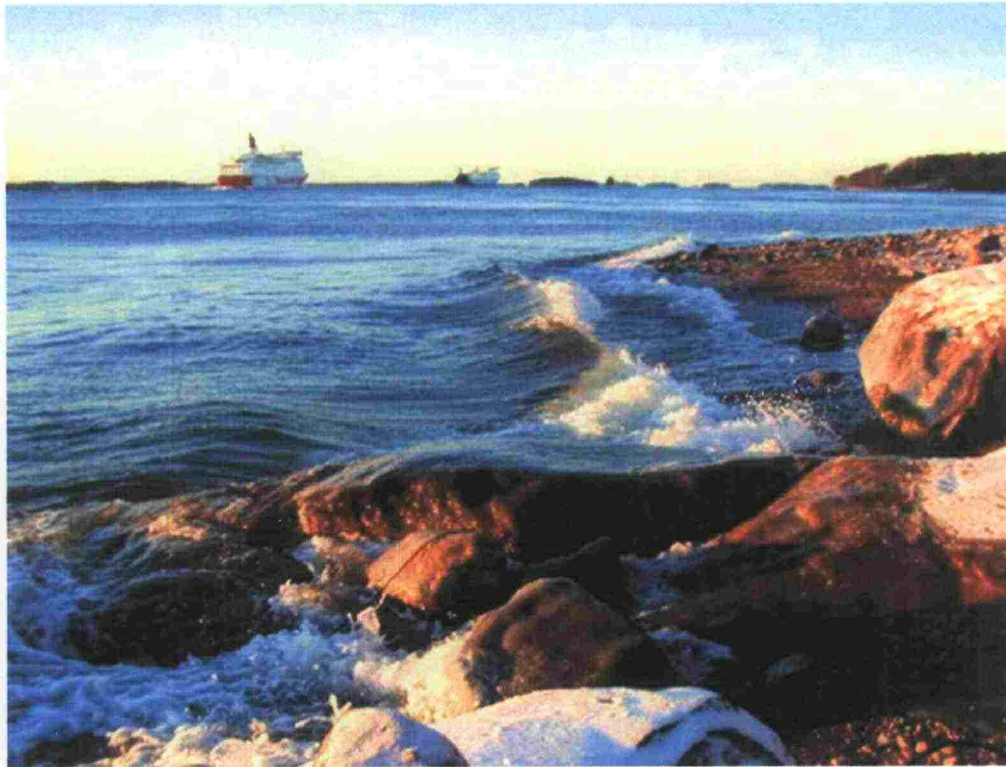


Merenkululaitoksen julkaisuja 9/2005

Kökarin väyläsuunnitelman riskianalyysi



Merenkululaitos

Helsinki 2005
ISBN 951-49-2106-2
ISSN 1456-7814

Merenkululaitoksen sisäisiä julkaisuja 9/2005

Kökarin väyläsuunnitelman riskianalyysi

08 MKL



9963



Merenkululaitos

Helsinki 2005
ISBN 951-49-2106-2
ISSN 1456-7814



ISSN 1456-7814
Merenkululaitos, Helsinki 2005



Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri) Tapio Nyman, Kai Happonen, Aune Liimata, Tony Rosqvist, Jorma Rytönen, Risto Tuominen	Julkaisun laji Raportti Toimeksiantaja Merenkululaitos Toimielimen asettamispäivämäärä
Julkaisun nimi Kökarin väyläsuunnitelman riskianalyysi Tiivistelmä Merenkululaitos tilasi VTT Tuotteet ja tuotanto -yksiköltä Kökarin pohjoispuolitse kulkevan väylän teknisen selvityksen suunnitellun väylän mahdollisesta onnettomuusriskistä pienentävästä vaikutuksesta verrattuna nykyiseen Turun ja Ahvenanmaan välisen laivaliikenteen käyttämään väylästään. Suoritettu työ sisältää seuraavat osavaiheet: liikennestatistiikan tarkastelun, selvityksen tuuli- ja jääoloista tarkasteltavilla väyläalueilla, sekä uuden väyläsuunnitelman ja nykyisin käytettävän väylän teknisen vertailun. Väylävertailu suoritettiin vertailemalla alusten karilleajo- ja yhteentörmäysriskiä sekä väyliä navigoitavuutta sekä laivaliikenteen ympäristövaikutuksia. Vaikka uusi väylä ja nykyisin käytössä oleva väylä eivät pituudeltaan suuresti poikkea toisistaan, on niillä kuitenkin merkittäviä keskinäisiä navigoitavuuteen ja väyläturvallisuuteen vaikuttavia eroja. Vaikka uusi väylä ja nykyisin käytössä oleva väylä eivät pituudeltaan suuresti poikkea toisistaan, on niillä kuitenkin merkittäviä keskinäisiä navigoitavuuteen ja väyläturvallisuuteen vaikuttavia eroja. Väylägeometrialtaan uusi väylä on nykyistä väylää selkeäpiirteisempi. Tämä havaittiin väylägeometriaan perustuvalla regressiomallilla suoritettussa karilleajoriskianalyysissä. Regressiokäytävällä saatuja tuloksia ei tule kuitenkaan tarkastella absoluuttisina onnettomuusmäärien ennusteena, vaan karilleajoalttiutta kuvaavana indeksinä, joka paljastaa väyliä navigoinnin kannalta vaikeat kohdat ja joka osoittaa muutoksen suuruutta karilleajoriskissä verrattuna tilanteeseen ennen uuden väylän käyttöönottoa. Karkeana ennusteena analyysin perusteella voidaan sanoa, että uuden väylän käyttöönotto pudottaisi karilleajoriskin lähes kymmenenteen osaan nykyisestä. Suunnitellun Kökarin väylän navigoitavuuden selvittämiseksi suoritettiin VTT:n järjestelmäsimulaattorissa reaaliaikaisia ja nopeutettuja simuloitteja. Reaaliaikaisia simuloitteja oli ajamassa linjaluotseja ja päälliköitä Finnlinesilta, Seawindiltä, Silja Linelta ja Viking Linelta, eli reitillä säännöllistä linjaliikennettä harjoittavista varustamoista. Simulointien perusteella Kökarin väylä on ajettavissa Silja Europalla alueella todennäköisesti esiintyvissä tuuliolosuhteissa. Simulaattoriajojen avulla pystyttiin paikallistamaan uudelta väylältä meriturvallisuuden kannalta alueet joissa karilleajoriski on muuta väylää suurempi. Nopeutetuissa simuloinneissa suurilla tuulen nopeuksilla ulosajot väyläalueelta keskittyvät väylän kapeikkoon Smågaddarnan luona. Myös reaaliaikaisissa simuloinneissa tämä kohta havaittiin väylän vaikeimmaksi paikaksi. Hieman pitempi, mutta parempi vaihtoehto olisi johtaa väylä Snodgrundin ympäri. Tätä vaihtoehtoa kokeiltiin reaaliaikaisissa simuloinneissa, mutta nopeutettuja simuloitteja ei ajettu Snodgrundin ympäri. Alusten arvioitu yhteentörmäysten taajuus nykyiselle väylälle vuoden 2015 ennustetta vastaavalla liikennetiheydellä on 0.0548 törmäystä per vuosi (= keskimäärin yksi törmäystapaus vajaan 20 vuoden välein). Yhteentörmäystaajuus ehdotetulle uudelle Kökarin väylälle on 0.00938 törmäystä per vuosi (= keskimäärin yksi törmäystapaus runsaan 100 vuoden välein). Uusi väylä pienentäisi näin arvioituna alusten yhteentörmäysriskin Turku – Maarianhamina välillä vajaaseen kuudenteen osaan nykyisestä.	

Onnettomuustaaajuusarvioihin perustuen laskettiin arviot alusten yhteentörmäyksistä vuosittain keskimäärin aiheutuville kokonaiskustannuksille. Ennusteen mukaan nykyisellä perusväylällä liikennöitäessä arvio alusten yhteentörmäyksistä vuosittain keskimäärin aiheutuville kokonaiskustannuksille on 155 030 €. Vastaava arvio Kökarin väyläsuunnitelman mukaisella uudella perusväylällä on 26 200 €. Molemmat arviot perustuvat vuoden 2015 ennustettuun liikennemäärään. Suunnitellun Kökarin väylän kannattavuutta arvioitiin yhteentörmäysonnettomuuksien vähenemisen perusteella. Elinjaksoksi otettiin 30 vuotta, ja laskelmissa käytettiin 5%:n diskonttokorkoa. Laskelman mukaan Nyhamn-Rödsjär-väylän elinjaksokustannukset ovat noin 2,4 M€ ja suunnitellun Kökarin väylän n. 1,5 M€, joten elinjaksokustannussäästöksi muodostuu n. 1 M€.

Ympäristövaikutuksiltaan uusi väylä on todennäköisesti parempi kuin nykyinen väylä. Vaikka molempien väylävaihtoehtojen kokonaispituudet ovat suurin piirtein samat, kulkee nykyinen väylä pitemmän matkan suojaisemmissa olosuhteissa. Laivojen virtaus- ja aaltohäiriön vaikutus korostuu suojaisilla alueilla.

Avainsanat (asiasanat)

Meriväylä, alusliikenne, riskianalyysi, Ahvenanmeri, Saaristomeri, meriturvallisuus

Muut tiedot

Sarjan nimi ja numero		ISSN	ISBN
Merenkululaitoksen julkaisuja 9/2005		1456-7814	951-49-2106-2
Kokonaissivumäärä	Kieli	Hinta	Luottamuksellisuus
93	Suomi		Julkinen
Jakaja		Kustantaja	
Merenkululaitos			

Sisällysluettelo

1	Johdanto	7
2	Työn sisältö	8
3	Työssä tarkasteltavat väylät	9
3.1	Yleistä	9
3.2	Kökarin väyläsuunnitelma	9
3.2.1	Peruslinjaus	9
3.2.2	Itäpään vaihtoehtoinen linjaus	9
3.2.3	Länsipään eteläinen haara	10
3.2.4	Uuden väylän mitoitus	10
3.3	Nykyisen liikenteen käyttämät väylät	12
3.3.1	Yleistä	12
3.3.2	Nyhamn-Rödsjär-väylä	12
3.3.3	Bogskärin eteläpuolelta kulkeva Nyhamn-Rödsjär-väylän rinnakkaisväylä	13
3.3.4	Långnäsin satamaan johtava väylä	13
3.3.5	Apteekkarin väylä	13
3.3.6	Prästskärin rinnakkaisväylä	13
3.3.7	Ledskärin rinnakkaisväylä	13
4	Laivaliikenneselvitys	18
5	Tausta-aineisto	23
5.1	Yleistä	23
5.2	Tuulet	23
5.3	Jääolosuhteet	25
5.3.1	Yleistä	25

5.3.2	Tarkastelualueet.....	25
5.3.3	Neljä eri asteista jäätilannetta.....	26
5.3.4	Erytishuomioita	27
5.4	Onnettomuusanalyysi.....	28
5.4.1	Suomen merialueilla tapahtuneiden onnettomuuksien analyysi	28
5.4.2	Nyhamn-Rödkär-väylällä sattuneet onnettomuudet.....	29
5.4.3	Suomen merialueiden onnettomuustilastoihin perustuva ennuste tarkasteltaville väylille	30
6	Kökarin väylän ja nykyisen väylän vertailu simulaattoriajajojen avulla	32
6.1	Johdanto	32
6.2	Väyläsuunnitelma	32
6.3	Simulaattori	32
6.4	Simuloinnit.....	32
6.5	Tulokset.....	33
6.5.1	Reaaliaikaiset simuloinnit	33
6.5.2	Nopeutetut simuloinnit.....	34
6.6	Tulosten tarkastelu	36
7	Karilleajoriskin arvioiminen regressiomenetelmän avulla	46
7.1	Menetelmän kuvaus	46
7.2	Laskelmien suorittaminen.....	48
7.3	Karilleajoennusteen antamien tulosten vertailu onnettomuustilastoihin ja tarkastelusta tehtävät johtopäätökset.....	51
8	Alusten yhteentörmäysriskin arviointi GRACAT-ohjelmistolla	53
8.1	Johdanto	53
8.2	GRACAT-ohjelmisto	53
8.3	Yhteentörmäysriskin laskenta GRACATissa:	54
8.4	Alusten yhteentörmäysriskin arvioiminen tutkimuksen väylävaihtoehdoille	55

8.4.1	Perusrajaukset	56
8.4.2	Väylämäärittelyt.....	57
8.4.3	Liikennemäärät.....	57
8.4.4	Alusten käyttämät nopeudet	58
8.4.5	Yhteentörmäysten ehdollinen todennäköisyys ('Causation factor')	58
8.5	Tulokset.....	59
9	Kustannus-hyöty-analyysi	65
9.1	Yleistä	65
9.2	Onnettomuuksien seurauskustannukset	65
9.2.1	Yleistä	65
9.2.2	Öljyvudon todennäköisyys ja suuruus	66
9.2.3	Öljyntorjuntakustannukset	67
9.2.4	Ympäristölle aiheutuva haitta	68
9.2.5	Alusten korjaus- sekä seisontakustannukset.....	69
9.2.6	Viranomais- ym. palveluiden kustannukset	69
9.2.7	Yhteenveto onnettomuuksien seurauskustannuksista.....	69
9.3	Kustannus-hyöty vertailut	70
10	Laiva-aaltojen ominaisuuksista	73
10.1	Yleistä	73
10.2	Laiva-aaltojen periodi.....	74
10.3	Laiva-aaltojen vaimeneminen	76
10.4	Laiva-aallon korkeus laivan nopeuden suhteen	77
11	Alusten aiheuttamien aaltojen ja potkurivirtausten vaikutuksista	80
11.1	Yleistä	80
11.2	Eroosiovaikutukset.....	80
11.3	Biologiset vaikutukset	82

11.4	Vaikutukset kaloihin ja kalastukseen.....	82
11.5	Alustyyppin ja käyttötarkoituksen merkitys ympäristövaikutuksen synnyssä .	82
11.6	Matkustajaliikenne	83
11.7	Alustava-arvio alusliikenteen aalto- ja virtausvaikutuksista nykyisellä väylällä.....	83
11.8	Kökarin väyläsuunnitelma	84
11.9	Vaikutusten arviointi YVA-prosessissa.....	85
11.10	Yhteenveto ympäristövaikutuksista.....	88
12	Tulosten yhteenveto ja johtopäätökset.....	89
	Lähdeviitteet	91

1 Johdanto

Turun ja Ahvenanmaan välisen laivaliikenteen nykyisin käyttämää väylästä on pidetty paikoin vaikeasti navigoitavana ja onnettomuusalttiina. On myös pohdittu mitä vaikutuksia vilkkaan laivaliikenteen aiheuttamalla aalloilla ja potkurivirtauksilla on ahtaiden saaristoväylien rantojen eroosioon, eliöstöön sekä pohjakasvillisuuteen. Tästä on aiheutunut paineita joko asettaa liikenteelle nopeusrajoituksia, tai siirtää liikenne kokonaan pois ahtailta saaristoväyliltä.

Jo 1980-luvun alussa Turun tiepiiri teki esityksen uudesta väylästä, joka kulki Kihdiltä Kökarin ja Lågskärin pohjoispuolitse Ahvenanmerelle. Esitys sai tukea lauttayhtiöiden parissa, jotka pitivät sitä tutkimisen arvoisena vaihtoehtona. Ahvenanmaan maakuntahallituksen sijaan vastusti tuolloin esitystä luonnonsuojelullisista syistä, koska se katsoi, että luonnonsuojelullisesti tärkeitä, vielä häiritsemättömiä alueita tulee suojella laiva- ja veneliikenteeltä. Tästä syystä esitettyä väylää ei otettu tuolloin mukaan väyläohjelmiin [2], eikä ehdotetun väylän ympäristövaikutuksia eikä vaikutuksia Turun ja Ahvenanmaan välisen laivaliikenteen onnettomuusriskiin tuolloin selvitetty.

Vaatimuksia nopeusrajoitusten asettamisesta sekä Föglön kunnan alueelle että Airistolle esitetään kuitenkin toistuvasti. Toisaalta nopeusrajoitukset nykyisellä väylästäällä vaikeuttaisivat nykyisentyypistä tiukkoihin aikatauluihin sidottua linjaliikennettä voimakkaasti. Näistä seikoista johtuen Merenkululaitos tilasi VTT Tuotteet ja tuotanto -yksiköltä Kökarin pohjoispuolitse kulkevan väylän teknisen selvityksen suunnitellun väylän mahdollisesta onnettomuusriskistä pienentävästä vaikutuksesta verrattuna nykyiseen Turun ja Ahvenanmaan välisen laivaliikenteen käyttämään väylästäön.

Projektin aloituskokous pidettiin keväällä 2003 Turussa Saaristomeren merenkulkupiirissä. Kokoukseen osallistuivat Merenkululaitoksen ja VTT:n edustajien lisäksi edustajat tärkeimmistä Turun ja Ahvenanmaan välistä laivaliikennettä harjoittavista varustamoista.

2 Työn sisältö

Suoritettu työ sisältää seuraavat osavaiheet: liikennestatistiikan tarkastelun, selvityksen tuuli- ja jääoloista tarkasteltavilla väyläalueilla, sekä uuden väyläsuunnitelman ja nykyisin käytettävän väylän teknisen vertailun. Väylävertailu suoritettiin vertailemalla alusten karilleajo- ja yhteentörmäysriskiä väylillä sekä väylien navigoitavuutta sekä laivaliikenteen ympäristövaikutuksia.

Liikennestatistiikan tarkastelu koostui nykyistä väylää käyttävän liikenteen analyysistä, jota varten saatiin käyttöön Archipelago VTS:n pitämä kirjanpito alueella liikkuvien alusten ilmoittautumisista ennalta määrätyissä ilmoittautumispisteissä. Analyysissä selvitettiin nykyistä väylää käyttävän liikenteen määrä sekä liikenteen jakautuminen eri alustyyppeihin ja lisäksi arvioitiin myös väylänkäyttöä vuoden 2015 tasossa. Liikennetiedot toimivat lähtötietoina väylävaihtoehtoihin liittyvän karilleajo- ja yhteentörmäysriskin arvioinnille ja vertailuille.

Karilleajoriskin analyysi suoritettiin käyttäen regressiomallia, jossa väylän liikennetietojen lisäksi parametreina käytettiin vertailtavilta väyliltä määritettyjä geometriasuureita. Menetelmää on aikaisemmin sovellettu VTT:n suorittamassa Kihdin-Isokarin väylähankkeeseen liittyvien väylien riskianalyyseissa.

Yhteentörmäysriskitarkastelu toteutettiin GRACAT-ohjelmaa käyttäen. GRACAT-ohjelmaa on sovellettu aiemmin Helsingin sataman toimeksiannosta suoritettussa Särkän väylän tarpeellisuusselvityksessä sekä Merenkululaitoksen ja Liikenne- ja viestintäministeriön toimeksiannosta suoritettussa Suomenlahden Offshore VTS:n riskianalyyseissa.

