

Juho Sillanpää

# RUNKOTYYPIN VAIKUTUS VENEEN POLTTOAINEENKULUTUKSEEN

Opinnäytetyö  
Veneteknologian koulutusohjelma

Marraskuu 2015

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Juho Sillanpää	Insinööri	Marraskuu 2015
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
Runkotyypin vaikutus veneen polttoaineenkulutukseen		24 sivua 5 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Ab Kewatec Aluboot Oy		
<b>Ohjaaja</b>		
Lehtori Terho Halme		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Opinnäytetyö käsittelee runkotyypin vaikutusta veneen polttoaineenkulutukseen. Työssä käsitellään veneen kulkuvastukseen ja sitä kautta veneen polttoaineenkulutukseen vaikuttavia tekijöitä, sekä verrataan trimaraanirunkoisen luotsiveneen polttoaineenkulutusta olemassa olevan yksirunkoisen luotsiveneen polttoaineenkulutukseen. Veneen kulkuvastuksien laskennassa käytettiin Michlet-ohjelmaa. Lisäksi mitattiin Kewatec Alubootin valmistaman trimaraanin prototyypin polttoaineen kulutus.</p> <p>Laskelmien perusteella trimaraanissa näyttäisi olevan jonkin verran yksirunkoista luotsiveneettä pienempi polttoaineenkulutus. Työssä myös verrattiin Michlet-ohjelmalla optimoidun katamaraanin ja trimaraanin kulkuvastusta. Tämän laskelman perusteella katamaraanissa näyttäisi olevan hieman trimaraania pienempi kulkuvastus.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
vene, kulkuvastus, trimaraani, polttoaineenkulutus		

<b>Author (authors)</b>	<b>Degree</b>	<b>Time</b>
Juho Sillanpää	Boat Technology	November 2015
<b>Thesis Title</b>		
Hull Type Affects to Boat's Fuel Consumption		24 pages 5 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>		
Ab Kewatec Aluboot Oy		
<b>Supervisor</b>		
Terho Halme, Senior Lecturer		
<b>Abstract</b>		
<p>This thesis investigates how the hull type of a boat influences the fuel consumption. The thesis describes which factors influence the resistance and the fuel consumption of a boat. It also compares fuel consumption of the trimaran and the monohulled pilot boats'. The boats resistances were calculated by the Michlet software. Also, the fuel consumption of the trimaran prototype manufactured by Kewatec Aluboot was measured.</p> <p>Based on the calculations, a trimaran seems to have a little smaller fuel consumption than a monohulled boat. The thesis also compares the resistance of a catamaran and a trimaran. The hulls were optimised by Michlet software. Based on this calculation, it seems that a catamaran has a little smaller resistance than a trimaran.</p>		
<b>Keywords</b>		
boat, resistance, trimaran, fuel consumption		

## SISÄLLYS

SELITYSLUETTELO.....	6
1 JOHDANTO.....	7
2 VENEEN KULKUVASTUS.....	7
2.1 Frouden luku.....	7
2.2 Viskoosinen vastus.....	8
2.3 Jäännösvastus.....	8
2.3.1 Aallonmuodostusvastus.....	8
2.3.2 Viskoosinen painevastus.....	11
3 VENETYYPIT.....	12
3.1 Uppoumarunkoinen vene.....	12
3.2 Puoliliukuva vene.....	13
3.3 Liukuva vene.....	13
3.4 Monirunkoveneet.....	13
4 MICHLET.....	13
5 PROTOTYYPIN POLTTOAINEENKULUTUS.....	14
5.1 Kulkuvastuksen laskeminen.....	15
6 TRIMARAANIRUNKOISEN LUOTSIVENEEN POLTTOAINEENKULUTUKSEN VERTAILU.....	16
6.1 Arviointimenetelmä.....	17
6.2 Kulkuvastus.....	17
6.3 Polttoaineenkulutus.....	17
6.4 Laskelman luotettavuuden arviointi.....	18
7 YKSIRUNKOISEN JA TRIMARAANIRUNKOISEN LUOTSIVENEEN POLTTOAINEENKULUTUKSEN VERTAILU.....	19
8 KATAMARAANIN JA TRIMARAANIN VERTAILU.....	22
9 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	22
LÄHTEET.....	24
LIITTEET.....	25
Liite 1/1. Michletillä optimoidun trimaraanin keskirungon linjapiirustukset.....	25

Liite 1/2. Michletillä optimoidun trimaraanin sivurunkojen linjapiirustukset. ....	26
Liite 2. Michletillä optimoidun katamaraanin linjapiirustukset. ....	27
Liite 3. Prototyypitrimaraanin Michletillä lasketut kulkuvastuskomponentit. ....	28
Liite 4. Trimaraanirunkoisen luotsiveneen kulkuvastuskomponentit. ....	29

## SELITYSLUETTELO

nm	Meripeninkulma: Yksi meripeninkulma on 1852 metriä.
kn	Solmu: Solmua käytetään veneilyssä nopeuden yksikkönä. Solmulla tarkoitetaan, montako meripeninkulmaa vene liikkuu tunnissa.
V	Nopeus (m/s)
g	Maan vetovoiman kiihtyvyys (m/s <sup>2</sup> )
L <sub>WL</sub>	Veneen vesilinjan pituus (m)
C <sub>f</sub>	Kitkakerroin (N)
ρ	Veden tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
S <sub>w</sub>	Märkäpinta-ala (m <sup>2</sup> )
R <sub>f</sub>	Kitkavastus (N)
F <sub>n</sub>	Frouden luku
R <sub>n</sub>	Reynoldsin luku
Michlet	Veneiden kulkuvastuksien laskentaohjelma

## 1 JOHDANTO

Veneen polttoaineenkulutuksen merkitys on kasvanut jatkuvasti polttoaineiden hintojen noustessa ja venevalmistajat pyrkivät kehittämään yhä vähemmän polttoainetta kuluttavia veneitä. Veneen runkotyypillä ja rungon muodolla on suuri merkitys veneen kulkuvastukseen ja sitä kautta veneen polttoaineenkulutukseen.

Opinnäytetyössä selvitettiin runkotyyppin vaikutusta veneen polttoaineenkulutukseen. Tarkoituksena oli verrata trimaraanirunkoisen veneen polttoaineenkulutusta olemassa olevan yksirunkoisen luotsiveneen polttoaineenkulutukseen. Kulkuvastuksien laskemisessa käytettiin Michlet-ohjelmistoa. Lisäksi opinnäytetyössä optimoitiin Michlet-ohjelman avulla katamaraani ja trimaraani ja vertailtiin niiden kulkuvastusta.

Opinnäytetyön tilaaja on Kokkolassa sijaitseva Ab Kewatec Aluboot Oy. Karl-Eric Warghin vuonna 1998 perustama yritys valmistaa alumiiniveneitä asiakkaiden tarpeiden mukaan. Tuoteryhmissä on työveneitä, matkustaja-aluksia, öljyntorjunta-aluksia, luotsiveneitä ja huviveneitä. Yrityksen toimitusjohtajana toimii Jens Ahlskog. (1.)

## 2 VENEEN KULKUVASTUS

Veneen kulkuvastus voidaan jakaa viskoosiseen vastukseen, jäännösvastukseen ja ulkoiseen vastukseen. Viskoosiseen vastukseen sisältyy kitkavastus ja veneen vedenalaisen osan pinnan karkeudesta johtuva karkeusvastus. Jäännösvastus puolestaan koostuu aallonmuodostusvastuksesta ja viskoosisesta painevastuksesta. Ulkoista vastusta aiheuttaa aallokko. Myös ilmanvastus lisää veneen kulkuvastusta, mutta sen osuus kokonaisvastuksesta on kuitenkin yleensä melko pieni.

### 2.1 Frouden luku

Frouden luku on virtauksia tutkineen William Frouden (1810 - 1879) mukaan nimetty luku, joka kuvaa veneen nopeuden suhdetta veneen vesilinjan pituu-

den neliöjuureen. Tätä suhdetta kutsutaan myös veneen suhteelliseksi nopeudeksi. Kun erimittaisten veneiden Frouden luku on sama, niin ne liikkuvat suhteessa samalla nopeudella. Frouden luvulla 0,4 aallon pituus on veneen vesilinjan pituinen. (2, 71.)

$$\text{Frouden luku } F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}}$$

## 2.2 Viskoosinen vastus

Viskoosinen vastus koostuu kitkavastuksesta ja veneen vedenalaisen osan pinnan karkeudesta johtuvasta karkeusvastuksesta.

Veneen kitkavastus johtuu vesikerrosten välisistä molekyylivoimista. Turbulenttisessa virtauksessa vesikerrosten välinen nopeusero lähellä pintaa on suurempi kuin laminaarisessa virtauksessa ja tästä johtuen kitkavastus on turbulenttisessa virtauksessa suurempi kuin laminaarisessa virtauksessa.

