TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

LAIVOJEN KULKUREITTIEN OPTIMOINTI

Kielin kanavan läpiajo verrattuna Tanskan kiertämiseen

Tuomo Jousala

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2019
Konetekniikan koulutus
Tuotekehityksen suuntautumispolku

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan koulutus
Tuotekehityksen suuntautumispolku

JOUSALA, TUOMO:
Laivojen kulkureittien optimointi
Kielin kanavan läpiajo verrattuna Tanskan kiertämiseen

Opinnäytetyö 66 sivua, joista liitteitä 13 sivua
Huhtikuu 2019

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin eri laivareittien käyttöön liittyviä faktoja Itämeren ja Pohjanmeren väliseen liikenteeseen. Opinnäytetyö tehtiin Neste Oyj:lle, mutta julkisesta työstä on jätetty pois kaikki luottamuksellinen tieto Nesteen rahtaamista tankkilaivoista. Työssä selvitettiin paljonko aikaa, rahaa ja polttoainetta kuluu eri reiteillä. Reittivaihtoehdot olivat Kielin kanavan läpiajo, Soundin kautta ajaminen ja Ison-Beltin kautta ajaminen.

Työn tuloksena selvisi, että monesti Kielin kanavan kautta ajaminen on kannattavampaa kuin Tanskan kiertäminen muita reittivaihtoehtoja myöten. Joissain tapauksissa tosin Kielin kautta ajaminen saattaa olla aluksen talouden kannalta huomattavasti huonompi vaihtoehto. Kielin läpiajo vaikuttaa olevan myös jonkin verran riskialttiimpi reitti, kuin muut vaihtoehdot. Työn tuloksena syntyi Google Sheets -muotoon tehty laskuri, jolla Nesteen laivaoperaattorit ja rahtaajat voivat helposti arvioida eri reittivaihtoehtojen kannattavuutta. Laskelmia tutkittiin myös Matlab-sovelluksella Google Sheets -taulukon lisäksi.

Google Sheets -laskentataulukko on tuonut selvästi lisää tietoa Nesteen laivaoperointiin ja rahtaukseen aiemman henkilökohtaisiin mielipiteisiin perustuneen tiedon lisäksi. Reittivalintojen säästömahdollisuus voi olla satoja tuhansia Yhdysvaltain dollareita vuodessa, joten reittivalinta on tärkeää tehdä faktapohjaisesti.

Asiasanat: reitit, optimointi, meriliikenne

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Product Development

JOUSALA, TUOMO:
Optimizing Ships' Routing
Kiel Canal Passage Compared to Rounding Denmark

Bachelor's thesis 66 pages, appendices 13 pages
April 2019

The purpose of this thesis was to find out the facts related to using different shipping routes between the Baltic Sea and the North Sea. This thesis was done for Neste Oyj and all the confidential information regarding tankers chartered by Neste has been left out from this public document. The safety, bunker consumption, time usage and financial result of using different shipping routes were examined in this thesis. The shipping routes examined here were passages through Kiel Canal, Sound and Great Belt.

It was discovered that most of the time it is more economical to pass through Kiel Canal than to round Denmark via other routes. According to the information discovered in this thesis it also seems that passing through Kiel Canal is riskier than using other routes. A calculator made with Google Sheets was the end result of this thesis work. The calculator is intended for Neste's ship operators and charterers to be used as a tool to evaluate the profitability of different routing options. The Matlab application was also used to examine the results further.

Key words: routes, optimizing, marine traffic

SISÄLLYS

1 JOHDANTO ... 6
2 TEORIA LAIVOJEN KUSTANNUSTEHOKKAASTA JA TURVALLISESTA OPEROINNISTA ... 7
2.1 Laivojen rahtaaminen ... 7
2.2 Laivojen kulurakenne ... 7
2.3 Turvallisuus ... 8
3 REITTIVAIHTOEHTOJEN ESITTELY ... 9
3.1 Kielin kanavan kautta ajaminen ... 9
3.2 Soundin kautta ajaminen ... 11
3.3 Ison-Beltin kautta ajaminen ... 12
3.4 Porvoo-Rotterdam-reitti ... 12
3.5 Gdansk-Rotterdam-reitti ... 15
3.6 Lyypekki-Hampuri-reitti ... 16
4 TIETOJEN KERÄÄMINEN ... 19
4.1 Nesteen aikarahtauksessa olevien alusten tiedot ... 19
4.2 Tässä työssä esimerkkeinä käytettyjen alusten tiedot ... 19
4.3 Kielin kanavan läpiajon kustannukset ... 20
4.4 Kielin kanavaan liittyviä näkökantoja ... 21
4.5 Alusten päälliköille lähetetty kysely ... 22
4.5.1 Kielin kanavaan liittyvät vastaukset ... 23
4.5.2 Soundin reittiin liittyvät vastaukset ... 24
4.5.3 Ison-Beltin reittiin liittyvät vastaukset ... 24
4.5.4 Riskimatriisien tulokset ... 24
4.6 Sään vaikutus aluksen nopeuteen ... 25
5 GOOGLE SHEETS -OPTIMOINTISOVELLUKSEN LUOMINEN ... 27
5.1 Routing-välilehti ... 27
5.2 Vessel Data -välilehti ... 28
5.3 Calculator-välilehti ... 29
5.3.1 Tietojen haku laskentaa varten ... 32
5.3.2 Laskentasolut ... 33
5.3.3 Laskennan tulosten esittäminen ... 34
6 MATLAB-LASKENTA ... 37
6.1 Käynnistysohjelma ... 37
6.2 Lähtötietojen haku ... 38
6.3 Polttoaineen hinnan vaikutusta laskeva ohjelma ... 38
6.4 Sääkertoimen vaikutusta laskeva ohjelma ... 39

6.5 Polttoaineen hinnan sekä sääkertoimen vaikutuksia laskeva ohjelma 39
7 TULOKSET 40
7.1 Google Sheets -laskennalla saatuja tuloksia esimerkkialuksille 40
7.1.1 Porvoo-Rotterdam-reitti 40
7.1.2 Gdansk-Rotterdam-reitti 42
7.1.3 Lyypekki-Hampuri-reitti 42
7.2 Google Sheets -laskennalla saatuja tuloksia Nesteen aikarahtaamille aluksille 44
7.3 Matlab-laskennalla saatuja tuloksia 45
8 TULOSTEN KÄSITTELY 47
8.1 Turvallisuuteen liittyvät näkökohdat 47
8.2 Virhearviot laskelmille 48
9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA 51
LÄHTEET 53
LIITTEET 54
Liite 1. Kielin kanavan rajoituksia ja tietoja (https://www.kiel-canal.de/wp-content/uploads/2018/02/General-Info-about-Kiel-Canal-transits.pdf) .. 54
Liite 2. Kysely alusten päälliköille 55
Liite 3. Kielin kanavan läpiajon kustannukset 8 000 dwt alukselle (Gaddah, S. 2019) 57
Liite 4. Kielin kanavan läpiajon kustannukset 15 000 dwt alukselle (Gaddah, S. 2019) 58
Liite 5. Matlab-ohjelma start 59
Liite 6. Matlab-ohjelma iniSet 60
Liite 7. Matlab-ohjelma PlotBunker 62
Liite 8. Matlab-ohjelma PlotWf 63
Liite 9. Matlab-ohjelma MeshBuWf 64
Liite 10. Matlab-ohjelma routePvoRot 65
Liite 11. Matlab-ohjelma ship15000dwt 66

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön kirjoittaja työskentelee päätoimisena laivaoperaattorina Neste Oyj:n palveluksessa ja kirjoittajalle on viime vuosina herännyt huoli, että laivojen reittivalintoja ei pystytä omalla työpaikalla tekemään riittävän faktapohjaisesti. Useimmiten laivan reitityksen valinta tehdään laivaoperaattorin ja rahtaajan henkilökohtaisten aavisteluiden tai kuulopuheiden pohjalta. Laivan reitityksen valinnalla saattaa kuitenkin olla suuri vaikutus kokonaismatka-aikaan, matkan turvallisuuteen sekä aluksen taloudelliseen tulokseen. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on esittää reititykseen liittyvät faktat mahdollisimman helposti luettavassa muodossa, jotta reittivalinta voidaan tehdä faktoihin perustuen.

Neste Oyj:llä on aikarahtauksessa erikokoisia tankkilaivoja ja lähes kaikki näistä aluksista liikennöivät pääasiassa Itämerellä ja Pohjanmerellä. Tästä syystä päätettiin tämä opinnäytetyö rajata käsittelemään reititystä Itämeren ja Pohjanmeren välillä. Itämeren puolelta Pohjamerelle on mahdollista kulkea laivalla joko Kielin kanavan läpi tai kiertää Tanskan ympäri. Molemmilla reiteillä on omat hyvät ja huonot puolensa sekä myös rajoituksensa. Opinnäytetyön kirjoittajalle edellä mainitut reittivaihtoehdot ovat hyvin tuttuja, sillä kirjoittaja on aiemmin työskennellyt tankkilaivoilla miehistö- ja päällystötehtävissä Itämeren ja Pohjanmeren alueella.

Opinnäytetyön tekemisestä sovittiin yhdessä laivaoperoinnin tiiminvetäjän Peter von Weissenbergin kanssa. Parhaaksi vaihtoehdoksi esittää opinnäytetyön tuloksia todettiin Google Sheets -pohjainen laskentasovellus, johon voidaan tehdä riittävän tarkat laskennat eri reittivaihtoehdoista sekä tarvittaessa lisätä muuta reitityksessä huomioitavia asioita. Google Sheets valittiin Microsoft Excelin sijasta, koska Neste on siirtynyt käyttämään pääasiassa Googlen tarjoamia konttorisovelluksia. Laskennat tehdään opinnäytetyössä myös Matlab-laskentaohjelmalla tulosten oikeellisuuden varmistamiseksi sekä kirjoittajan laskentataitojen vahvistamiseksi.

2 TEORIA LAIVOJEN KUSTANNUSTEHOKKAASTA JA TURVALLISESTA OPEROINNISTA

2.1 Laivojen rahtaaminen

Rahtilaivoille on kolme pääasiallista rahtaustyyppiä, joita ovat matkarahtaus, aikarahtaus ja laivan rahtaaminen ilman miehistöä (Gorton, L., Ihre, R. & Sandevärn, A. 1990, 76). Matkarahtauksessa aluksen omistajalla on operatiivinen kontrolli aluksesta ja vastuu lähes kaikista aluksen kuluista. Tällöin rahtaaja vain maksaa sovitun rahtihinnan tavaran kuljettamisesta paikasta toiseen. (Gorton, L., Ihre, R. & Sandevärn, A. 1990, 78.)

Aikarahtauksessa aluksen omistaja on vastuussa aluksen miehityksestä, sekä teknisestä operoinnista ja kunnossapidosta. Rahtaaja taas on vastuussa kuluista, jotka suoraan liittyvät aluksen käyttöön. Näitä kuluja ovat esimerkiksi polttoainekulut ja satamakulut. Aikarahtaussopimuksissa rajataan yleensä myös liikennealue, jolla alusta voidaan käyttää. Liikennealueen rajaukseen sisältyy normaalisti myös ehto, että alusta voi pyytää käymään ainoastaan turvallisissa satamissa ja laitureissa. Aikarahtauksessa rahtaaja maksaa aluksen omistajalle sopimuksen mukaista hintaa rahtausajalta. (Gorton, L., Ihre, R. & Sandevärn, A. 1990, 82-84.)

2.2 Laivojen kulurakenne

Nesteen lastien kuljettamiseen käytetään sekä aikarahdattuja että matkarahdattuja aluksia. Tässä työssä kuitenkin keskitytään tutkimaan aikarahdattujen alusten käyttöä, koska matkarahtauksissa Nesteen päätösvalta aluksen reititykseen sekä vastuu kuluista on huomattavasti pienempi. Kuten edellä on mainittu, aluksen kulurakenne muodostuu pääasiassa aluksen aikarahtikulusta, polttoainekuluista ja satamakuluista. Mitä enemmän lastia yksi alus pystyy kuljettamaan, sitä vähemmän aluksia tarvitsee rahdata Nesteen käyttöön ja sitä vähemmän aikarahtikuluja tulee maksettavaksi. Niinpä aikarahdattujen alusten mahdollisimman tehokas käyttö on tärkeää.

Aluksen nopeutta nostamalla, voidaan samalla aluksella kuljettaa enemmän lasteja määritellyn ajan sisällä. Aluksen nopeutta nostamalla lisääntyy kuitenkin polttoaineenkulutus

ja siten hinta joka kulutetuista polttoaineista joudutaan maksamaan. Nopeuden nostaminen 11 solmusta 14 solmuun voi hyvinkin tuplata rahtilaivan päivittäisen polttoaineenkulutuksen. (Stopford, M. 2009, 243-244.)

Aluksen satamakulut ovat satamasta riippuvaisia kuluja, joihin aluksen aikarahtaajalla ei ole juurikaan vaikutusvaltaa. Tämän opinnäytetyön kannalta tärkeä on kuitenkin kulu joka pitää maksaa Kielin kanavan käytöstä. Tätä voidaankin pitää eräänlaisena satamakuluna aluksen kulujen laskennan kannalta.

2.3 Turvallisuus

Tankkilaivaliikenteessä turvallisuus on äärimmäisen tärkeää kaikilla osa-alueilla, jotta voidaan varmistaa lastien turvallinen liikkuminen paikasta toiseen. Lastit ovat usein ympäristölle vaarallisia ja herkästi syttyviä, joten niiden käsittelyssä tulee noudattaa kaikkia sääntöjä ja varomääräyksiä. Aluksen turvallisen liikkumisen varmistamiseksi, tulee reititys, luotsien käyttö, kommunikointijärjestelyt ja kaikki matkaan liittyvät tekijät ottaa huomioon. (Buckley, J. 2008, 162.)

Nesteellä kuten monilla muillakin öljy-yhtiöillä on erillinen meririskien hallinta -yksikkö, joka vastaa merikuljetuksiin liittyvistä turvallisuusvaatimuksista ja niiden noudattamisesta. Kaikki alukset ja aluksia operoivat yritykset, jotka ovat Nesteen kanssa tekemisissä, pitää hyväksyttää Nesteen meririskien hallinta -yksiköllä ennen jokaista matkaa. Kaikkien näiden alusten ja yritysten tulee noudattaa toiminnassaan Nesteen luomaa "Minimum Safety Criteria" ohjeistusta. Meririskien hallinta -yksikkö monitoroi myös Nesteen rahtaamien alusten turvallisuus- ja laatutasoa tekemällä auditointeja varustamoihin ja aluksiin, sekä opastamalla yhteistyötä eri tahojen välillä. (Neste Cosmos 2019.)

3 REITTIVAIHTOEHTOJEN ESITTELY

Tämän opinnäytetyön laskentaa varten valittiin kolme erilaista reittiä, jotta saataisiin kuva eri paikoissa sijaitsevien lähtö- ja tulosatamien vaikutuksesta laivan reitityksen valintaan. Nämä kolme reittiä ovat Porvoosta Rotterdamiin, Gdanskista Rotterdamiin ja Lyypekistä Hampuriin. Itämereltä Pohjanmerelle on myös kolme reititysvaihtoehtoa, joista kaksi kiertää Tanskan ympäri ja yksi kulkee suoraan Saksan läpi. Seuraavissa kappaleissa kaikki vaihtoehdot esitellään tarkemmin.

3.1 Kielin kanavan kautta ajaminen

Kielin kanava on saksankieliseltä nimeltään Nord-Ostsee-Kanal (NOK) ja se avattiin ensimmäistä kertaa vuonna 1895. Kanava kulkee Kielin ja Brunsbüttelin kaupunkien välillä Pohjois-Saksan halki. Kanavan pituus on noin 99 kilometriä ja sen molemmissa päissä on sulut, joiden läpi laivat ja veneet ajavat kanavaan ja sieltä pois. Kanavassa kulkeville aluksille on asetettu kokorajoituksia, joista osa on esitetty taulukossa 1. Tarkemmat tiedot kokorajoituksista löytyvät liitteessä 1 olevasta kaaviosta. Kanavassa maksiminopeus on rajoitettu 8,1 solmuun. Maksiminopeutta rajoitetaan edelleen 6,5 solmuun, jos aluksen syväys on suurempi kuin 8,5 metriä. Kanavassa kulkeville aluksille on asetettu myös muita ryhmittelyitä alusten syväyden mukaan. Käytännössä mitä suurempi syväys aluksella on, sitä enemmän rajoituksia sille asetetaan muiden alusten kohtaamisen suhteen. Tämä taas osaltaan pidentää kanavamatkaan kuluvaa aikaa. (Nord-Ostsee-Kanal 2019; UCA 2019.)

TAULUKKO 1. Kielin kanavan rajoituksia alusten koolle (Nord-Ostsee-Kanal 2019)

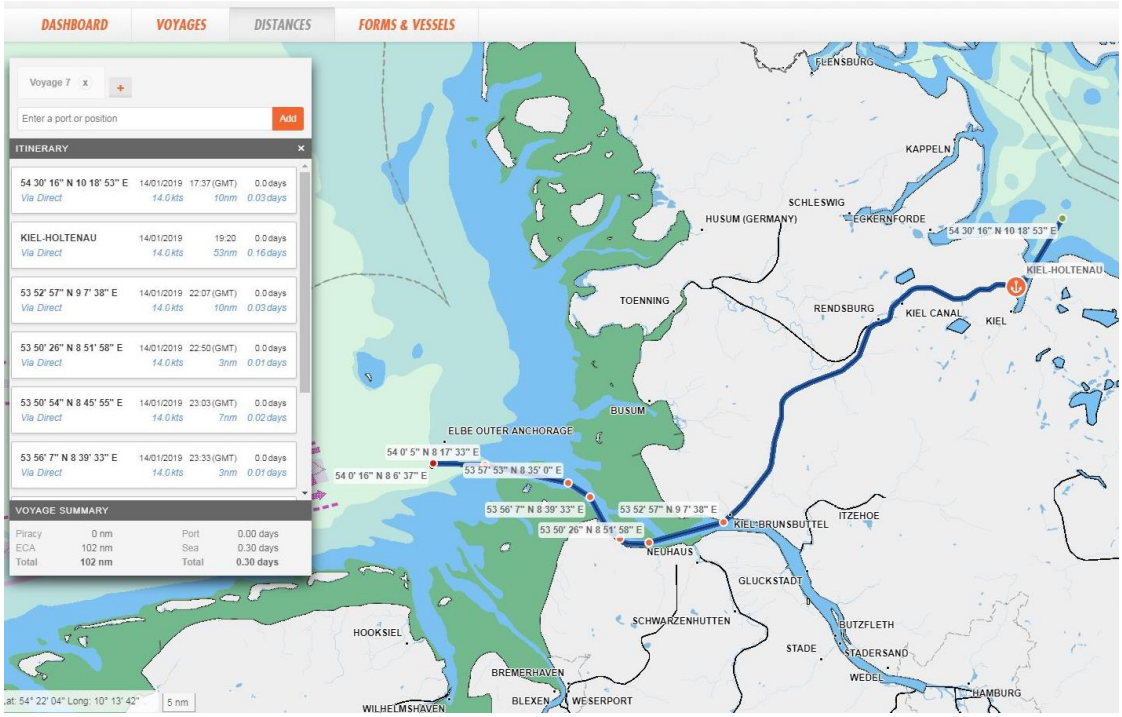
	Maksimi pituus	Maksimi leveys	Maksimi syväys
Vaihtoehto 1	235 m	32,5 m	7,0 m
Vaihtoehto 2	193 m	20 m	9,5 m
Vaihtoehto 3	160 m	27 m	9,5 m

KUVA 1. Reitit Itämeren ja Pohjanmeren välillä (Nord-Ostsee-Kanal 2019)

Kuvasta 1 käy hyvin selville, miten paljon Kielin kanavan kautta ajaminen lyhentää merimatkan pituutta kuljettaessa Itämeren ja Pohjanmeren välillä. Kanava on piirretty kuvaan sinisellä kaksoisviivalla ja reitit Tanskan ympäri on merkitty punaisilla katkoviivoilla. Kuvassa 2 näkyy tyypillinen liikennetilanne Kielin kanavassa, kuvattuna kemikaalitankkerin komentosillalta.