Yhteentörmäysriskitarkastelussa otettiin myös huomioon tietyn todennäköisyyden omaavan haverin ympäristövaikutukset, jolloin tarkastelun avulla saatiin yhteentörmäysriskien rinnalle euromääräinen mittari nykyisen väylän vertaamiseksi uuteen, ehdotettuun väylälinjaukseen.

Navigoitavuusvertailua varten ehdotetusta uudesta väylästä laadittiin malli laivasimulaattoriin, johon kutsuttiin nykyistä väylää käyttävien alusten linjaluotseja ajamaan uutta väylää kahden päivän ajan. Simulaattoriajoissa käytetty alus oli MS Silja Europa, joka on myös suunnitellun Kökarin väylän mitoitusalus. Kyseisten ajojen perusteella saatiin näkemys tilantarpeesta, todellisista käännöskohdista ja mahdollisista tarpeista muutoksiin suunnitellussa linjauksessa. Simulaattoriajoja käytettiin lisäksi tietokoneen ajamaan nopeutettujen simulointien ajosarjaan, jolla saatiin määritettyä aluksen horisontaalinen tilankäyttö kaikissa tuuliolosuhteissa. Tuloksena saatiin määritettyä kriittisten tuuliolosuhteiden tuulirajat. Myös nykyisin käytössä olevan väylän osalta suoritettiin vastaavanlainen nopeutettujen simulointien ajosarja MS Silja Europan simulaattorimallilla.

Työn tulosten avulla muodostui käsitys siitä, mitä meriturvallisuuteen liittyviä vaikutuksia liikenteen siirtymisellä käyttämään suunniteltua Kökarin väylää tulisi olemaan.

3 Työssä tarkasteltavat väylät

3.1 Yleistä

Seuraavassa on kuvattu Kökarin väyläsuunnitelman mukaiset väylävaihtoehdot sekä Turun ja Ahvenanmaan välisen linjaliikenteen alusten nykyisin käyttämä Nyhamn-Rödsjär-väylä rinnakkaisväylälineen. Nyhamn-Rödsjär-väylän kulkusyvyyks on toistaiseksi alennettu 9,0 m:stä 8,2 m:iin. Tarkasteltava alue alkaa idässä Rödsjärin länsipuolella pisteessä, jossa 8,2 m:n väylä erkanee 13,0 m:n väylästä ja päättyy lännessä Ledskärin länsipuolella pisteessä, missä Ledskärin 7,0 m:n rinnakkaisväylä yhtyy 8,2 m:n Nyhamn-Rödsjär-väylään. Tarkasteltavan merialueen kartta on nähtävissä Liitteessä 14.

3.2 Kökarin väyläsuunnitelma

3.2.1 Peruslinjaus

Kökarin väyläsuunnitelman peruslinjauksen (Kuva 1) mukaan väylä noudattaa idässä aluksi 13,0 m:n väylää mutta eroaa siitä kohti lounasta Kalkskärskobbin koillispuolella, missä 13,0 m:n väylä tekee mutkan. Uusi väylä kulkee aluksi 5,0 m:n väylän ja 13,0 m:n väylän välissä. Snodgrundin luoteispuolella väylä kääntyy voimakkaammin kohti länttä, jolloin se ylittää edellä mainitun 5,0 m:n väylän. Knarskärin luoteispuolella väylä yhtyy kohti länttä menevään ja Kökarin pohjoispuolella kulkevaan 5,2 m:n väylään seuraten sitä aina Kökarin luoteispuolelle, jossa 5,2 m:n väylä päättyy luoteesta tulevaan 6,4 m:n väylään. Suunnitelman mukaan väylä jatkuu samansuuntaisena ohi edellä mainitun risteysalueen Barskärin pohjoispuolelle, missä väylä kääntyy länsilounaaseen jatkuen lähes samansuuntaisena aina Föglön eteläpuolelle asti. Siellä väylä kääntyy kohti luodetta kulkien Björkörin koillispuolelta kaartuen kohti Ledskärin lounaispuolelta kulkevaa 8,2 m:n väylää, johon se yhtyy Rågrundetin eteläpuolella sijaitsevassa mutkassa.

3.2.2 Itäpään vaihtoehtoinen linjaus

Itäpään vaihtoehtoinen linjaus seuraa 13,0 m:n väylää pidempään kuin peruslinjaus, eli Snodgrundin koillispuolelle saakka, mistä väylä kaartaa loivasti länteen johtavalle 5,2 m:n väylälle Snodgrundin kaakkoispuolella (Kuva 2). Vaihtoehtoinen linjaus yhtyy peruslinjaukseen Knarskobbenin länsipuolella.

Tämän vaihtoehtoisen linjauksen pituus on 9,7 km ja se korvaa perusväylällä 7,1 km:n pituisen osuuden. Vaihtoehdolla vältetään perusväylän Snodgrundin länsipuolella oleva alle 180 m leveä kapeikko sekä Knarskobbenin koillispuolella olevat ruoppausta vaativat alueet. Vaikka matalikot ruopattaisiinkin, aiheuttavat ne kuitenkin suurimpien alusten ollessa kyseessä aluksen nopeuden putoamisen, joka kovilla tuulilla vaikeuttaa ohjailua.

3.2.3 Länsipään eteläinen haara

Länsipään eteläinen haara erkanee peruslinjauksesta Västergrundetin majakan koillispuolella, jossa peruslinjaus tekee jyrkän käännöksen luoteeseen kohti Björkörin ja Renskärin välistä salmea (Kuva 3). Väylähaara jatkaa lähes peruslinjauksen suuntaisena Vitbådanin tutkamerkin pohjoispuolelle, mistä kääntyy luoteeseen yhtyen Nyhamnin länsipuolitse Maarianhaminan satamaan johtavaan 8,2 m:n väylään.

Tätä eteläistä haaraa käyttäen matka Maarianhaminaan on 6,1 km pitempi kuin peruslinjausta käyttäen, mutta se tarjoaa mahdollisuuden välttää Ledskärin kapeikot. Eteläistä haaraa tullevat käyttämään myös ne linjaliikenteen alukset, jotka eivät poikkea lainkaan Ahvenanmaalla matkallaan Ruotsiin.

Eteläisen haaran valinta väylän pääasialliseksi linjaukseksi veisi liikenteen pois Ledskärin eteläpuolella sijaitsevalta luonnonsuojelualueelta. Peruslinjaus kulkee noin kolmen kilometrin matkan luonnonsuojelun pohjoisreunan alueella.

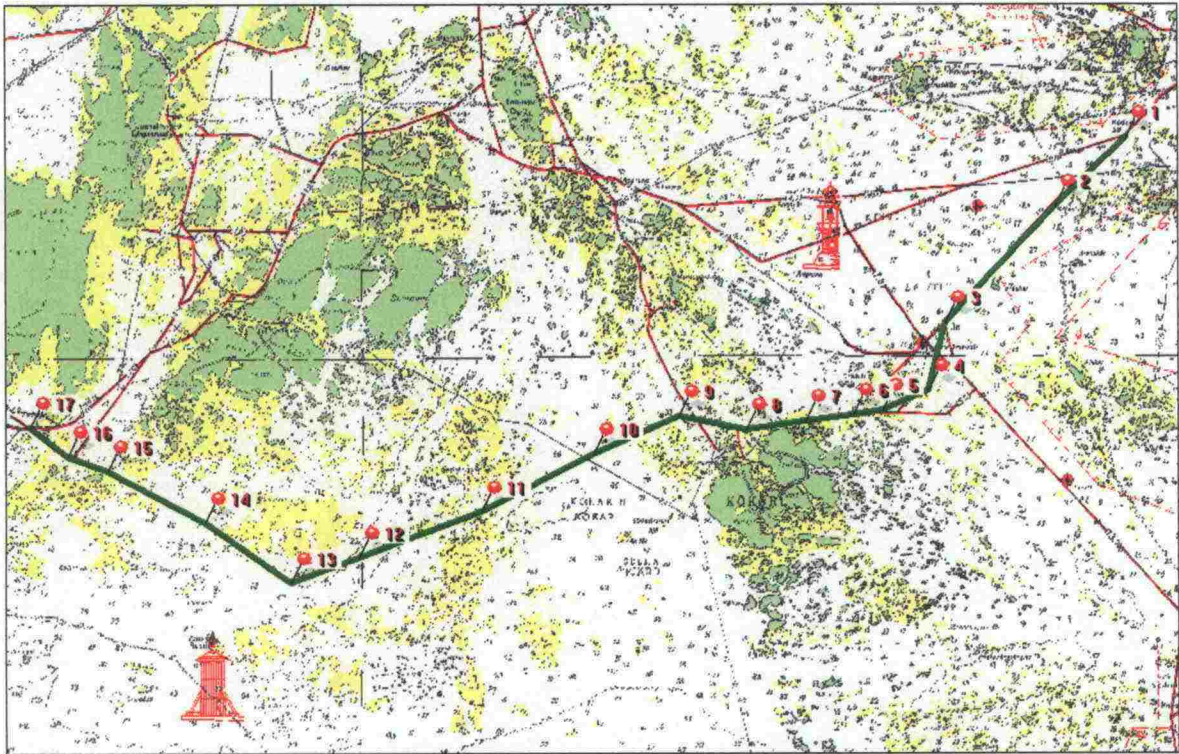
3.2.4 Uuden väylän mitoitus

Tässä luvussa esitettävät tiedot on poimittu lähteestä [1] "Kökarin 8 m väylän suunnitelma".

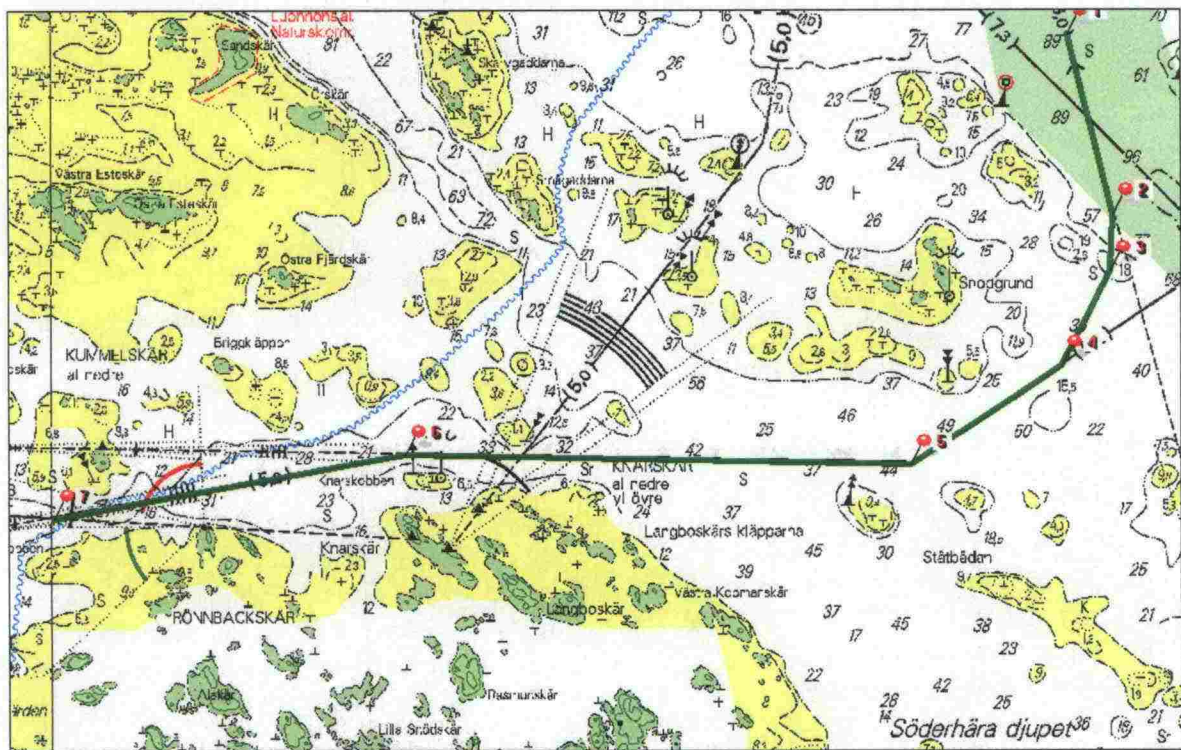
Suurin väylää käyttävä alus olisi tällä hetkellä Silja Europa, jonka pituus on 202 m, leveys 32 m ja suurin syväys 7,6 m (rungon syväys 6,8 m + keulan ohjausevä 0,8 m). Tämän perusteella väylän kulkusyvyudeksi on valittu 8,0 m.

Kökarin pohjoispuolella väyläkapeikkoihin ja ruopatuille alueille ehdotetaan nopeusrajoitukseksi 14 solmua eli 25 km/h.

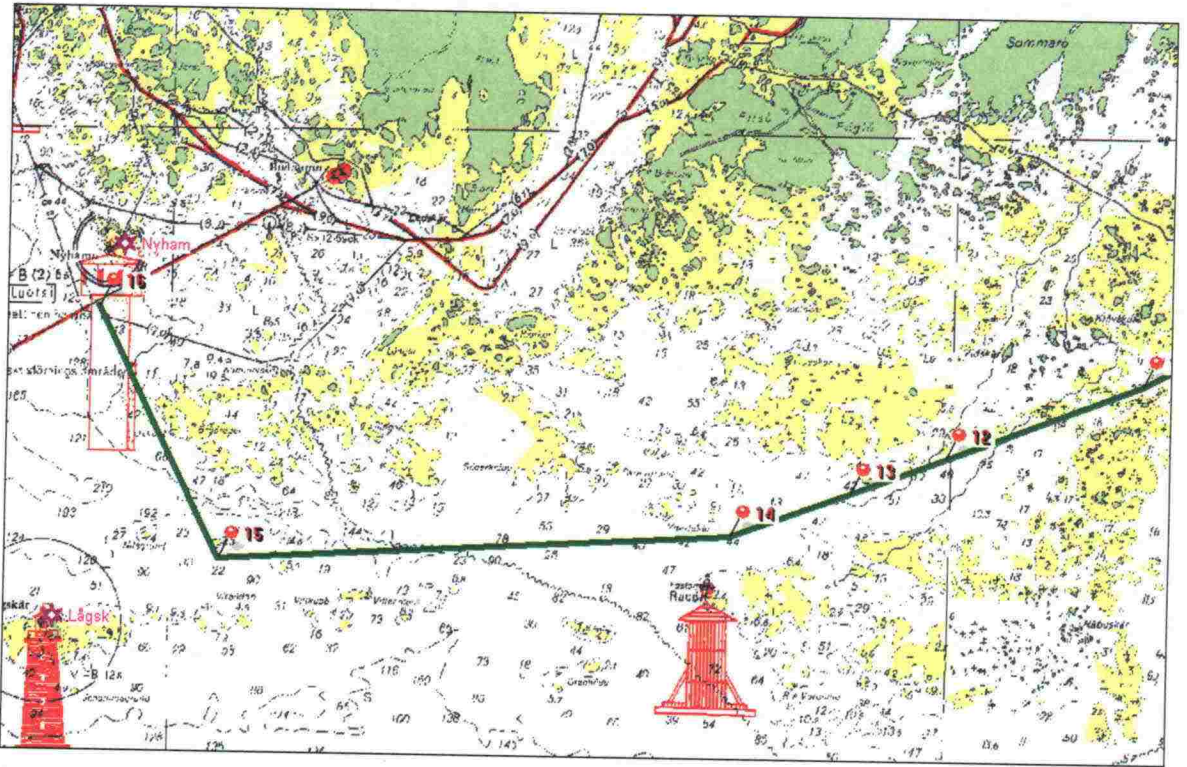
Väylän kaarresäteeksi suunnitellaan 1000 m, joka on 4,95 kertaa mitoitusaluksen pituus. Väylän minimileveyden tulee ohjeiden mukaan olla neljä kertaa mitoitusaluksen leveys, eli minimileveys täten on 128 m. Kaarrelevennyksen tulee ohjeiden mukaan olla 1/3 ja 2/3 - osapisteissä 10% mitoitusaluksen pituudesta, eli kaarrelevennys on 20 m. Väylän leveys sisäkaarteessa (keskilinjan ja sisäreunan välinen etäisyys) tulee olla vähintään $128 \text{ m}/2 + 20 \text{ m} = 84 \text{ m}$. Alustavan väyläsuunnitelman mukaan väylän pienin leveys on 135 m, joka täyttää mitoitusvaatimuksen.



Kuva 1 Kõkarin väyläsuunnitelman peruslinjaus. [32]



Kuva 2 Kõkarin väyläsuunnitelman itäpään vaihtoehtoinen linjaus. [32]



Kuva 3 Kökarin väyläsuunnitelman länsipään eteläinen haara. [32]

3.3 Nykyisen liikenteen käyttämät väylät

3.3.1 Yleistä

Vertailukohtena suunnitellulle Kökarin väylälle tässä työssä oli mm. MS Silja Europan käyttämä 8,2 m:n Nyhamn-Rödskär-väylä. Turun ja Ahvenanmaan välillä liikennöivä linjaliikenne käyttää myös vaihtoehtoisia rinnakkaisväyliä sikäli kuin niiden syväys tai tuuliolosuhteet sen sallivat.

3.3.2 Nyhamn-Rödskär-väylä

Vertailukohtena suunnitellulle Kökarin väylälle tässä työssä käytettiin 8,2 m:n Nyhamn-Rödskär-väylää (Kuva 4). Itäpäässä ko. väylä alkaa Rödskärin länsipuolelta kääntyen 13,0 m:n väylältä kohti länsilounasta. Kihti Raconin pohjoispuolelta lähtien väylä kulkee lähes itä-länsi-suuntaisena Husön koillispuolelle asti. Tästä väylä kääntyy kohti luodetta kaartaan Sottungan eteläpuolelta Hamnön ja Ljungön välistä Enskärin kiertäen Överön pohjoispuolelle ja edelleen Nötön luoteispuolelle. Sieltä väylä jatkuu Stockgrundin eteläpuolelle ja edelleen Gottholmsklubbin länsipuolelle, josta väylä suuntautuu kohti etelää. Staholmin jälkeen väylä kiertää Prästskärin länsipuolelta, josta kulku suuntautuu lounaaseen jatkuen aina Rågrundetin kaakkoispuolelle. Siellä väylä kääntyy luoteeseen ohittaen Ledskärin lounaispuolelta. Tässä työssä tarkasteltava alue päättyy Ledskärin 7,0 m:n rinnakkaisväylän risteykseen.

Kaikki linjaliikenne ei noudata edellä kuvattua Nyhamn-Rödsjär-väylää, vaan käyttää joillakin alueilla rinnakkaisia väylävaihtoehtoja, joita on tarkasteltu lähemmin seuraavassa.

3.3.3 Bogskärin eteläpuolelta kulkeva Nyhamn-Rödsjär-väylän rinnakkaisväylä

Nyhamn-Rödsjär-väylällä on Kihti Raconin ja Husön välisellä osuudella muutamia mataloituneita kohtia, joiden takia kulkusyvyttä on pienennetty 8,2 m:iin. Tästä syystä kaikki alukset eivät pysty pitämään normaalia yli 20 solmun nopeutta tällä alueella. Vaihtoehtoinen 8,2 m:n väylä, jolla nämä mataloituneet alueet voidaan välttää kulkee Bogskärin eteläpuolelta (Kuva 5). Sitä käyttäen matka pitenee 1,7 km, mutta suuremman nopeuden takia kokonaisaika pysyy lähes samana. Bogskärin eteläpuolelta rinnakkaisväylää käyttämällä voidaan välttää mahdolliset alusten kohtaamiset perusväylällä, jolla on muutamia varsin kapeita kohtia.