Veneen kitkavastus on lähes suoraan verrannollinen veneen märkäpinta-alaan ja nopeuteen ja se voidaan laskea alla olevalla kaavalla.

$$R_f = C_f \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_W$$

Kitkakerroin voidaan laskea kaavalla.

$$C_f = \frac{0,075}{(\text{Log} R_n - 2)^2}$$

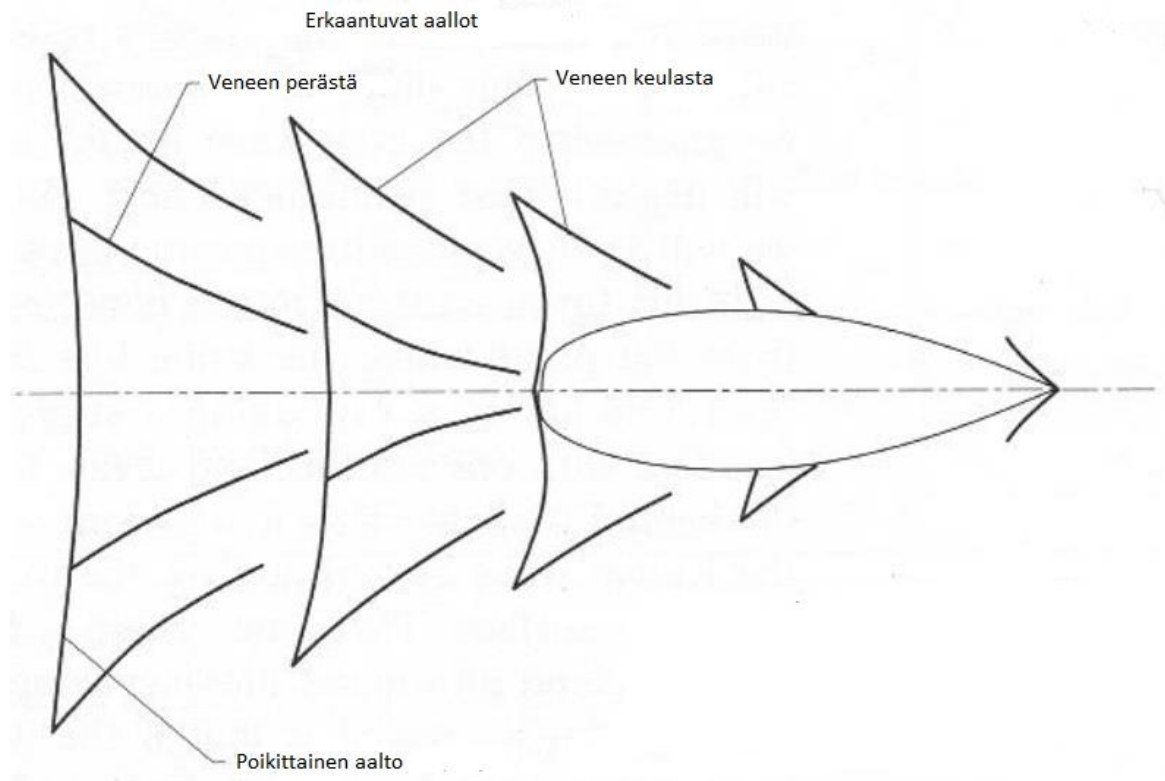
## 2.3 Jäännösvastus

### 2.3.1 Aallonmuodostusvastus

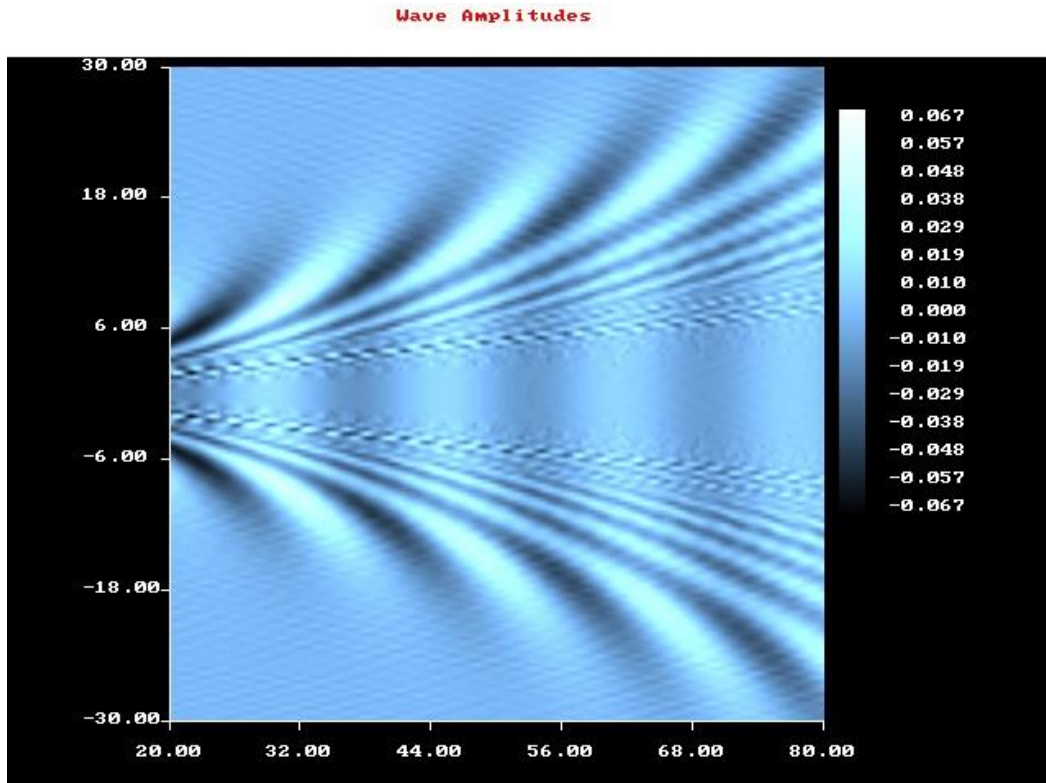
Aallonmuodostusvastusta syntyy veneen muodostaessa aaltoja. Kuten Kuvista 1 ja 2 voidaan havaita, synnyttää vene liikkuessaan poikittaisia ja erkaantuvia aaltoja. Veneen keulassa ja perässä virtaus hidastuu ja virtauksen hidastuminen aiheuttaa keula- ja peräaaltojärjestelmät. Peräaaltojärjestelmä on kuitenkin huomattavasti keula-aaltojärjestelmää heikompi, veneen kitkasta ja aaltojen interferenssistä johtuen. (3.)



Pienillä nopeuksilla poikittaisaaltovastuksen osuus kokonaisaaltovastuksesta on merkittävä, mutta nopeuden kasvaessa poikittaisten aaltojen vaikutus pienenee ja yhä suurempi osuus aaltovastuksesta syntyy erkaantuvista aalloista.



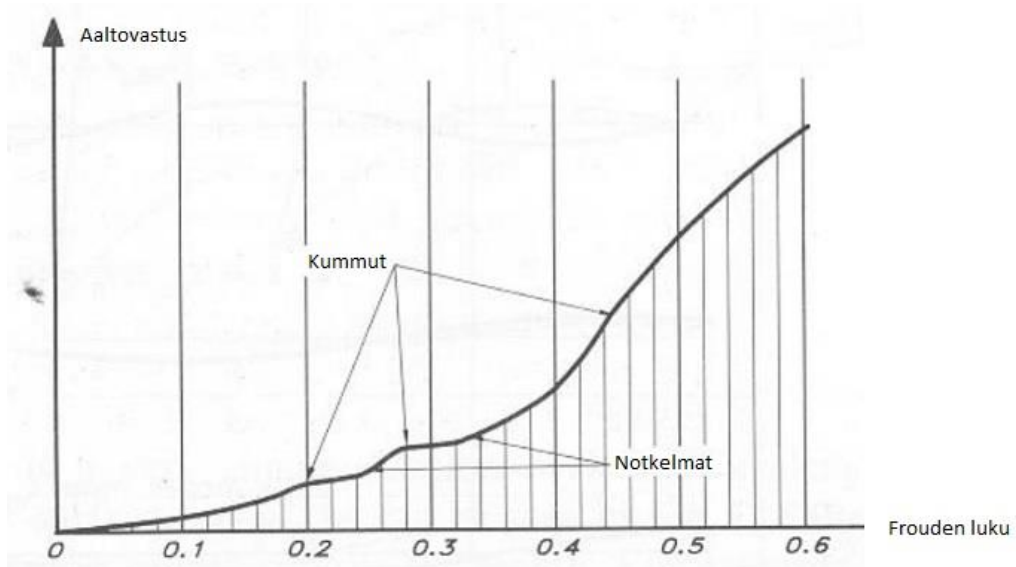
Kuva 1. Veneen aallonmuodostus (4,82)



Kuva 2. Kewatec trimaraanin Michletillä laskettu aallonmuodostus 5 m/s nopeudella.

Interferenssiä syntyy kun veneen keula- ja peräaalto vahvistavat tai kumoavat toisiaan. Monirunkoveneissä myös eri rungoista syntyvät aallot aiheuttavat interferenssiä. Kuvassa 3 esitetään erään veneen aaltovastus eri Frouden luvuilla. Kuvassa olevat kummut syntyvät keula- ja peräaallon vahvistaessa toisiaan. Notkelmat puolestaan syntyvät keula- ja peräaallon kumotessa toisiaan. (4.) Liitteessä 3 on esitetty Kewatec trimaraanin Michlet-ohjelmalla laskettu interferenssivastuksen suuruus ja liitteessä 4 trimaraanirunkoisen luotsiveneen arvioitu interferenssivastus.

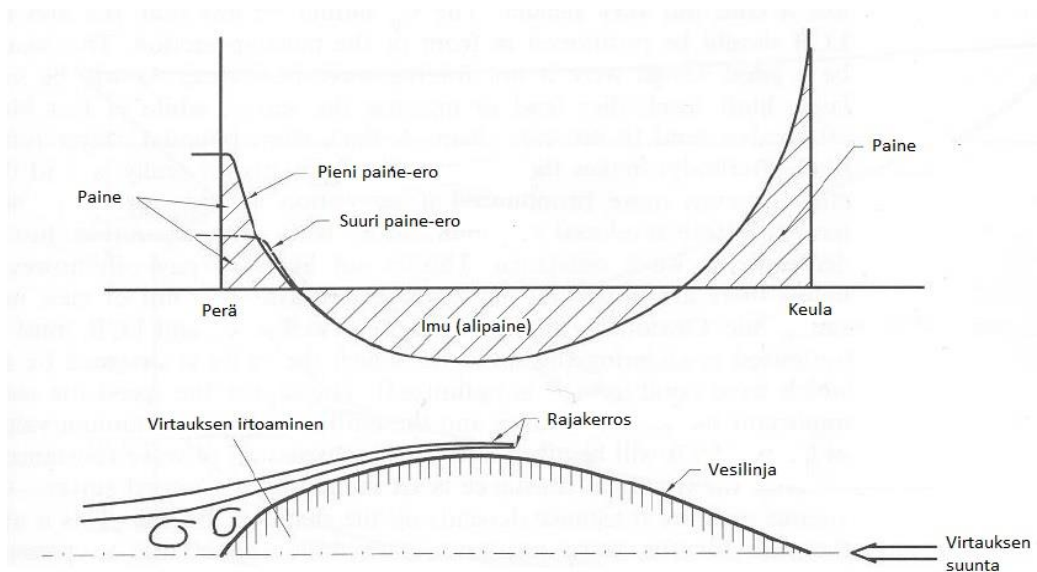
Frouden lukuun 0.4 asti poikittaisaaltojen interferenssi aiheuttaa kuvassa 3 näkyvät aaltovastuskäyrän kummut ja notkelmat. Kun nopeus kasvaa suuremmaksi, alkaa myös erkaantuvien aaltojen interferenssi vaikuttaa.