KUVA 2. Kemikaalitankkerilla Kielin kanavassa

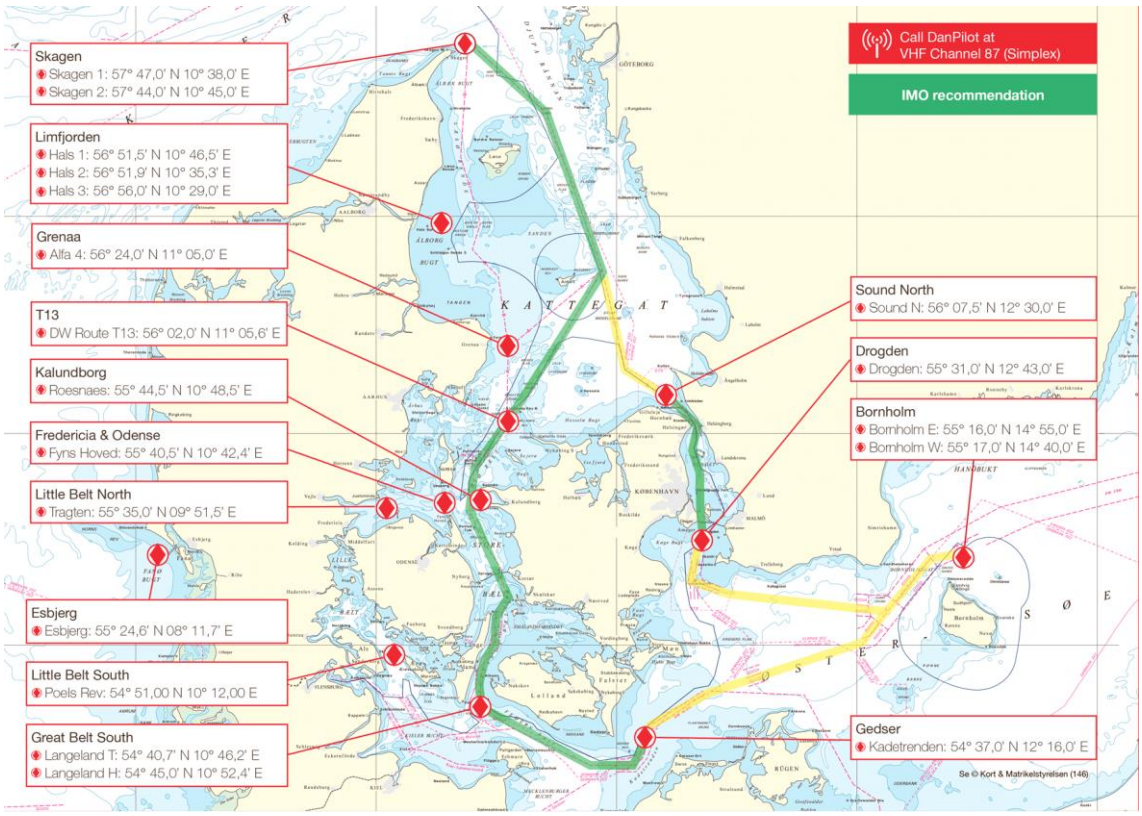
Laivat joutuvat ottamaan luotsin jo ennen Kielin kanavaan tuloa, sillä molemmissa päissä kanavaa, on ennen sulkuja ahtaita väyläosuuksia, joilla luotsin käyttö on pakollista. Itämeren puolella ensimmäinen luotsi tulee laivaan Kielin majakan kohdalla ja Pohjanmeren puolella Elben luotsipaikalla. (UCA 2019.) Kuvassa 3 on esitetty reitti luotsipaikalta toiselle IMOS-sovelluksen Distances työkalun avulla. Näin luotsattavan matkan pituudeksi saatiin 102 merimailia.



KUVA 3. Kielin kanavan luotsimatka IMOS-sovelluksen laskemana

3.2 Soundin kautta ajaminen

Kuvan 4 oikeassa reunassa näkyy Soundin kautta ajettaessa kuljettava reitti. Reitti on merkitty karttaan keltaisella ja vihreällä viivalla. Vihreällä viivalla on merkitty reittiosuus Drogdenin luotsipaikalta Sound Northin luotsipaikkaan, jolle IMO (International Maritime Organisation) suosittelee luotsin käyttöä lastissa oleville tankkilaivoille. Suosituksen piiriin kuuluvat kaikki lastissa olevat kemikaali- ja kaasutankkerit, sekä lastissa olevat öljytankkerit joiden syväys on 7 metriä tai enemmän. Maksimisyväys, jolla alukset saavat kulkea Soundin kautta on 7,7 metriä. (DanPilot 2019.)



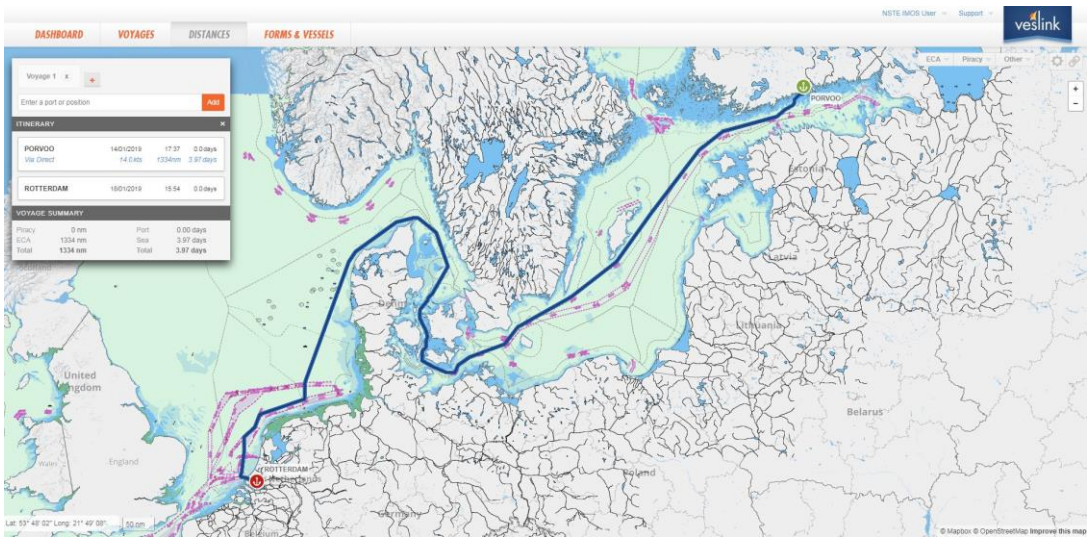
KUVA 4. Reititys Tanskan vesillä (DanPilot 2019)

3.3 Ison-Beltin kautta ajaminen

Kuvan 4 vasemmassa reunassa näkyy Ison Beltin kautta ajettaessa kuljettava reitti. Reitti on merkitty karttaan vihreällä viivalla. Reittiosuus Gedserin luotsipaikalta Skagenin luotsipaikkalle on reitti, jolle IMO suosittelee luotsin käyttöä kaikille laivoille joiden syväys on 11 metriä tai enemmän. Alusten maksimisyväys tällä reitillä on 15 metriä. (DanPilot 2019.)

3.4 Porvoo-Rotterdam-reitti

Porvoosta Rotterdamiin reitti valittiin kuvaamaan matkaa, jossa ajetaan pohjoiselta Itämereltä Pohjanmerelle. Tätä samaa reittiä toki voidaan käyttää myös Rotterdam-Porvoo reitin laskentaan, sillä kulkusuunnan vaikutus reitin pituuteen on minimaalisen pieni. Nesteen lasteja kuljetettaessa tämä Porvoo-Rotterdam on myös melko yleinen reitti. Kaikkien reittien eri vaihtoehtojen laskentaan käytettiin IMOS-sovelluksen Distances työkalua.

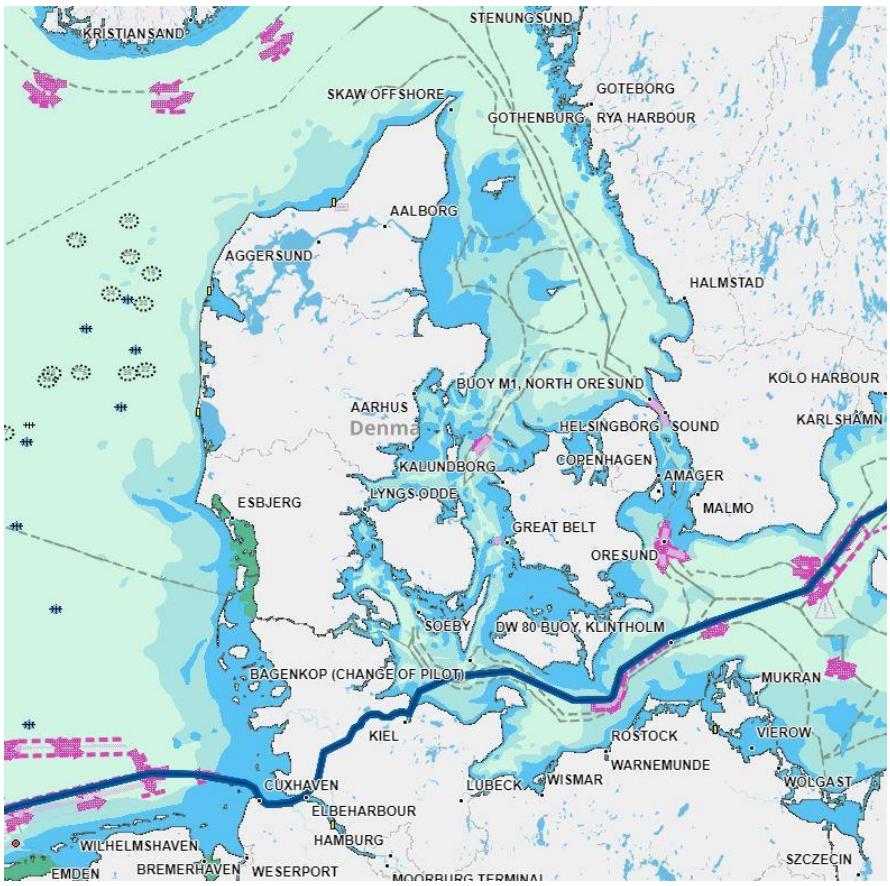


KUVA 5. Porvoo-Rotterdam reitti Ison-Beltin kautta IMOS-sovelluksen laskemana

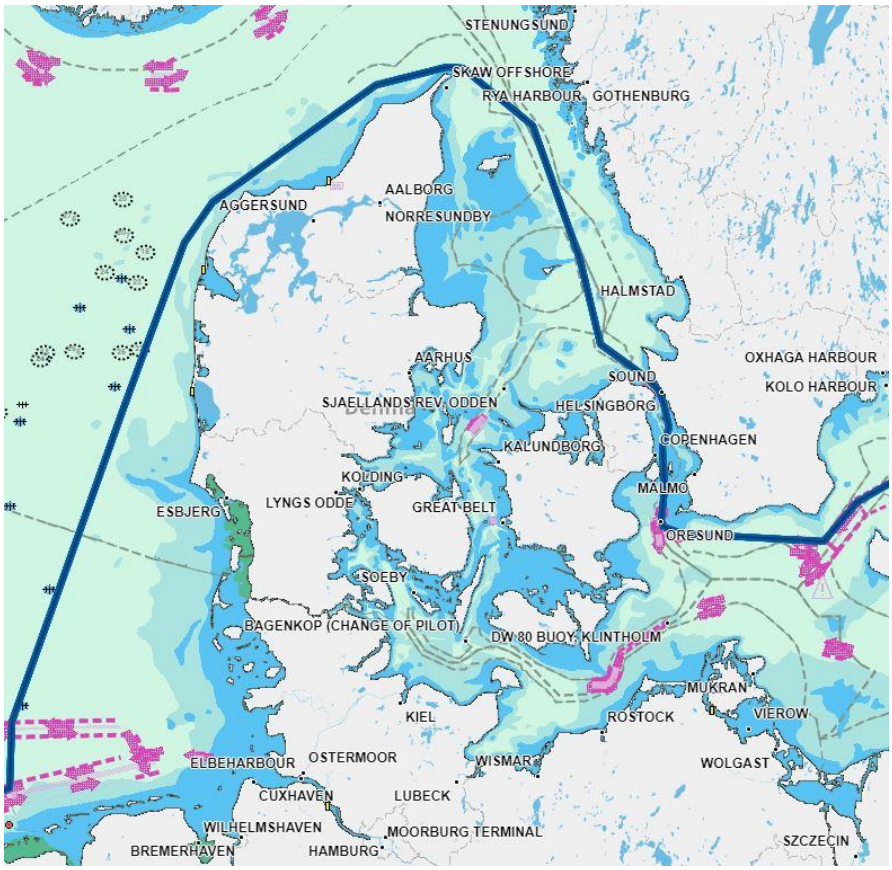
Kuvassa 5 näkyy IMOS-sovelluksella laskettu reitti Porvoosta Rotterdamiin. Kuvista 6-8 näkee tarkemmin eri reittivaihtoehdot, joita alus voi kulkea Itämereltä Pohjanmerelle. Näille kaikille kolmelle reittivaihtoehdolle laskettiin kokonaispituudet, sekä jokaisen vaihtoehdon sääalttiiden reittiosuuksien pituudet. Sääalttiita osuuksia kaikilla reiteillä ovat avomeriosuudet, joissa tuuli ja aallokko pääsevät vaikuttamaan laivan kulkuun eniten. Pohjameren sääalttiin reittiosuuden laskettiin alkavan kuvan 7 vasemman ylänurkan kohdalla olevasta Aggersundista ja päättyvän Rotterdamin edustalle Ison-Beltin ja Soundin reittivaihtoehdoissa. Kielin kanavan reittivaihtoehdossa sääalttiin reittiosuuden laskettiin alkavan heti laivan tullessa ulos Elbe joelta Pohjanmerelle. Itämeren sääaltis osuus alkoi tällä reitillä Hangon eteläpuolelta ja päättyi Bornholmin saaren kohdalle. Bornholmin saari näkyy kuvassa 8 Ruotsin ja Puolan puolessa välissä Karlshamnista etelään. Laskettujen reittien pituudet esitetään taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Porvoo-Rotterdam reittien pituudet

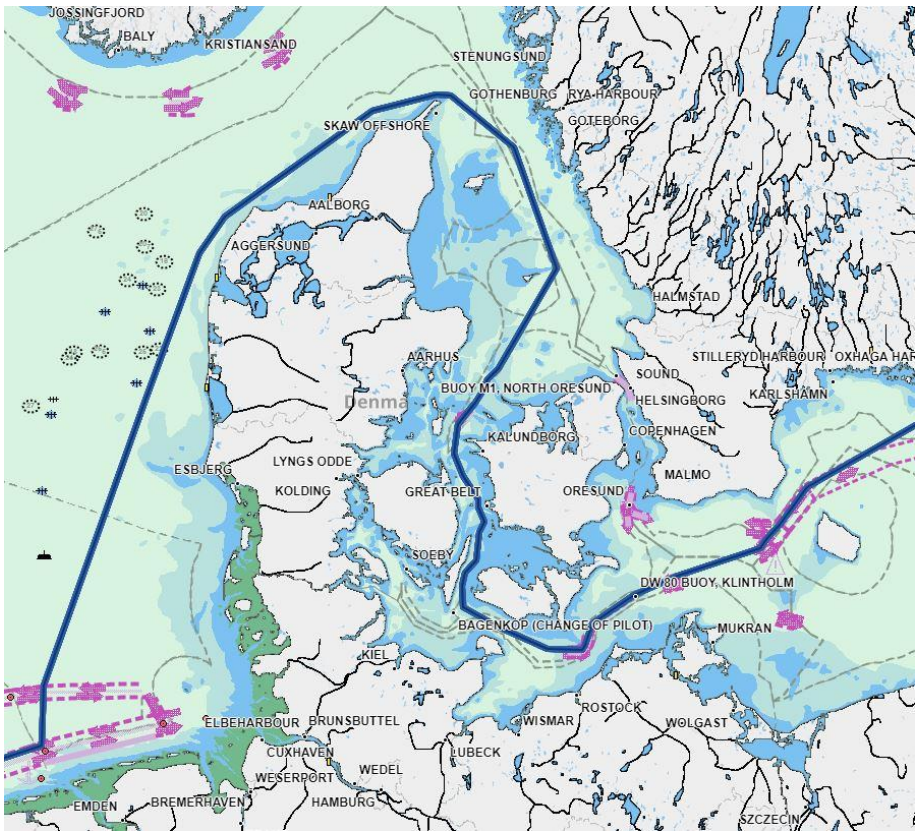
	Reitin pituus	Sääaltis osuus
Kielin kautta	1005 nm	595 nm
Soundin kautta	1203 nm	783 nm
Ison Beltin kautta	1334 nm	783 nm



KUVA 6. Kielin kanavan reitti Saksan läpi IMOS-sovelluksen laskemana



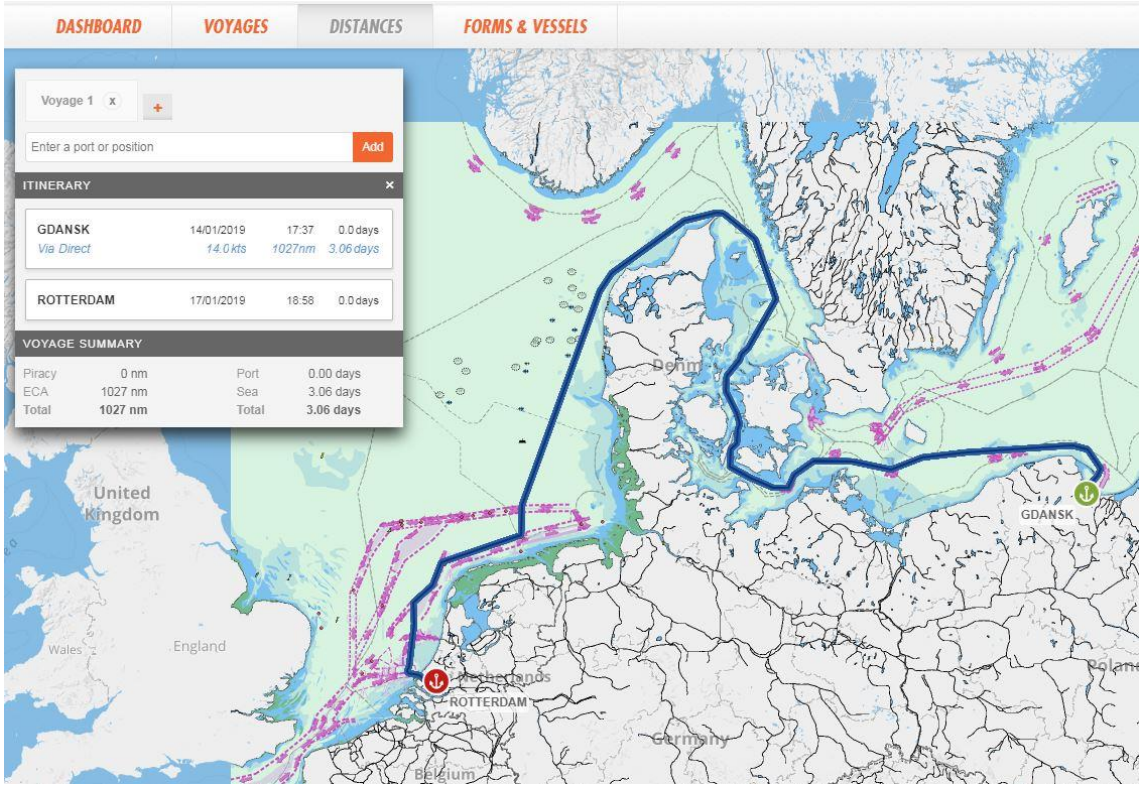
KUVA 7. Soundin reitti Tanskan ympäri IMOS-sovelluksen laskemana



KUVA 8. Ison-Beltin reitti Tanskan ympäri IMOS-sovelluksen laskemana

3.5 Gdansk-Rotterdam-reitti

Gdanskista Rotterdamiin reitti valittiin kuvaamaan matkaa, jossa ajetaan eteläiseltä Itämereltä Pohjanmerelle. Nesteen lasteja kuljetettaessa Gdansk-Rotterdam on melko harvinainen reitti, mutta eteläisen Itämeren ja Pohjanmeren välillä kuitenkin liikkuu jonkin verran lasteja. Tämä reitti kuitenkin haluttiin laskentaan mukaan, jotta nähdään kuinka paljon vaikuttaa lähtösataman muuttaminen pohjoiselta eteläiselle Itämerelle. Kuvassa 9 näkyy koko reitti Gdanskista Rotterdamiin Ison-Beltin kautta. Itämeren puolen sääalttiiksi osuudeksi tällä reitillä laskettiin suora reitin osuus Gdanskin pohjoispuolelta Bornholmin saaren eteläpuolelle. Pohjanmeren sääalttiit osuudet olivat samat, kuin Porvoo-Rotterdam reitillä. Laskettujen reittien pituudet esitetään taulukossa 3.