3.3.4 Långnäsin satamaan johtava väylä

Långnäsin satamaan johtava 8,0 m:n väylä liittyy Nyhamn-Rödsjär-väylään kahdessa kohtaa, joista pohjoinen väyläristeys sijaitsee Stockgrundin lounaispuolella ja eteläinen Gottholmsklubbin lounaispuolella (Kuva 6). Osa linjaliikenteestä suorittaa Ahvenanmaalla käynnin Långnäsinissä, osa taas Maarianhaminassa. Matkustaja-autolautoilla käytäntönä on käydä päiväsaikaan Maarianhaminassa ja yöaikaan Långnäsinissä. Myös kovalla pohjoistuulella alukset menevät Långnäsin sataman sijasta Maarianhaminaan.

3.3.5 Apteekkarin väylä

Apteekkarin 7,0 m:n väylä erkanelee perusväylästä Nötön luoteispuolella ja suuntautuu lounaaseen kohti Sandön ja Hässlön välistä salmea, jonka jälkeen väylä kääntyy kohti länttä. Järsön eteläpuolella väylä kääntyy etelään ja yhtyy 8,2 m:n Nyhamn-Rödsjär-väylään Prästskärin koillispuolella (Kuva 7).

Väylävaihtoehto on noin kolme kilometriä lyhyempi kuin Stora Gottholmenin kiertävä perusväylä, joten alukset, joiden aikomus ei ole poiketa Långnäsinissä, ja joiden syväys on riittävän pieni, käyttävät yleisesti tätä vaihtoehtoista väylää.

3.3.6 Prästskärin rinnakkaisväylä

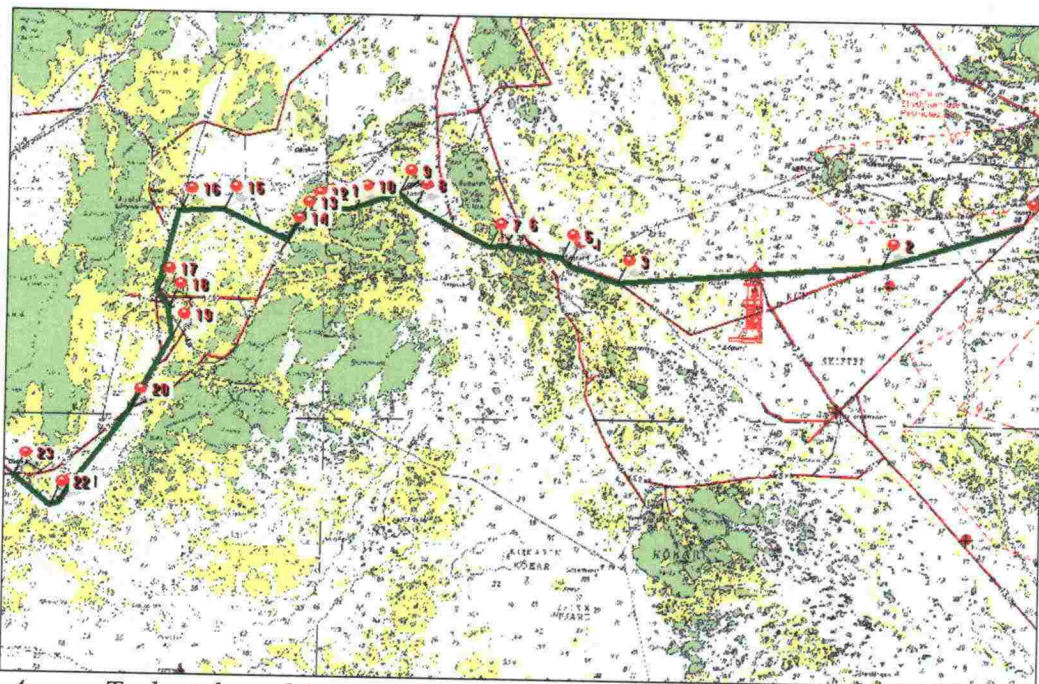
Prästskärin länsipuolelta kulkeva 8,0 m:n rinnakkaisväylä erkanelee Nyhamn-Rödsjär-väylältä Staholmin länsipuolella ja kulkee lähes pohjois-eteläsuuntaisena Finngrundin ja Prästskärin välistä (Kuva 8). Väylän pituus on 3,9 km ja se on 0,3 km lyhyempi kuin Nyhamn-Rödsjär-väylää noudatteleva reitti, mutta yli 12 m/s:n sivutuulella sitä ei voida käyttää.

3.3.7 Ledskärin rinnakkaisväylä

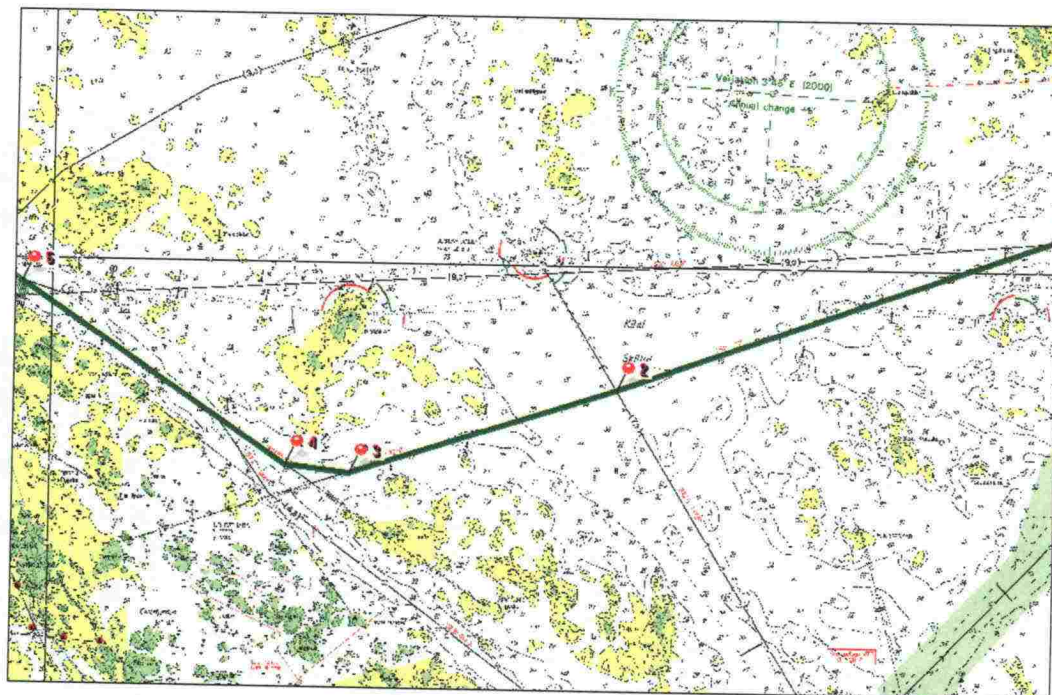
Ledskärin pohjoispuolelta kulkeva 7,0 m:n rinnakkaisväylä erkanelee Nyhamn-Rödsjär-väylältä Flisörännanin sektoriloiston lounaispuolella suuntautuen lounaaseen Storgrundetin

eteläpuolelle, josta väylä kääntyy kohti länttä Ledskärin pohjoispuolitse yhtyen Nyhamn-Rödsjär-väylään Ledskärin länsipuolella (Kuva 9).

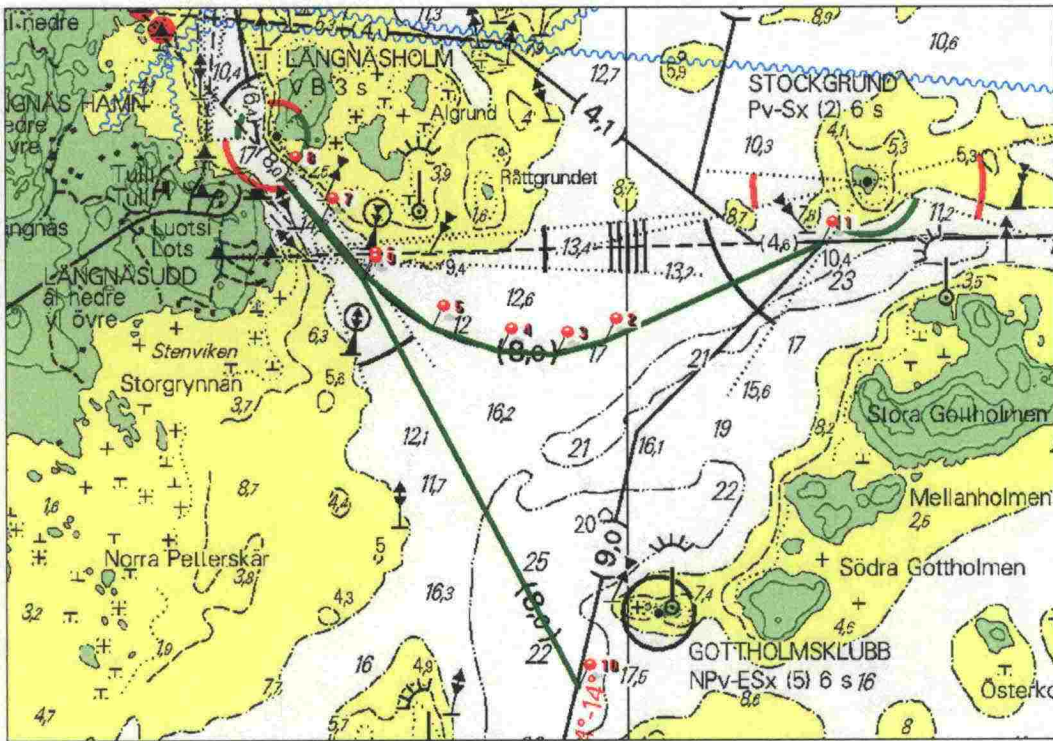
Ledskärin rinnakkaisväylä on 10,6 km lyhyempi kuin Ledskärin eteläpuolelta kiertävä Nyhamn-Rödsjär-väylä, joten alukset, joiden syväys on alle 7 m käyttävät tätä rinnakkaisväylää.



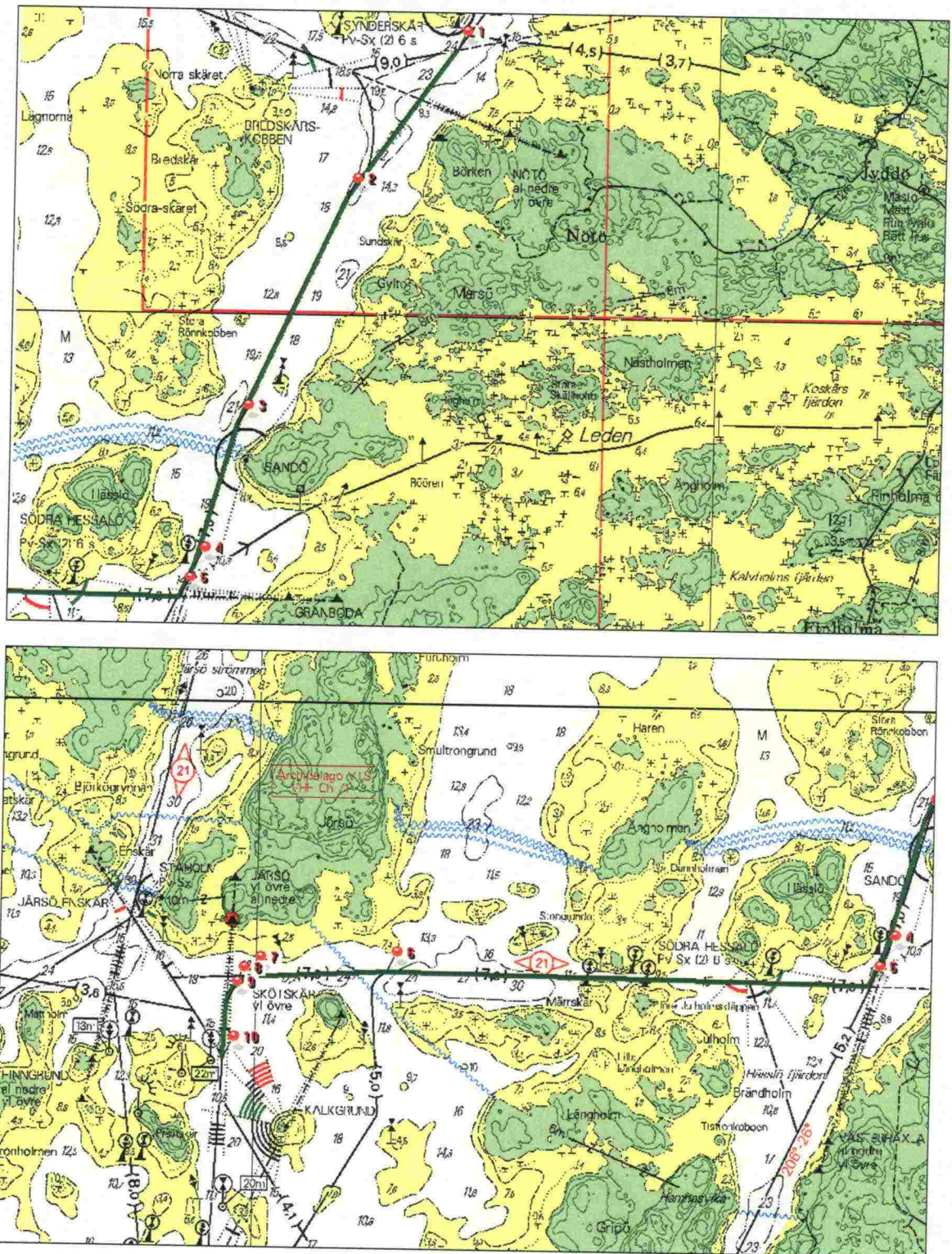
Kuva 4 Tarkastelussa käytetty nykyisin käytössä olevan Nyhamn-Rödsjär-väylä. [32]



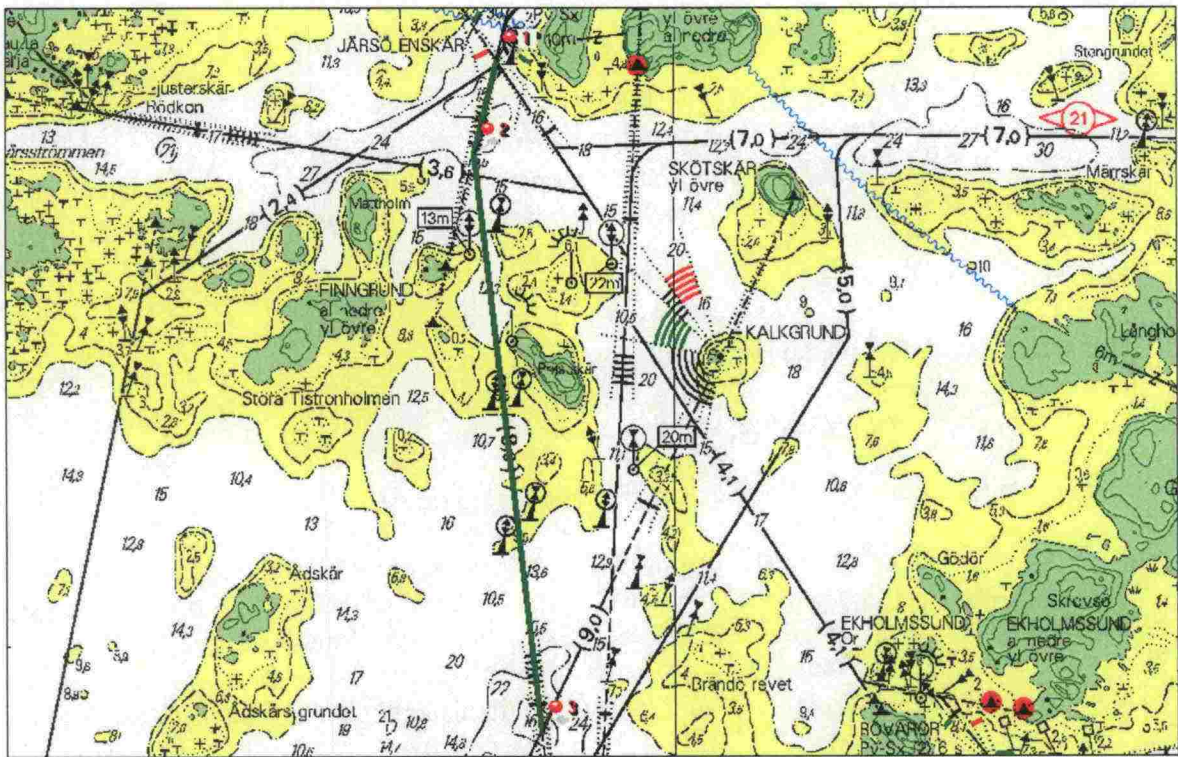
Kuva 5 Nykyisen väylän Bogskärin eteläpuolitse kulkeva väylävaihtoehto. [32]



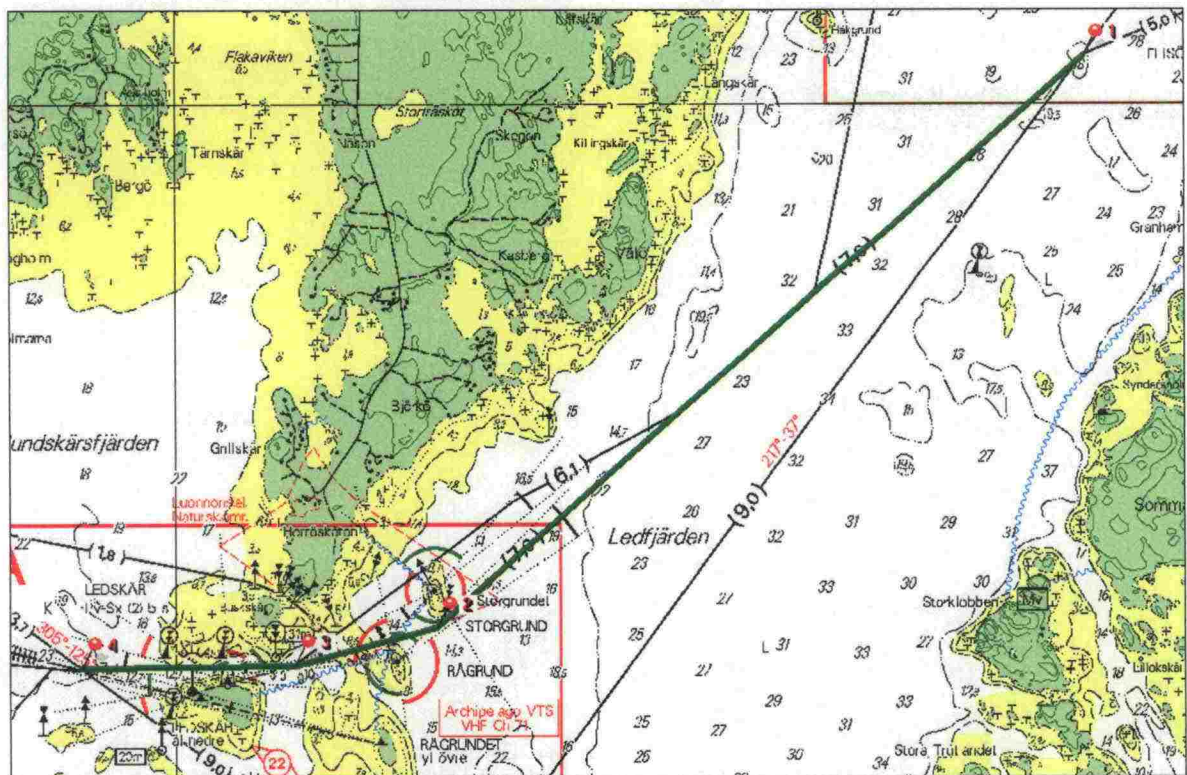
Kuva 6 Långnäsin satamaan johtavat väylät. [32]



Kuva 7 Apteekarin väylä. [32]



Kuva 8 Prästskärin rännakkaisväylä. [32]



Kuva 9 Ledskärin rännakkaisväylä. [32]

4 Laivaliikenneselvitys

Tässä työssä suoritettavaa riskianalyysia varten tarvittiin tarkka kuva Ahvenanmaan ja Saaristomeren laivaliikenteestä. Liikennekuvan tuli sisältää seuraavat tiedot:

- liikenteen kokonaismäärä;
- liikenteen ajallinen jakautuminen eri kuukausille, viikonpäiville ja vuorokaudenajoille;
- liikenteen alueellinen jakautuminen eri väylille ja
- liikenteen jakautuminen eri alustyyppisiin ja kokoluokkiin.