Kuva 3. Aaltovastuskäyrän kummut ja notkelmat. (4, 85)

### 2.3.2 Viskoosinen painevastus

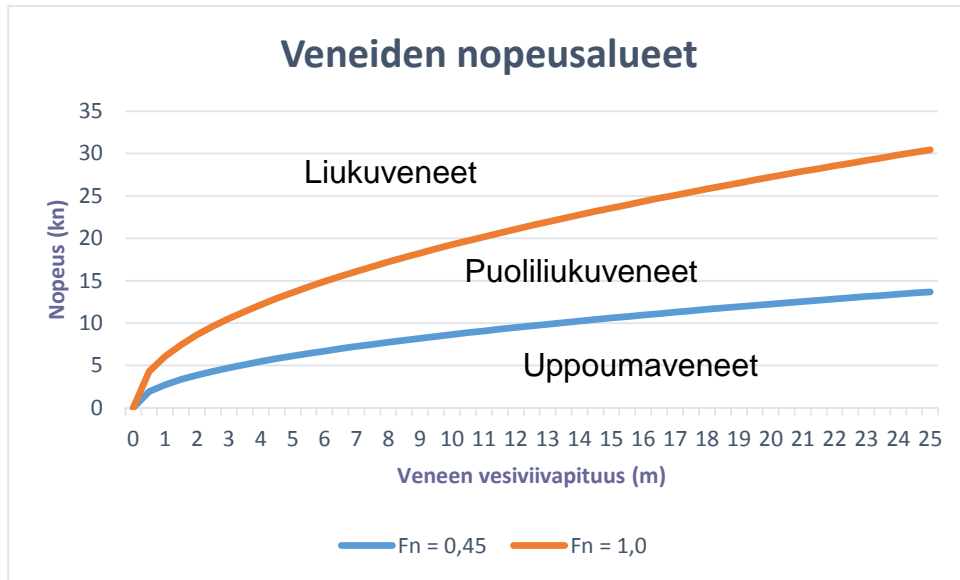
Viskoosinen painevastus syntyy veneen keulan ja perän välisestä paine-erosta. Suippoperäisessä veneessä paine-ero keulan ja perän välillä on pieni, jolloin myös viskoosinen painevastus on pieni. Tasaperäisessä veneessä viskoosinen painevastus on puolestaan veneen keulan ja perän välisestä paine-erosta johtuen selvästi suurempi (Kuva 4) (4).



Kuva 4. Viskoosinen painevastus (4,79)

### 3 VENETYYPIT

Veneet voidaan jakaa kulkutavan mukaan uppoumarunkoisiin, puoliliukuviin ja liukuviin veneisiin. Kuvassa 5 esitetään eri venetyyppien tyypilliset nopeusalueet suhteessa veneen vesiviivapituuteen.



Kuva 5. Veneiden nopeusalueet.

#### 3.1 Uppoumarunkoinen vene

Uppoumarunkoinen vene syrjäyttää liikkuessaan uppoumansa verran vettä. Uppoumarunkoisten veneiden nopeutta rajoittaa runkonopeus. Runkonopeudella tarkoitetaan nopeutta jolloin veneen synnyttämän aallon pituus on veneen vesilinjan pituinen. Frouden luku on tällöin 0,4. Kun veneen nopeutta tämän jälkeen lisätään, alkaa veneen perä painumaan keula-aallon pohjalle ja vene joutuu kulkemaan synnyttämänsä keula-aallon rinnettä ylös. Runkonopeuden jälkeen uppoumarunkoisen veneen nopeus ei juurikaan kasva vaikka tehoa lisättäisiin. (2, 65, 70-71.)

### 3.2 Puoliliukuva vene

Puoliliukuvassa veneessä hydrodynaaminen noste kannattelee osaa veneen painosta. Veneen keula-aallon ylämäki- ja ylitysvaiheessa veneen aallonmuodostusvastus on kuitenkin suurimmillaan ja tästä johtuen puoliliukuvan veneen käyttökelpoinen nopeusalue jää melko pieneksi. (2, 65-66, 81.)

### 3.3 Liukuva vene

Nykyään liukuva vene on yleisin moottorivenetyyppi. Liukuveneet ylittävät selvästi Frouden luvun 1,0. Kun vene ei liiku niin hydrostaattinen noste kannattelee venettä, mutta kun vene lähtee liikkeelle ja ylittää liukukynnyksen niin veden virtaus aiheuttaa hydrodynaamista nostetta. Hydrodynaamisen nosteen ansiosta vene nousee ylemmäs ja liikkuu veden pinnalla. (2, 81.)

### 3.4 Monirunkoveneet

Monirunkoratkaisun avulla saadaan veneelle pieni aallonmuodostusvastus, suuri poikittaisvakavuus ja kannelle saadaan suuri pinta-ala (3, 34). Yleisimpiä monirunkoveneitä ovat katamaraanit ja trimaraanit. Pieni aallonmuodostusvastus johtuu siitä, että monirunkoveneen rungoilla on usein suuri pituus-uppouma suhde. Pienestä aallonmuodostusvastuksesta johtuen suurin hyöty saavutetaan nopeuksilla, joilla aallonmuodostusvastuksen osuus kokonaisvastuksesta on merkittävä.

## 4 MICHLET

Tässä opinnäytetyössä päätettiin käyttää veneiden kulkuvastuksien laskemiseen Michlet-ohjelmaa. Michlet-ohjelmaan päädyttiin, koska sillä pystytään laskemaan myös monirunkoveneiden kulkuvastus ja se ottaa huomioon runkojen välisen interferenssin. Ohjelmalla pystytään arvioimaan uppouma- ja puoliliukuveneiden kulkuvastusta.

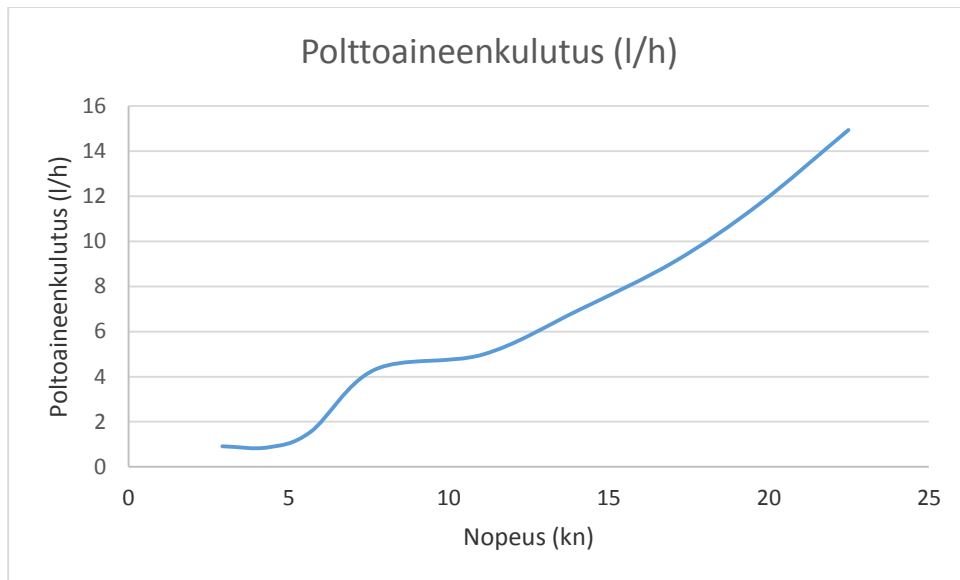
Ohjelmalla voidaan arvioida yksirunkoisten veneiden, monirunkoveneiden ja sukellusveneiden kulkuvastusta ja aallonmuodostusta. Ohjelmistosta löytyy

myös Godzilla-niminen optimointiohjelma, joka etsii ennalta määriteltyjen arvojen perusteella pienimmän kulkuvastuksen omaavan runkomuodon. (5, 4.)