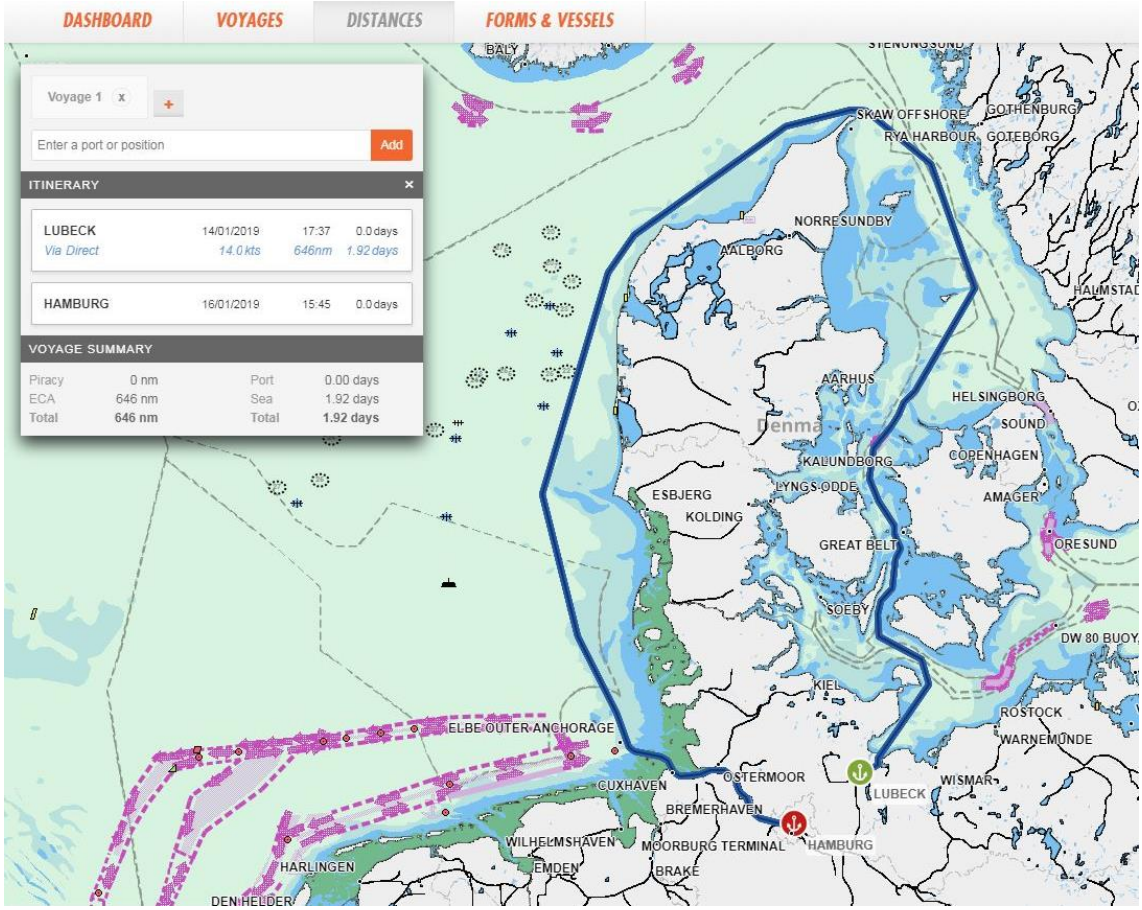
KUVA 9. Gdansk-Rotterdam reitti Ison Beltin kautta IMOS-sovelluksen laskemana

TAULUKKO 3. Gdansk-Rotterdam reittien pituudet

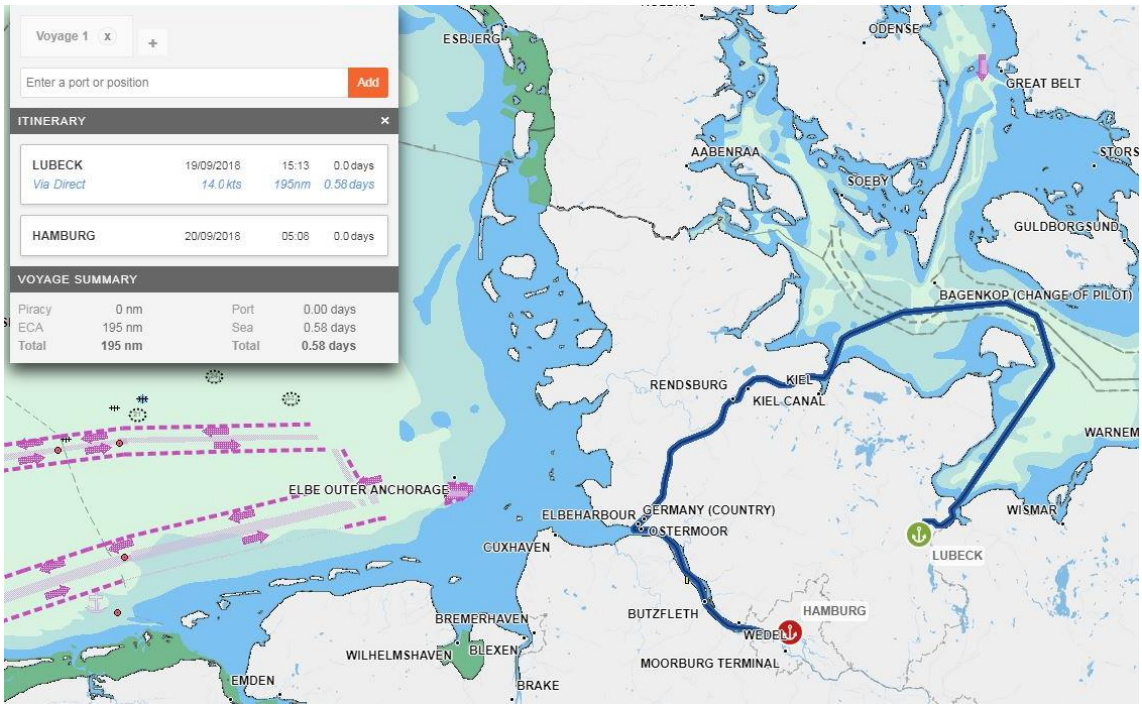
	Reitin pituus	Sääaltis osuus
Kielin kautta	698 nm	358 nm
Soundin kautta	911 nm	546 nm
Ison-Beltin kautta	1006 nm	546 nm

3.6 Lyypekki-Hampuri-reitti

Lyypekistä Hampuriin reitti valittiin kuvaamaan matkaa, jossa Kielin kanavan käytön vaikutus korostuisi eniten. Nesteen lasteja kuljetettaessa tämä reitti on todella harvinainen, mutta Hampuri on kuitenkin määräsatamana joillain matkoilla. Kuvassa 10 näkyy reitti Ison-Beltin kautta ja kuvassa 11 Kielin kanavan kautta. Tätä reittiä ei käytännössä koskaan kannata ajaa Soundin kautta, sillä se vain pidentäisi matkaa verrattuna Ison-Beltin reittiin. Tultaessa Porvoosta tai Gdanskista reitti Soundin kautta on kuitenkin aina lyhyempi kuin Ison-Beltin reitti. Kielin kanavan kautta ajettaessa tällä reitillä ei ole sääalttiita osuuksia ollenkaan, mutta Ison-Beltin kautta ajaessa sääalttiiksi osuudeksi laskettiin Aggersundin kohdalta Elbe joen suulle. Reittien pituudet esitetään taulukossa 4.



KUVA 10. Lyypekki-Hampuri reitti Ison Beltin kautta IMOS-sovelluksen laskemana



KUVA 11. Lyypekki-Hampuri reitti Kielin kanavan kautta IMOS-sovelluksen laskemana

TAULUKKO 4. Lyypekki-Hampuri reittien pituudet

	Reitin pituus	Sääaltis osuus
Kielin kautta	195 nm	0 nm
Ison-Beltin kautta	646 nm	204 nm

4 TIETOJEN KERÄÄMINEN

4.1 Nesteen aikarahtauksessa olevien alusten tiedot

Nesteen sisäiseen käyttöön tehtyä laskentaa varten saatiin Nesteen aikarahtauksessa olevien alusten päiväkustannukset kyseisten alusten aikarahtaussopimuksista. Nopeus ja kulutustiedot näille aluksille saatiin alusten suorituskykyseurannan tuloksista. Tätä seurantaa on Nesteellä tehty jo useamman vuoden ajan Marorka- sekä Veslink-järjestelmien avulla. Nämä molemmat ovat edelleen käytössä ja alusten suorituskykyä mitataan jatkuvasti. Näin ollen laskentaan käytettävät lukematkin muuttunevat ajan myötä. Ikävä kyllä tässä julkisessa opinnäytetyössä ei voida esitellä tarkkoja lukuarvoja Nesteen käytössä oleville aluksille, mutta laskennan tuloksista voidaan kertoa yleisluontoisempia havaintoja muiden tulosten yhteydessä.

4.2 Tässä työssä esimerkkeinä käytettyjen alusten tiedot

Tätä opinnäytetyötä varten päätettiin ottaa kaksi esimerkkilaivaa, joille lähdettiin hakemaan riittävän tarkkoja tietoja laskentaa varten. Nämä kaksi alusta olivat noin 15 000 dwt:n kokoinen tuotetankkeri ja noin 8 000 dwt:n kokoinen tuotetankkeri. Nämä kaksi kokoluokkaa ovat melko yleisiä Itämeren alueen liikenteessä ja myös Nesteen käytössä on molempiin kokoluokkiin kuuluvia aluksia. Lähtökohtana oli myös, että kyseisillä aluksilla on 1A-jääluokka, jotta niiden operointi on mahdollista ympärivuotisesti Itämerellä. Nesteen aikarahtialuksista näitä kokoluokkia edustavat muun muassa Donia (~8 000 dwt) ja Sten Bothnia (~15 000 dwt).

Alusten aikarahtikustannuksista keskusteltiin Kalle Winterin kanssa 28.1.2019. Hän toimii Nesteellä rahtauksen päällikkönä ja on vastuussa Nesteelle rahdattavien aikarahtilaivojen sopimusten tekemisestä. Winterin arvion mukaan 8 000 dwt:n kokoisen jääluokkaisen aluksen aikarahti olisi hieman yli 10 000 Yhdysvaltain dollaria päivältä ja 15 000 dwt:n kokoisen aluksen aikarahti olisi noin 13 000 - 14 000 dollaria päivältä.

Polttoaineen kulutusta eri nopeuksilla arvioitiin Nesteen aikarahtauksessa olevien alusten kulutuslukemien perusteella. Tämän datan avulla kirjoittaja laski arvioidut kulutukset esimerkkialuksille. Taulukkoon 5 on koottu laskennassa käytetyt tiedot esimerkkialuksista. Kielin kanavan läpiajoon kuluva aika laskettiin keskiarvona Nesteen aikarahtauksessa olevien alusten kanavamatkaan käyttämistä ajoista. Tähän aikaan sisältyy koko luotsien kanssa ajettava matka. Keskiarvoiksi saatiin 16 tuntia laivan ollessa täydessä lastissa ja 13 tuntia painolastissa.

TAULUKKO 5. Esimerkkialusten tietoja

	8 000 dwt alus	15 000 dwt alus
Aluksen päivävuokra	10 500 usd	13 500 usd
Maksiminopeus lastissa	14,0 kn	13,5 kn
Maksiminopeus painolastissa	15,0 kn	14,0 kn
Normaali nopeus lastissa	12,5 kn	11,5 kn
Normaali nopeus painolastissa	13,0 kn	12,0 kn
Taloudellinen nopeus lastissa	11,0 kn	10,5 kn
Taloudellinen nopeus painolastissa	11,5 kn	11,0 kn
Kulutus maksiminopeudella	15 tn/d	20 tn/d
Kulutus normaalinopeudella	12 tn/d	14 tn/d
Kulutus taloudellisella nopeudella	9 tn/d	10 tn/d
Kulutus Kielin kanavassa	10 tn/d	12 tn/d
Tyhjäkäyntikulutus	2 tn/d	3 tn/d
Milloin Kielin kanavan käyttö on mahdollista?	Aina	Aina
Milloin Soundin kautta ajaminen on mahdollista?	Vain painolastissa	Vain painolastissa

4.3 Kielin kanavan läpiajon kustannukset

Nesteen aikarahtauksessa olevia aluksia on kulkenut Kielin kanavan läpi jonkin verran viimeisen viiden vuoden aikana, mutta tätä työtä varten pyydettiin erilliset esimerkkiarviot Kielin kanavassa laivanselvittäjänä toimivalta S5:ltä. Näistä esimerkkiarvioista on

tarkoituksella jätetty pois laivanselvittäjän saama palkkio, sillä nämä palkkiot ovat sopimuskohtaisia. Kirjoittajan henkilökohtaisen arvion pohjalta voidaan laivanselvittäjän palkkiona käyttää noin 1 200 dollaria yhdeltä kanavamatkalta. Tämä arvio pohjautuu ainoastaan kirjoittajan kokemukseen laivanselvittäjien palkkioista, eikä esimerkiksi Nesteen sopimukseen S5:n kanssa. S5:n antamat arviot kanavan läpiajon kustannuksista löytyvät liitteistä 3 ja 4. Kokonaisuutena voidaan sanoa, että pienemmälle laivalle läpiajon kustannus olisi 8 000 dollaria ja suuremmalle 12 400 dollaria (Gaddah, S. 2019).

Suuremman laivan kulut olisivat 1 600 dollaria pienemmät, jos laiva ei käyttäisi hinaajia avustamassa sulkuihin tulon yhteydessä (Gaddah, S. 2019). Hinaajien käyttö on aluksilla tapauskohtaista ja päällikkö harkitsee aina sääolosuhteiden ja oman aluksen ominaisuuksien perusteella onko hinaajan käyttö tarpeen vai ei. Tässä työssä voidaan olettaa, että suurempi alus käyttäisi hinaajaa ja pienempi ei.

4.4 Kielin kanavaan liittyviä näkökantoja

Shell UK on tehnyt aiemmin tutkimuksen Kielin kanavan käyttöön liittyen ja he päätyivät maaliskuussa 2018 aloittamaan vakituisen Kielin kanavan käytön omilla laivoillaan. Ikävä kyllä tätä tutkimusta ei ollut saatavissa, sillä tämä oli tehty vain Shellin sisäiseen käyttöön. BP:n laivat ovat käyttäneet myös Kielin kanavaa vakituisesti vuodesta 2015, jolloin kanavan sivuutuspaikkojen odotuslaiturit uusittiin. (Gaddah, S. 2019.)

Viimeisin suurempi onnettomuus on tapahtunut Kielin kanavassa helmikuussa 2018, jolloin konttilaiva Akacia törmäsi sulkuporttiin aiheuttaen kyseisen sulun käytöstä poistamisen useiden päivien ajaksi. Vuosien 2016 ja 2018 välillä ei ole tapahtunut ollenkaan onnettomuuksia aluksille, jotka ovat olleet kulussa kanavan sisällä. Tammikuussa 2019 sitä vastoin kuivalastilaiva Louise Auerbach törmäsi kanavan reunaan aiheuttaen koko kanavan sulkemisen kahden tunnin ajaksi. (Gaddah, S. 2019.)

Laivojen polttoainetoimitusten osalta saatavuus on hieman heikko Kielin kanavassa ja käytännössä katsoen koko Saksassa. Kielin kanavassa on vain pari laivapolttoaineita toimittavaa tankkialusta, joka on johtanut siihen, että hinnat ovat korkealla tasolla ja saata-

vuus rajoitettua. Laivapolttoaineiden saatavuus on huomattavasti parempi Skagenin, Göteborgin ja Rotterdamin alueilla. Näissä paikoissa hinnat ovat myös huomattavasti Saksaa alhaisempia. (Bjornebye K. 2018.)

Keskusteltaessa Kielin kanavassa kulkemisesta Sten Odin aluksen päällikkö Maksim Syachin oli sitä mieltä, että Tanskan kiertäminen Soundin tai Ison-Beltin kautta on turvallisempaa, mutta Kielin kanava on kuitenkin mukavampi vaihtoehto, jos sääolosuhteet Pohjanmerellä ovat huonot. Hänen kokemuksensa mukaan kulku Suurille Järville Pohjois-Amerikassa on vielä Kielin kanavaa huomattavasti hankalampaa, sillä kulkuaika kapeilla väylillä on paljon pidempi ja päällikön on käytännössä mahdotonta noudattaa lepoaikasäädöksiä. Kapeilla väylillä tai kanavissa ajettaessa päällikön tulisi säädösten mukaan olla komentosillalla huolehtimassa aluksen turvallisesta kulusta. (Syachin, M. 2018.)

4.5 Alusten päälliköille lähetetty kysely

Heti tämän opinnäytetyön alkuvaiheessa päätettiin lähettää kysely Nesteen aikarahtauksessa olevien alusten päälliköille, jotta he voisivat myös nimettömänä kertoa oman kantansa eri reittivaihtoehdoista. Tämä tiedonkeruun vaihtoehto valittiin, jotta saataisiin mahdollisimman puolueettomia vastauksia päälliköiltä. Henkilökohtaisissa haastatteluissa olisi ollut riskinä, että haastattelijan omat mielipiteet tai haastattelijan ja haastateltavan välinen töiden kautta tuleva yhteistyösuhde olisi vaikuttanut haastateltavaan. Kysely toteutettiin Google Forms -työkalulla ja kaikista reittivaihtoehdoista esitettiin samat kysymykset.

Kyselyssä oli omat välilehdet Kielin kanavan, Soundin ja Ison-Beltin reiteille ja kaikilla välilehdillä oli seuraavat kysymykset:

1. Onko teille tapahtunut vahinkoja tai havereita kulkiessanne tätä reittiä? Jos on tapahtunut, niin kuvailkaa tapahtuneet ja niiden toistuvuus.
2. Onko teille tapahtunut läheltä piti -tilanteita kulkiessanne tätä reittiä? Jos on tapahtunut, niin kuvailkaa tapahtuneet ja niiden toistuvuus.
3. Onko teidän kohdallenne osunut viivästyksiä tällä reitillä ja kuinka pitkiä/toistuvia ne ovat olleet (sisältäen muun muassa säästä, onnettomuuksista ja muusta liikenteestä johtuvat viiveet)?
4. Vapaita kommentteja tai mielipiteitä tähän reittiin liittyen.

5. Arvioikaa tämän reitin turvallisuus käyttäen alla olevaa riskimatriisia. Onnettomuuden vakavuus on esitetty riveillä ja todennäköisyys sarakkeissa. Valitkaa yksi todennäköisyysvaihtoehto jokaiselle riville.

Kysely toteutettiin englannin kielellä, koska suurin osa vastanneista päälliköistä ei ollut suomalaisia. Kyselyn ensimmäinen välilehti on alkuperäisessä asussaan liitteenä 2. Kysely lähetettiin ainoastaan niiden alusten päälliköille, jotka ovat kulkeneet Kielin kanavan läpi viimeisen viiden vuoden aikana, jotta vastausten määrä kaikille reittivaihtoehdoille olisi suurin piirtein sama. Kysely oli avoinna vastauksia varten 18.10.2018 - 27.12.2018 ja tänä aikana kyselyyn saatiin yhteensä seitsemän vastausta. Vastausten määrä oli positiivinen yllätys, sillä kysely lähetettiin vain kuudelle alukselle. Jokaisessa aluksessa on kaksi vuorottelevaa päällikköä, joten vastausten maksimimäärä olisi ollut 12 kappaletta.

4.5.1 Kielin kanavaan liittyvät vastaukset

Kielin kanavan reittiä koskeviin kysymyksiin saatiin melko paljon huolestuttavia vastauksia. Yksi vastaajista mainitsi kohdalleen osuneen jopa yhteentörmäyksen purjeveneen kanssa. Lähes kaikilla vastaajilla oli ollut läheltä piti -tilanteita kanavamatkan aikana. Eniten ongelmia olivat aiheuttaneet liian suuri liikennemäärä käytettävissä olevaan tilaan ja sen hetkisiin olosuhteisiin nähden, sekä sulkujen pakkaaminen liian täyteen laivoja. Kaikilla vastaajilla oli ollut myös viiveitä kanavamatkan aikana aina lyhyistä tunnin viiveistä jopa 12 tunnin viiveisiin. Viiveitä kanavassa olivat aiheuttaneet sankka sumu, suuri liikennemäärä sekä sulkujen huoltotyöt.