Ahvenanmaan ja Saaristomeren liikenteestä ei kuitenkaan ollut käytettävissä valmiita tilastoja, vaan liikennekuva muodostettiin Archipelago VTS:n keräämistä liikenteenseurantatiedoista sekä Turun ja Naantalın satamien liikennetilastoista. Tämän lisäksi käytettiin liikennekuvan muodostamisessa hyväksi Ahvenanmaan sisäisen lauttaliikenteen aikataulutietoja [22]. Kaaviokuva laivaliikenteen käyttämistä reiteistä on esitetty Kuva 10:ssa.

Laivojen tekniset tiedot saatiin ”Suomen kauppalaivasto ja kalastusalukset 2003” -luettelosta [23], alueella operoivien varustamoiden Internet-kotisivuilta sekä suorittamalla täydentäviä Internet-hakuja. Tarkentavia tietoja saatiin myös Archipelago VTS:n henkilökunnalta.

Archipelago VTS:n liikenteenseurantamateriaalin analysoinnin vaatiman suuren työmäärän johdosta päädyttiin valitsemaan yhden viikon pituinen tarkastelujakso, joka sijoittuisi vuoden vilkkaimmalle ajanjaksolle. Vaikka Turun ja Naantalın satamien liikenteestä vain osa suuntautuu tässä tutkimuksessa käsitellyille väylille, antavat näiden satamien liikennetilastot yleiskuvan koko alueen liikennemäärien jakautumisesta eri kuukausille. Turun ja Naantalın satamien aluskäyntimäärien mukaan vuoden 2002 vilkkain kuukausi oli heinäkuu (Kuva 11) jonka perusteella tarkastelujakso sijoitettiin myös heinäkuulle, tarkemmin sanottuna ajanjaksolle 20.-26.7.2003.

Archipelago VTS:n liikennekirjanpito perustuu alusten suorittamiin ilmoittautumisiin. Alusten on ilmoitettava Archipelago VTS:lle VHF-kanavalla 71 virallisiin merikarttoihin merkityissä pisteissä. Tietyissä pisteissä ilmoitus annetaan sivuutusajankohtana, joissain taas 20 minuuttia ennen sivuutusta. Ilmoitus sisältää seuraavat tiedot [24]:

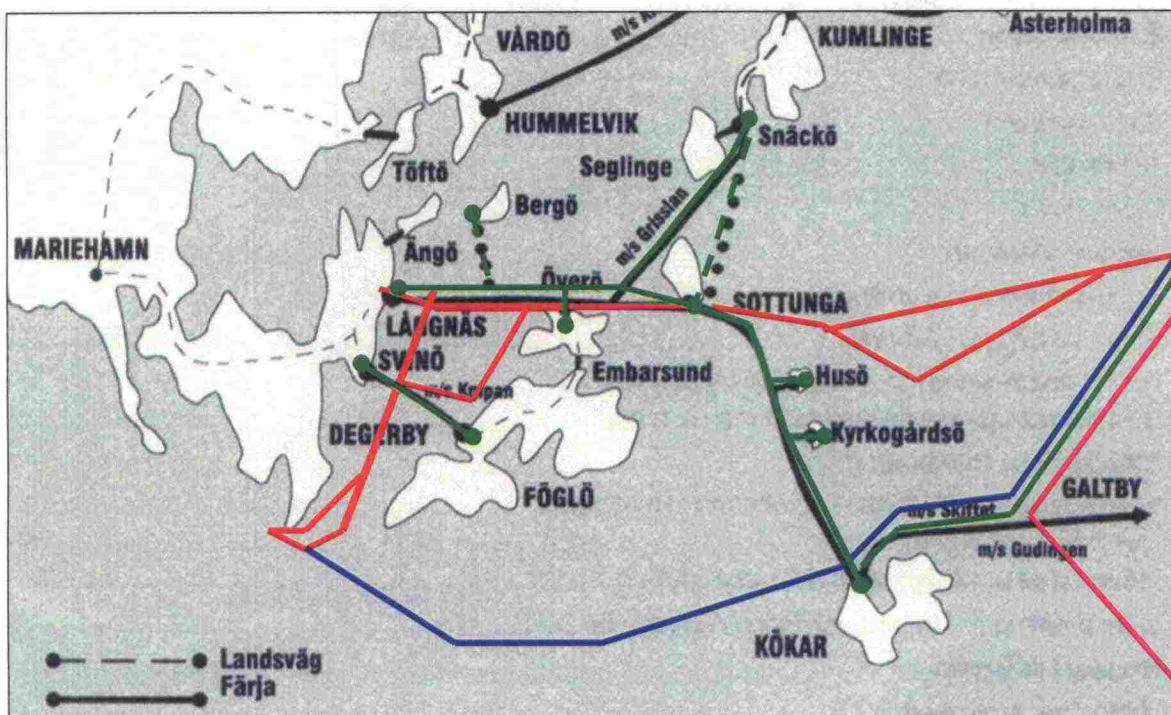
- a) aluksen nimi,
- b) ilmoittautumispaikan nimi,
- c) määräsatama ja
- d) käytetty väylä. (Aluksen on ilmoitettava myös vaihtoehdoisen väylän käytöstä.)

Liikenne nykyisellä väylällä muodostuu lähes kokonaan aikataulunmukaisesta linjaliikenteestä Suomen ja Ruotsin välillä sekä yhteysalusliikenteestä Ahvenanmaan eri saarten ja mantereen välillä. Säännöllistä linjaliikennettä harjoittavia varustamoita ovat:

- Silja Line Oy liikennöi reitillä Turku - Ahvenanmaa - Tukholma kahdella matkustaja-autolautalla: MS Silja Europa ja MS Silja Festival;
- Viking Line Oy liikennöi samalla reitillä myös kahdella matkustaja-autolautalla: MS Viking Isabella ja MS Viking Amorella. Kesäaikana 2003 liikenteessä oli myös MS Viking Rosella;
- Sea Wind Line Oy liikennöi samalla reitillä kahdella ropax-aluksella: MS Sea Wind ja MS Sky Wind;
- Finnlines Oyj liikennöi välillä Naantali - Kapellskär kolmella ropax-aluksella: MS Finnclipper, MS Finneagle ja MS Finnsailor ja
- Lillgaard Rederi Ab liikennöi välillä Naantali - Långnäs MS Fjärdvägen autolautalla.

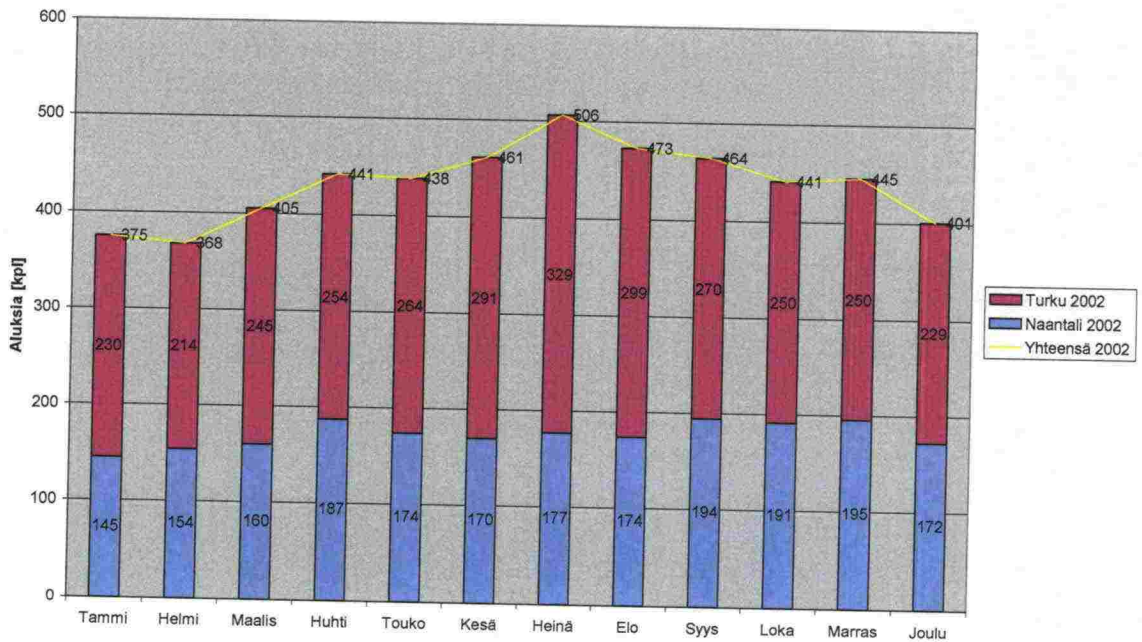
Linjaliikenteen jakautumista eri viikonpäiville tarkastelujaksolla 20.-26.7.2003 esittää Kuva 12. Tarkastelukohtana on Ljungön ilmoittautumispiste, jonka kautta kaikki alueen linjaliikenne joutuu kulkemaan. Kuva osoittaa, että kaikkina arkipäivinä vuoroja on molempiin suuntiin 11 kpl, lauantaina on yhteensä kolme vuoroa vähemmän ja sunnuntaina yksi vuoro vähemmän. Vuorokauden sisällä vilkkaimmat jaksot ovat yöllä välillä 0:00-3:00 sekä päivällä välillä 15:00-18:00 (Kuva 13).

Vaikka muun liikenteen määrä alueella oli varsin vähäinen linjaliikenteen verrattuna, otettiin se liikennekuvassa huomioon samalla tavoin ilmoittautumisiin perustuen kuin linjaliikennekin. Alustyyppijakautuman oletettiin vastaavan koko vuoden jakautumaa.

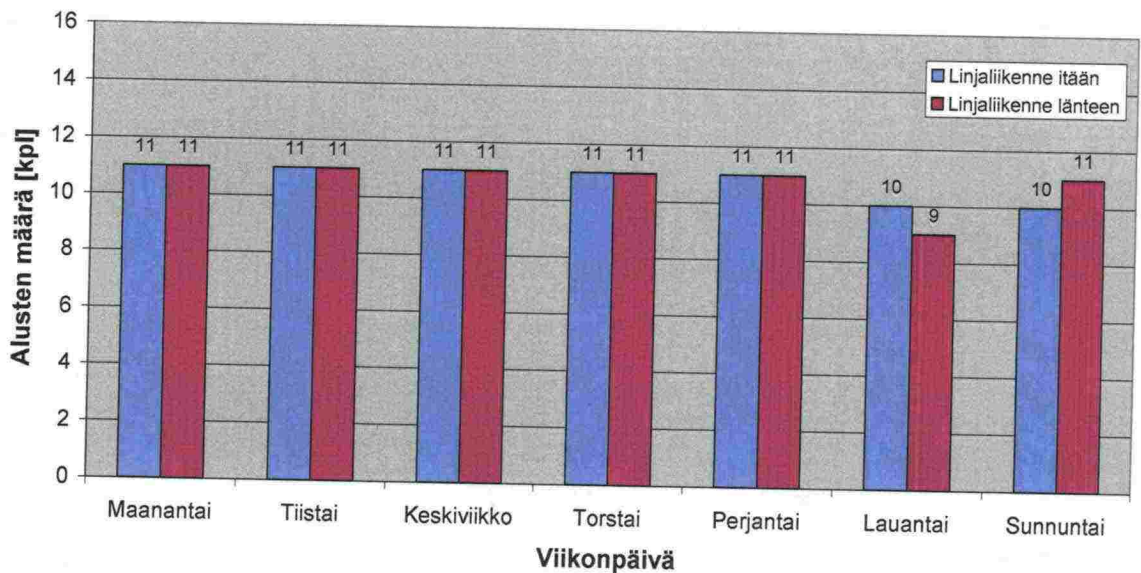


Kuva 10 Kaaviokuva Ahvenanmaan saariston reiteistä. Nykyinen linjaliikenteen käyttämä reitistö on merkitty punaisella, Kökarin suunniteltu väylä on merkitty sinisellä ja linjaliikenteen kanssa risteävät tai rinnakkain kulkevat saaristoliikenteen reitit on merkitty vihreällä. Karttopohja: <http://www.alandstrafiken.aland.fi/skargardstrafiken03.pdf>.

Naantalin ja Turun aluskäyntimäärät vuonna 2002

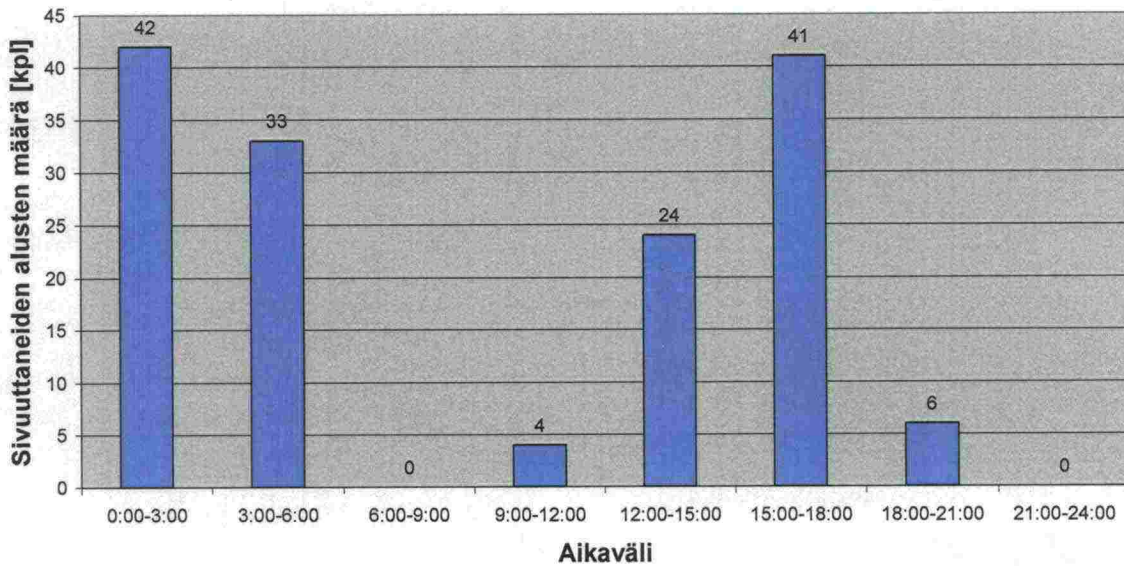


Kuva 11 Naantalin ja Turun satamien aluskäynnit kuukausittain vuonna 2002.

 Linjaliikenne eri viikonpäivinä
 Ljungön ilmoittautumispiste 20.-26.7.2003


Kuva 12 Linjaliikenteen jakautuminen viikonpäivittäin heinäkuussa 2003. Tiedot perustuvat Archipelago VTS:n kirjanpitoon alusten ilmoittautumisista Ljungön ilmoittautumispisteessä aikaväliltä 20.-26.7.2003.

**Linjaliikenteen vuorokausijakautuma
Ljungö 20.-26.7.2003**



Kuva 13 Linjaliikenteen jakautuminen vuorokauden sisällä heinäkuussa 2003. Tiedot perustuvat Archipelago VTS:n kirjanpitoon Ljungön ilmoittautumispisteen sivuutuksista aikaväliltä 20.-26.7.2003.

Ahvenanmaan yhteysalusliikenne muodostaa merkittävän osan alueen laivaliikenteestä, ja se risteää useassa kohdin tarkasteltavien väylien kanssa sekä joissain kohdin myös käyttää näitä väyliä, joten se oli myös otettava huomioon yhteentörmäyslaskelmissa. Nyhamn-Rödskärväylän tarkasteluissa oli huomioitava kolme yhteysaluslinjaa: Föglölinjen, Tvärgående linjen ja Södra linjen. Uuden Kökarin väylän osalta oli huomioitava vain Södra linjen. Yhteysalususten liikennemäärät saatiin määritettyä liikennekaudelle 15.4.2003-14.4.2004 julkaistusta aikataulukirjasta [22]. Yhteysalusliikenteen käyntisatamat ja viikoittaiset vuoromäärät käyvät ilmi alla olevasta taulukosta (Taulukko 1).

Taulukko 1 Ahvenanmaan yhteysalusliikenteen linjat, käyntisatamat ja viikoittaiset vuoromäärät liikennekaudella 15.4.2003-14.4.2004 [22].