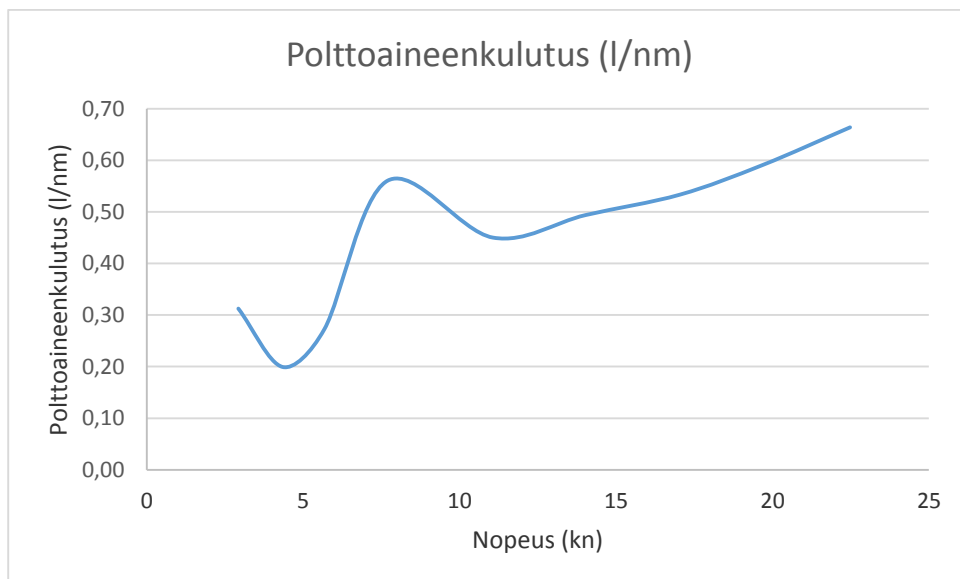
Ohjelma laskee veneen aallonmuodostusvastuksen Michellin integraalin avulla (6). Se perustuu J.H Michellin vuonna 1898 esittämään aaltovastuksen laskentamenetelmään, jossa oletetaan, että vene on kapea ja vapaan nestepinnan reunaehtojen linearisointiin (3, 18-19).

## 5 PROTOTYYPIN POLTTOAINEENKULUTUS

Trimaraanin prototyypin polttoaineenkulutus mittaus suoritettiin Kokkolassa 19.12.2014. Mittauksessa mitattiin moottorin polttoaineen kulutus tunnissa veneen eri nopeuksilla. Tuntikulutuksen perusteella pystyttiin laskemaan myös polttoaineen kulutus meripeninkulmalla eri nopeuksille. Mittaus toteutettiin ajamalla venettä ennalta määritellyillä moottorin kierrosluvulla (1000 – 5000 rpm) ja katsomalla näille kierrosluvuille polttoaineenkulutus litroina tunnissa, sekä veneen nopeus solmuina. Pienillä kierrosluvuilla (1000 – 2000 rpm) polttoaineenkulutuksen tarkka mittaaminen osoittautui haasteelliseksi, koska mittarin kulutusarvot heittelehtivät paljon. Sää oli mittauspäivänä mittaukseen hyvä. Lämpötila oli noin 0°C ja tuuli noin 5 m/s. Mittauspaikalla aallokko oli melko pientä ja sen merkitys mittaustuloksiin oli vähäinen. Polttoaineenkulutus mitattiin sekä vasta- että myötätuuleen kolme kertaa ja näistä laskettiin keskiarvo. Kuvasta 6 nähdään prototyypin polttoaineenkulutus tunnissa eri nopeuksilla ja kuvassa 7 on laskettu veneen kulutus meripeninkulmalla eri nopeuksilla.



Kuva 6. Prototyypin mitattu polttoaineenkulutus (l/h).

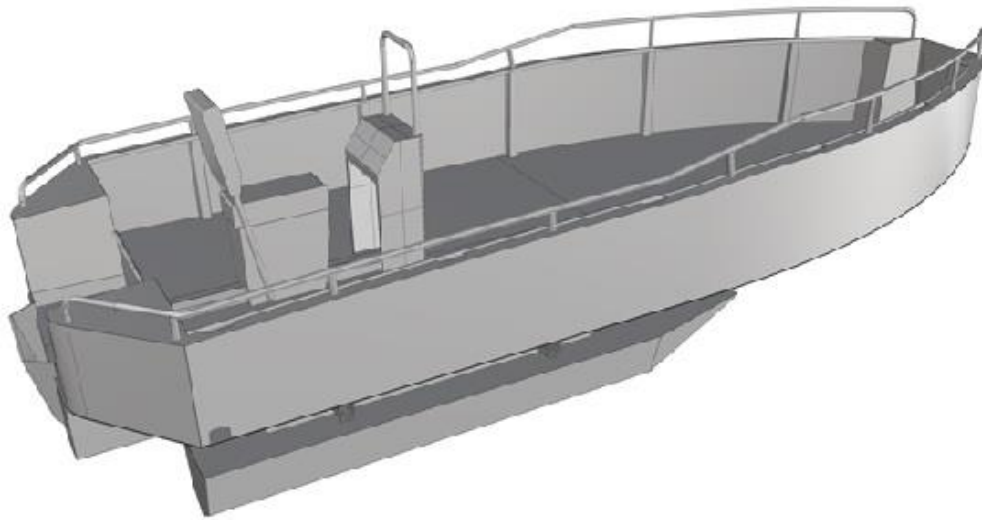


Kuva 7. Prototyypin mitattu polttoaineenkulutus (l/nm).

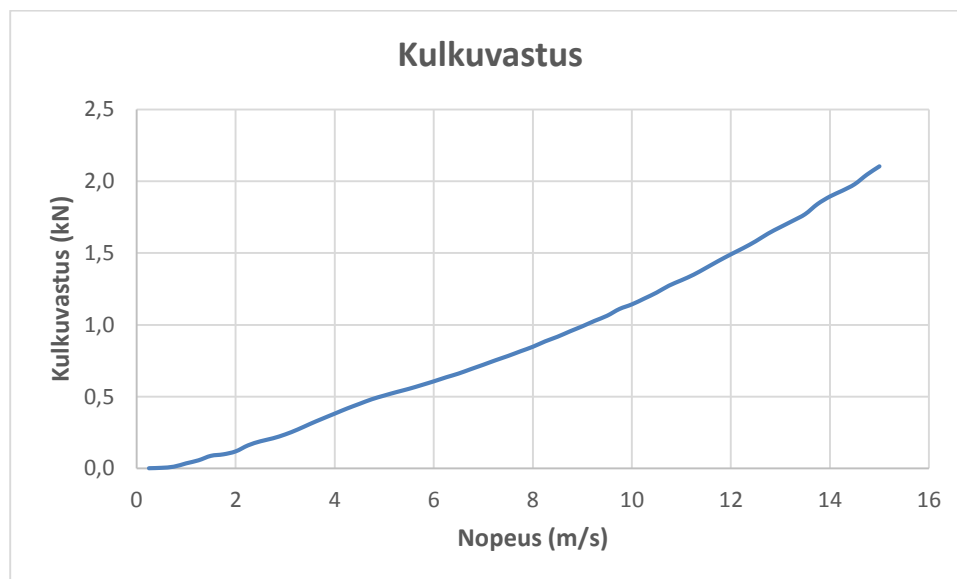
## 5.1 Kulkuvastuksen laskeminen

Prototyypin kulkuvastus ja sen eri kulkuvastuskomponentit laskettiin prototyypin 3D-mallin avulla Michlet-ohjelmalla. 3D-mallista määritettiin Rhinoceros-tietokoneohjelmalla trimaraanin vedenalaisen osan offset-pisteet, jotka siirrettiin Michlet-ohjelmaan. Tämän jälkeen laskettiin Michlet-ohjelmalla trimaraanin kulkuvastus.

Kuvasta 9 nähdään prototyypitrimaraanin Michlet-ohjelmalla laskettu kulkuvastus suhteessa veneen nopeuteen ja liitteessä 3 on esitetty tarkemmin eri kulkuvastuskomponentit ja niiden osuus veneen kokonaisvastuksesta.



Kuva 8. Prototyypin 3D-malli. (Ab Kewatec Aluboot Oy)



Kuva 9. Prototyypitrimaraanin Michletillä laskettu kulkuvastus.

## 6 TRIMARAANIRUNKOISEN LUOTSIVENEEN POLTTOAINEENKULUTUKSEN VERTAILU

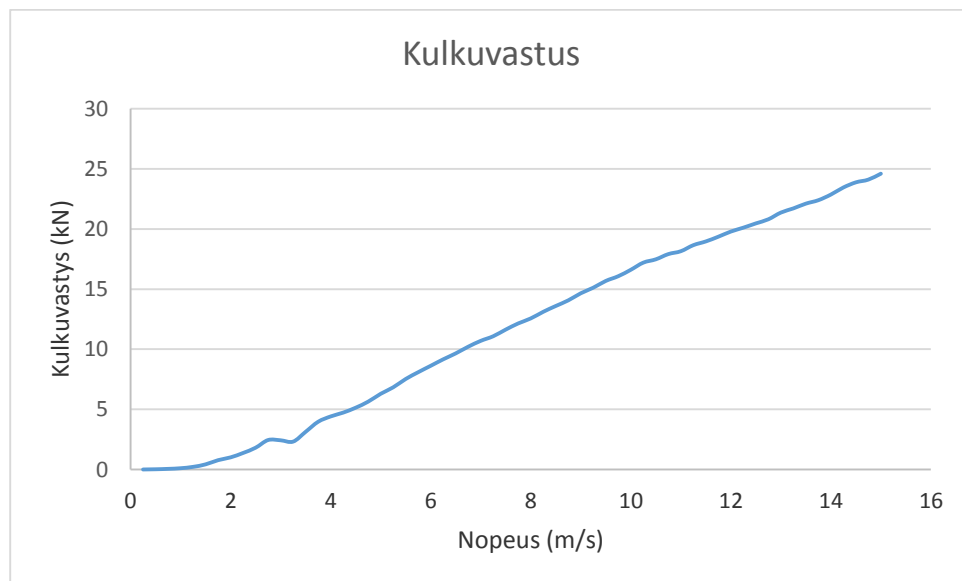


## 6.1 Arviointimenetelmä

Trimaraanirunkoisen luotsiveneen polttoaineenkulutusta arvioitiin laskemalla trimaraanin kulkuvastus Michlet-ohjelmalla. Trimaraani-luotsiveneen runkona käytettiin Kewatecin valmistamaa 5,8 metrin mittaista trimaraanin prototyyppiä. Prototyypin 3D-malli jaettiin 41 kaareen ja 41 vesilinjaan, jonka jälkeen kaarien ja vesilinjojen leikkauspisteistä mitattiin offset-pisteet. Offset-pisteet siirrettiin Michlet-ohjelmaan ja prototyyppivene skaalattiin luotsiveneen kokoiseksi. Tämän jälkeen voitiin laskea veneen kulkuvastus Michletillä.