Vapaissa kommenteissa suurin osa vastaajista piti Kielin kanavaa vaarallisimpana kolmesta reittivaihtoehdosta, mutta myös nopeimpana. Osa vastaajista ajoi mielellään Kielin kanavan kautta silloin, kun Pohjanmerellä on myrskyä ja eteneminen siellä hidasta. Vaadittujen lepoaikojen noudattamista kanavamatkan aikana pidettiin alusten päälliköiden osalta haastavana, koska päällikön pitäisi olla komentosillalla lähes koko kanavamatkan ajan, sekä luotsimatkoilla sisään ja ulos kanavasta.

4.5.2 Soundin reittiin liittyvät vastaukset

Soundin reitillä yhdellekään vastanneista ei ollut sattunut vahinkoja. Ainoastaan yhdelle päällikölle oli sattunut läheltä piti -tilanne toisen aluksen kanssa, joka ei ollut noudattanut VTS:n antamia ohjeita eikä liikennejakoalueen mukaisia ajoreittejä. Viiveitä ei ollut kukaan päälliköistä kohdannut tällä reitillä. Vapaissa kommenteissa tästäkin reitistä löydettiin kuitenkin myös huonoja puolia. Jotkut mainitsivat vilkkaan lauttaliikenteen, sekä muutenkin vilkkaan laivaliikenteen vaikuttavan tällä reitillä kulkemiseen. Yksi vastanneista suositteli jopa Ison-Beltin reitin valintaa, jos on odotettavissa sakeaa sumua tai muuten huonoa säätä Soundin alueelle. Reitin mainittiin myös olevan kriittinen vedenkorkeuden muutoksille, sillä reitin maksimisyväys pienenee vedenkorkeuden laskiessa.

4.5.3 Ison-Beltin reittiin liittyvät vastaukset

Ison-Beltin reittiä kaikki pitivät selvästi turvallisimpana vaihtoehtona, eikä kenellekään ollut sattunut vahinkoja tai läheltä piti -tilanteita tällä reitillä. Viiveistä yksi mainitsi mahdolliset säästä johtuvat viiveet Pohjanmeren puolella, jotka saattavat hidastaa aluksen matkaa huomattavasti. Vapaissa kommenteissa oli maininta vilkkaasta laivaliikenteestä tälläkin reitillä erityisesti kesäaikaan, mutta tällä reitillä aluksilla on kuitenkin huomattavasti enemmän tilaa ympärillään väistöliikkeiden tekemiseksi.

4.5.4 Riskimatriisien tulokset

Riskimatriisin vastauksille annettiin numeroarvo nollan ja kolmen väliltä nollan ollessa N/A vaihtoehto ja kolmen ollessa suuri (large) todennäköisyys. Kaikille reiteille ja niiden vahinkokategorioille laskettiin vastausten perusteella keskiarvot, jotka on esitetty taulukossa 6. Taulukossa siis kolme on todennäköisyyden maksimiarvo ja nolla minimi

TAULUKKO 6. Riskimatriisi reiteille

	Kielin kanava	Sound	Iso-Belt
Läheltä piti tilanne	2,3	1,3	1,3
Pieni vahinko	1,7	1,3	1,1
Suuri vahinko	1,4	0,9	0,7
Katastrofaalinen vahinko	1,0	0,6	0,6

4.6 Sään vaikutus aluksen nopeuteen

Mahdollisten sääviiveiden arvioimiseksi laskennassa etsittiin sopivaa kerrointa, jolla normaali matkanopeus alenee myrskyisessä säässä. 4.4 kappaleessa mainitussa kyselytutkimuksessa yksi päälliköistä mainitsi noin 12 tunnin viiveen Pohjanmeren puolella mahdolliseksi ajettaessa Tanskan ympäri. Jos laskenta aloitetaan normaalisti 12,0 solmun nopeudella kulkevalle laivalle ja käytetään sääalttiin reitin pituutena 425 merimailia, saadaan tällöin nopeudeksi huonossa säässä 10,0 solmua ja sääkertoimeksi 0,83. Sääalttiin reitin pituutena käytettiin samaa arvoa, jota käytettiin Porvoo-Rotterdam ja Gdansk-Rotterdam reittien Pohjanmeren puoleisille osuuksille.

Puolassa vuonna 2014 tehdyssä tutkimuksessa tutkittiin aaltojen ja tuulen vaikutusta 185 metriä pitkään irtolastilaivaan. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että aluksen nopeus hidastuu 80 prosenttiin alkuperäisestä vastatuulen ollessa 20 metriä sekunnissa ja aaltojen ollessa neljän metrin korkuisia. Vastatuulen kasvaessa 30 metriin sekunnissa ja aaltojen korkeuden kuuteen metriin, aluksen nopeus tippuu jo 60 prosenttiin alkuperäisestä. Tuulen ollessa sivulta tai myötäinen, sen vaikutus oli huomattavasti pienempi, mutta nopeuden laskua oli silti havaittavissa. Ainoastaan kevyessä 10 metriä sekunnissa myötätuulessa alus kulki muutaman prosentin alkuperäistä vauhtiaan nopeammin. (Szelangiewicz, Wiśniewski & Żelazny 2014, 66.)

Irtolastilaivojen ja tankkilaivojen rungon muodot ja matkanopeudet ovat hyvin lähellä toisiaan, joten Szelangiewicz ym. tutkimusta voitaneen hyvin soveltaa myös tankkilaivoihin. Nesteen aikarahtauksessa olevat tankkilaivat, jotka voivat kulkea Kielin kanavan kautta, ovat kaikki hieman tutkimuksessa käytettyä kuivalastilaivaa pienempiä, mutta ero ei kuitenkaan ole kovin suuri. Ilmatieteen laitos käyttää ennusteissaan myrskyvaroituksen

alarajana 21 m/s tuulen nopeutta (Ilmatieteen laitos 2019), joten tätä suurempien tuulennopeuksien aluksen nopeutta hidastavaa vaikutusta voidaan myös arvioida tässä lopputyössä. Koska sekä kyselytutkimuksen pohjalta saatu kerroin, että myös Szelangiewicz ym. tutkimuksessa laskema kerroin oli hyvin lähellä samaa lukemaan, voidaan tässä työssä käyttää sääkertoimen arvona 0,8:aa.

5 GOOGLE SHEETS -OPTIMOINTISOVELLUKSEN LUOMINEN

Google Sheets valittiin pääasialleseksi tavaksi esittää tämän opinnäytetyön tuloksia, sillä Neste on yhtiönä ottanut käyttöön Googlen sovellukset ja tarkoituksena on luopua Microsoftin konttorisovellusten käytöstä normaalissa työssä (Neste Intranet 2019). Google Sheets -laskentataulukoita on tarkoituksena hyödyntää rahtausosastolla enemmänkin ja siten opinnäytetyön tekijän oli perusteltua perehtyä tarkemmin Google Sheetsin tarjoamiin mahdollisuuksiin laskentaa tehdessä.

Google Sheets -laskentataulukko rakennettiin kolmesta eri välilehdestä, joille annettiin nimet Calculator, Vessel Data ja Routing. Näistä Routing sisältää valittuihin reitteihin liittyviä tietoja, Vessel Data aluksiin liittyviä tietoja ja Calculator-välilehdellä esitetään tulokset sekä suoritetaan itse laskenta.

5.1 Routing-välilehti

Kuvassa 12 näkyvä välilehti on rakennettu niin, että haluttaessa sinne voidaan lisätä uusia reittivaihtoehtoja joita voidaan käyttää laskentaan. Ensimmäiset yhdeksän riviä sisältävät reitteihin liittyvät pituustiedot merimaileissa. Riveillä 12-14 on keskimääräiset kulkuajat Kielin kanavassa luotsipaikalta luotsipaikalle. Kulkuajat on ilmoitettu vain alusten ollessa lastissa ja painolastissa, sillä kaikille reittivaihtoehdoille kulkuajat Kielin kanavassa ovat samat. Lyypekki-Hampuri-reitillä alukset eivät aja ulos Kielin kanavasta Pohjanmerelle, vaan lähtevät kanavamatkan jälkeen suoraan kohti sisämaata Elbe-jokea pitkin. Tätä ei kuitenkaan ole tarpeen huomioida reitin pituuden tai kanavan läpiajoon kuluvan ajan laskennassa, sillä kanavamatka merkitään kaikissa reiteissä samanpituiseksi. Sillä ei myöskään ole ajankäytön kannalta juurikaan merkitystä, jatkaako alus ulos- vai sisäänpäin Elbe-jokea. Riveillä 17-23 kuvataan vielä reititysvaihtoehtoihin liittyvät turvallisuushuomiot.

	A	B	C	D	E
1		Porvoo Rotterdam	Gdansk Rotterdam	Lubeck Hamburg	
2	**Distances (D)**	**Please enter distance in nautical miles (D)**			
3	Distance via Kiel (vk)	1005	698	195	
4	Distance via Sound (s)	1203	911	0	
5	Distance via Great Belt (gb)	1334	1027	646	
6	Passage through canal (kc)	102	102	102	
7	Unsheltered distance via Kiel (uvk)	595	358	0	
8	Unsheltered distance via Sound (us)	783	546	0	
9	Unsheltered distance via Great Belt (ugb)	783	546	204	
10					
11					
12	**Time in hours from pilot to pilot (T)**				
13	Kiel canal in ballast (bkc)	13			
14	Kiel canal laden (lkc)	16	Keskiarvo laivoille		
15					
16					
17	**Safety of Route (S)**				
18	Kiel canal in ballast (bkc)	Increased Risk Level			
19	Kiel canal laden (lkc)	Increased Risk Level			
20	Sound in ballast (bs)	Normally Safe Route			
21	Sound laden (ls)	Normally Safe Route			
22	Great Belt in ballast (bgb)	Safest Route			
23	Great Belt laden (lgb)	Safest Route			
24					

KUVA 12. Routing-välilehti

5.2 Vessel Data -välilehti

Kuvassa 13 näkyvä välilehti on Routing-välilehden tapaan rakennettu niin, että sinne voidaan lisätä uusia aluksia haluttu määrä tai poistaa vanhoja. Rivit 2-4 sisältävät aluksen päiväkustannuksen ja Kielin kanavan läpiajon kustannuksen kyseiselle alukselle. Riveillä 6-11 kerrotaan aluksen polttoaineenkulutukset eri konetehoilla ja riveillä 13-19 on eri konetehoja vastaavat aluksen normaalinopeudet lastissa ja painolastissa. Viimeisessä osuudessa riveillä 21-26 kerrotaan mitä reittivaihtoehtoja kyseinen alus voi käyttää ollessaan lastissa tai painolastissa. Ison-Beltin kautta voivat aina ajaa kaikki alukset, mutta Kielin kanavan ja Soundin reittien käyttöä rajoittavat aluksen koko ja syväys, kuten kappaleissa 3.1 ja 3.2 on kerrottu.

Kiel vs Belt vs Sound (Public ships)

File Edit View Insert Format Data Tools Add-ons Help All changes saved in Drive

	A	B	C	D	E	F	G
1		15000 DWT Oil/Chemical Tanker	8000 DWT Oil/Chemical Tanker				
2		Please enter hire in USD per day					
3	Daily hire of vessel (Md)	13500	10500				
4	Price of Kiel Canal passage (Mkc)	12400	8000				
5							
6	Consumption details (C)	Please enter consumption in tons per day					
7	Sea consumption full speed (f)	20	15				
8	Sea consumption normal speed (n)	14	12				
9	Sea consumption eco speed (e)	10	9				
10	Consumption in Kiel canal (k)	12	10				
11	Idle consumption	3	2				
12							
13	Speed of vessel (V)	Please enter in knots					
14	Laden - Full Speed (lf)	13,5	14				
15	Laden - Normal Speed (ln)	11,5	12,5				
16	Laden - Eco Speed (le)	10,5	11				
17	Ballast - Full Speed (bf)	14	15				
18	Ballast - Normal Speed (bn)	12	13				
19	Ballast - Eco Speed (be)	11	11,5				
20							
21	Can vessel proceed via:	Enter number 1 if vessel can proceed this route and enter 0 if vessel can't proceed this route					
22	Kiel canal in ballast	1	1				
23	Kiel canal when fully laden	1	1				
24	Sound in ballast	1	1				
25	Sound when fully laden	0	0				
26		All vessels can proceed via Great Belt in laden & ballast condition					
27							

KUVA 13. Vessel Data -välilehti

5.3 Calculator-välilehti

Kuvassa 14 näkyvä Calculator-välilehti on ainoa välilehti, jota laskentataulukon normaalin käyttäjän on tarkoitus käyttää. Tällä välilehdellä käyttäjä valitsee vasemmassa yläreunassa oleviin harmaisiin soluihin sopivat arvot valikoista ja syöttää alimpaan soluun haluamansa polttoaineen hinnan. Kaikki muut näkyvissä olevat solut kertovat laskennan tuloksen. Vasemmassa reunassa olevat valkoiset solut kertovat laskennan tarkempia tietoja ajankäytön, polttoaineen kulutuksen ja kustannusten suhteen. Oikeassa reunassa olevat siniset solut kertovat helposti luettavassa muodossa kuinka paljon aikaa, polttoainetta ja rahaa alus säästää kulkemalla Kielin kanavan kautta. Ylemmät siniset solut kertovat tuloksen, jos alukselle on heti käyttöä sen saapuessa määränpäähän ja alemmat siniset solut kertovat tuloksen silloin, kun alus joutuu odottamaan esimerkiksi seuraavaa lastia. Oikeassa ylänurkassa on lisäksi kerrottu valittuihin reitteihin liittyvää turvallisuustietoa.

CALCULATOR FOR COMPARING KIEL CANAL PASSAGE TO PROCEEDING AROUND SKAW

Please choose one of options in grey fields and input approximate bunker price	
Vessel	8000 DWT Oil/Chemical
Ballast / Laden condition	Ballast
Vessel's speed (chosen value: 11,5 kn)	Eco
Route	Gdansk Rotterdam
Weather enroute (speed in weather: 11,5 kn)	Normal
Expected delays in Kiel Canal	Nil (0 h)
Bunker price (usd/mt)	500,00

Time saving when comparing routes (in hours)	
Sound passage compared to Great Belt passage	10,1
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	24,7
Kiel Canal passage compared to Sound passage	14,7
Fastest route	Kiel Canal

Bunker consumption difference when comparing routes (in tonnes)	
Sound passage compared to Great Belt passage	3,8
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	8,7
Kiel Canal passage compared to Sound passage	5,0
Most environmentally efficient route	Kiel Canal

Cost difference when comparing routes (in USD)	
Sound passage compared to Great Belt passage	6304,3
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	7191,1
Kiel Canal passage compared to Sound passage	886,8
Most cost efficient route	Kiel Canal

Routing options available:	Safety Status
Via Great Belt	Safest Route
Via Kiel Canal	Increased Risk Level
Via Sound	Normally Safe Route

When proceeding via Kiel Canal vessel will save:	
Time (h)	14,7
Bunkers	5,0
Money (USD)	886,78

Savings when proceeding via Kiel Canal if vessel would have to wait for next cargo	
Time (h)	0
Bunkers	3,7
Money (USD)	−6134,06

KUVA 14. Calculator-välilehden näkyvä osuus

Käyttäjän valintoja varten tehdyt harmaat kentät toteutettiin Google Sheets -ohjelman Data Validation -työkalulla. Mahdolliset laivan nimet tuodaan ensimmäiseen harmaaseen soluun Vessel Data -välilehden ensimmäiseltä riviltä ja niinpä laivoja voidaan myöhemmin helposti lisätä, poistaa tai muokata Vessel Data -välilehden kautta. Reittivaihtoehdot tuodaan samalla tavalla Routing-välilehden ensimmäiseltä riviltä. Muut valikot ovat valmiita listauksia, joista käyttäjä voi valita haluamansa vaihtoehdon. Esimerkiksi aluksen nopeudeksi voi valita joko taloudellisen, normaalin tai täyden nopeuden (Eco, Normal, Full). Polttoaineen hinnan käyttäjä syöttää itse numeroarvona viimeiseen soluun oman arvionsa mukaan. Polttoaineen hinta voi vaihdella huomattavasti ja eri alukset saattavat käyttää erilaisia polttoainelaatuja, joten hintaa varten ei voitu lähteä rakentamaan järkevää valikkoa tai hakutoimintoa.

Calculator-välilehti sisältää myös kaikki laskentakaavat, joita laskentataulukossa käytetään. Ne on kuitenkin piilotettu käyttäjiltä, jotta ne eivät aiheuttaisi hämmennystä ja käyttävät eivät vahingossa hävittäisi laskentakaavoja. Ainoastaan välilehden harmaat solut ovat normaalien käyttäjien muokattavissa. Kuvassa 15 näkyy piilotettu osuus soluineen. Laskennassa käytettyjä kaavoja esitellään tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

H	I	J
Hidden information		
Daily hire (usd)	10500	
Kiel price (usd)	8000	
Consumption at sea (tn/24h)	9	
Consumption at kiel (tn/24h)	10	
Speed without storm (kn)	11,5	
Speed with chosen weather (kn)	11,5	Bad weather factor 0,8
Kiel canal possible	1	(1 = possible)
Sound possible	1	(0 = not possible)
Consumption at idling (tn/24h)	2	
Route via Kiel Canal (nm)	698	
Route via Sound (nm)	911	
Route via Great Belt (nm)	1027	
Kiel Canal passage (nm)	105	
Unsheltered distance via Kiel (nm)	358	
Unsheltered distance via Sound (nm)	546	
Unsheltered distance via Great Belt (nm)	546	
Passage time through Kiel Canal (h)	13	
Delays in Kiel Canal (h)	0	
Bunker price (usd/tn)	500,00	
Passage time Great Belt (h)	89,304	Great Belt
Passage time Sound (h)	79,217	Sound
Passage time via Kiel Canal (h)	64,565	Kiel Canal
Consumption Great Belt (tn)	33,489	Great Belt
Consumption Sound (tn)	29,707	Sound
Consumption Kiel Canal (tn)	24,754	Kiel Canal
Costs Great Belt (usd)	55815,22	Great Belt
Costs Sound (usd)	49510,87	Sound
Costs Kiel Canal (usd)	48624,09	Kiel Canal
Additional waiting time Great Belt	0,000	
Additional waiting time Sound	10,087	
Additional waiting time Kiel	24,739	
Additional waiting consumption Great Belt	0,000	
Additional waiting consumption Sound	0,841	
Additional waiting consumption Kiel	2,062	
Additional waiting costs Great Belt	0,00	
Additional waiting costs Sound	4833,33	
Additional waiting costs Kiel	11854,17	

KUVA 15. Calculator-välilehden piilotettu osuus

5.3.1 Tietojen haku laskentaa varten

Laskennan lähtötiedot haettiin muilta välilehdiltä Calculator-välilehdelle käyttämällä Google Sheets -ohjelman HLOOKUP toimintoa. Esimerkiksi laivan päivävuokra (kuvassa 15 "Daily Hire (usd)") haettiin aluksen nimen perusteella käyttämällä kaavaa 1.

=HLOOKUP(C5;'Vessel Data'!B1:Q63;3;false) (1)

C5 on saman välilehden solu, johon käyttäjä on valinnut haluamansa laivan. Tämän perusteella kaava hakee Vessel Data -välilehden B1:Q63 alueelta taulukon kolmannella rivillä olevan luvun. Kaavan lopussa oleva false määrittää, että kaava hakee ainoastaan täysin samalla nimellä olevaa laivaa Vessel Data -välilehdeltä.

Monimutkaisin hakukaava jouduttiin kirjoittamaan aluksen nopeuden hakemista varten, sillä tässä piti huomioida laivan nimen lisäksi myös lasti- tai painolastitilanne, sekä valittu nopeusalue.

=HLOOKUP(C5;'Vessel Data'!B1:Q63;(if((AND
(C6="Laden";C7="Full"));14;(if((AND(C6="Laden";
C7="Normal"));15;(if((AND(C6="Laden";C7="Eco"));
16;(if((AND(C6="Ballast";C7="Full"));17;(if((AND
(C6="Ballast";C7="Normal"));18;19)))))))))));false) (2)

Kaavassa 2 on käytetty HLOOKUP toiminnon lisäksi AND ja IF toimintoja oikean lopputuloksen saamiseksi.