Linja	Käyntisatamat	Satamakäyntejä viikossa	Alukset
Föglölinjen	Svinö	111 - 162	m/s Knipan
	Degerby	111 - 162	m/s Lotta II
Tvärgående linjen	Långnäs	15	m/s Grisslan
	Bergö	3	
	Överö	28	
	Sottunga	3	
	Snäckö	15	
Södra linjen	Långnäs	24 - 33	m/s Skiftet m/s Gudingen m/s Ejdern
	Överö	48 - 66	
	Sottunga	48 - 66	
	Husö	28 - 36	
	Kyrkogårdsö	0 - 29	
	Kökar	31 - 50	
	Galtby	7 - 17	

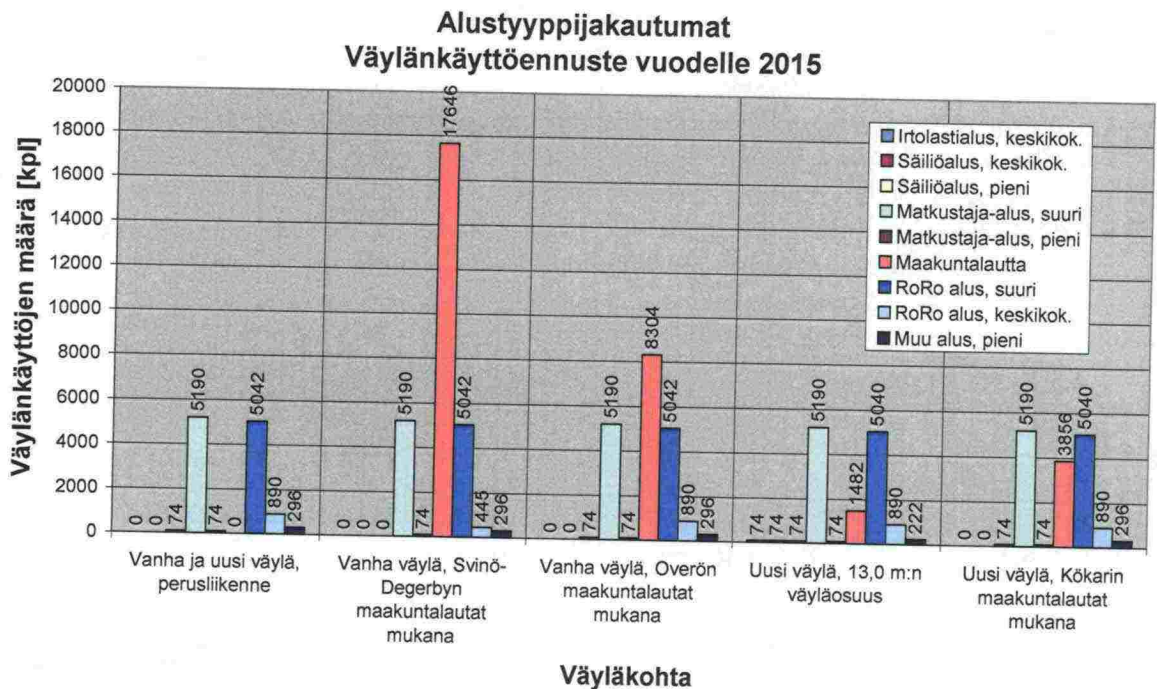
Kerätyn liikennetilastomateriaalin pohjalta määritettiin liikennemäärät kaikille eri väyläosuksille sekä nykyisellä väylästä, että uudella väylällä ottaen huomioon myös rinnakkaiset ja risteävät väylät. Koko vuoden liikennemääräarviota tehtäessä oletettiin, että valitun heinäkuun tarkastelujakson mukainen liikenne jatkuu läpi koko vuoden. Uuden väylän liikennemäärien määrittämisessä tehtiin oletus, että koko nykyisen väylästä liikenne siirtyy käyttämään uutta väylää. Yhteysalusliikenne säilyy entisillä reiteillään.

Riskilaskelmat tehtiin vuoden 2015 ennustetulle liikennemäärälle, jota laadittaessa tehtiin seuraavat oletukset:

- vuotuisen liikenteen kasvun oletetaan olevan 3% kaikilla alustyypeillä ja kokoluokilla ja
- nykyiseen verrattuna uusia alustyyppisiä ja kokoluokkia ei tule käyttöön.

Esimerkkinä vuoden 2015 ennustetuista liikennemääristä eri väyläosilla on Kuva 14:n jakautumakuva. Siinä on esitetty eri alustyyppien ja kokoluokkien väyläkäyttöjen määrät muutamassa eri pisteessä tarkasteltavilla väylillä.

Tarkastelujakson aikana alueella liikkuneiden alusten luettelo on esitetty raportin liitteessä (LIITE 2). Luettelosta käyvät ilmi alusten päämitat ja nopeus. Lisäksi luettelosta käy selville mihin alusluokkaan kukin alus kuuluu suoritetuissa analyyseissa.



Kuva 14 Liikennemäärät sekä alustyyppi- ja kokojakautumat eräissä uuden ja vanhan väylän kohdissa.

5 Tausta-aineisto

5.1 Yleistä

Kokonaiskuvan muodostamiseksi tarkasteltavasta alueesta selvitettiin alueen tuuliolosuhteita, jääolosuhteita sekä alueella tapahtuneita onnettomuuksia. Tarkastelut perustuvat Ilmatieteen laitokselta saatuihin tuulitilastoihin, Merentutkimuslaitoksen Jääpalvelun suorittamaan jääolosuhdetarkasteluun sekä Merenkulkulaitoksen onnettomuustilastojen analyysiin.

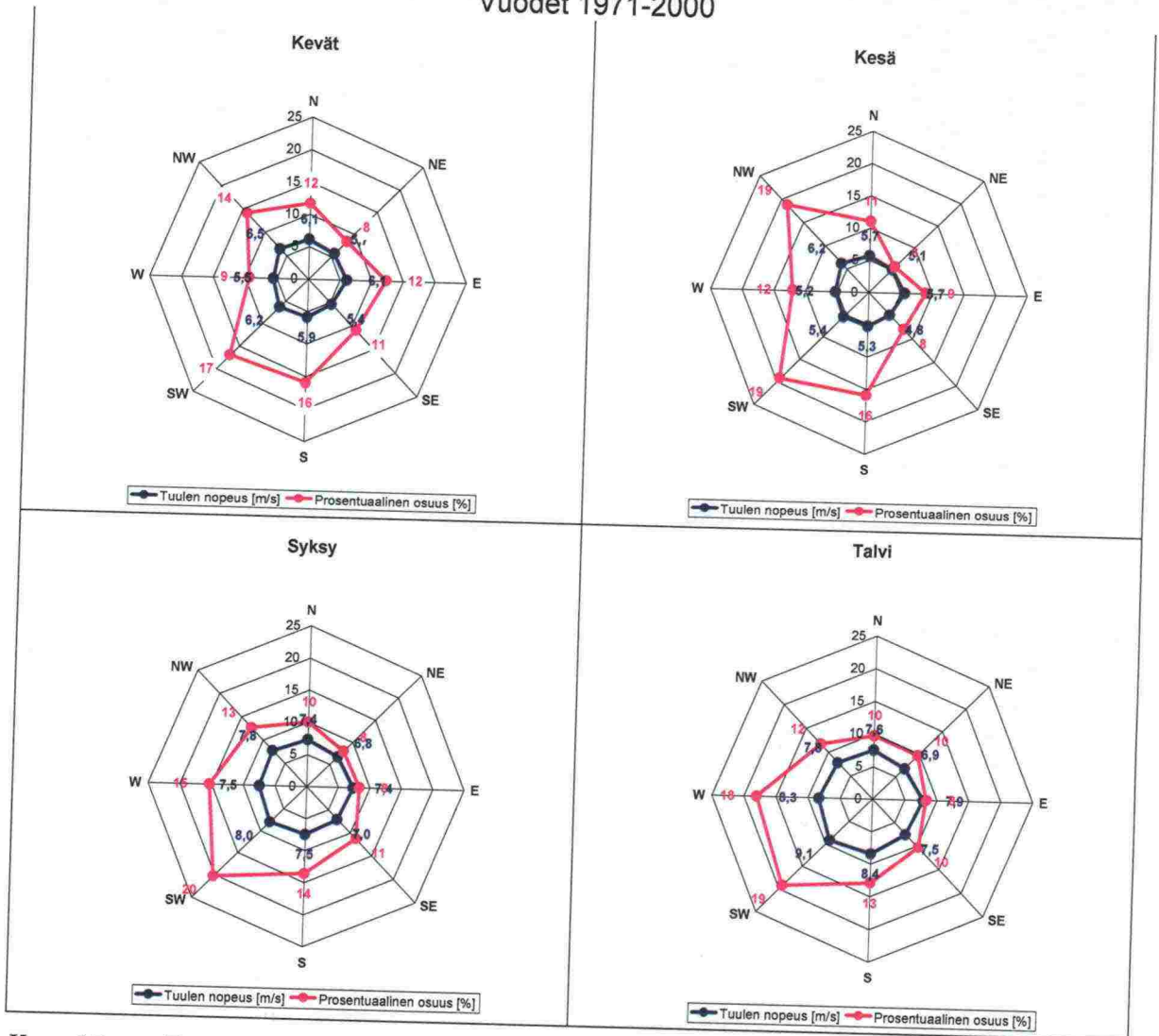
5.2 Tuulet

Tarkastelualueen tuuliolosuhteiden selvittämiseksi hankittiin Ilmatieteen laitokselta Korppoo-Utön havaintoaseman tuulitiedot vuosilta 1971-2000. Aineiston perusteella laadittiin tuulen suuntajakautuma (Kuva 15) sekä nopeusjakautuma (Kuva 16) eri vuodenojoille. Aineistossa vuodenaikajako poikkeaa normaalista vuosineljännesjaosta siten, että talvikuukausiksi luetaan joului-, tammi- ja helmikuu, kevätkuukausiksi maaliskuu-, huhti- ja toukokuu, kesäkuukausiksi kesä-, heinä- ja elokuu sekä syyskuukausiksi syys-, loka- ja marraskuu. Alkuperäiset taulukot ovat raportin liitteinä; tuulen nopeusjakautumataulukko (Liite 3) sekä tuulen suuntajakautumataulukko (Liite 4).

Koko vuotta tarkasteltaessa vallitsevin tuulen suunta on lounaasta. Tuulen suuntajakautumakuvan (Kuva 15) mukaan syksyllä selkeästi vallitsevin tuulen suunta on lounainen. Talven tullessa länsituulten osuus kasvaa melkein samalle tasolle kuin lounaistuulten. Keväällä ja kesällä tuulet ovat selkeästi heikompia ja tuulen suunta vaihtelee enemmän. Vallitsevia tuulensuuntia ovat tuolloin lounaistuulen lisäksi etelä- ja luoteistuulet.

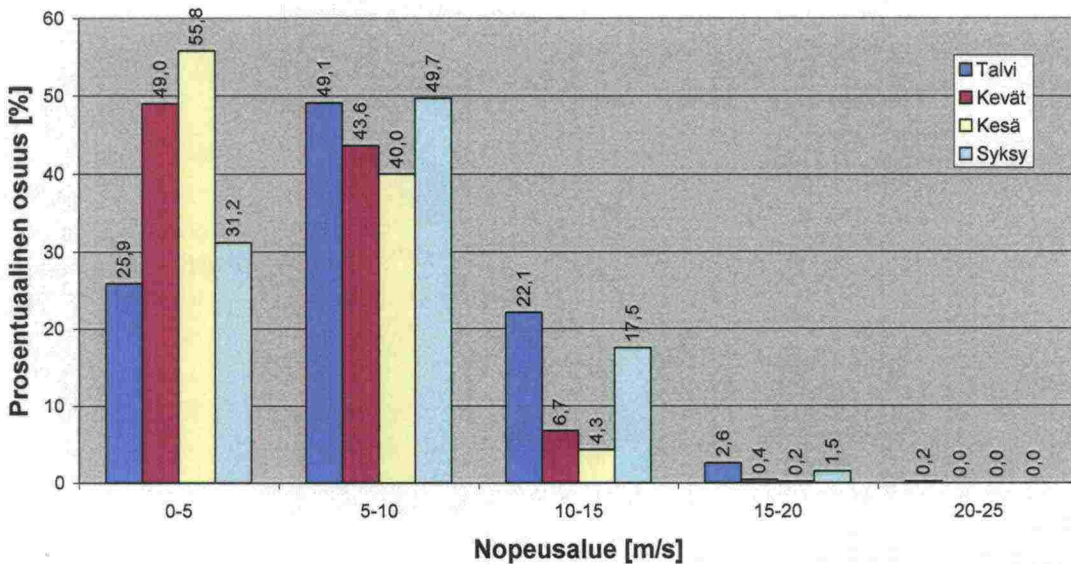
Tuulen nopeusjakautumasta eri vuodenojoille (Kuva 16) voidaan nähdä, että hieman alle puolet ajasta kaikkina vuodenaikoina tuulen nopeus on välillä 5-10 m/s. Alhaisempien tuulennopeuksien osuus kasvaa keväällä ja kesällä kun taas kovien tuulennopeuksien osuus on suurempi syksyllä ja talvella. Yli 20 m/s:n tuulia esiintyy tilaston mukaan vain talvikuukausina ja silloinkin vain 0,2% ajasta.

Tuulihavainnot Korppoo Utön havaintoasemalla
Vuodet 1971-2000



Kuva 15 Eri vuodenaikojen keskimääräinen tuulen nopeus ja prosentuaalinen jakautuminen eri ilmansuunnille Vuodenaikajako on sama kuin edellisessä kuvassa. (Ilmatieteen laitos).

Tuulen nopeusjakautuma Korppoo Utö 1971-2000



Kuva 16 Tuulen nopeusjakautuma Korppoo Utö havaintoasemalla vuosien 1971-2000 havaintoaineiston mukaan. (Ilmatieteen laitos).

5.3 Jääolosuhteet

5.3.1 Yleistä

Seuraavassa on tarkasteltu jääolosuhteita Kökarin ja Nyhamnin selän välisellä alueella. Tarkastelussa on käyty läpi jääkartta-aineistoa talvilta 1985-1987 (3 talvea) ja vuosilta 1994-2003 (10 talvea).

Eri tarkastelualueille on arvioitu nk. jääpäiviä eli sellaisten päivien määrää, joina alueella on esiintynyt jäätä missä tahansa muodossa. Kiintojääpäivä tarkoittaa päivää, jolloin alueen jossakin osassa on esiintynyt kiintojäättä.

5.3.2 Tarkastelualueet

A. Stora Sottunga-Ledskär (Nykyinen väylälinjaus)

Vertailun vuoksi on Ahvenanmaan saariston läpi kulkevan väyläosuuden jääoloja tarkasteltu, esim. arvioitu jääpäivien lukumäärää.

B. Kökar-Ledskär (Kökarin väyläsuunnitelman länsipään peruslinjaus)

Suunnitellun uuden väylän väyläosuus Kökarin ja Ledskärin välillä (länsipään peruslinjaus). Tältä osuudelta on tarkempaa jäätietoa hyvin vähän. Jään rajat on saatu enimmäkseen satelliittikuvista, mutta tarkempia tietoa ahtaumista ja sohjovöistä ei ole kuin Kökarin

lähistöltä. Tämä johtuu siitä, ettei suurempia väyliä alueella esiinny eikä sen takia myöskään talvimerenkulkua.

C. Fästorna-Nyhamn (Kökarin väyläsuunnitelman länsipään eteläinen haara)

Ledskärin eteläpuoleiset karikot kiertävä vaihtoehto.

D. Kihti

Nykyinen ja ajateltu uusi väylälinjaus ylittävät Kihdin eri reittejä. Jääolot näillä väylillä ovat kuitenkin pääsääntöisesti samanlaiset: merialue saa jääpeitteen lähes samanaikaisesti ja on sen verran saariston suojaamana, ettei erityistarkasteluja vaadita. Myös Kökarin pohjoispuolitse kulkeva väylä on jääoloiltaan hyvin vakaa samalla tavalla kuin nykyinen väylä välillä Bogskär-Stora Sottunga.

5.3.3 Neljä eri asteista jäätilannetta

Tarkasteluvuodet on jaettu neljään eri luokkaan, joiden mukaan uusien väylien jäätilanteet myös voidaan jaotella. Nämä ovat 1) leudot talvet, 2) normaalit talvet, 3) ankarat talvet ja 4) erittäin ankarat talvet.

1) leudot talvet (talvina 1994-2003: 3 talvea kymmenestä)

Leutoina talvina jäätä esiintyy koko Saaristomerellä hyvin vähän. Ahtaumia ja vaikeita sohjovöitä ei esiinny. Avustustarvetta ei ole.

Taulukko 2 Jääolosuhteita kuvaavia suureita leutona talvena.

Tarkastelualue	Jääpäivät [kpl]	Kiintojääpäivät [kpl]	Jäänpaksuudet [cm]
A	5 – 40	-	5 – 10
B	-	-	-
C	-	-	-

2) normaalit talvet (talvina 1994-2003: 4 talvea kymmenestä)

Normaalina talvina jäätä esiintyi alueilla A ja B, muttei alueella C. Ahtaumia ja vaikeita sohjovöitä ei esiinny, joskin sohjovyön muodostuminen Kökarin edustalle jossakin vaiheessa talvea on mahdollinen. Avustustarve on sama kuin nykyistä väyläreittiä kulkien.

Taulukko 3 Jääolosuhteita kuvaavia suureita normaalina talvena.

Tarkastelualue	Jääpäivät [kpl]	Kiintojääpäivät [kpl]	Jäänpaksuudet [cm]
A	20 – 70	0 – 45	5 – 20
B	5 – 30	-	5 – 15
C	-	-	-

3) ankarat talvet (talvina 1994-2003: 3 talvea kymmenestä)

Ankarina talvina jäätä esiintyi kaikilla tarkastelualueilla. Vaikeita ahtaumia ja sohjovöitä näyttää ilmenevän vain, jos alueelle C tai sitä ulompana muodostuu jäätä. Tarkasteluvuodet olivat keskenään siinä määrin poikkeavia, että ahtaumien ja sohjovöiden esiintymistä ei pysty sitomaan tiettyihin merialueisiin. Kuitenkin, joko ahtaumia tai sohjoa tai molempia esiintyi joka talvi jossakin noin 10 – 20 päivän ajan. Avustustarvetta esiintyy suurella todennäköisyydellä alueilla B ja C.

Taulukko 4 Jääolosuhteita kuvaavia suureita ankarana talvena.

Tarkastelualue	Jääpäivät [kpl]	Kiintojääpäivät [kpl]	Jäänpaksuudet [cm]
A	100 – 125	50 – 110	20 – 50
B	75 – 110	0 – 80	10 – 30
C	30 – 70		5 – 30

4) erittäin ankarat talvet

Erittäin ankarina talvina on otettu tarkastelutalviksi talvet 1985, -86 ja -87, jolloin jäätä esiintyi pitkälti varsinaiselle Itämerelle. Erittäin ankarina talvina jäätä esiintyi siis kaikilla tarkastelualueilla.

Kiintojääpäiviä kertyi alueille A ja B noin satakunta ja kiintojää peitti siis myös alueen B. Merenkulullisesti jääolot ovat aika samanlaiset kuin ankarien talvien kohdalla.

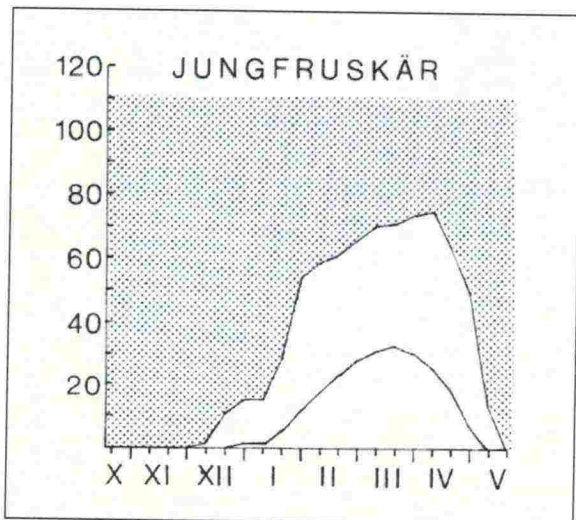
5.3.4 Erityishuomioita

Tarkastelussa ilmeni, että ankarina talvina (jolloin siis ahtaumia ja sohjoa ylipäättään esiintyy) väyläosuus alueella B on kiintojään peittämä ja alueella C esiintyy laivaliikennettä haittaavaa jäätä.