## 6.2 Kulkuvastus

Kuvassa 10 esitetään Michlet-ohjelmalla lasketun trimaraanirunkoisen luotsiveneen kulkuvastus.



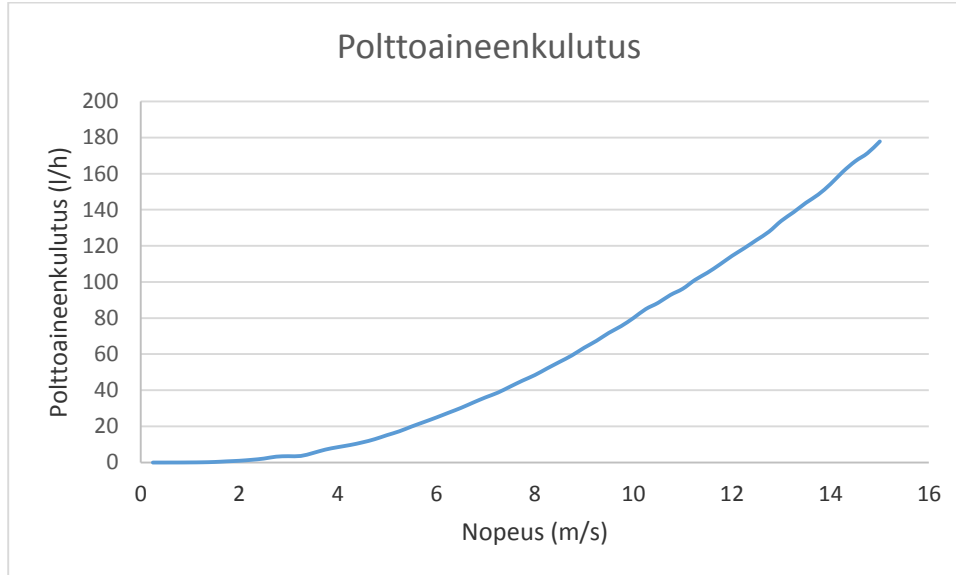
Kuva 10. Trimaraanirunkoisen luotsiveneen kulkuvastus.

## 6.3 Polttoaineenkulutus

Trimaraanirunkoisen luotsiveneen polttoaineenkulutusta arvioitiin Michlet-ohjelmalla lasketun kulkuvastuksen perusteella.

Dieselpolttoaineen tiheys +15 °C lämpötilassa mitattuna vaihtelee välillä 800-845 kg/m<sup>3</sup>. Kesälaatuojen tiheys on tyypillisesti talvilaatuja korkeampi. (7, 23)

Laskelmassa päätettiin käyttää dieselin tiheytenä  $830 \text{ kg/m}^3$ . Dieselmoottorin ominaiskulutuksen arvona käytettiin  $200 \text{ g/kWh}$  ja vetolaitteen hyötysuhteena  $50 \%$ . Kuvassa 11 esitetään yllä esitettyjen arvojen perusteella laskettu trimaraanirunkoisen luotsiveneen arvioitu polttoaineenkulutus.



Kuva 11. Trimaraanirunkoisen luotsiveneen arvioitu polttoaineenkulutus (l/h).

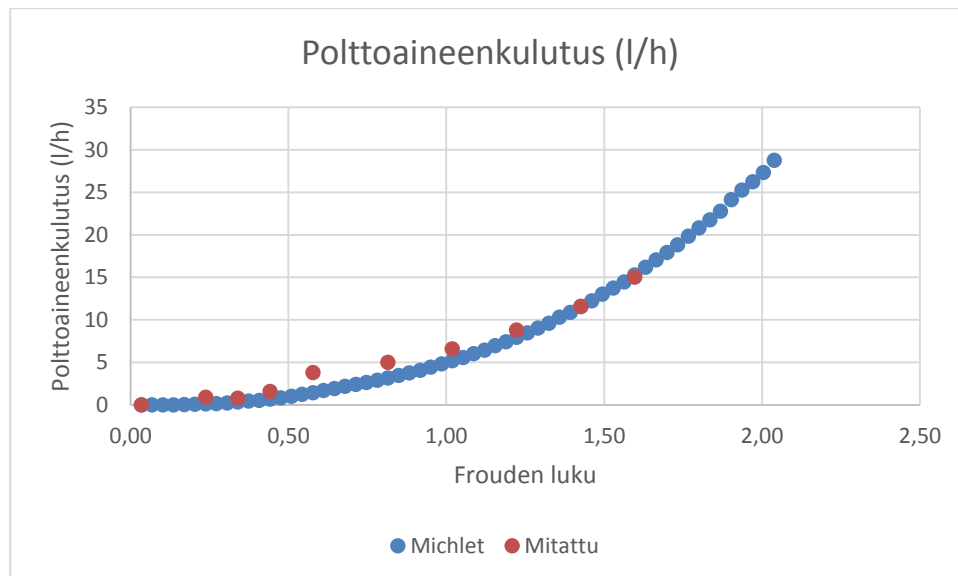
#### 6.4 Laskelman luotettavuuden arviointi

Arviota trimaraanirunkoisen luotsiveneen polttoaineenkulutuksesta voidaan pitää melko luotettavana. Laskelma ei kuitenkaan ota huomioon veneen trimmikulman, potkurin hyötysuhteen eikä moottorin ominaiskulutuksen muutosta eri nopeuksilla. Trimaraanin aallonmuodostus on kuitenkin melko pientä, eikä tästä johtuen trimmikulman vaikutus ole luultavasti kovinkaan merkittävä. Myös moottorin ominaiskulutus vaihtelee moottorin kierrosluvusta ja kuormituksesta riippuen. Samoin potkurin hyötysuhde vaihtelee eri nopeuksilla. Vetolaitteen hyötysuhteella ja moottorin ominaiskulutuksella on suuri merkitys polttoaineenkulutukseen. Jotta veneen kulkuvastuksesta saataisiin laskettua tarkasti veneen polttoaineenkulutus, pitäisi tietää moottorin ominaiskulutus eri tehoilla ja potkurin hyötysuhde eri nopeuksilla. Ominaiskulutuksen ja potkurin hyötysuhteen muutosta ei kuitenkaan ole huomioitu laskelmissa.

Kuvasta 12 nähdään prototyyppitrimaraanin Michletillä lasketusta kulkuvastuksesta arvioitu polttoaineenkulutus, sekä trimaraanin todellinen mitattu kulutus. Michletillä arvioidussa polttoaineenkulutuksessa on käytetty moottorin omi-

naiskulutuksena 0,35 litraa hevosvoimatuntia kohden ja vetolaitteen hyötysuhteena 50 prosenttia. Michletin avulla arvioitu polttoaineenkulutus näyttäisi vastaavan melko hyvin todellista kulutusta kun veneen suhteellinen nopeus ylittää arvon 1. Suhteellisen nopeuden ollessa alle 1, näyttäisi kulutus todellisudessa olevan laskettua suurempi.

Laskettua suurempaan kulutukseen vaikuttavat muun muassa moottorin ominaiskulutuksen nouseminen pienillä kierrosluvuilla ja veneen trimmikulman muuttumisesta mahdollisesti johtuva lisävastus. Lisäksi potkurin hyötysuhde saattaa olla pienillä nopeuksilla huonompi.

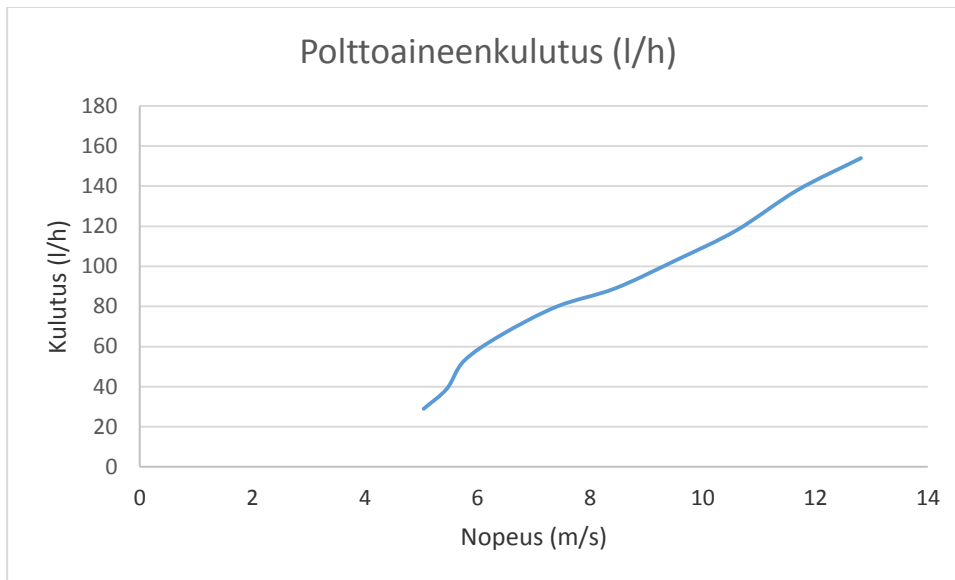


Kuva 12. Kewatec trimaraanin mitattu ja Michletin avulla arvioitu polttoaineenkulutus.