Käyttäjän valitsemia tietoja haettiin piilotetulle alueelle yksinkertaisemmilla kaavoilla, sillä ne olivat jo valmiiksi samalla välilehdellä. Esimerkiksi mahdolliset viiveet Kielin kanavassa muutettiin lukuarvoksi käyttäjän tekemän valinnan perusteella kaavalla 3.

=if(C10="Nil (0 h)";0;(if(C10="Slight (6 h)";6;12))) (3)

Tämä on melko yksinkertainen IF kaava, jossa käyttäjän valinta solussa C10 tuottaa soluun valintaa vastaavan lukuarvon. Viiveen pituus oli joko 0, 6 tai 12 tuntia.

5.3.2 Laskentasolut

Matka-aikojen laskentaa varten käytettiin yksinkertaisia laskentakaavoja, jotka pohjautuivat

$$t = \frac{s}{v} \tag{4}$$

kaavaan, jossa t on aika, s on matka ja v on nopeus. Esimerkiksi matka-aika Soundin kautta kulkiessa laskettiin kaavalla

=(I19/I10+(I15-I19)/I9)*I12, (5)

jossa solu I19 on avomerellä kuljettu matka, I15 kokonaismatka, I10 nopeus valitussa säässä, I9 nopeus ilman sään vaikutusta ja I12 reitin kulkumahdollisuus. Jos aluksen ei ole mahdollista kulkea kyseistä reittiä pitkin, kerroinsolu I12 tuottaa kaavan lopputuloksena arvon nolla.

Polttoaineenkulutukset eri reiteille laskettiin muuttamalla ensin matkaan käytetty aika vuorokausiksi ja sen jälkeen kertomalla aika nopeusvalinnan mukaisella tonnia/päivä kulutuksella. Kielin kanavan reitteihin liittyvässä kulutuslaskennassa huomioitiin lisäksi mahdollinen odotusaika, jonka kulutus laskettiin aluksen tyhjäkäyntikulutuksen mukaisella arvolla sekä Kielin kanavassa käytetty aika, johon sovellettiin kyseisen aluksen kulutusta kanavamatkan aikana. Kielin kanavan kautta kulkevan reitin kulutus laskettiin kaavalla

=((I27-I21-I22)/24*I7+I21/24*I8+I22/24*I13)*I11. (6)

Tässäkin kaavassa käytettiin kerroinsolua nollaamaan laskennan tulos, jos reittiä ei ole mahdollista kulkea. Tässä tapauksessa kerroinsolu oli I11.

Reittien kustannukset laskettiin kertomalla aiemmin laskettu polttoaineenkulutus polttoaineen hinnalla ja lisäämällä tähän matkaan käytetty aika kerrottuna aluksen päivävuokralla. Kielin kanavan reitin laskennassa edellä mainittuun lisättiin myös kanavan läpimenon hinta. Kielin kanavan kautta kulkevan reitin hinta laskettiin kaavalla

$$=(I31*I23+I27/24*I5+I6)*I11. \quad (7)$$

Kuten kaavasta voi huomata, tässäkin käytettiin Soundin ja Kielin kanavan reittien laskennassa kerroinsolua nollaamaan tulos tarvittaessa.

5.3.3 Laskennan tulosten esittäminen

Osa laskennan tuloksista esitetään kuvan 14 vasemmassa reunassa olevissa valkoisissa soluissa. Tämä alue on jaettu kolmeen osioon, joissa kerrotaan tilanne ajan säästön, polttoaineen säästön ja kustannusten säästön suhteen. Kaikkiin kolmeen osioon on lisäksi tehty vielä kenttä, jossa kerrotaan parhaaseen lopputulokseen päässyt reitti. Nämä laskut on tehty ykseinkertaisilla vähennyskaavoilla ja esimerkiksi solussa C14 oleva tulos Soundin reitin ja Ison-Beltin reittien välillä on laskettu vähentämällä aiemmin laskettu Soundin reitin matka-aika Ison-Beltin reitin matka-ajasta. Nopein reitti on haettu kaavalla

$$=vlookup(MIN(filter(I25:I27;I25:I27<>0));I25:J27;2;0). \quad (8)$$

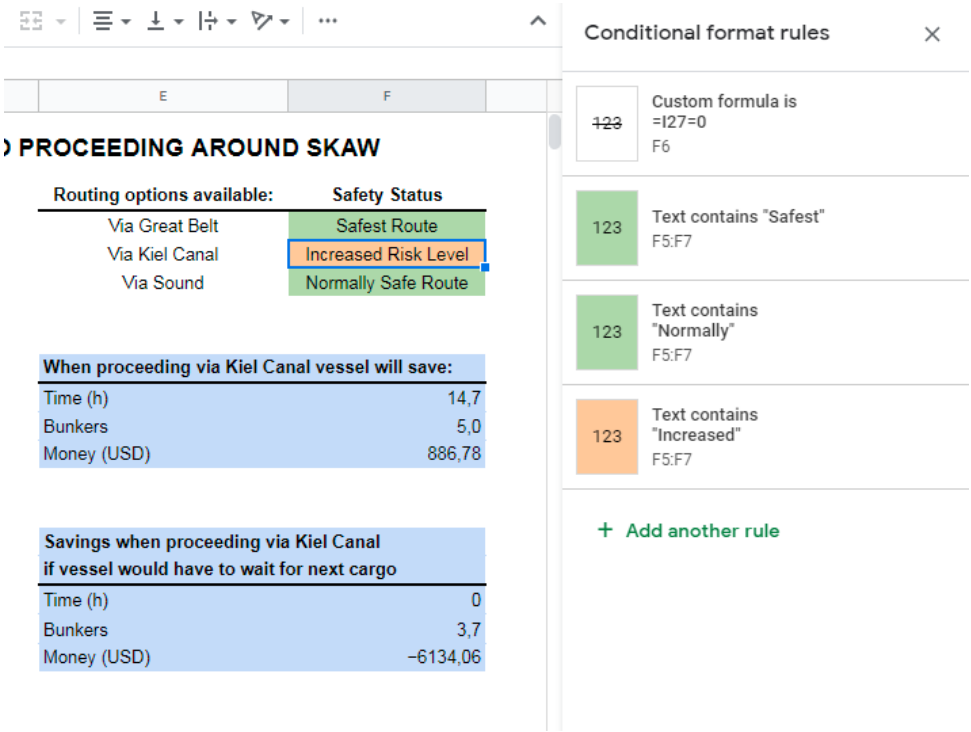
Kaavan VLOOKUP toiminto hakee minimiarvon solujen I25-I27 alueelta, mutta ei kuitenkaan ota nollatuloksia huomioon. Kaava tuottaa lopputuloksena J sarakkeessa olevan solun arvon pienimmän löydetyn I sarakkeen arvon riviltä. Kuvassa 15 näkyy, että jokaisella rivillä on J sarakkeessa aina kyseessä olevan reitin nimi. Laskennallisten tulosten esittämisen lisäksi solujen tietoja piilotettiin Google Sheetsin Conditional formatting toiminnolla, jos kyseinen laiva ei voi kulkea kyseessä olevaa reittiä valintojen mukaisessa lastitilanteessa.

Kuvan 14 oikeassa reunassa näkyvissä sinisissä soluissa esitetään laskennan tuloksia vielä yksikertaisemmassa muodossa. Ylempi sininen laatikko kertoo kuinka paljon aikaa, polttoainetta ja rahaa säästyy, jos alus kulkee Kielin kanavan kautta. Tässä Kielin kanavan läpiajoa verrataan Soundin reittiin, jos aluksen kulku sitä kautta on mahdollista. Jos Soundin reitti ei ole mahdollinen alukselle, silloin vertailu tehdään Kielin kanavan ja Ison-Beltin reittien välillä. Näiden solujen arvot voivat saada myös negatiivisia tuloksia siinä

tapauksessa, että Kielin kanavan läpimeno ei säästäisikään verrattuna muihin vaihtoehtoihin. Tulokset haetaan näihin soluihin vasemmassa reunassa olevista valkoisista soluista.

Alemman sinisen laatikon säästölaskenta on tehty sillä edellytyksellä, että aluksella ei olisi heti käyttöä sen saapuessa seuraavaan määränpäähänsä. Tällainen tilanne voisi syntyä esimerkiksi silloin, jos laiva odottaisi lastausikkunaansa määränpään ankkuripaikalla. Tällöin ajansäästö on aina 0, koska nopeammin perillä olo ei säästä aikaa ollenkaan. Tällöin vain alus joutuisi odottelemaan ankkurissa pidempään. Polttoaineen kulutuksen vertailussa on otettu huomioon myös aluksen tyhjäkäyntikulutus, sillä ankkurissa ollessaan alus polttaa jatkuvasti polttoainetta, jotta aluksen sähkö ja muut järjestelmät pysyvät toiminnassa. Rahan säästössä taas täytyy huomioida, että aluksen päivävuokra on sama riippumatta siitä onko alus ankkurissa vai matkalla.

Laskennan tulosten lisäksi Calculator-välilehdellä esitetään myös reittien riskistatukseen perustuvat arviot. Sivun oikeassa yläkulmassa on alue, jossa on lueteltu kaikki kolme reittiä ja niille arvioidut riskiluokitukset. Riskiluokitukset haetaan Routing-välilehden alareunasta huomioimalla myös onko alus lastissa vai painolastissa. Condtional formatting toiminnolla annetaan riskiluokituksille myös omat värinsä riskin suuruuden mukaan. Käytössä on vihreä väri turvallisimmille reiteille ja kellertävä väri korkeamman riskitason reiteille. Jos myöhemmin haluttaisi muokata Routing-välilehden riskitasoja, silloin pitäisi myös Conditional formatting säännöt luoda uudelleen. Kuvassa 16 näkyy tätä työtä varten luodut säännöt.



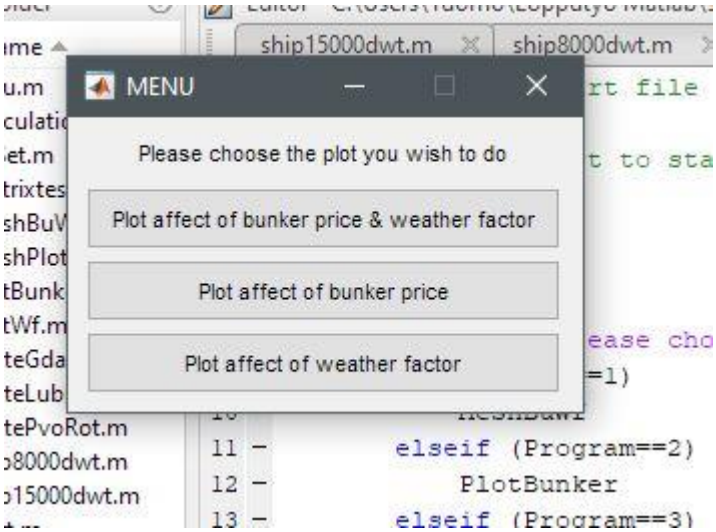
KUVA 16. Conditional formatting säännöt riskistatussoluille

6 MATLAB-LASKENTA

Matlab-laskentaa käytettiin tässä työssä toissijaisena tietolähteenä ja Google Sheets -laskennan tulosten tarkastamiseen. Matlabilla haluttiin kuitenkin tuoda myös jotain lisäarvoa itse työhön, joten sillä tehtiin kolme erilaista ohjelmaa, joilla havainnollistettiin polttoaineen hinnan ja sään vaikutusta matkan taloudelliseen tulokseen. Matlab-laskenta luotiin niin, että yhden ohjelman käynnistäminen riittää kaikkien laskentojen tekemiseen. Pääohjelman käynnistämällä Matlab antaa eri vaihtoehtoja, joista käyttäjä valitsee haluamansa aliohjelman ja lähtöarvot. Matlabin ohjelmatekstit löytyvät liitteinä 5-11 olevista ohjelmatulosteista.

6.1 Käynnistysohjelma

Laskennan käynnistysohjelma on nimeltään start. Kirjoittamalla tämän ohjelman nimi Matlabin komentoikkunaan ja painamalla enter-nappia käyttäjälle tulee esiin valikko, josta voi valita jonkin kolmesta laskentavaihtoehdosta. Nämä vaihtoehdot ovat polttoaineen hinnan vaikutus kaaviomuodossa, sääkertoimen vaikutus kaaviomuodossa ja molempien yhteinen vaikutus kaaviomuodossa. Valikko tuodaan esiin Matlabin Program=menu komennolla ja käyttäjän valinnan mukaan komennolla käynnistetään sopiva aliohjelma. Kuvassa 17 näkyy käyttäjälle esiin tuleva valikko. Ohjelma kokonaisuudessaan löytyy liitteestä 5.



KUVA 17. Matlab laskennan valinta

6.2 Lähtötietojen haku

Aliohjelman valinnan jälkeen Matlab siirtyy kyseiseen aliohjelmaan. Kaikkiin kolmeen aliohjelmaan on ensin tehty lähtötietojen haku käynnistämällä iniSet ohjelma. Tämä ohjelma pyytää käyttäjää valitsemaan ensin haluamansa reitin ja laivan, jonka jälkeen valitaan vielä onko laiva lastissa vai painolastissa ja millaisella nopeudella ajetaan. Reitti- ja laivavalintojen pohjalta iniSet ohjelma käynnistää kyseiseen reittiin ja laivaan liittyvät ohjelmat, jotka asettavat niiden parametrit käytettäviksi muuttujiksi. Tämän jälkeen lasti tai painolasti tilan sekä nopeuden valinta vielä valitsee kyseisen laivan kyseistä tilannetta vastaavat arvot. Laivoille tehdyt ohjelmatiedostot ovat nimiltään ship15000dwt ja ship8000dwt. Reittien tiedostoille on annettu nimet routePvoRot, routeGdaRot ja routeLubHam. Ohjelmien nimistä käy ilmi mitä reittiä ja laivaa ne koskevat. Kaikki ohjelmat on tehty mahdollisimman havainnollisiksi, jotta myöhemmin olisi helpompaa muokata niitä tarvittaessa. Yksi kriteeri ohjelmien luomisessa oli myös mahdollisuus myöhemmin lisätä laivoja ja reittejä laskentaa varten. Liitteestä 6 löytyy iniSet ohjelma kokonaisuudessaan. Esimerkkeinä olevat ohjelmat routePvoRot ja ship15000dwt ovat liitteinä 10 ja 11.

6.3 Polttoaineen hinnan vaikutusta laskeva ohjelma

Pelkkää polttoaineen hinnan vaikutusta laskeva ohjelma on nimeltään PlotBunker. Tämä ohjelma asettaa heti aluksi sääkertoimen arvoksi 1, joten sään vaikutusta ei ole tässä laskettu mukaan. Polttoaineen hinta asetetaan rivivektoriksi linspace komennolla. Tämän vektorin arvot kasvavat nollasta tuhanteen lineaarisesti 0,5:n askelin. Vektori sisältää siis yhteensä 2001 lukuarvoa. Seuraavaksi ohjelma laskee aika-, kulutus- ja hintatiedot reiteille Kielin kautta sekä Tanskan ympäri. Lopuksi ohjelma piirtää kuvaajan polttoaineen hinnan vaikutuksesta plot komennolla. Ohjelma kokonaisuudessaan löytyy liitteestä 7.

6.4 Sääkertoimen vaikutusta laskeva ohjelma

Sääkertoimen vaikutusta laskeva ohjelma toimii muuten samalla tavalla kuin polttoaineen hinnan vaikutusta arvioiva ohjelma, mutta tässä tapauksessa polttoaineen hinnalle on annettu kiinteä arvo 585 usd/tn ja sääkertoimesta on tehty rivivektori. Sääkertoimen arvot kasvavat lineaarisesti 0,5:stä 1,0:aan 0,01:n askelin. Vektori sisältää siis yhteensä 51 arvoa. Tämän ohjelman nimi on PlotWf. Ohjelma kokonaisuudessaan löytyy liitteestä 8.

6.5 Polttoaineen hinnan sekä sääkertoimen vaikutuksia laskeva ohjelma

Tämä ohjelma on nimeltään MeshBuWf ja ohjelma on perusperiaatteiltaan samanlainen muiden kahden ohjelman kanssa. Tässä ohjelmassa sekä polttoaineen hinta että sääkerroin on asetettu rivivektoreiksi. Polttoaineen hinnan rivivektori on tehty tähän ohjelmaan 5 usd/tn portain, jotta lopputuloksen kuvaaja olisi havainnollisempi. Laskentakaavoissa ei voitu kuitenkaan käyttää rivivektoreita suoraan, koska matriiseilla ei ole mahdollista jakaa. Tästä syystä ajanlaskentakaavoissa rivivektoreilla jakaminen on korvattu rivivektorien käänteismatriiseilla kertomisella. Eri reittihintojen erotukseksi tuleva matriisi on vielä laskennan lopuksi transponoitu, jotta tulokset kääntyvät oikeinpäin. Ohjelma kokonaisuudessaan löytyy liitteestä 9.

7 TULOKSET

5. maaliskuuta 2019 laivapolttoaineeksi tarkoitetun alle 0,1 % rikkiä sisältävän kaasuöljyn keskihinta oli Rotterdamissa 585 Yhdysvaltain dollaria tonnilta (Platts Bunkerwire 2019). Tätä polttoaineen hintaa on sovellettu nykyhetkeä kuvaaviin laskelmiin eri reittivaihtoehtojen kustannuksista.

7.1 Google Sheets -laskennalla saatuja tuloksia esimerkkialuksille

Tässä luvussa esitellään Google Sheets -laskennalla saatuja tuloksia valituilta osin, sillä kaikkien mahdollisten vaihtoehtojen esittely ei ole mahdollista opinnäytetyön puitteissa.

7.1.1 Porvoo-Rotterdam-reitti

Painolastissa sekä 8000 dwt:n että myös 15 000 dwt:n alukset voivat kulkea Tanskan ympäri Soundin reitin kautta. Tällöin kummallekin aluskoolle Porvoo-Rotterdam-reitin ajaminen Kielin kanavan kautta säästäisi aikaa noin seitsemästä tunnista neljääntoista tuntiin normaaleissa sääolosuhteissa ja ilman viiveitä Kielin kanavassa. Myrskyisessä säässä ajan säästö olisi vielä useita tunteja suurempi, mutta toisaalta viiveet Kielin kanavassa pienentäisivät ajansäästöä huomattavasti. Täydessä lastissa ollessaan alukset joutuvat käyttämään Ison-Beltin reittiä Tanskan kiertämiseen ja tällöin Kielin kanavan kautta ajaminen tuottaisi jopa noin vuorokauden säästön matka-ajassa. Polttoainetta säästyisi olosuhteista ja laivasta riippuen maksimissaan noin 20 tonnia Kielin kanavan kautta ajamalla. Pienimmällään säästö olisi muutamia tonneja polttoainetta.

Kokonaiskustannusten osalta vertailu on huomattavasti monipuolisempaa, sillä nykyisellä polttoaineen hinnalla ja eri vaihtoehtoja valitsemalla Kielin kautta ajaminen voi tuottaa joko paremman tai huonomman rahallisen tuloksen. Lastissa oleva suurempi alus voi säästää jopa yli 10 000 dollaria yhdellä matkalla kulkemalla Kielin kanavan kautta. Toisaalta jos painolastissa oleva alus joutuisi odottamaan määränpäähän pääsyä Nesteen kustannuksella, olisi tulos tällöin noin 10 000 dollaria huonompi Kielin kanavan kautta ajamalla. Kuvissa 18 ja 19 tulokset näkyvät laskurin esittäminä.