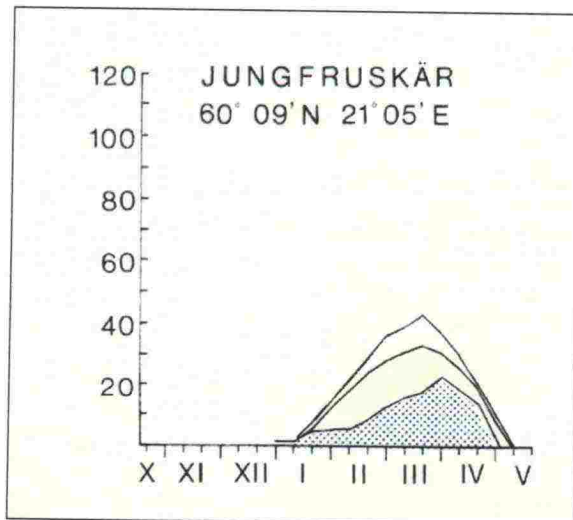
Alueilla B ja C on jäättömänä aikana syytä huomioida aallokkoa ja erityisesti lounaismyrskyissä mahdollisia aallokon taittumisja ja ristiaallokosta aiheutuvia riskikohtia (Merentutkimuslaitoksen aallokkopalvelu).

Jään maksimi- ja minimipaksuus sekä jääpeitteen eri osien keskimääräiset paksuudet Ahvenanmaan saaristossa Jungfruskärissä talven eri vaiheessa on esitetty Kuva 17:ssä. Kuvasta voidaan nähdä, että jään suurin kokonaispaksuus on 75 cm keskimääräisen paksuuden ollessa noin 30 cm. Hyvin leutoina talvina jäätä ei esiinny lainkaan havaintopisteessä. Jäätä alkaa aikaisimmillaan muodostua joulukuun alussa ja se poistuu viimeistään toukokuun loppupuolella.

a)



b)



Kuva 17 Kiintojään paksuustietoja Ahvenanmaan saaristossa Jungfruskärissä. a) Jään kokonaispaksuus [cm]: paksuin, keskiarvo ja ohuin aikavälillä 1937-1985. b) Teräsjään (sininen), kohvajään (vihreä) ja lumen keskimääräinen paksuus [cm] aikavälillä 1937-1980. Tiedot saatu lähteestä [6].

5.4 Onnettomuusanalyysi

5.4.1 Suomen merialueilla tapahtuneiden onnettomuuksien analyysi

Väylien käyttöön liittyvän onnettomuustilastoanalyysin pohjana on Merenkululaitoksen julkaisu Onnettomuusanalyysi 1990-2000: karilleajot ja yhteentörmäykset [3]. Kyseisen selvityksen tutkimusaineistona ovat ne merivaurioilmoitukset, jotka on kirjattu Merenkululaitoksen ylläpitämään DAMA-onnettomuustietokantaan.

Yleisesti raportissa todetaan tilastotarkastelun perusteella, että tarkastelujakson aikana on Suomen kauppamerenkulun väylillä mukaan lukien Saimaan väylät tapahtunut 212 karilleajoa ja 42 yhteentörmäystä. Merialueella karilleajojen määrä on 175 tapausta ja yhteentörmäysten määrä 39 tapausta. Karille ajaneiden alusten keskimääräinen bruttovetoisuus on ollut 3800 tonnia, tunnettujen yhteen törmäneiden alusten keskimääräinen bruttovetoisuus on 4800 tonnia. Yhteentörmäyksissä vastapuolena on ollut toinen kauppa-alue, murtaaja tai huvialus. Murtaajan törmäminen on varsin huomattava osa kokonaislukumäärästä: 20 tapausta. Toinen huomion arvoinen asia on huvialusten osuus yhteentörmäyksissä kauppa-alueen kanssa. Osuus on kutakuinkin sama kuin muiden kauppa-alueiden osuus yhteentörmäyksissä kauppa-alueen kanssa.

Yhteentörmäykset talviaikaan ovat useimmiten lieviä töytäisyjä verrattuna avoimen veden aikaan sattuneisiin törmäyksiin jotka erityisesti huviveneiden kohdalla ovat johtaneet hengenmenetyksiin. Yhteentörmäysten osuus joissa toisena osapuolena on matkustaja-alus on 10%.

Yhteentörmäysten ajallisessa jakautumassa esiintyy selkeä keskittymä tammi – maaliskuussa tilanteissa, joissa jäänmurtaja avustaa kauppa-alusta. Myös viikonpäivien maanantai ja perjantai kohdalla havaitaan selkeitä yhteentörmäyskeskittymiä. Lisäksi kellonajan suhteen havaitaan keskittymiä klo 01:00, klo 08:00-09:00 sekä klo 16:00 – 18:00 aikoina.

Karilleajon ajallisissa jakautumissa ei esiinny yhtä selkeitä keskittymiä kuin yhteentörmäysten kohdalla. Karilleajot keskittyvät hieman enemmän vuoden jälkimmäiselle puoliskolle (elo–joulukuu). Elo-joulukuun aikana havaitaan lähes yhtä monta karilleajoa kuin tammi-heinäkuun aikana. Merkittävä havainto on, että yli puolet onnettomuuksista (sekä yhteentörmäykset että karilleajot) tapahtuu pimeään aikaan. Lisäksi havaitaan että vain 20% onnettomuuksista on tapahtunut näkyvyyden ollessa pienempi kuin 0,5 km.

Onnettomuustilanteiden tuulensuunnat eivät poikkea yleisesti vallitsevista tuulensuunnista. Kaikista onnettomuustapauksista 60% on sattunut alle 8 m/s tuulessa (navakan tuulen alaraja).

Yleisesti havaitaan, että syytekijät ”inhimillinen erehdys” ja ”navigointivirhe” vastaavat yli 70% syytekijöistä karilleajossa. Yhteentörmäysten syytekijöitä ei ole pystytty luokittelemaan kuin 70%:ssa yhteentörmäystapauksista. ”Inhimilliset erehdykset” ovat kuitenkin merkittävien syytekijä.

Vaurioiden osalta havaitaan että karilleajossa sattuu hyvin vähän vakavia vaurioita (1% johtaa hylkyyn). 76%:ssa tapauksista arvioidaan vaurioiden olleen pieniä. Yhteentörmäyksissä hylkyjen osuus on 6%. Hengenmenetyksiä on todettu 4 tapauksessa. Nämä ovat olleet huviveneilijöitä.

Tarkasteltaessa onnettomuuksien alueellista jakautumista Suomessa erityisen onnettomuus-tilkkaita merialueita ovat Rauman edustalla Rihtniemen kapeikon alkupää avomerien jälkeen sekä Valkeakaran väylä Suurriutan poijun kodalla, Saaristomerellä Nauvon luoteiskulman väyliin risteysalueella sijaitseva Kittuisten yhteysalusliikenteen väylä, Hangon Tulliniemen linja sekä nyt tarkasteltavaan merialueeseen liittyen Degerbyn Ekholmssundin väylä.

5.4.2 Nyhamn-Rödsjär-väylällä sattuneet onnettomuudet

Tarkasteltavalla nykyisellä väyläalueella on sattunut vuosina 1991-2001 kahdeksan onnettomuutta, joista seitsemän on karilleajoja ja yksi yhteentörmäys. Tästä saadaan onnettomuustiheydeksi 0,64 karilleajoa vuodessa sekä 0,09 yhteentörmäystä vuodessa. Näiden lisäksi on sattunut vielä yksi karilleajo (n:o 3.), joka sijoittuu uuden Kökarin väylän alueelle. Tiedot on kerätty Merenkulkulaitoksen DAMA-onnettomuustietokantaan perustuvasta onnettomuus-analyysistä [3], sekä kahden viimeisen tapauksen (numerot 8 ja 9) osalta yksittäisestä merionnettomuuden tutkintaraportista [5] sekä Onnettomuustutkintakeskuksen kotisivuilta [4].

Kahdessa tapauksista onnettomuuden syynä tai osasyynä oli huono näkyvyys, kolmessa tapauksessa laitteiston virheellinen toiminta, kahdessa tapauksessa toisen aluksen kohtaaminen ahtaassa paikassa, yhdessä tapauksessa väylän turvalaitteen valon sammuminen

ja yhdessä virheellinen navigointi ja kapteenin mielipiteen mukaan epäselvyys väylän merkinnässä.

Taulukko 5 Tarkasteltavalla alueella vuosina 1991-2001 sattuneet onnettomuudet.

N:o	Alus	Päivä kello	Paikka	Syy	Tuuliolosuhteet
1.	MS Nordgård Karilleajo	14.2.1991 11:00	Överön pohjoispuoli	Huono näkyvyys.	N, 7 m/s
2.	MS Lillgard Karilleajo	21.3.1991 23:00	Österlandet, Maarianhaminan sisäänmenoväylä	Pimeys, sade. Vika automaattiohjauksessa	SW, 5 m/s
3.	MS Anna A Karilleajo	10.12.1993 2:00	Kalkskärin mutka	Oikaisi liikaa. Kapteenin mielipiteen mukaan merkintäepäselvyys.	-
4.	MS Liselotte Esberger Karilleajo	27.2.1995	Kalkgrundin länsipuoli	Väylän ylempi valo ei palanut	SW, 6 m/s
5.	MS Fjärdvägen Karilleajo	30.9.1996 4:00	Kvarteskärin eteläpuoli	Vasemmalle kaartuvassa väylänkohdassa oli vastaantulija, joten alus käänsi laajalla kaarella. Automaattiohjaus käänsi liikaa vasempaan, joten vaihdettiin käsiohjaukselle ja korjattiin oikealle. Korjaus meni yli ja alus ajoi saaren rantaan.	SE, 9 m/s
6.	MS Silja Europa ja MY Flanör Yhteentörmäys	20.8.1997	Rågrund	Onnettomuustutkintaraportti puuttuu.	-
7.	MS Finnfellow Karilleajo	2.4.2000	Överön pohjoispuoli.	Aluksen hyrräkompassi antoi virheellistä kurssitietoa automaattiohjauslaitteelle. Alus kääntyi oikealle, eikä käsiohjausta saatu ajoissa päälle estämään Överön Bockholmin rantaan ajautumista. Alus sai vuotoja painolastitankkeihin sekä keulapotkurihuoneeseen.	N, 6 m/s
8.	MS Cindy Karilleajo	17.9.2001 22:51	Järsön eteläpuolella Prästskärin alueella.	Maakuntalautta Ejdernin kohtaamisen takia käännös myöhästyi.	E, 8 m/s
9.	MS Isabella Karilleajo	20.12.2001	Staholmin luona	Onnettomuustutkintaraportti puuttuu.	-

5.4.3 Suomen merialueiden onnettomuustilastoihin perustuva ennuste tarkasteltaville väylille

VTT Tuotteet ja tuotanto suoritti vuonna 2003 toimeksiannon [19], jonka yhteydessä määritettiin vuosina 1990-2000 Suomen merialueen väylillä tapahtuneiden onnettomuuksien keskimääräinen taajuus kuljettua väyläkilometriä kohden. Tarkastelu perustui lähteen [3]

onnettomuustilastoihin, Suomen merisatamien liikennetilastoihin tarkasteltavalta ajanjaksolta sekä Merenkulkulaitokselta saatuihin tietoihin Suomen meriväylien pituuksista.

Näitä taajuuslukuja käyttäen laskettiin arviot onnettomuuksien vuotuisesta määrästä Turun ja Ahvenanmaan väliselle linjaliikenteelle tarkasteltavalla väyläosuudella. Arvio on laskettu erikseen sekä vuodelle 2003 että vuodelle 2015 ja se koskee nykyistä Nyhamn-Rödsjär-väylää. Väylän pituutena käytettiin 80,7 km, ja tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 6). Taulukossa on myös esitetty lähtökohtana käytetyt Suomen merialueille tyypilliset erityyppisten onnettomuuksien keskimääräiset esiintymistaajuudet kuljettua väyläkilometriä kohden.

Taulukko 6 Onnettomuustaajuuden arvioon kuljettua kilometriä kohden perustuvat ennusteet onnettomuuksien vuotuisesta määrästä Turun ja Ahvenanmaan väliselle linjaliikenteelle Nyhamn-Rödsjär-väylällä. Taulukossa olevat lähtökohtana käytetyt onnettomuustaajuuksien arvot on saatu lähteestä [19].

Onnettomuustyyppi	Sulan veden aikana [tap./km]	Jääpeitteen aikana [tap./km]	Onnettom. sulan veden aikana v.2003 [tap./vuosi]	Onnettom. jääpeitteen aikana v.2003 [tap./vuosi]	Onnettom. sulan veden aikana v.2015 [tap./vuosi]	Onnettom. jääpeitteen aikana v.2015 [tap./vuosi]
Yhteentörmäys (kauppa-alue/kauppa-alue)	6,25E-07	2,27E-07	0,264	0,048	0,388	0,0704
Yhteentörmäys (kauppa-alue/huvivene)	3,41E-07	-	0,144		0,212	
Yhteentörmäys (murtaja)	-	2,27E-06		0,48		0,704
Hengenmenetykset (huvivene)	2,27E-07	-	0,0959		0,141	
Karilleajo	9,26E-06	1,36E-06	3,91	0,287	5,75	0,422

Vertailtaessa edellä olevan taulukon 6 mukaista 11 vuoden aikana tapahtuneiden onnettomuuksien määrää - 7 tapahtunutta karilleajoa (= 0,63 tapausta/vuosi) ja 1 tapahtunut yhteentörmäys (=0,09 tapausta/vuosi) - koko Suomen merialueilla tapahtuneiden onnettomuuksien ja kuljettujen väyläkilometrien perusteella laadittuun ennusteeseen tässä tarkasteltavalle väyläpituudelle ja liikennemäärälle havaitaan ennusteen antavan selvästi korkeampia onnettomuusmääriä. Ennusteen mukaan vuoden 2003 liikennemäärällä tarkasteltavana olevalla väylällä tapahtuisi keskimäärin 0,456 yhteentörmäystä ja 4,197 karilleajoa vuodessa, joka on noin viisin-kuusinkertainen määrä todellisuudessa tapahtuneisiin ja kirjattuihin onnettomuuksiin verrattuna.

Yksi selitys tällä väylällä tapahtuneiden onnettomuuksien vähäisyyden lienee siinä, että tarkasteltavan väylän liikenne on lähes kokonaan aikataulunmukaista linjaliikennettä hyväkuntoisilla aluksilla, jossa alusten kohtaamiset pystytään varsin pitkälti ennakoimaan etukäteen. Edellä saatu tulos vaatisi kuitenkin vahvistukseen tarkempia selvityksiä.

6 Kökarin väylän ja nykyisen väylän vertailu simulaattoriajajojen avulla

6.1 Johdanto

Suunnitellun Kökarin väylän riskitarkasteluun liittyen ajettiin VTT:n järjestelmäsimulaattorissa reaaliaikaisia ja nopeutettuja simulointeja. Simulointien tarkoituksena oli vertailla nykyisen Turku – Ahvenanmaa väylän ja suunnitellun Kökarin väylän navigoitavuutta suurella autolautalla. Laivamallina simuloinneissa käytettiin MS Silja Europaa, joka on suurin väylää nykyisin käyttävä autolautta, ja joka on myös Kökarin väyläsuunnitelman mitoitusalus.

6.2 Väyläsuunnitelma

Länteen mentäessä uusi väylä erkanelee Naantali - Utö 13 metrin väylältä Kalkskärskobbin luona jatkuen Kökarin pohjoispuolitse länsilounaaseen. Väylän itäpäässä on kaksi vaihtoehtoista linjausta.

Uusi Kökarin väylä on selvästi nykyistä lyhyempi, jos laivan ei tarvitse poiketa Ahvenanmaalla. Maarianhaminan kautta ajettaessa väylät ovat käytännössä samanpituiset. Långnäsissa käynti on luonnollisesti helpompaa nykyistä väylää käyttämällä, sillä Kökarin väylän kautta ajettaessa tulee huomattavan pitkä osuus ajettavaksi edestakaisin.

6.3 Simulaattori

VTT:n järjestelmäsimulaattori on kehitetty joustavaan laivan ohjailun simulointiin tutkimus-, tuotekehitys- ja koulutuskäytössä. Simulaattori perustuu nopeaan reaaliaikaiseen mikroverkkoon. Suuri osa simulointiohjelmistosta ja simulointimallit ovat yhteisiä pöytäsimulaattorin (DTS) kanssa. Näyttöjärjestelmänä simulaattorissa on yksinkertaistettu elektroninen merikartta, joka sisältää myös ennustenäytön.

Simulaattorin laivamallit ovat modulaarisia laajan nopeusalueen simulointimalleja. Modulaarinen simulointimalli muodostuu erillisistä osista kuten: runko, potkuri, peräsin, pääkone, poikittaistyöntölaite ja kansirakennus, joita voidaan yhdistellä halutulla tavalla.

6.4 Simuloinnit

Simuloinnit toteutettiin VTT:n järjestelmäsimulaattorissa reaaliaikaisina ja nopeutettuina. Reaaliaikaisia simulointeja oli ajamassa linjaluotseja ja päälliköitä Finnlinesilta, Seawindiltä, Silja Linelta ja Viking Linelta, eli reitillä säännöllistä linjaliikennettä harjoittavista varustamoista.

Simuloinnit ajettiin käyttämällä simulaattorissa valmiina olevaa Silja Europan simulointimallia. Silja Europa on pituudeltaan ja tuulipinnaltaan suurin väylää nykyisin käytävistä laivoista. Laivan päämitat on annettu Taulukko 7:ssä.

Taulukko 7. MS Silja Europan päämitat.

Pituus	201,8 m
Leveys	32,6 m
Syväys	7,6 m

6.5 Tulokset

6.5.1 Reaaliaikaiset simuloinnit

Kahdessa päivässä simulaattorissa ajettiin yhteensä 14 ajoa (Taulukko 8). Ajot keskitettiin Kökarin pohjoispuoleiselle osalle väylää, nykyistä väylää ei ajettu simulaattorissa reaaliaikaisena. Länteenpäin ajot aloitettiin 13 metrin väylältä ja lopetettiin Kökarin sivuuttamisen jälkeen. Itäänpäin ajot aloitettiin ennen Barrskärin käännöstä ja lopetettiin Smågaddarnan kapeikkojen jälkeen. Kaksi viimeistä ajoa ajettiin kiertäen Snodgrundin ympäri eteläkautta.

Taulukko 8 Reaaliaikaiset simuloinnit.