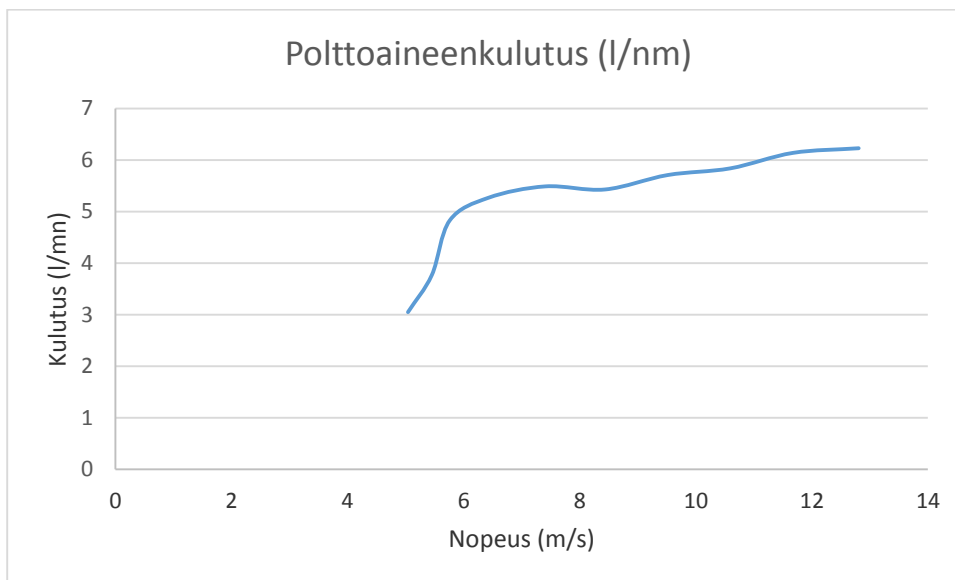
## 7 YKSIRUNKOISEN JA TRIMARAANIRUNKOISEN LUOTSIVENEEN POLTTOAINEENKULUTUKSEN VERTAILU

Trimaraanirunkoisen luotsiveneen laskettua polttoaineenkulutusta verrattiin Kewatecin valmistaman yksirunkoisen Pilot 1500 luotsiveneen mitattuun polttoaineenkulutukseen.

Kuvassa 13 on esitetty Kewatec Pilot 1500 veneen mitattu polttoaineenkulutus litroina tunnissa ja kuvassa 14 Pilot 1500 veneen polttoaineenkulutus litroina meripeninkulmalla.



Kuva 13. Kewatec Pilot 1500 luotsiveneen polttoaineenkulutus (l/h).

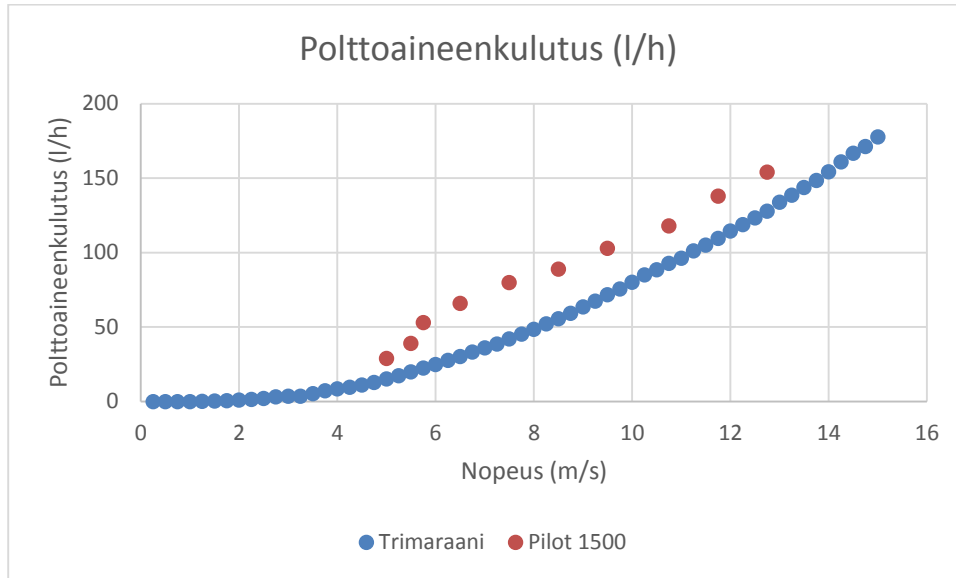


Kuva 14. Kewatec Pilot 1500 luotsiveneen polttoaineenkulutus (l/nm).

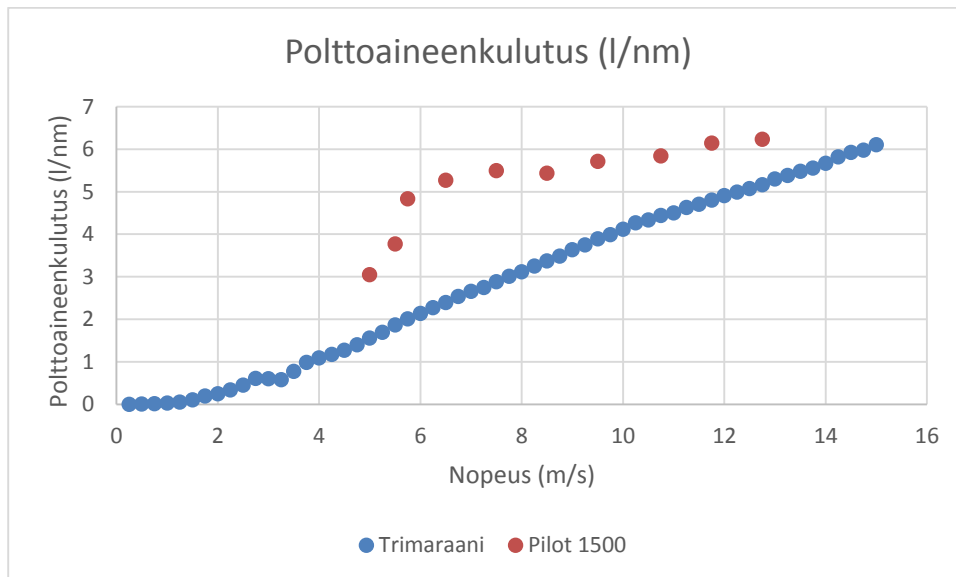
Vertailun perusteella trimaraani näyttäisi olevan jonkin verran yksirunkoista luotsiveneettä taloudellisempi kaikilla nopeuksilla. Suurin etu trimaraanirungosta saavutetaan nopeuksilla, joilla aallonmuodostusvastuksen osuus veneen kokonaisvastuksesta on merkittävä. Trimaraanin etu pieninee suurilla nopeuksilla, koska kitkavastuksen osuus veneen kokonaisvastuksesta kasvaa nopeuden noustessa.

Laskelman perusteella ero polttoaineenkulutuksessa olisi suurimmillaan noin 6 m/s nopeudella, jolloin ero on laskelman perusteella noin 3 litraa meripeninkul-

malla trimaraanin eduksi. Prototyypistä mitatun polttoaineenkulutuksen perusteella ero kulutuksessa ei kuitenkaan olisi pienillä nopeuksilla näin suuri. (Kuva 12)



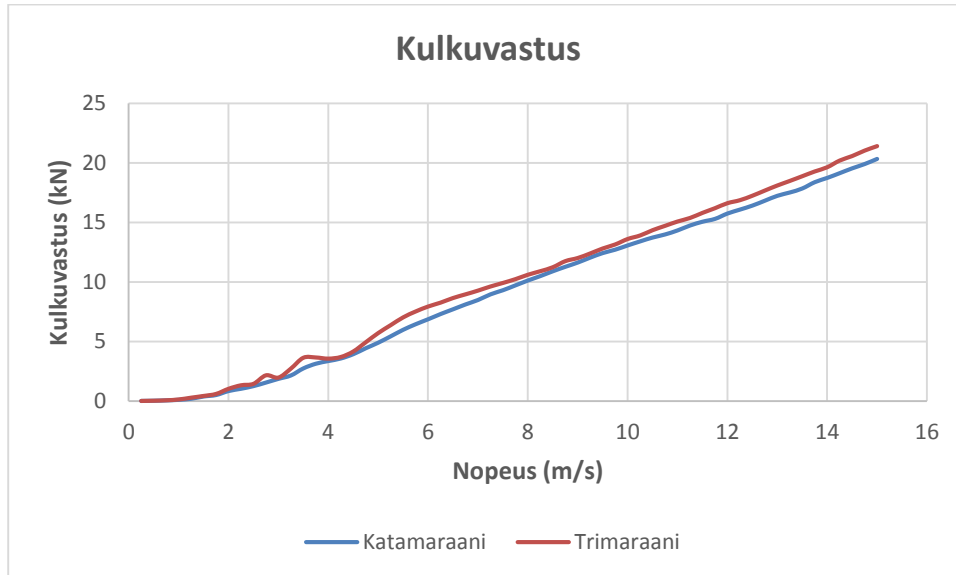
Kuva 15. Trimaraani- ja yksirunkoisen luotsiveneen polttoaineenkulutuksen vertailu.



Kuva 16. Trimaraani- ja yksirunkoisen luotsiveneen polttoaineenkulutuksen vertailu.

## 8 KATAMARAANIN JA TRIMARAANIN VERTAILU

Katamaraanin ja trimaraanin kulkuvastusta vertailtiin optimoimalla Michlet ohjelmalla katamaraani ja trimaraani.



Kuva 17. Michletillä optimoidun katamaraanin ja trimaraanin kulkuvastus.

Laskelman perusteella (kuva 17) katamaraanissa näyttäisi olevan hieman trimaraania pienempi kulkuvastus. Ero ei kuitenkaan vaikuta kovinkaan merkittävältä. Katamaraani ja trimaraani pyrittiin optimoimaan samanlaisilla arvoilla, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia keskenään. Liitteessä 1 on laskelmassa käytetyn trimaraanin linjapiirustukset ja liitteessä 2 katamaraanin linjapiirustukset.