CALCULATOR FOR COMPARING KIEL CANAL PASSAGE TO PROCEEDING AROUND SKAW

Please choose one of options in grey fields and input approximate bunker price	
Vessel	15000 DWT Oil/Chemic
Ballast / Laden condition	Ballast
Vessel's speed (chosen value: 11,0 kn)	Eco
Route	Porvoo Rotterdam
Weather enroute (speed in weather: 11,0 kn)	Normal
Expected delays in Kiel Canal	Nil (0 h)
Bunker price (usd/mt)	585,00

Time saving when comparing routes (in hours)	
Sound passage compared to Great Belt passage	11,9
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	26,5
Kiel Canal passage compared to Sound passage	14,5
Fastest route	Kiel Canal

Bunker consumption difference when comparing routes (in tonnes)	
Sound passage compared to Great Belt passage	5,0
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	9,9
Kiel Canal passage compared to Sound passage	5,0
Most environmentally efficient route	Kiel Canal

Cost difference when comparing routes (in USD)	
Sound passage compared to Great Belt passage	9601,7
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	8295,2
Kiel Canal passage compared to Sound passage	−1306,5
Most cost efficient route	Sound

Routing options available:	Safety Status
Via Great Belt	Safest Route
Via Kiel Canal	Increased Risk Level
Via Sound	Normally Safe Route

When proceeding via Kiel Canal vessel will save:	
Time (h)	14,5
Bunkers	5,0
Money (USD)	−1306,48

Savings when proceeding via Kiel Canal if vessel would have to wait for next cargo	
Time (h)	0
Bunkers	3,2
Money (USD)	−10551,93

KUVA 18. Painolastissa oleva 15 000 dwt:n alus Porvoo-Rotterdam-reitillä

CALCULATOR FOR COMPARING KIEL CANAL PASSAGE TO PROCEEDING AROUND SKAW

Please choose one of options in grey fields and input approximate bunker price	
Vessel	15000 DWT Oil/Chemic
Ballast / Laden condition	Laden
Vessel's speed (chosen value: 10,5 kn)	Eco
Route	Porvoo Rotterdam
Weather enroute (speed in weather: 8,4 kn)	Stormy
Expected delays in Kiel Canal	Nil (0 h)
Bunker price (usd/mt)	585,00

Time saving when comparing routes (in hours)	
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	29,8
Fastest route	Kiel Canal

Bunker consumption difference when comparing routes (in tonnes)	
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	11,1
Most environmentally efficient route	Kiel Canal

Cost difference when comparing routes (in USD)	
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	10853,9
Most cost efficient route	Kiel Canal

Routing options available:	Safety Status
Via Great Belt	Safest Route
Via Kiel Canal	Increased Risk Level
~~Via Sound~~	~~Normally Safe Route~~

When proceeding via Kiel Canal vessel will save:	
Time (h)	29,8
Bunkers	11,1
Money (USD)	10853,93

Savings when proceeding via Kiel Canal if vessel would have to wait for next cargo	
Time (h)	0
Bunkers	7,4
Money (USD)	−8093,75

KUVA 19. Lastissa oleva 15 000 dwt:n alus Porvoo-Rotterdam-reitillä myrskyisellä säällä

7.1.2 Gdansk-Rotterdam-reitti

Gdansk-Rotterdam-reitti tuotti täsmälleen samat tulokset esimerkkialuksille niiden ollessa lastissa kuin Porvoo-Rotterdam-reittikin. Alusten ollessa painolastissa aikaa säästyi hieman enemmän Kielin kautta kulkemalla, kuin mitä säästö oli Porvoo-Rotterdam-reitillä. Tämä ero oli kuitenkin hyvin pieni, kuten kuvasta 20 voi nähdä. Pääasiassa tulokset olivat hyvin lähellä Porvoo-Rotterdam reitin tuloksia.

CALCULATOR FOR COMPARING KIEL CANAL PASSAGE TO PROCEEDING AROUND SKAW

Please choose one of options in grey fields and input approximate bunker price	
Vessel	15000 DWT Oil/Chemic
Ballast / Laden condition	Ballast
Vessel's speed (chosen value: 11,0 kn)	Eco
Route	Gdansk Rotterdam
Weather enroute (speed in weather: 11,0 kn)	Normal
Expected delays in Kiel Canal	Nil (0 h)
Bunker price (usd/mt)	585,00

Time saving when comparing routes (in hours)	
Sound passage compared to Great Belt passage	10,5
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	26,5
Kiel Canal passage compared to Sound passage	15,9
Fastest route	Kiel Canal

Bunker consumption difference when comparing routes (in tonnes)	
Sound passage compared to Great Belt passage	4,4
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	9,9
Kiel Canal passage compared to Sound passage	5,5
Most environmentally efficient route	Kiel Canal

Cost difference when comparing routes (in USD)	
Sound passage compared to Great Belt passage	8502,3
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	8295,2
Kiel Canal passage compared to Sound passage	−207,0
Most cost efficient route	Sound

Routing options available:	Safety Status
Via Great Belt	Safest Route
Via Kiel Canal	Increased Risk Level
Via Sound	Normally Safe Route

When proceeding via Kiel Canal vessel will save:	
Time (h)	15,9
Bunkers	5,5
Money (USD)	−207,05

Savings when proceeding via Kiel Canal if vessel would have to wait for next cargo	
Time (h)	0
Bunkers	3,6
Money (USD)	−10319,26

KUVA 20. Painolastissa oleva 15 000 dwt:n alus Gdansk-Rotterdam-reitillä

7.1.3 Lyypekki-Hampuri-reitti

Lyypekki-Hampuri-reitillä Kielin kanavan tuoma säästö oli muita reittejä suurempi. Painolastissa oleva 15 000 dwt:n alus voisi säästää jopa 20 000 Yhdysvaltain dollaria ja yli 40 tuntia matkansa aikana myrskyisessä säässä. Jos alus taas olisi matkalla odottamaan seuraavaa lastia, Kielin kanavan kautta ajaminen tuottaisi alukselle noin 6 000 dollaria huonomman rahallisen tuloksen, kuin Tanskan kiertäminen. Kuvissa 21 ja 22 tulokset näkyvät laskurin esittäminä.

CALCULATOR FOR COMPARING KIEL CANAL PASSAGE TO PROCEEDING AROUND SKAW

Please choose one of options in grey fields and input approximate bunker price	
Vessel	15000 DWT Oil/Chemic
Ballast / Laden condition	Ballast
Vessel's speed (chosen value: 11,0 kn)	Eco
Route	Lubeck Hamburg
Weather enroute (speed in weather: 11,0 kn)	Normal
Expected delays in Kiel Canal	Nil (0 h)
Bunker price (usd/mt)	585,00

Time saving when comparing routes (in hours)	
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	37,5
Fastest route	Kiel Canal

Bunker consumption difference when comparing routes (in tonnes)	
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	14,6
Most environmentally efficient route	Kiel Canal

Cost difference when comparing routes (in USD)	
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	17237,3
Most cost efficient route	Kiel Canal

Routing options available:	Safety Status
Via Great Belt	Safest Route
Via Kiel Canal	Increased Risk Level
~~Via Sound~~	~~Normally Safe Route~~

When proceeding via Kiel Canal vessel will save:	
Time (h)	37,5
Bunkers	14,6
Money (USD)	17237,27

Savings when proceeding via Kiel Canal if vessel would have to wait for next cargo	
Time (h)	0
Bunkers	9,9
Money (USD)	−6627,56

KUVA 21. Painolastissa oleva 15 000 dwt:n alus Lyypekki-Hampuri-reitillä

CALCULATOR FOR COMPARING KIEL CANAL PASSAGE TO PROCEEDING AROUND SKAW

Please choose one of options in grey fields and input approximate bunker price	
Vessel	15000 DWT Oil/Chemic
Ballast / Laden condition	Ballast
Vessel's speed (chosen value: 11,0 kn)	Eco
Route	Lubeck Hamburg
Weather enroute (speed in weather: 8,8 kn)	Stormy
Expected delays in Kiel Canal	Nil (0 h)
Bunker price (usd/mt)	585,00

Time saving when comparing routes (in hours)	
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	42,2
Fastest route	Kiel Canal

Bunker consumption difference when comparing routes (in tonnes)	
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	16,5
Most environmentally efficient route	Kiel Canal

Cost difference when comparing routes (in USD)	
Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	20975,3
Most cost efficient route	Kiel Canal

Routing options available:	Safety Status
Via Great Belt	Safest Route
Via Kiel Canal	Increased Risk Level
~~Via Sound~~	~~Normally Safe Route~~

When proceeding via Kiel Canal vessel will save:	
Time (h)	42,2
Bunkers	16,5
Money (USD)	20975,34

Savings when proceeding via Kiel Canal if vessel would have to wait for next cargo	
Time (h)	0
Bunkers	11,2
Money (USD)	−5836,48

KUVA 22. Painolastissa oleva 15 000 dwt:n alus Lyypekki-Hampuri-reitillä myrskyssä

7.2 Google Sheets -laskennalla saatuja tuloksia Nesteen aikarahtaamille aluksille

Nesteen aikarahtauksessa oleville aluksille laskurin laskemat tulokset olivat hyvin samansuuntaisia esimerkkilaivojen kanssa. Laivojen kulutukset, päivävuokrat ja nopeudet toki muuttavat laskennan lopputuloksia jopa muutamilla tuhansilla dollareilla, mutta eivät kuitenkaan niin radikaalisti, että suuri säästö muuttuisi suureksi lisäkuluksi. Osa Nesteen rahtauksessa olevista aluksista on myös suurempia kuin esimerkkilaivat ja tällöin reittivaihtoehtojen valinta on rajoitetumpaa. Kuvassa 23 näkyy esimerkkinä m/t Neste, joka ei täydessä lastissa voi kulkea mitään muuta reittiä, kuin Ison-Beltin kautta. Tällöin laskuriin tuodaan esiin Conditional formatting toiminnon avulla punaisella oleva varoitus, että vain Ison-Beltin reitti on mahdollinen.

CALCULATOR FOR COMPARING KIEL CANAL PASSAGE TO PROCEEDING AROUND SKAW

Please choose one of options in grey fields and input approximate bunker price

Vessel	Neste
Ballast / Laden condition	Laden
Vessel's speed (chosen value: 15,5 kn)	Full
Route	Porvoo Rotterdam
Weather enroute (speed in weather: 15,5 kn)	Normal
Expected delays in Kiel Canal	Nil (0 h)
Bunker price (usd/mt)	585,00

Time saving when comparing routes (in hours)

Fastest route — Great Belt

Bunker consumption difference when comparing routes (in tonnes)

Most environmentally efficient route — Great Belt

Cost difference when comparing routes (in USD)

Most cost efficient route — Great Belt

Routing options available:	**Safety Status**
Via Great Belt	Safest Route
~~Via Kiel Canal~~	~~Increased Risk Level~~
~~Via Sound~~	~~Normally Safe Route~~

When proceeding via Kiel Canal vessel will save:

Time (h)
Bunkers
Money (USD)

Savings when proceeding via Kiel Canal if vessel would have to wait for next cargo

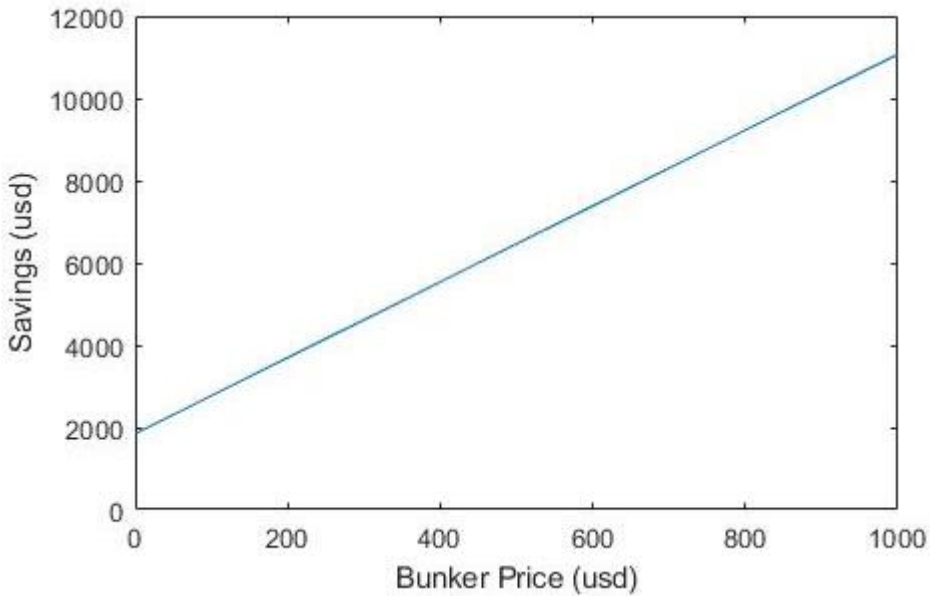
Time (h)
Bunkers
Money (USD)

VESSEL CAN PROCEED ONLY VIA GREAT BELT IN THIS CONDITION

KUVA 23. Neste laivan näkymä laskurissa täydessä lastissa

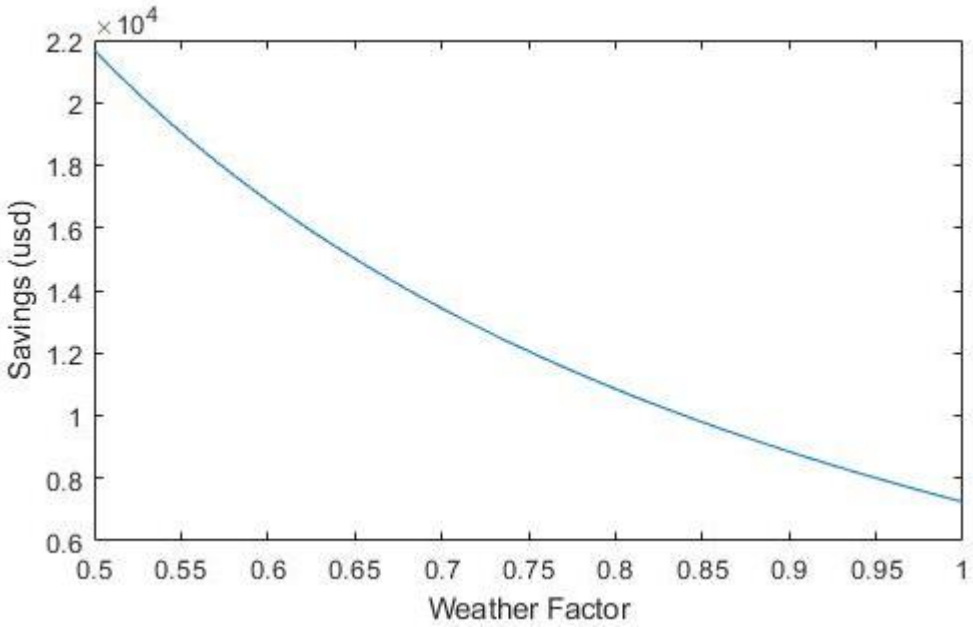
7.3 Matlab-laskennalla saatuja tuloksia

Matlab-laskennalla saatuja tuloksia verrattiin ensin Google Sheets -laskurin antamiin tuloksiin ja todettiin, että molemmat ohjelmat antoivat täsmälleen samoja tuloksia. Tämän jälkeen lähdettiin tutkimaan miten polttoaineen hinnan muutokset ja sää vaikuttavat reitinvalinnan taloudelliseen lopputulokseen. Kun lähtöarvoina käytettiin Porvoo-Rotterdam-reittiä, lastissa olevaa 15 000 dwt:n tankkilaivaa ja taloudellista ajonopeutta, saatiin kuvion 1 mukainen kuvaaja polttoaineen hinnan vaikutukselle. Vaaka-akselilla kuvassa on polttoaineen hinta ja pystyakselilla Kielin kanavan läpiajon tuottama säästö. Tässä tapauksessa polttoaineen ollessa ilmaista, säästö olisi noin 2000 dollaria ja polttoaineen hinnan noustessa säästö kasvaa lineaarisesti hinnan mukana.



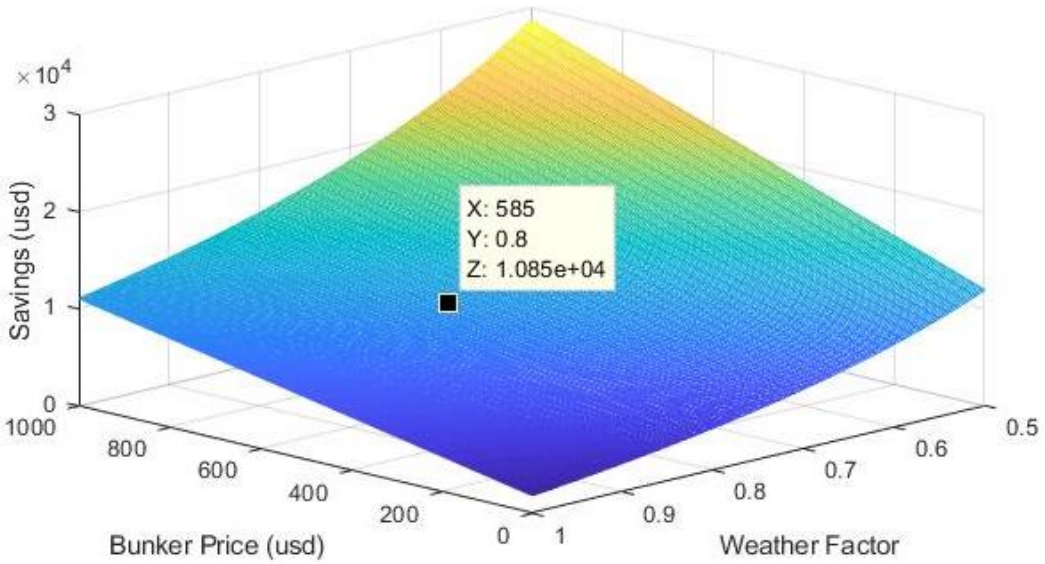
KUVIO 1. Polttoaineen hinnan vaikutus Kielin kanavan tuomaan säästöön

Tutkittaessa sääkertoimen vaikutusta samoilla lähtöarvoilla saatiin kuvion 2 mukainen kuvaaja. Tässä tapauksessa potentiaalinen säästö olisi hieman alle 8000 Yhdysvaltain dollaria hyvissä sääolosuhteissa eli silloin kun sääkertoimen arvo on 1. Sään huonontuessa ja sääkertoimen pienentyessä säästöpotentiaali kasvaa suuremmaksi nousten sääkertoimen arvolla 0,5 jo kolminkertaiseksi.



KUVIO 2. Sääkertoimen vaikutus Kielin kanavan tuomaan säästöön

Kun samaan kuvaajaan yhdistetään sekä sääkertoimen että polttoaineen hinnan vaikutus saadaan kuvion 3 mukainen kuvaaja. Tästä voidaan helposti nähdä molempien vaikutus reitinvalinnan taloudellisuuteen. Kuvaajassa on otettu esimerkkipiste kohtaan, jossa polttoaineen hinta on 585 Yhdysvaltain dollaria ja sääkerroin 0,8. Nämä ovat samat arvot, joita tämän lopputyön muissakin osuuksissa on käytetty ja tällöin säästöpotentiaali olisi 10 850 dollaria.



KUVIO 3. Sääkertoimen ja polttoaineen hinnan vaikutus taloudelliseen tulokseen

8 TULOSTEN KÄSITTELY

8.1 Turvallisuuteen liittyvät näkökohdat

Alusten päälliköille lähetetyn kyselyn perusteella Kielin kanavan läpiajoa voidaan pitää selvästi vaarallisimpana reittivaihtoehtona aluksen turvallisuuden kannalta. Soundin reittiä kaikki pitivät myös hieman Ison-Beltin reittiä vaarallisempana, mutta näiden kahden vaihtoehdon ero ei ollut kovin suuri. Myös S. Gaddahilta saatujen tietojen valossa voidaan päätellä, että Kielin kanavassa sattuu onnettomuuksia silloin tällöin.

Onnettomuuksia voi toki sattua kaikilla merialueilla joissa laivoja liikennöi. Esimerkkinä voidaan mainita vuonna 2018 tapahtunut kahden laivan yhteentörmäys Ison-Beltin reitillä. Tällöin 178 metrinen Delphis Gdansk ja 190 metrinen BBC Neptune törmäsivät toisiinsa. Törmäyksen seurauksena BBC Neptunessa syttyi myös pieni tulipalo, joka kuitenkin saatiin sammumaan. (gCaptain 2019)

Yhteenvetona voidaan todeta, että Kielin kanavan kapeus ja vilkas liikenne varmastikin lisäävät onnettomuusriskiä, mutta riski ei siltikään ole merkittävän suuri. Kielin kanava on monilla yhtiöillä käytössä normaalina reittinä ja kanavaan tehdyt korjaukset ja parannukset ovat varmasti pienentäneet onnettomuusriskejä entisestään. Google Sheets -laskurissa haluttiin kuitenkin havainnollistaa eri reittivaihtojen turvallisuutta myös jollain tavalla, joten päädyttiin taulukon 7 mukaisiin turvallisuushuomautuksiin ja väreihin.

