildar fræðilegur og mældur togkraftur yfir 5 klst tímabil (sjá mynd 7). Heildar kraftarnir báru saman þannig að líkanið gefur gott mat á togkraftinn þrátt fyrir að á þessu tímabili hafi spilið dregið aflann inn og gefið út vír.



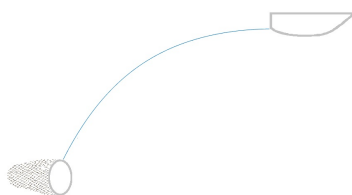
Mynd 5: Togkraftur sem fall af dýpi við hraða 1.15 m/s eða 2.24 hnúta



Mynd 6: Togkraftur sem fall af dýpi við hraða 1.52 m/s eða 2.96 hnúta



Mynd 7: Brot úr gögnunum hér er skoðaður hraði, líkan togkrafts og mældur togkraftur til samanburðar



Mynd 8: Hvernig kerfið lítur út ef vírinn liggur eins og cosh á hvolfi

5 Umræða

Fræðilegur togkraftur reiknaður með jöfnu (3) ber saman við mældan togkraft þ.a.l má gera ráð fyrir að líkan dragkrafts jafna (2) gefi gott mat á dragkraft. Það kemur í ljós að dragkrafturinn á vírinn hefur talsverð áhrif á heildar togkraftinn í vírnum. Útreikningar forritsins Freeship gáfu viðnám togarans með 10% óvissu sem bar saman við viðnám frá samskonar togara. Það kom í ljós að viðnám togarans var aðeins 5% af viðnámi togvírs á kerfið og u.þ.b. 5% af heildar viðnámi kerfisins. Þetta er til marks um það hvað mikilvægt er að greina viðnámið frá dragkrafti á vírinn þar sem hann hefur töluverð áhrif á heildar viðnám kerfisins. Þetta líkan er hannað með nálgunum sem einfalda verkefnið til muna, til þess að fá meiri nákvæmni væri gott að þekkja lögun vírsins og nota ferilheildun til að meta togkraftinn. Dæmi um umrædda ferilheildun má finna í skýrslu[8].

Tilgátan um að lögun vírs sé eins og hyperbólskur kósínus stennst ekki þar sem dragkrafturinn á vírinn er u.þ.b. fjórföld þyngd vírsins þ.a. dragkrafturinn hefur meiri áhrif á lögun vírsins. Vírinn er mjög léttur og togkrafturinn í neðstu stöðu er ekki láréttur eins og við lagningu sæstrengs. Vegna stærðargráðu dragkrafts á vírinn er ekki ólíklegt að þyngdin hafi lítil áhrif og að vírinn taki þá lögun cosh á hvolfi[8] (sjá mynd 8).

6 Heimildaskrá

- [1] Les Watling, Deep-sea trawling must be banned, Nature 501, 7 (2013) doi:10.1038/501007a
- [2] Gianni, M., Currie, D.E.J., Fuller, S., Speer, L., Ardron, J., Weeber, B., Gibson, M., Roberts, G., Sack, K., Owen, S., Kavanagh, A. Unfinished business: a review of the implementation of the provisions of UNGA resolutions 61/105 and 64/72 related to the management of bottom fisheries in areas beyond national jurisdiction, Deep Sea Conservation Coalition (2011).
- [3] Emil Ragnarsson, Olíunotkun og orkubúskapur fiskiskipa, Orkuþingsbókin 2006, bls. 282-296.
- [4] Helga R. Eyjólfsdóttir, Halla Jónsdóttir, Eva Yngvadóttir, Bryndís Skúladóttir, Environmental effects of fish on the consumers dish - Life cycle assessment of Icelandic frozen cod products, Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins og Iðntækni- stofnun , 2003.
- [5] N. Yang, D-S Jeng og X. L. Zhou, Tension Analysis of Submarine Cables During Laying Operations, The Open Civil Engineering Journal, 2013.
- [6]Hollenbach, K. U., Estimating resistance and propulsion for single-screw and twin-screw ships, Ship technology research, 1998, Vol 45, Part 2, bls 72-76. [7]J. Holtrop, G.G.J. Mennen, AN APPROXIMATE POWER PREDICTION METHOD, Netherlands Ship Model Basin, (Marin), Wageningen, Holland, 1982.
- [8] F. Peters, Shape and drag of a bulging rope in uniform cross flow, Acta Mechanica, Springer-Verlag 2000