Ajo n:o	Ajosuunta	Tuuli [°]	Tuuli [m/s]	Kommentti
1	länteen	-	0	
2	itään	225	14	
3	itään	0	14	
5	länteen	330	21	
6	länteen	225	21	
8	länteen	-	0	
9	länteen	-	0	
10	itään	0	14	
11	itään	0	16	
12	itään	0	14	
13	länteen	225	14	
14	länteen	0	21	
15	länteen	225	21	Snodgrund kiertäen
16,17	itään	180	21	Snodgrund kiertäen

Ensimmäiset simuloinnit kumpanakin päivänä ajettiin ilman tuulta. Myöhemmissä ajoissa tuulta lisättiin aina 21 m/s saakka. Reaaliaikaisten simulointiajojen tulostukset on esitetty liitteessä 11.

6.5.2 Nopeutetut simuloinnit

Tuulirajojen määrittämiseen tarvittavan suuren simulointimäärän takia suurin osa simuloinneista ajettiin nopeutettuina ajoina autopilotin ohjaamana. Liiketilän laskenta tapahtuu nopeutetuissa simuloinneissa samoja malleja käyttäen kuin reaaliaikaisetkin simuloinnit, mutta mallia ohjaa autopilotti. Laskenta tapahtuu noin 10-kertaisella nopeudella reaaliaikaiseen verrattuna. Linjaluotsien ja päälliköiden ajamiin simulointien tuloksia käytettiin hyväksi Kökarin väylän nopeutettuja simulointeja suunniteltaessa. Silja Europalta saatuja reittisuunnitelmia käytettiin nykyisen väylän nopeutetuissa simuloinneissa.

Nopeutetut simuloinnit ajetaan yleensä sarja-ajoina, niin että kaikki tuulen suunnat tarkastellaan valituin välein. Tietyllä tuulen suunnalla tuulen nopeutta kasvatetaan, kunnes laivan ohjaaminen ei enää onnistu ja laiva ajautuu väylän ulkopuolelle.

Nopeutetut simuloinnit ajettiin sarja-ajoina yhdelle väylälle yksi ajosuunta kerrallaan kaikissa tuuliolosuhteissa. Tietyllä tuulen suunnalla ensimmäisen ajon jälkeen seuraava tuulen nopeus valitaan automaattisesti edellisen ajon tuloksen perusteella. Jos ensimmäinen ajo onnistuu, tuulen nopeutta kasvatetaan 4 m/s, jos ajo päättyy ulosajoon väylältä, tuulen nopeutta lasketaan 4 m/s. Yhden onnistuneen ja yhden epäonnistuneen ajon jälkeen tuulen nopeuden muutos on 2 m/s jne. Nopeutetuissa simuloinneissa ajettiin kaikki tuulen suunnat 22,5 asteen välein.

Simuloinneissa käytetty track-autopilotti pyrkii ajamaan laivaa karttaan piirrettyä väylän keski-linjaa pitkin. Eri väylänosille on annettu ohjeelliset nopeudet, minkä autopilotin nopeussäätö pyrkii pitämään vasta- tai myötätuulesta tai peräsimen käytöstä riippumatta. Ulosajon rajat (= laivan uloimman kohdan poikkeama väylän keskilinjalta) on määritelty kullekin väylänosalle erikseen ko. väylänosan kapeimman kohdan mukaan.

Taulukko 9:ssä on esitetty suurimmat keskituulen nopeudet autopilottisimuloinneissa molemmille väylille. Tuulen nopeutta edelleen kasvatettaessa tapahtuvien ulosajojen paikat ja tuuliolosuhteet on merkitty Luvun 6.6 kuvissa (Kuva 18 – Kuva 27). Joillakin tuulen suunnilla on simulointia jatkettu vielä ensimmäisen ulosajokohdan jälkeen mahdollisesti myöhemmin tulevien vaikeiden kohtien löytämiseen.

Silja Europa selvitti autopilottisimuloinneissa huomattavan korkeita tuulen nopeuksia. Laivalla on hyvät ohjailuominaisuudet ja tehokkaat peräsimet. Laivakohtaiset tuulirajat riippuvat laivan nopeudesta. Väyläajossa käytetyt nopeudet olivat alhaisimmillaan 14 solmua. Kohtuullisella tarkkuudella voidaan sanoa, että tuulirajat väyläajossa peräsinohjauksessa riippuvat tuulen nopeuden ja laivan nopeuden suhteesta. Mikäli laivan nopeutta hidastetaan, laskevat tuulirajat vastaavasti. Laivat yleensä pärjäävät merellä ja väylällä kovassakin tuulessa, mutta satamakäyntejä esimerkiksi Ahvenanmaalla joudutaan tuulen takia jättämään väliin joitakin kertoja vuodessa.

Taulukko 9 Nykyisen ja Kökarin väylän tuulirajoja Silja Europalle.

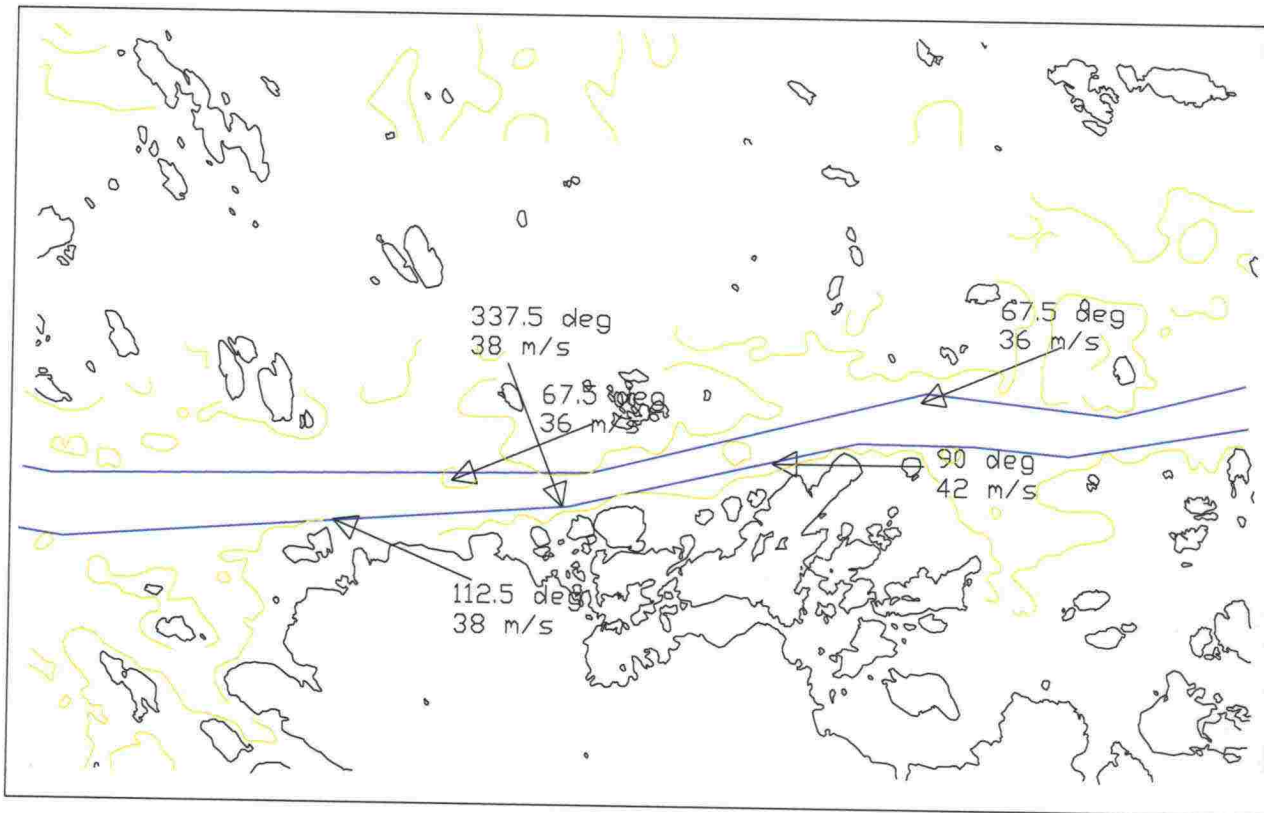
Tuulen suunta	Nykyinen länteen	Kökar länteen	Nykyinen itään	Kökar itään
[°]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
0,0	36	42	42	34
22,5	38	38	42	38
45,0	42	42	42	42
67,5	38	34	42	42
90,0	42	38	42	38
112,5	38	36	42	36
135,0	42	42	38	33
157,5	42	38	38	38
180,0	42	38	38	38
202,5	42	42	36	38
225,0	42	42	42	42
247,5	42	42	42	34
270,0	42	42	38	38
292,5	38	36	42	33
315,0	38	42	42	42
337,5	38	36	42	36

6.6 Tulosten tarkastelu

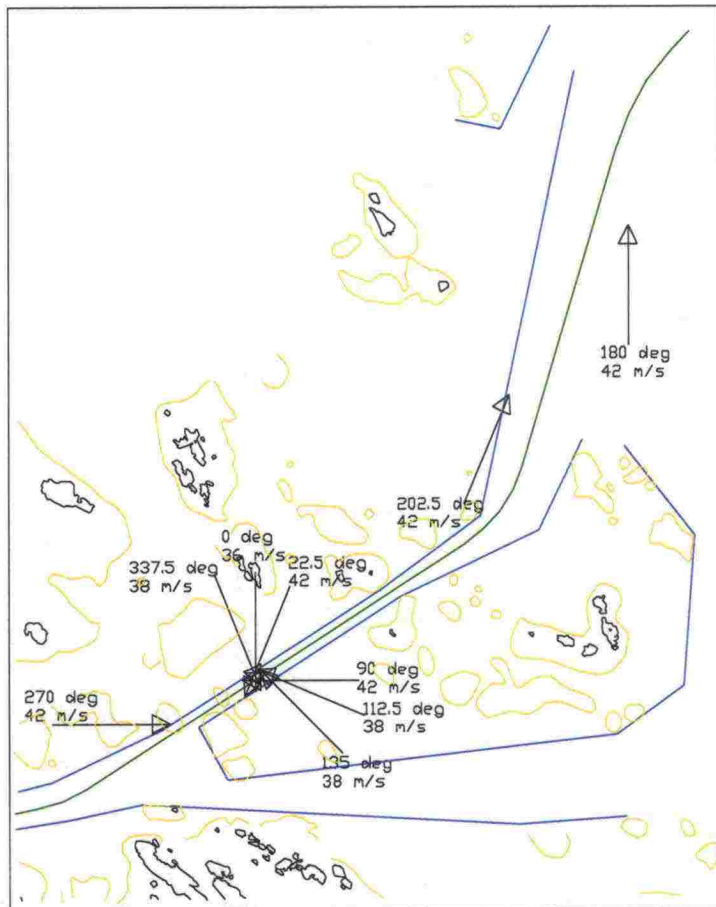
Simulointien perusteella uusi Kökarin väylä on ajettavissa Silja Europalla alueella todennäköisesti esiintyvissä tuuliolosuhteissa. Yli 20 m/s tuulen esiintymistodennäköisyys alueella on 0,2 % (luku 5.2). Suurilla tuulen nopeuksilla simulointien ulosajot keskittyvät väylän kapeikkoon Smågaddarnan luona. Myös reaaliaikaisissa simuloinneissa tämä kohta havaittiin väylän vaikeimmaksi paikaksi. Hieman pitempi, mutta parempi vaihtoehto olisi johtaa väylä Snodgrundin ympäri. Tätä vaihtoehtoa kokeiltiin reaaliaikaisissa simuloinneissa, mutta nopeutettuja simulointeja ei ajettu Snodgrundin ympäri.



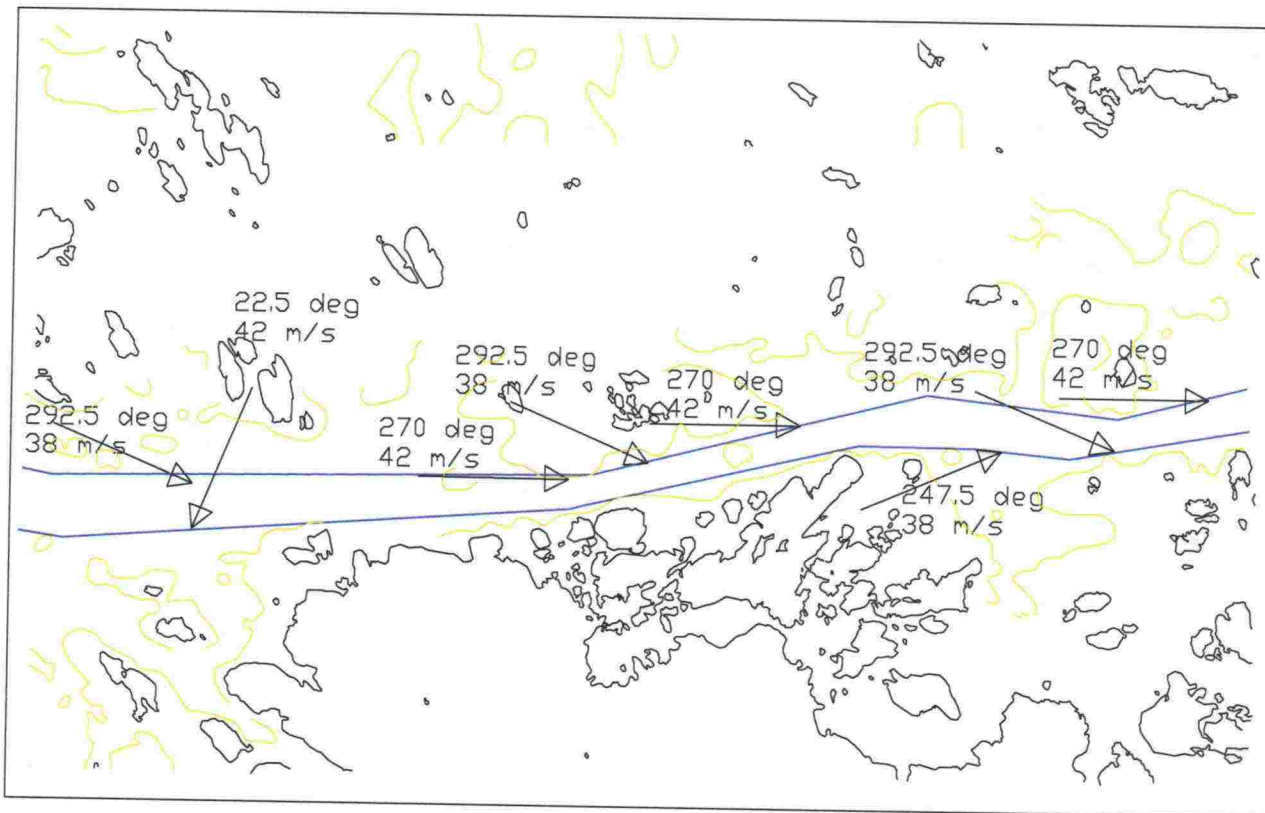
Kuva 18 Ulosajokohdat Kökarin väylällä länteenpäin ajettaessa. Tuulen suunta ja voimakkuus esitetty nuolella.



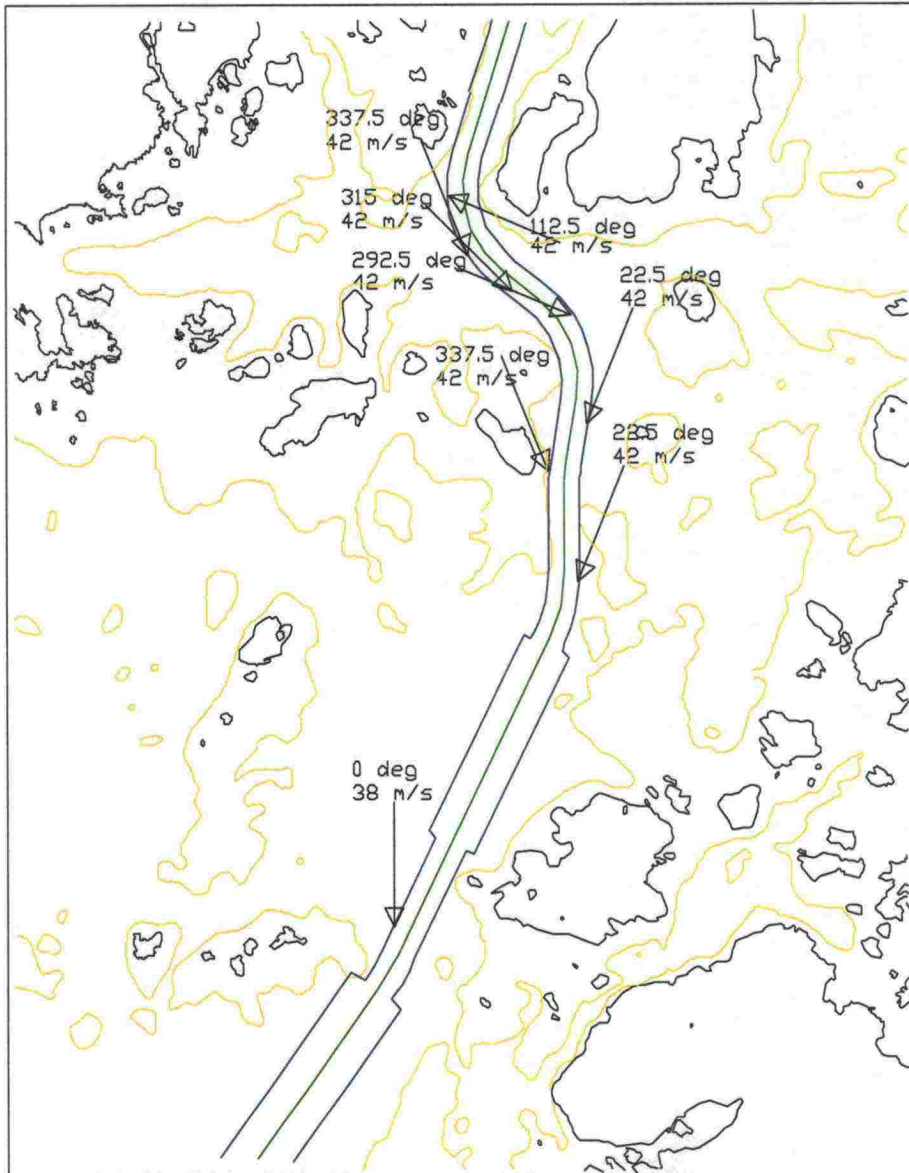
Kuva 19 Ulosajokohdat Kökarin väylällä länteen päin ajettaessa. Tuulen suunta ja voimakkuus esitetty nuolella.