TAULUKKO 7. Eri reittien turvallisuushuomautukset suomennettuna

	Huomautus	Väri
Kielin kanava	Kohonnut riskitaso	Oranssi
Soundin reitti	Normaalisti turvallinen reitti	Vihreä
Ison-Beltin reitti	Turvallisin reitti	Vihreä

8.2 Virhearviot laskelmille

Laivat ovat jatkuvasti liikkeessä olevia laitteita ja niiden kulkuun vaikuttavat monet tekijät. Laivan kulkeman todellisen reitin pituuteen voi vaikuttaa esimerkiksi matkan aikana tehdyt väistöliikkeet yhteentörmäysten välttämiseksi ja mahdolliset viranomaisten tai luotsien antamat reititysohjeet. Laivan nopeuteen taas vaikuttavat sääolosuhteet, muu liikenne ja monet muut tekijät. Nämä kaikki laivan kulkuun vaikuttavat tekijät vaikuttavat osaltaan myös polttoaineen kulutukseen ja matka-aikaan ja sitä kautta myös matkan taloudelliseen tulokseen. Niinpä aluksen kulkuun liittyvissä laskelmissa on paljon erilaisia virhelähteitä ja virheet voivat olla myös suhteessa hyvinkin suuria.

Tässä lopputyössä päädyttiin siihen, että suhteelliset virheet aluksen kulkeman reitin pituudessa voisivat olla keskimäärin kaksi prosenttia, joka tuottaisi esimerkiksi Porvoo-Rotterdam reitin kokonaispituudelle 20 merimailin absoluuttisen virheen. Tämä vaikuttaisi realistiselta virhearviolta kirjoittajan omien kokemusten perusteella. Polttoaineen kulutuksen virhe sitä vastaavalle nopeudelle on huomioitu absoluuttisella virheellä 1 tn/d. Olosuhteet voivat kulutukseen vaikuttaa paljon enemmänkin, mutta koska laskurissa on käytetty erillistä sääviivearviota, ei olosuhteiden vaikutusta ole tarpeen huomioida tämän suuremmalla virheellä. Aluksen päivävuokra, Kielin kanavan läpiajon kulut ja polttoaineen hinta oletetaan tässä laskennassa virheettömiksi, koska kyseiset tiedot ovat helposti saatavilla alusten operaattoreille ja voidaan aina tarvittaessa päivittää laskuriin. Kielin kanavan ajankäytön absoluuttinen virhe arvioitiin yhdeksi tunniksi, joka vastaa 6-8 prosentin suhteellista virhettä. Taulukossa 8 on esitetty kaikki laskennassa huomioidut virheet.

TAULUKKO 8. Laskennassa käytetyt virhearviot

	Suhteellinen virhe	Absoluuttinen virhe
Matkojen pituudet	2 %	2 - 20 nm
Polttoaineen kulutus	5-10 %	1 tn/d
Ajankäyttö Kielin kanavassa	6-8 %	1 h

Virhearviot laskurin antamille lopputuloksille laskettiin luomalla virheellisillä luvuilla olevat reitit ja laivat laskuriin. Virhearvioita ei tehty laskemalla kaikkien osatekijöiden suhteellisia virheitä yhteen, sillä tämä ei olisi antanut todenmukaista kuvaa laskennan

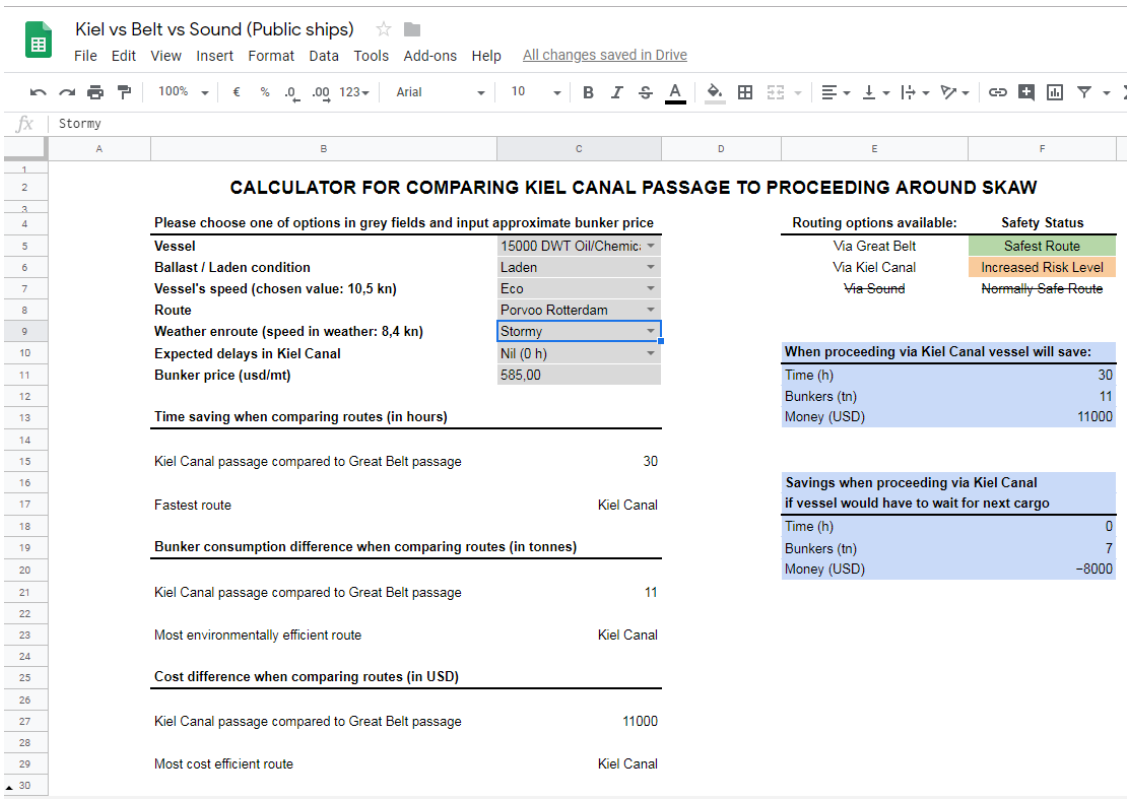
lopputuloksesta. Kun laskennassa on mukana virheellisiä arvoja, muuttuu laskennan kaikkien osalaskelmien lopputulos samaan suuntaan ja niinpä virhe reittien välisten erojen laskennassa ei kasva kovinkaan paljon, vaikka yksittäisten tulosten virhe kasvaakin. Kokeilemalla huomattiin, että Kielin kanavan läpiajoon kuluvan ajan muuttaminen vaikutti laskennan tulokseen eniten. Reittien pituuksien tai alusten polttoaineenkulutusten muuttaminen ei vaikuttanut laskennan lopputulokseen yhtä paljon.

Tulosten virhearviot laskettiin luomalla laskuriin erilaisia variaatioita 15 000 dwt:n aluksesta ja Porvoo-Rotterdam-reitistä. Tämän lisäksi kokeiltiin muuttaa Kielin läpiajoon kuluvia aikoja. Näillä erilaisilla variaatioilla todettiin, että lopputuloksena olevat aikaerot Kielin ja muiden reittien välillä vaihtelivat tunnin sisällä toisistaan ja polttoaineenkulutukset yhden tonnin sisällä toisistaan. Vaikutus taloudelliseen tulokseen eri reittien välillä oli tuhannen dollarin sisällä alkuperäisestä. Joissain tapauksissa absoluuttiset virheet olivat hieman aiemmin mainittuja suurempia, mutta pääosin kuitenkin huomattavasti pienempiä. Niinpä päädyttiin laskurin lopulliselle tarkkuudelle antamaan taulukon 9 mukaiset arvot. Laskurin antamat lopputulokset pyöristettiin myös samaan tarkkuuteen virhearvioiden kanssa, sillä laskurin käyttäjiä ei haluta johtaa harhaan antamalla liian tarkkoja tuloksia reittien välisten erojen laskennalle. Kuvassa 24 näkyy vielä laskurin antamat tulokset lopullisilla pyöristetyillä arvoilla.

TAULUKKO 9. Laskurin lopputulosten virhearviot

	Suhteellinen virhe	Absoluuttinen virhe
Ajalliset arviot	5-10 %	1h
Polttoaineen kulutus	5-10 %	1 tn/d
Taloudellinen tulos	~10 %	1 000 usd

Matlabilla tehty laskenta perustui samoihin tietoihin ja kaavoihin Google Sheets -laskurin kanssa, joten näitä laskurilla kokeilemalla saatuja virhearvioita voidaan soveltaa myös Matlab-laskennan lopputuloksiin sellaisenaan.



Kiel vs Belt vs Sound (Public ships)

File Edit View Insert Format Data Tools Add-ons Help All changes saved in Drive

Stormy

CALCULATOR FOR COMPARING KIEL CANAL PASSAGE TO PROCEEDING AROUND SKAW

Please choose one of options in grey fields and input approximate bunker price

Vessel	15000 DWT Oil/Chemic
Ballast / Laden condition	Laden
Vessel's speed (chosen value: 10,5 kn)	Eco
Route	Porvoo Rotterdam
Weather enroute (speed in weather: 8,4 kn)	Stormy
Expected delays in Kiel Canal	Nil (0 h)
Bunker price (usd/mt)	585,00

Time saving when comparing routes (in hours)

Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	30
Fastest route	Kiel Canal

Bunker consumption difference when comparing routes (in tonnes)

Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	11
Most environmentally efficient route	Kiel Canal

Cost difference when comparing routes (in USD)

Kiel Canal passage compared to Great Belt passage	11000
Most cost efficient route	Kiel Canal

Routing options available:	**Safety Status**
Via Great Belt	Safest Route
Via Kiel Canal	Increased Risk Level
~~Via Sound~~	~~Normally Safe Route~~

When proceeding via Kiel Canal vessel will save:	
Time (h)	30
Bunkers (tn)	11
Money (USD)	11000

Savings when proceeding via Kiel Canal if vessel would have to wait for next cargo	
Time (h)	0
Bunkers (tn)	7
Money (USD)	-8000

KUVA 24. Laskurin lopullinen versio oikeilla pyöristyksillä

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Yhteenvetona Google Sheets -laskurilla tehdyistä laskelmista voidaan sanoa, että Kielin kanavan kautta ajaminen kannattaa lähes aina, jos laivalla vain on seuraavia matkoja ja lasteja odottamassa. Jos taas laivalle on tiedossa odotusaikaa ennen seuraavaa matkaa, ei Kielin kanavan kautta kannata ajaa. Nämä ovat toki vain karkeita yleistyksiä, jotka eivät välttämättä kuvaa todellista tilannetta kaikilla laivoilla. Laivasta ja olosuhteista riippuen reitinvalintaan liittyvä säästöpotentiaali voi olla suurimmillaan jopa useita kymmeniä tuhansia dollareita tai pienimmillään eri reittivaihtoehdot voivat tuottaa lähes saman lopputuloksen.

Kun pohditaan alusten ajankäyttöä matkan taloudellisen tuloksen sijasta, huomataan että Kielin kanavan kautta ajaminen säästää aikaa yhdellä matkalla vähintään 12 tuntia, mutta parhaimmillaan jopa lähes kaksi vuorokautta. Tämä säästö on suurimmillaan toki silloin, kun Kielin kanavassa ei ole säästä tai muusta liikenteestä johtuvia viiveitä. Jos ajansäästöä lasketaan koko vuoden ajalle laivalle, joka ajaisi jatkuvasti Itämeren ja Pohjanmeren välistä liikennettä, voidaan vuoden aikana säästää helposti 3 viikkoa aikaa. Tämä laskenta pohjautuu siihen, että laiva tekisi kuukauden aikana normaalisti 4 matkaa ja jokaisella matkalla ajansäästöä kertyisi 12 tuntia. Kolmen viikon säästö ajankäytössä tarkoittaisi käytännössä sitä, että laivalla voisi tehdä 3 matkaa enemmän vuoden aikana.

Matlabilla tehtyjen mallinnusten pohjalta havaittiin, että mitä suuremmaksi polttoaineen hinta kasvaa, sitä suuremmaksi kasvaa myös Kielin kanavan tuoma säästöpotentiaali. Sään vaikutus matka-aikaan ja sitä kautta eri reittivaihtoehtojen väliseen taloudelliseen tulokseen on myös suuri. Tulosten perusteella siis Kielin kanavan käyttöä kannattaa suosia varsinkin sään ollessa myrskyinen ja polttoaineen hinnan ollessa korkealla.

Eri reittivaihtoehtojen turvallisuutta vertailtaessa havaittiin, että Kielin kanava vaikutti vertailluista reiteistä selvästi riskialtteimmalta. Kanavaa kuitenkin käyttävät vakituisesti suurten öljy-yhtiöiden alukset ja myös monet muut toimijat. Tässä työssä ei löytynyt syitä kieltää Kielin kanavan tai minkään muunkaan reitin käyttö Nesteen aikarahtauksessa olevilta aluksilta, mutta ahtaiden väylien ja vilkkaan liikenteen tuoma riskitason nousu on syytä tiedostaa reittivalintoja tehdessä. Kielin kanavan houkuttelevuutta ei myöskään li-

sää se, että laivapolttoaineiden saatavuus siellä on hieman heikko. Laivojen polttoainetäydennykset on parempi suunnitella muiden satamakäyntien yhteyteen tai hoitaa Skagenissa Tanskan ympäri kierrettäessä.

Opinnäytetyön tuloksena syntynyt Google Sheets -laskuri on ollut vuoden 2019 alusta asti Nesteen laivaoperaattoreiden käytössä ja maaliskuussa 2019 annettiin laskurin lopullinen versio koko rahtausosaston käyttöön. Tämän opinnäytetyön voidaan todeta onnistuneen hyvin, sillä se on lisännyt tietoisuutta eri reittivaihtoehtoihin liittyen ja laskurin avulla on ollut helppo valita sopivin reittivaihtoehto alukselle. Aiemmin Kielin kanavan läpiajoon liittyi paljon erilaisia mielipiteitä, mutta nyt niiden rinnalle on tuotu helposti käytettävää faktatietoa. Yhdellä matkalla aluksen kustannuksissa voidaan säästää jopa 10 000 Yhdysvaltain dollaria valitsemalla oikea reittivaihtoehto. Kun tämä säästö tapahtuu useilla matkoilla ja useilla laivoilla vuoden aikana, voidaan kokonaisuutena Nesteellä päästä jopa useiden satojen tuhansien säästöihin vuodessa. Jos tulevaisuudessa taas halutaan korostaa ympäristöystävällisempiä valintoja minimoimalla alusten polttoaineen kulutuksia, soveltuu laskurin käyttö tähänkin.

Tulevaisuudessa laskuria voisi olla mahdollista kehittää lisäämällä erilaisia reittivaihtoehtoja sekä tarkentamalla alusten kulutuslukemia uusien mittausten perusteella. Kielin kanavan turvallisuutta olisi myös hyvä vertailla vielä tarkemmin muiden reittien turvallisuuteen, jotta reittien väliset erot saataisi tarkemmin selville.

LÄHTEET

Bjornebye K. Bunker Trader 2018. Haastattelu 12.9.2018. Haastattelija Jousala, T. Espoo.

Buckley, J. 2008. The Business Of Shipping. 8. painos. Centreville: Cornell Maritime Press, Inc.

DanPilot. 2019. Transit Pilotage. Luettu 21.1.2019. https://www.danpilot.dk/pilotage/transit-pilotage/

Gaddah S. General Manager. 2019. Cost Estimates For Two Vessel Sizes Passing Through Kiel Canal. Sähköpostiviesti. Samir.gaddah@s-5.org. Luettu 29.1.2019.

gCaptain. 2019. Incident Photos: Containership and Bulk Carrier Collide in Denmark's Great Belt. Luettu 10.3.2019. https://gcaptain.com/incident-photos-containership-bulk-carrier-collide-in-denmarks-great-belt/

Gorton, L., Ihre, R. & Sandevärn, A. 1990. Shipbroking And Chartering Practice. 3. painos. Lontoo: Lloyd's of London Press Ltd.

Ilmatieteen laitos. 2019. Tuulivaroituksia niin maalle kuin merelle. Luettu 21.1.2019. https://ilmatieteenlaitos.fi/tuulivaroitukset

Neste Cosmos. 2019. Marine Risk Management. Luettu 23.2.2019. https://cosmos.neste.com/pages/46110001/MarineRiskManagement/11640001 (ei saatavissa julkisesti)

Neste Intranet. 2019. Neste is officially a Google house. Luettu 18.2.2019. http://portal.oilinfra.com/EN/Work/services/topical/Pages/NesteisofficiallyaGooglehouse.aspx (ei saatavissa julkisesti)

Nord-Ostsee-Kanal. 2019. Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Luettu 12.1.2019. https://www.wsa-kiel.wsv.de/Webs/WSA/WSA-Kiel-Holtenau/DE/1_Wasserstrasse/1_Nord-Ostsee-Kanal/Nord-Ostsee-Kanal_node.html

Platts Bunkerwire. 2019. Raportti polttoaineiden hinnoista 5.3.2019. Saatavissa S&P Global Platts Bunkerwire sähköpostiraportin tilaajille.

Stopford, M. 2009. Maritime Economics. 3. painos. Abingdon: Routledge.

Syachin, M. Päällikkö 2018. Haastattelu 14.12.2018. Haastattelija Jousala, T. Porvoo.

Szelangiewicz, T., Wiśniewski B. & Żelazny K. 2014. Polish Maritime Research -julkaisu 3/2014. Luettu 21.1.2019. http://www.bg.pg.gda.pl/pmr/pdf/PMRes_2014_3.pdf

UCA. 2019. United Canal Agency Gmbh. Luettu 12.1.2019. https://www.kiel-canal.de/

Winter K. Head of Chartering 2019. Haastattelu 28.1.2019. Haastattelija Jousala, T. Espoo.

LIITTEET

Liite 1. Kielin kanavan rajoituksia ja tietoja (https://www.kiel-canal.de/wp-content/uploads/2018/02/General-Info-about-Kiel-Canal-transits.pdf)

UCA I UNITED CANAL AGENCY GMBH

Draft diagram

Overall length of vessel in metres	Extreme breadth of vessel in metres													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	32,50
	Maximum draft allowed in decimetres (freshwater)													
160	95	95	95	95	95	95	95	95	94	93	92	91	89	89
163	95	95	95	95	95	95	95	94	93	92	91	90	89	88
166	95	95	95	95	95	95	95	94	93	91	90	89	88	87
169	95	95	95	95	95	95	94	93	92	90	89	88	87	86
172	95	95	95	95	95	94	93	92	91	90	88	87	86	85
175	95	95	95	95	95	94	93	91	90	89	88	86	85	84
178	95	95	95	95	94	93	92	90	89	88	87	85	84	83
181	95	95	95	94	93	92	91	90	88	87	86	85	83	83
184	95	95	95	93	92	91	90	89	87	86	85	84	83	82
187	95	95	94	93	91	90	89	88	86	85	84	83	82	81
190	95	94	93	92	91	89	88	87	86	84	83	82	81	80
193	95	93	92	91	90	89	87	86	85	84	83	81	80	79
196	94	93	91	90	89	88	86	85	84	83	82	80	79	78
199	93	91	90	89	88	87	85	84	83	82	81	79	78	78
202	92	91	90	89	87	86	85	84	82	81	80	79	77	77
205	91	90	89	88	86	85	84	83	82	80	79	78	77	76
208	90	89	88	87	85	84	83	82	81	80	78	77	76	75
210	90	89	87	86	85	84	83	81	80	79	77	76	75	74
214	89	88	86	85	84	83	82	80	79	78	76	75	74	74
217	88	87	85	84	83	82	80	79	78	77	75	74	74	73
220	87	86	84	83	82	81	80	78	77	76	75	74	73	73
223	86	85	84	83	81	80	79	77	76	75	74	73	72	72
226	85	84	83	82	80	79	78	77	75	74	74	73	72	71
229	84	83	82	81	79	78	77	76	74	74	73	72	71	71
232	84	83	81	80	79	77	76	75	74	73	72	72	71	70
235	83	81	80	79	78	76	75	74	73	73	72	71	70	70

Particulars of the Kiel-Canal

Dimensions

Total length	98.7 km
Breadth	► varying between 102.0 and 214.0 m
Depth	11.0 m
Height of bridges above waterlevel	42.0 m

Dimensions of the locks

Length	330.0 m
Breadth	45.0 m
Depth	13.0 m

Dimensions allowed for vessels

Length	235.0 m
Breadth	32.5 m
Draught for vessels up to 160 m length	9.5 m
Draught for vessels of a length exceeding 160 m	► according to draft diagram
Height of masts above waterlevel	40.0 m

Liite 2. Kysely alusten päälliköille

Kiel Canal / Great Belt / Sound Passages

This survey is made to collect information regarding different routing options between Baltic Sea and North Sea. We will compare three different routes with each others to define safest and most economic routing for vessels operated by Neste Shipping. Results of this survey will be used as background information for thesis work made by Tuomo Jousala. This thesis work will be written in Finnish and will be made public as per requirements of Finnish school system.