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Polttoaineenkulutus on laskelmien perusteella prototyypistä luotsiveneen koiseksi skaalatulla trimaraanilla jonkin verran yksirunkoista luotsiveneettä pienempi. Ero polttoaineenkulutuksessa on laskelman perusteella nopeudesta riippuen noin 1 - 2 litraa meripeninkulmalla trimaraanin eduksi. Suurin etu trimaraanirungosta saavutetaan melko pienillä nopeuksilla ja ero trimaraanin ja yksirunkoisen veneen välillä pienenee nopeuden kasvaessa. Tämä johtuu trimaraanin pienestä aallonmuodostusvastuksesta. Aallonmuodostusvastuksen osuus veneen kokonaisvastuksesta on suurin melko pienillä nopeuksilla.

Michlet-ohjelman avulla arvioitua veneen kulkuvastusta voidaan pitää melko luotettavana. Laskelma ei kuitenkaan ota huomioon veneen trimmikulman muuttumista ja siitä mahdollisesti aiheutuvaa lisävastusta. Monirunkoveneillä aaltovastus on kuitenkin kapeista rungoista johtuen melko pieni, eikä tällöin myöskään trimmikulman muutoksen pitäisi olla kovinkaan merkittävä.

Jotta voitaisiin laskea kulkuvastuksen perusteella tarkka polttoaineenkulutus, pitäisi tietää veneessä käytettävän moottorin ominaiskulutus eri tehoilla. Pitäisi tietää myös potkurin hyötysuhde eri nopeuksilla. Tässä työssä käytettiin laskelmissa dieselmoottorin ominaiskulutuksena 200 g/kWh ja vetolaitteen hyötysuhteena 50 %.

Laskelmien perusteella näyttäisi, että trimaraani ja katamaraani rungoilla voitaisiin saavuttaa jonkin verran yksirunkoista luotsivenettä pienempi polttoaineenkulutus. Laskelman luotettavuuden kannalta olisi ollut hyvä laskea Michletillä myös Kewatecin valmistaman yksirunkoisen luotsiveneen kulkuvastus ja verrata sitä trimaraanirunkoisen luotsiveneen Michletillä laskettuun kulkuvastukseen. Trimaraani- ja katamaraanirungoilla saavutettaisiin veneelle myös suuri poikittaisvakavuus ja tästä voisi olla hyötyä työvenekäytössä.

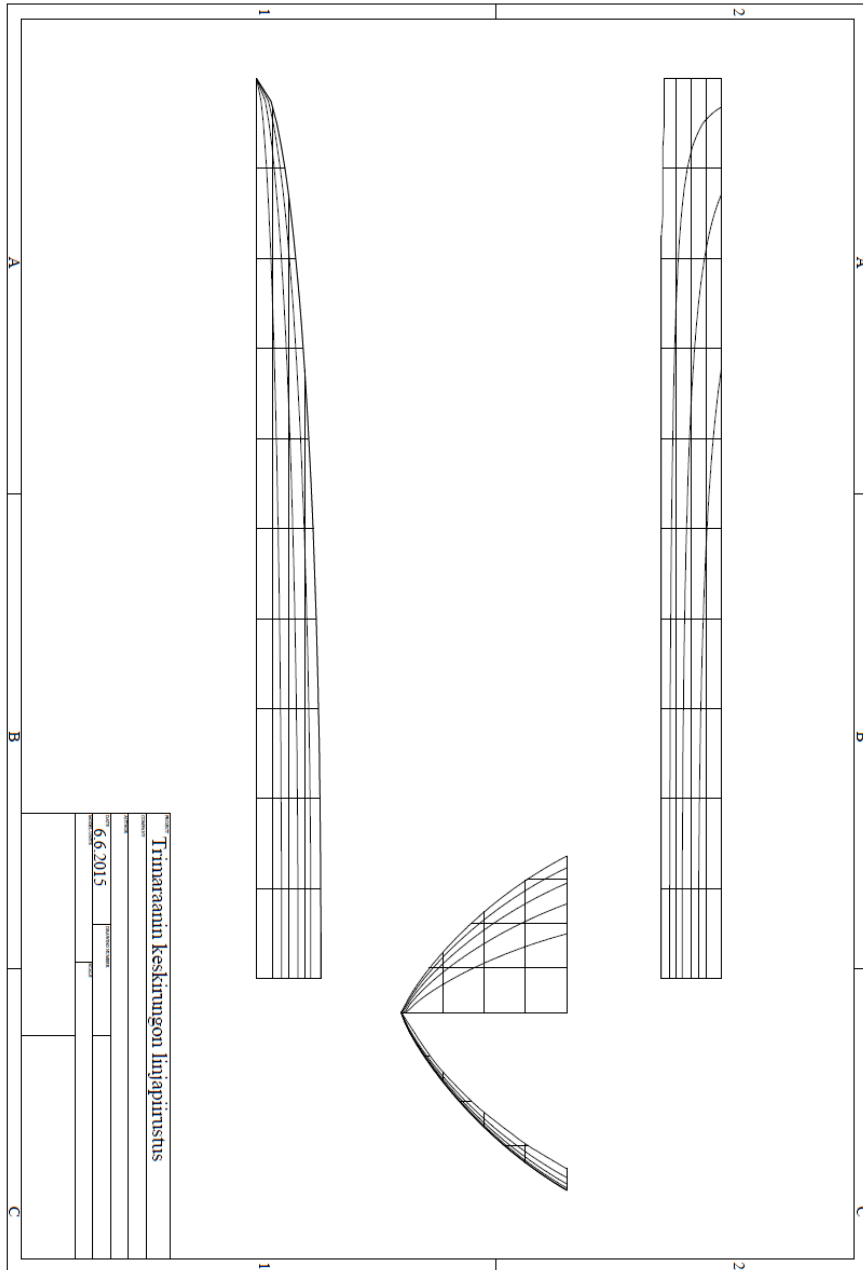
## LÄHTEET

1. Ab Kewatec Aluboot Oy. Saatavissa: <http://www.kewatec.fi/fi/meista-kewatec-aluboot/> [viitattu 22.11.2015].
2. Murto, M. & Utter, T. 2012. Moottoriveneilijän käsikirja. Helsinki: Tammi.
3. Matusiak, J. 1994. Johdatus laivan aallonmuodostusvastuksen laskennallisiin menetelmiin: Otaniemi.
4. Larsson, L. Eliasson, R. E. & Orych, M. 2014. Principles of Yacht Design. Lontoo: Adlard Coles Nautical.
5. Michlet 9.32 User´s Manual. 2014.
6. Tuck, E.O. & Lazauskas, L. 1996 Unconstrained ships of minimum total drag. Saatavissa: <http://www.cyberiad.net/library/multihulls/multipep/multipep.htm> [viitattu 3.6.2015].
7. Orpana, K. 2007. Dieselpolttoaineopas. Saatavissa: <https://www.neste.fi/binary.asp?page=3559&> [viitattu 28.4.2015].