Survey is made of three sections and questions are same for all sections. First you can assess passages through Kiel Canal, then passages through Sound and last passages through Great Belt. Questions are in English but if you wish you can use Finnish also in answering the questions.

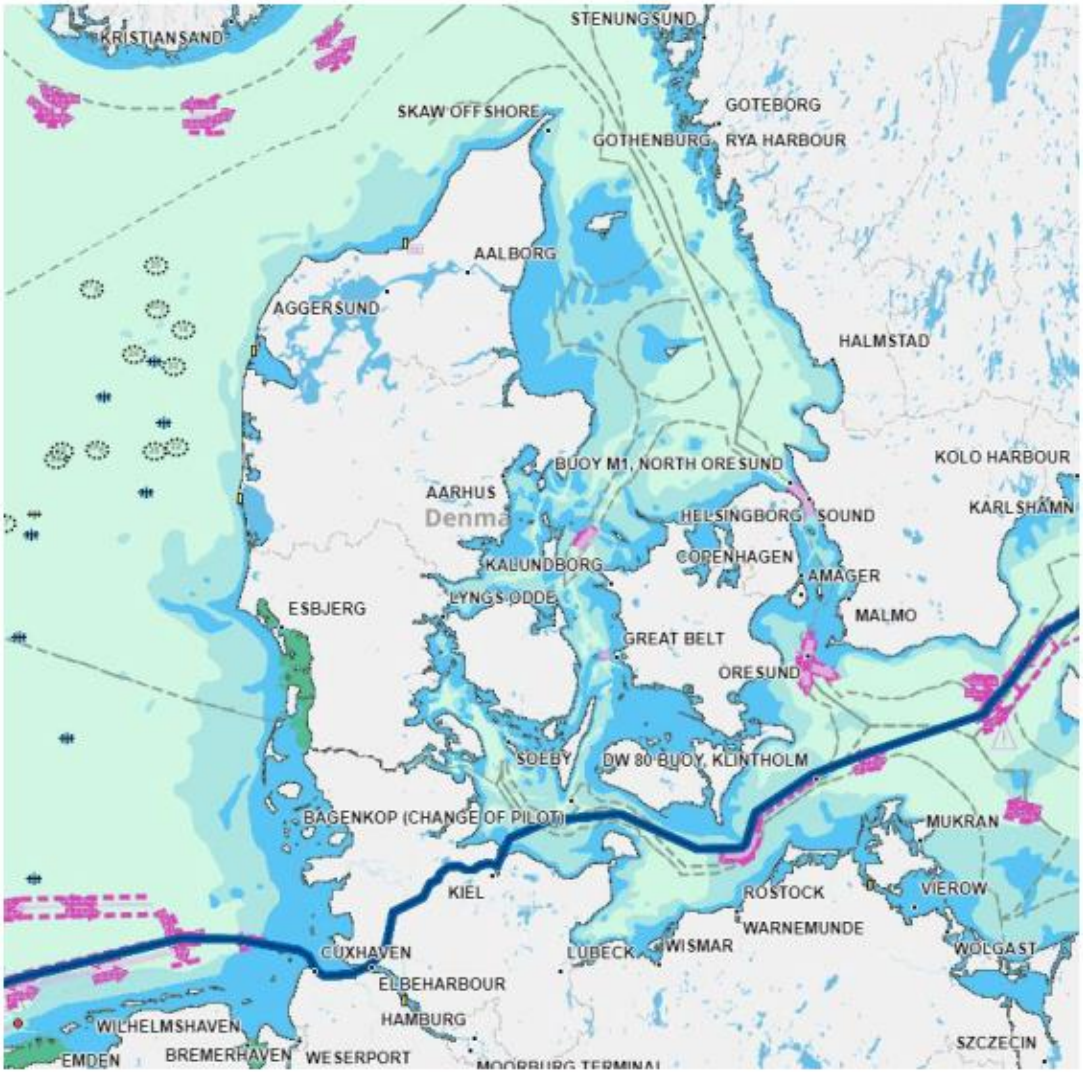
Thank you for your answers already beforehand!

Best regards,
Tuomo Jousala
Neste Ship Operator

*Required

Kiel Canal Passages

Please assess only Kiel canal passages in this section. If you haven't done any passages through Kiel canal within last 5 years, please mark "not applicable" for questions.



1. **Have you had any incidents or accidents while passing through this route? If you have had, please describe the events and their frequency.** *

2. **Have you had any near miss situations while passing through this route? If you have had, please describe the events and their frequency.** *

3. **Have you had some delays passing through this route and how long/frequent have those been (including but not limited to weather, accidents, traffic situation)?** *

4. **Free comments or opinions regarding this routing option?** *

5. **Please assess the safety of this passage using below risk matrix. Severity of possible incident is on rows and likelihood for an incident is on columns. Please choose one likelihood option for each row.** *

Mark only one oval per row.

	Small	Medium	Large	N/A
Near Miss				
Minor				
Severe				
Disastrous				

Explanations of Risk Matrix Severities And Probabilities

Near Miss = Near miss situation without any actual consequences
Minor = Small incident, with slight material damages. No environmental damages. For example dent on vessel's hull.
Severe = Damage to vessel requiring call to dry dock or off hire in near future. Possibly small environmental damages
Disastrous = Sinking of vessel, large environment damages or fatalities.

Small = Hasn't happened before to my vessel and will most likely not happen in future
Medium = Hasn't happened before to my vessel, but may happen in the future
Large = Has happened before to my vessel and may happen again in the future

Liite 3. Kielin kanavan läpiajon kustannukset 8 000 dwt alukselle (Gaddah, S. 2019)

S5 AGENCY WORLD

PROFORMA TEMPLATE

VESSELNAME: Donia
VOYAGE:
PORT: Kiel Canal
PREPARED BY: S5
LOCAL CURRENCY NAME: EUR
EXCHANGE RATE: 1,1423000000 (USD per)

EXPENSE CODE	EXPENSE DESCRIPTION	FINAL PROFORMA LOCAL (EUR)	FINAL PROFORMA USD	REMARKS
1010	GOVERNMENT SERVICES			
1012	IMMIGRATION INSPECTION			
1013	CUSTOMS INSPECTION			
1014	CUSTOMS TONNAGE TAX			
1021	PILOTS - IN	4.657,00	5.319,69	Elbe-River, Kiel-Canal, Kiel Fjord pilotage dues + fees + Kiel Canal helmsmen
1022	PILOTS - OUT			
1023	PILOTS-SHIFTING			
1031	TOWAGE - IN			
1032	TOWAGE - OUT			
1033	TOWAGE-SHIFTING			
1041	MOORING			
1042	UNMOORING			
1043	LINES/MOORING-SHIFTING			
1050	DOCKAGE			
1051	ANCHORAGE			
1060	HARBOR DUES/PORT DUES			
1061	PORT SECURITY FEES			
1062	CHANNEL DUES	1.126,00	1.286,23	
1063	LIGHT DUES			
1065	BERTH CLEANING			
1070	LAUNCH SERVICE			
1080	SHIP MOVEMENT REPORTING / VTS			
1090	LOCAL MARITIME FEES	30,00	34,27	Seamens's Mission Fee + German Sea Rescue Service
1091	QUAY FENDERS			
1810	COMPULSORY TRANSPORTATION FEE			
1820	PORT FIRE PROTECTION			
1834	ESCORT/STANDBY TUGS			
1995	CANAL TOLLS & FEES			
2140	BUNKERS			
1999	OTHER PORT CHARGES	154,00	175,91	Approach reports, Eletronical Data, NSW
	TOTAL PORT EXPENSE	**5.967,00**	**6.816,10**	
4010	AGENCY FEE			
4013	AGENCY FEE - EXTRA BERTH			
4034	AMS / ENS FILING FEES			
4035	E-NOA/D FILING FEES			
	TOTAL AGENCY EXPENSES	**0,00**	**0,00**	
	TOTAL OF ALL EXPENSES	**5.967,00**	**6.816,10**	

Liite 4. Kielin kanavan läpiajon kustannukset 15 000 dwt alukselle (Gaddah, S. 2019)

S5 AGENCY WORLD

PROFORMA TEMPLATE

VESSELNAME: Sten Bothnia
VOYAGE:
PORT: Kiel Canal
PREPARED BY: S5
LOCAL CURRENCY NAME: EUR
EXCHANGE RATE: 1,1423000000 (USD per)

EXPENSE CODE	EXPENSE DESCRIPTION	FINAL PROFORMA LOCAL (EUR)	FINAL PROFORMA USD	REMARKS
1010	GOVERNMENT SERVICES			
1012	IMMIGRATION INSPECTION			
1013	CUSTOMS INSPECTION			
1014	CUSTOMS TONNAGE TAX			
1021	PILOTS - IN	6.687,00	7.638,56	Elbe-River, Kiel-Canal, Kiel Fjord pilotage dues + fees + Kiel Canal helmsmen
1022	PILOTS - OUT			
1023	PILOTS-SHIFTING			
1031	TOWAGE - IN	1.400,00	1.599,22	not compulsory
1032	TOWAGE - OUT			
1033	TOWAGE-SHIFTING			
1041	MOORING			
1042	UNMOORING			
1043	LINES/MOORING-SHIFTING			
1050	DOCKAGE			
1051	ANCHORAGE			
1060	HARBOR DUES/PORT DUES			
1061	PORT SECURITY FEES			
1062	CHANNEL DUES	1.458,00	1.665,47	
1063	LIGHT DUES			
1065	BERTH CLEANING			
1070	LAUNCH SERVICE			
1080	SHIP MOVEMENT REPORTING / VTS			
1090	LOCAL MARITIME FEES	37,00	42,27	Seamens's Mission Fee + German Sea Rescue Service
1091	QUAY FENDERS			
1810	COMPULSORY TRANSPORTATION FEE			
1820	PORT FIRE PROTECTION			
1834	ESCORT/STANDBY TUGS			
1995	CANAL TOLLS & FEES			
2140	BUNKERS			
1999	OTHER PORT CHARGES	188,00	214,75	Approach reports, Eletronical Data, NSW
	TOTAL PORT EXPENSE	**9.770,00**	**11.160,27**	
4010	AGENCY FEE			
4013	AGENCY FEE - EXTRA BERTH			
4034	AMS / ENS FILING FEES			
4035	E-NOA/D FILING FEES			
	TOTAL AGENCY EXPENSES	**0,00**	**0,00**	
	TOTAL OF ALL EXPENSES	**9.770,00**	**11.160,27**	

Liite 5. Matlab-ohjelma start


```
%This is the start file for all calculations

%Just write start to start the process :)

clear
clc

Program=menu('Please choose the plot you wish to do','Plot affect of bunker price &↙
weather factor','Plot affect of bunker price','Plot affect of weather factor');
    if (Program==1)
        MeshBuWf
    elseif (Program==2)
        PlotBunker
    elseif (Program==3)
        PlotWf
    end
```

Liite 6. Matlab-ohjelma iniSet


```
%This script handles the initial settings for all calculations
%Setting route & ship information

Route=menu('Please choose the desired route','Porvoo-Rotterdam','Gdansk-↙
Rotterdam','Lubeck-Rotterdam');
if (Route==1)
    routePvoRot;
elseif (Route==2)
    routeGdaRot;
elseif (Route==3)
    routeLubHam;
end

Vessel=menu('Please choose the vessel','15000dwt Tanker','8000dwt Tanker');
if (Vessel==1)
    ship15000dwt;
elseif (Vessel==2)
    ship8000dwt;
end

Condition=menu('Please choose the condition of vessel','Laden','Ballast');
if (Condition==2)
    V=Vb; %Sets ballast speed vector
    Tkc=Tbkc; %Sets ballast time through Kiel canal
    Rk=Rkb; %Sets ballast routing possibility through Kiel canal
    Rs=Rsb; %Sets ballast routing possibility through Sound
elseif(Condition==1)
    V=Vl; %Laden speed
    Tkc=Tlkc; %Laden time KC
    Rk=Rkl; %Laden Kiel routing
    Rs=Rsl; %Laden Sound routing
end

%Changing to Ballast condition if Kiel Canal passage is not possible in
%laden conditions
if (Rk==0)
    disp('Vessel can not proceed via Kiel canal in laden condition. Setting vessel to↙
ballast condition to make comparing of routes possible.')
    Condition=2
    V=Vb; %Sets ballast speed vector
    Tkc=Tbkc; %Sets ballast time through Kiel canal
    Rk=Rkb; %Sets ballast routing possibility through Kiel canal
    Rs=Rsb; %Sets ballast routing possibility through Sound
end


%Setting the route to be compared with Kiel Canal basis ship possibilities
if (Rs==1) && (Dvs>=1) %Checking that Sound route is possible and has a distance value
    Dnk=Dvs; %Setting Sound as the "not Kiel route"
    Dunk=Duvs; %Setting unsheltered distance for the "not Kiel route"
else
    Dnk=Dvgb; %Setting Great Belt as the "not Kiel route"
    Dunk=Duvgb; %Setting unsheltered distance for the "not Kiel route"
end
```

```
%Setting the speed for vessel
Speed=menu('Please choose the speed for vessel','Economical','Normal','Full');
if (Speed==1)
    Vc=V(1,1); %Setting econ speed as chosen speed
    Cc=C(1,1); %Setting econ cons as chosen consumption
elseif (Speed==2)
    Vc=V(1,2);
    Cc=C(1,2);
elseif (Speed==3)
    Vc=V(1,3);
    Cc=C(1,3);
end
```

Liite 7. Matlab-ohjelma PlotBunker


```
%This is to make calculations for plot presenting the effect of bunker
%price to possible money savings. Here weather factor is set to 1, so no
%weather delay.


iniSet


%Setting the fuel price & weather delay factor
Fp=linspace(0,1000,2001); %Sets row vector for fuel price 0-1000 usd/tn
Wf=1.0; %Setting weather factor to 1


%Calculating passage around Denmark
TIMEnk=Dunk/(Vc*Wf)+(Dnk-Dunk)/Vc; %passage time
CONSnk=TIMEnk/24*Cc; %consumption during passage
PRICEnk=CONSnk*Fp+TIMEnk/24*Md; %price for passage

%Calculating passage through Kiel Canal
TIMEkc=Duvk/(Vc*Wf)+(Dvk-Duvk-Dkc)/Vc+Tkc;
CONSkc=(TIMEkc-Tkc)/24*Cc+Tkc/24*Ck;
PRICEkc=CONSkc*Fp+TIMEkc/24*Md+Mkc;

%Calculating differences between the two routes
TIMEdiff=TIMEnk-TIMEkc;
CONSdiff=CONSnk-CONSkc;
PRICEdiff=PRICEnk-PRICEkc;

plot(Fp,PRICEdiff);
xlabel('Bunker Price (usd)');ylabel('Savings (usd)');
```

Liite 8. Matlab-ohjelma PlotWf


```
%This is to make calculations for plot presenting the effect of weather
%factor to possible money savings. Here bunker price is set to 585 usd.


iniSet;


%Setting the fuel price & weather delay factor
Fp=585; %Setting bunker price to 585 usd/tn
Wf=linspace(0.5,1,51); %Setting row vector the weather delay factor 0,5-1,0


%Calculating passage around Denmark
TIMEnk=Dunk*((Vc*Wf).^(-1))+(Dnk-Dunk)/Vc; %passage time
CONSnk=TIMEnk/24*Cc; %consumption during passage
PRICEnk=Fp.'*CONSnk+TIMEnk/24*Md; %price for passage

%Calculating passage through Kiel Canal
TIMEkc=Duvk*((Vc*Wf).^(-1))+(Dvk-Duvk-Dkc)/Vc+Tkc;
CONSkc=(TIMEkc-Tkc)/24*Cc+Tkc/24*Ck;
PRICEkc=Fp.'*CONSkc+TIMEkc/24*Md+Mkc;

%Calculating differences between the two routes
TIMEdiff=TIMEnk-TIMEkc;
CONSdiff=CONSnk-CONSkc;
PRICEdiff=(PRICEnk-PRICEkc).';

plot(Wf,PRICEdiff);
xlabel('Weather Factor');ylabel('Savings (usd)');
```

Liite 9. Matlab-ohjelma MeshBuWf


```
%These are the calculations for making a mesh presentation of savings when
%bunker price and weather factor are the changing factors.


iniSet


%Setting the fuel price & weather delay factor
Fp=linspace(0,1000,201); %Sets row vector for fuel price 0-1000 usd/tn
Wf=linspace(0.5,1,51); %Setting row vector the weather delay factor 0,5-1,0

%Calculating passage around Denmark
TIMEnk=Dunk*((Vc*Wf).^(-1))+(Dnk-Dunk)/Vc; %passage time
CONSnk=TIMEnk/24*Cc; %consumption during passage
PRICEnk=Fp.'*CONSnk+TIMEnk/24*Md; %price for passage
%PRICEnk=(Dunk/(Vc*Wf)+(Dnk-Dunk)/Vc)/24*Cc*Fp+(Dunk/(Vc*Wf)+(Dnk-Dunk)/Vc)/24*Md


%Calculating passage through Kiel Canal
TIMEkc=Duvk*((Vc*Wf).^(-1))+(Dvk-Duvk-Dkc)/Vc+Tkc;
CONSkc=(TIMEkc-Tkc)/24*Cc+Tkc/24*Ck;
PRICEkc=Fp.'*CONSkc+TIMEkc/24*Md+Mkc;
%PRICEkc=(Duvk/(Vc*Wf)+(Dvk-Duvk)/Vc)/24*Cc*Fp+(Duvk/(Vc*Wf)+(Dvk-Duvk)/Vc)/24*Md


%Calculating differences between the two routes
TIMEdiff=TIMEnk-TIMEkc;
CONSdiff=CONSnk-CONSkc;
PRICEdiff=(PRICEnk-PRICEkc).';

%Plotting the final results
mesh(Fp,Wf,PRICEdiff)
xlabel('Bunker Price (usd)');ylabel('Weather Factor');zlabel('Savings (usd)');
```

Liite 10. Matlab-ohjelma routePvoRot


```
%These are route details for Porvoo-Rotterdam route

%Distance values in nautical miles
Dvk=1005; %Distance via Kiel canal
Dvs=1203; %Distance via Sound
Dvgb=1334; %Distance via Great Belt
Dkc=102; %Distance of passage in Kiel canal
Duvk=595; %Unsheltered distance on Kiel canal route
Duvs=783; %Unsheltered distance on Sound route
Duvgb=783; %Unsheltered distance on Great Belt route

%Passage times in Kiel canal in hours
Tbkc=13; %passage time in ballast condition
Tlkc=16; %passage time in laden condition
```

Liite 11. Matlab-ohjelma ship15000dwt


```
%These are start values for 15000 dwt tanker

Md=13500; %Vessel's daily hire
Mkc=12400; %Vessel's costs for passing through Kiel canal

%Vessel's consumption information
C=[10 14 20]; %Vessel's sea consumption as a row vector
Cf=20; %Full speed consumption
Cn=14; %Normal speed consumption
Ce=10; %Eco speed consumption
Ck=12; %Daily consumption during Kiel canal passage
Ci=3; %Idle consumption

%Vessel's speed information
Vl=[10.5 11.5 13.5]; %Vessel's laden speeds as a row vector
Vb=[11 12 14]; %Vessel's ballast speeds as a row vector
Vlf=13.5; %Laden full speed
Vln=11.5; %Laden normal speed
Vle=10.5; %Laden eco speed
Vbf=14; %Ballast full speed
Vbn=12; %Ballast normal speed
Vbe=11; %Ballast eco speed

%Vessel's routing possibilities (1=possible, 0=not possible)
Rkb=1; %Kiel canal in ballast
Rkl=1; %Kiel canal fully laden
Rsb=1; %Sound in ballast
Rsl=0; %Sound fully laden
```