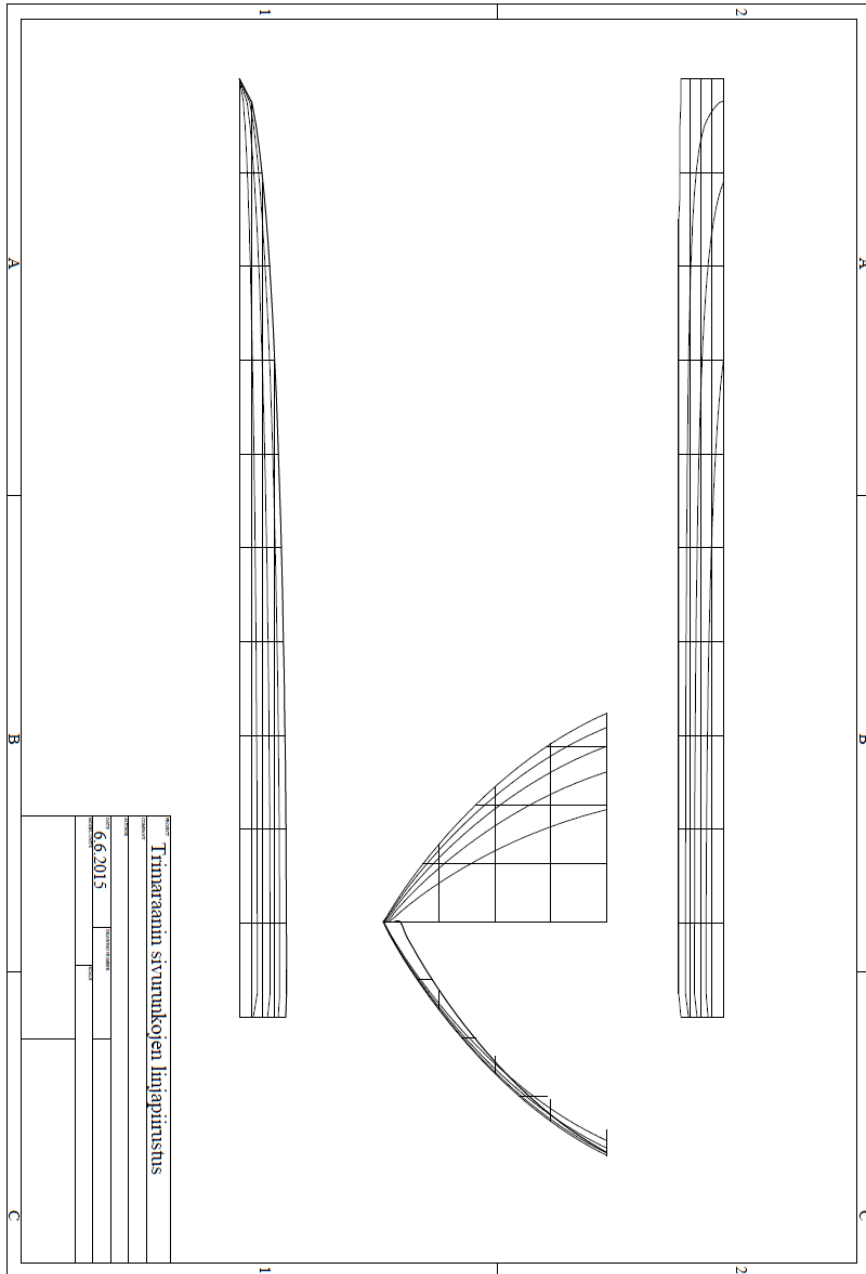


## LIITTEET

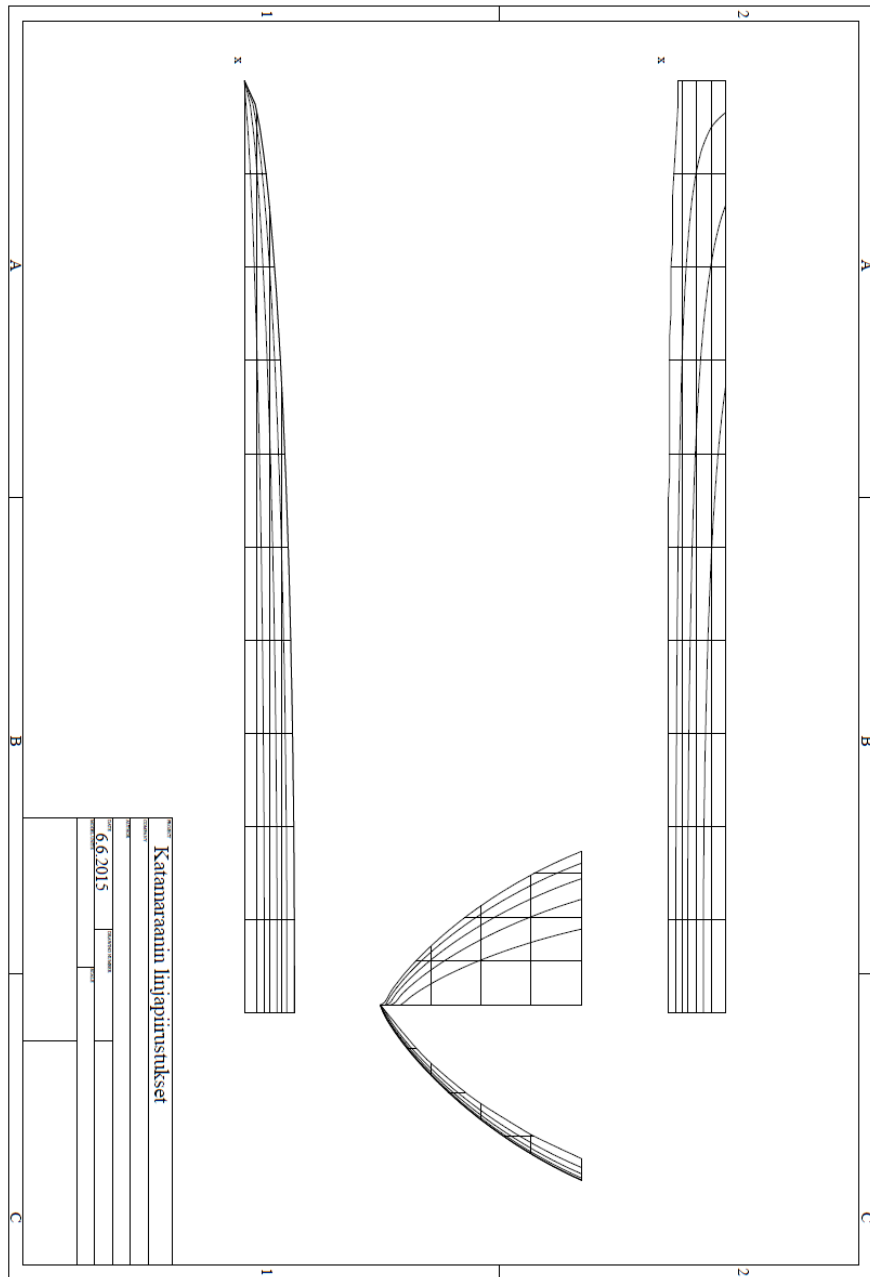
Liite 1/1. Michletillä optimoidun trimaraanin keskirungon linjapiirustus.



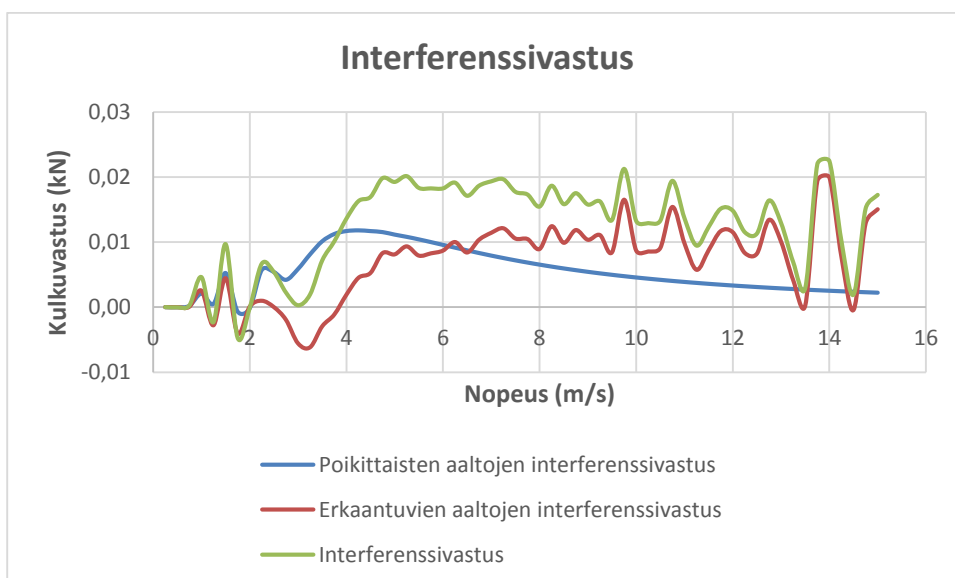
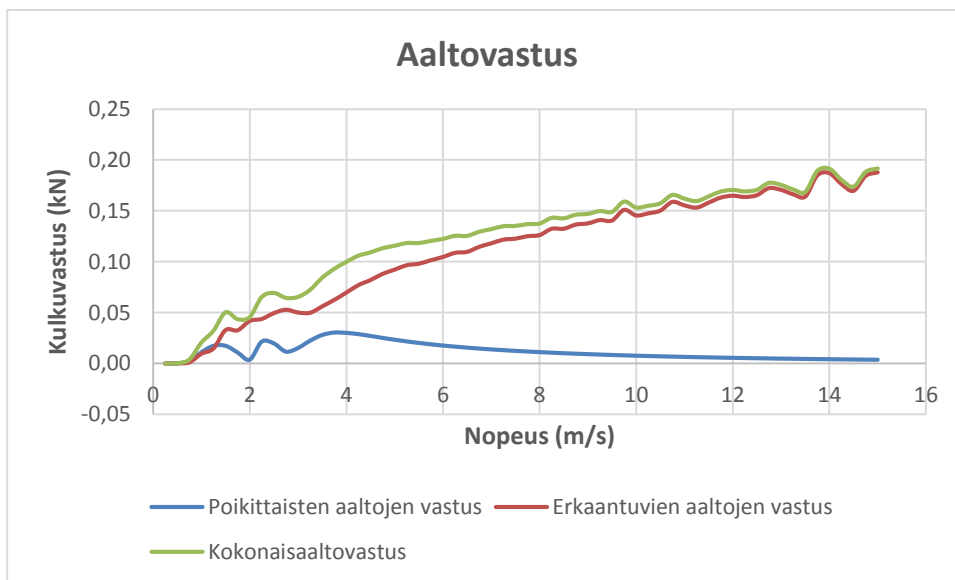
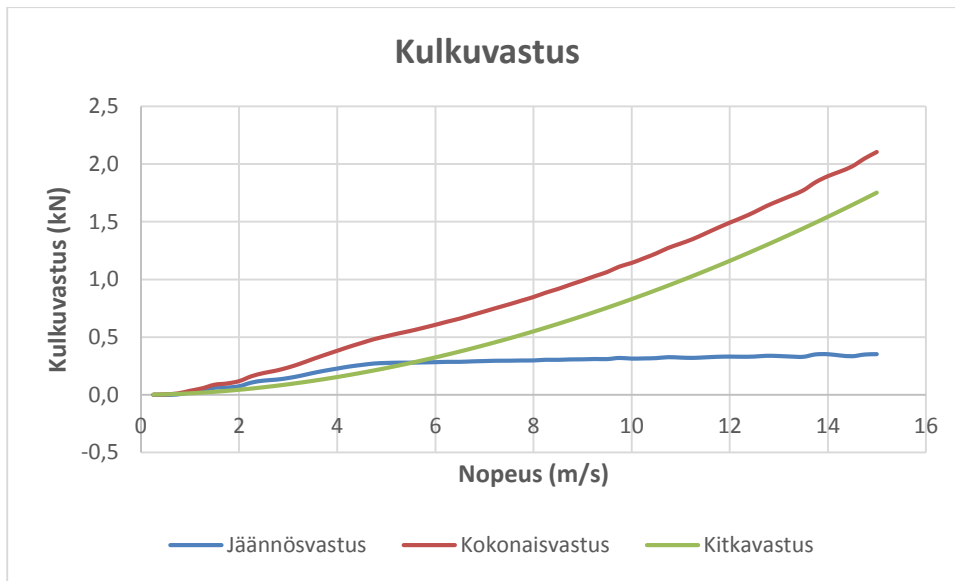
Liite 1/2. Michletillä optimoidun trimaraanin sivurunkojen linjapiirustukset.



## Liite 2. Michletillä optimoidun katamaraanin linjapiirustukset.



## Liite 3. Prototyypitrimaraanin Michletillä lasketut kulkuvastuskomponentit.



## Liite 4. Trimaraanirunkoisen luotsiveneen kulkuvastuskomponentit.