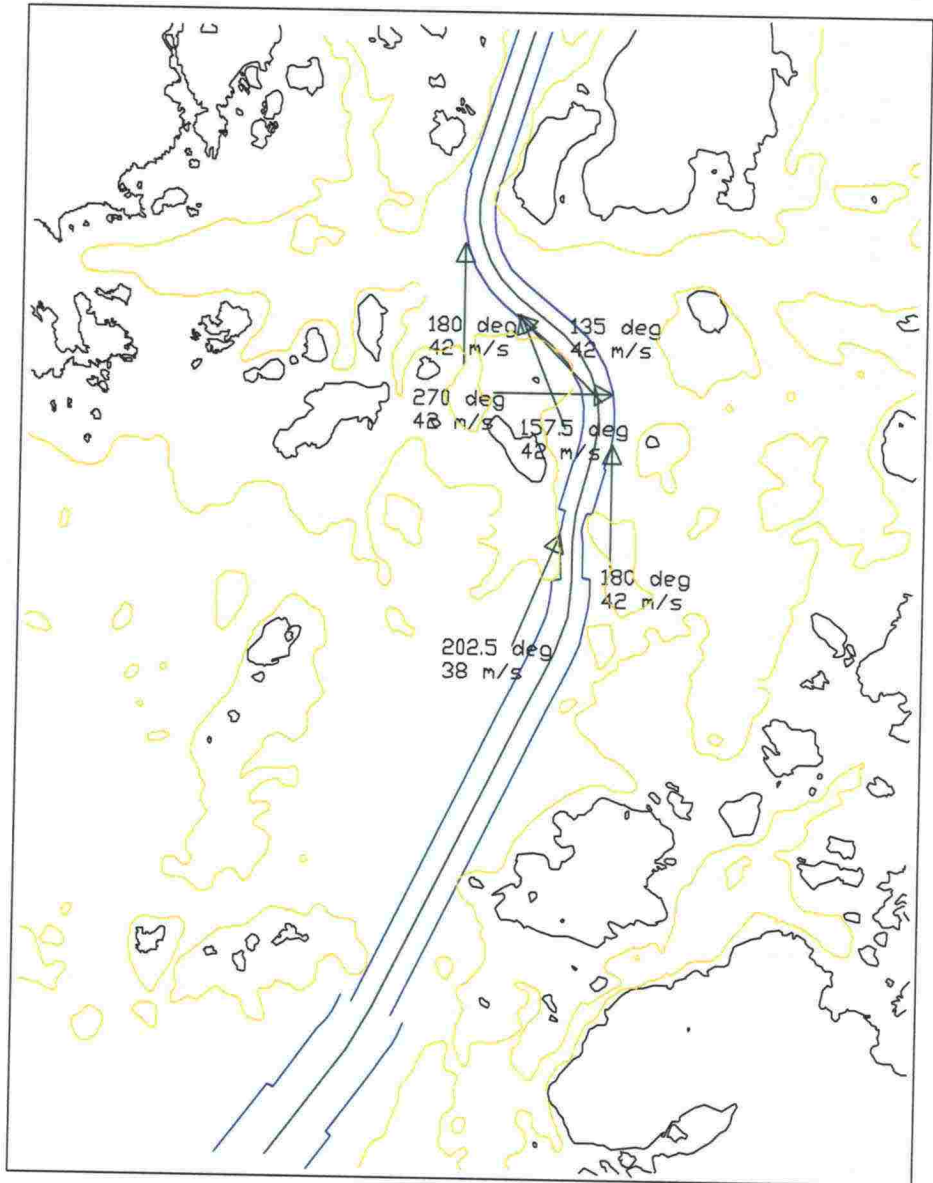
Kuva 20 Ulosajokohdat Kökarin väylällä itäänpäin ajettaessa. Tuulen suunta ja voimakkuus esitetty nuolella.



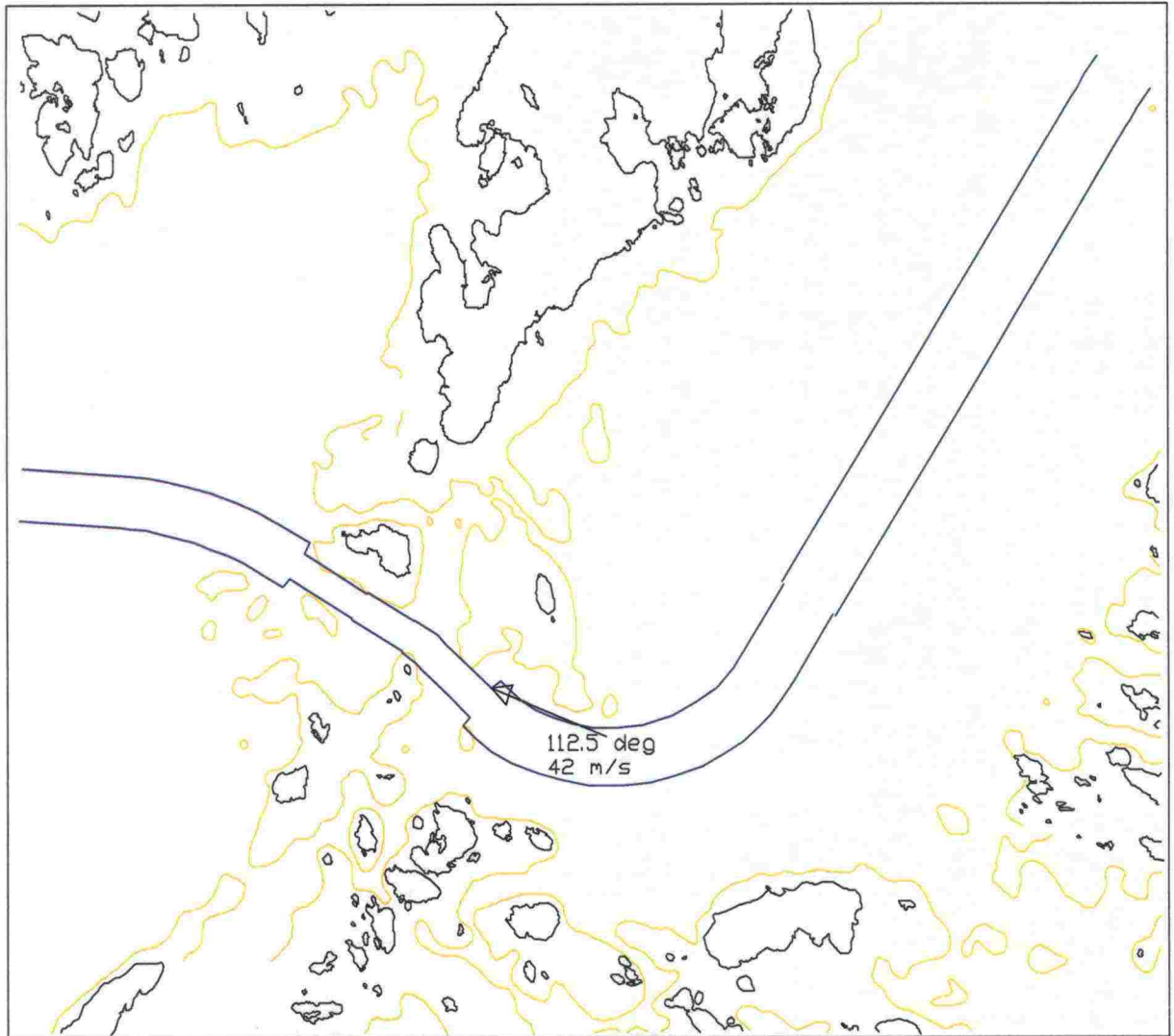
Kuva 21 Ulosajokohtat Kökarin väylällä itäänpäin ajettaessa. Tuulen suunta ja voimakkuus esitetty nuolella.



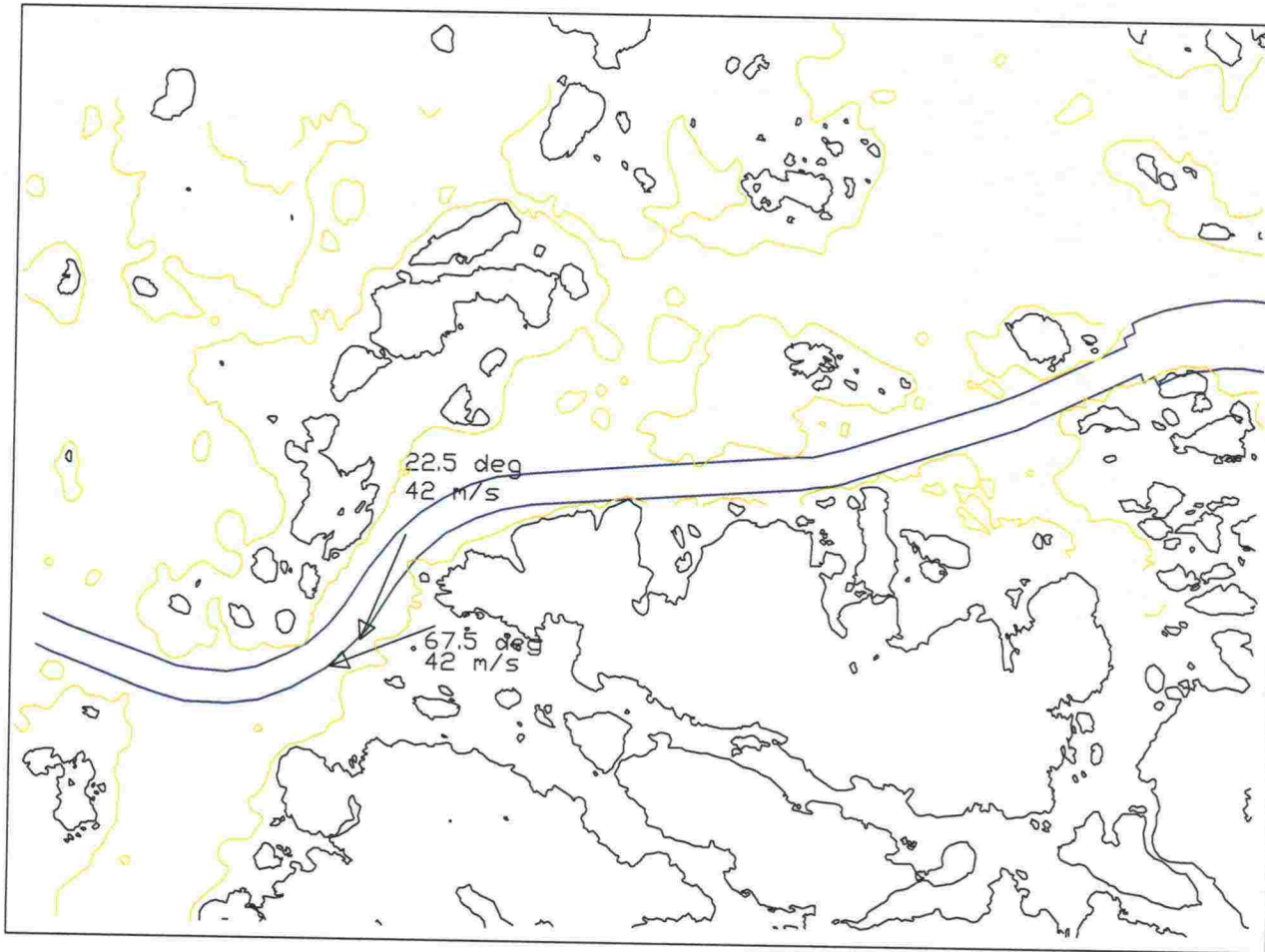
Kuva 22 Ulosajokohdat nykyisellä väylällä länteenpäin ajettaessa. Tuulen suunta ja voimakkuus esitetty nuolella.



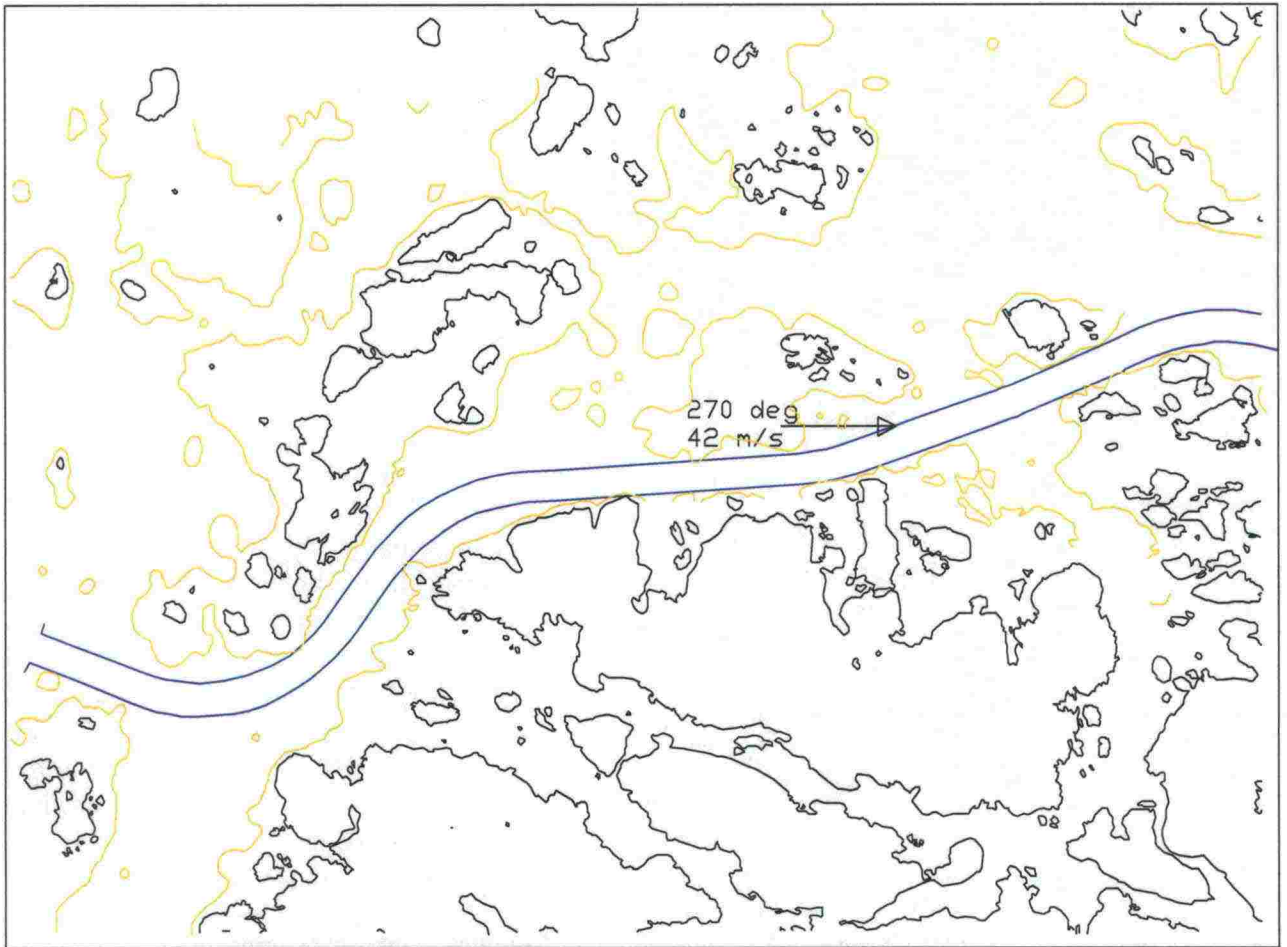
Kuva 24 Ulosajokohdat nykyisellä väylällä itäänpäin ajettaessa. Tuulen suunta ja voimakkuus esitetty nuolella.



Kuva 25 Ulosajokohdat nykyisellä väylällä länteenpäin ajettaessa. Tuulen suunta ja voimakkuus esitetty nuolella.



Kuva 26 Ulosajokohdat nykyisellä väylällä länteen päin ajettaessa. Tuulen suunta ja voimakkuus esitetty nuolella.



Kuva 27 Ulosajokohdat nykyisellä väylällä itään päin ajettaessa. Tuulen suunta ja voimakkuus esitetty nuolella.

7 Karilleajoriskin arvioiminen regressiomenetelmän avulla

7.1 Menetelmän kuvaus

Nyhamn-Rödsjär-väylän ja suunnitellun Kökarin väylän karilleajoriskin tarkastelussa käytettiin menetelmää, jota on aiemmin sovellettu Kihti-Isokari-väylähankkeeseen liittyvässä karilleajoriskivertailussa. [28-31]. Menetelmässä väylien väliset erot onnettomuustodennäköisyyksissä selitetään johtuvan väylien ja niitä ympäröivien merialueiden geometriasta, väylien merkinnästä ja laivaliikenteestä väylillä. Regressiomallin perustana olivat yhdeksän Suomen meriväylää, jotka on lueteltu seuraavassa taulukossa (Taulukko 10).

Valitut väylät jaettiin linjoihin, joista väylä muodostuu. Kultakin linjalta määritettiin väylän mitoitusaluksena käytetyn aluksen päämitat ja liikenteen määrä linjalla. Linjaan liittyvinä geometriatietoina määritettiin linjan pituus, syvyys ja väyläalueen leveys linjalla. Lisäksi määritettiin matalikkojen ja rantaviivan osuus linjan väyläalueen läheisyydessä. Erityisesti määritettiin väyläalueen leveys ja syvyys linjan alku- ja loppupäässä sekä kurssinmuutoksen suuruus linjalle tultaessa ja linjalta poistuttaessa. Määritettävien suureiden luettelo käy ilmi Taulukko 14:sta. Linjaa kuvaavien liikenne- ja geometriasuureiden lisäksi määritettiin onko kyseisellä linjalla sattunut karilleajoja. Näistä perusmuuttujista muodostettiin edelleen regressiomallia varten uudet dimensiottomat muuttujat, jotka on esitetty Liitteen 12 Taulukossa 1. Kerättyjen lähtötietojen avulla muodostettiin regressioanalyysin avulla regressioyhtälö, jota voidaan käyttää jonkun muun linjan karilleajoalttiuden määrittämisessä. On vain tunnettava linjaan liittyvät samat perussuureet, jotka määritettiin regressiomallin lähtötietoina käytetyille linjoille.

Tilastollisen mallin pätevyys riippuu aina suuresti siitä tiedostosta, jonka perusteella se on muodostettu. Esitetty regressioyhtälö pätee lähinnä sellaisille linjoille, joilla kaavassa esiintyvät muuttujat ovat samojen rajojen sisällä kuin mallin muodostamisessa käytetyssä perustiedostossa. Taulukko 11:ssä esitettyjen muuttujien pätevyysalueet käyvät ilmi Taulukko 13:sta. Kun onnettomuusriski jokaisella väylän linjalla tunnetaan, voidaan koko väylän onnettomuusriski laskea todennäköisyyslaskennan avulla.

Tämä regressiomalliin perustuva lähestymistapa mahdollistaa kyllin samantyyppisen tilastoaineiston käyttämisen tilanteessa, jossa arvioidaan ja verrataan tietyn yksittäisen väylän geometrian vaikutusta karilleajotodennäköisyyteen suhteessa toiseen vastaavaan väylään. Vaikka luotu regressiomalli perustuu Suomen rannikkoväylien onnettomuus- ja liikennetilastoihin vuosilta 1970-1980, eikä regressiomallin päivittäminen tämän projektin puitteissa ollut mahdollista, oletetaan menetelmän soveltuvan kuitenkin tässä tarkasteltavien kahden väylän vertailuun.

Taulukko 10 Regressioanalyysin lähdeaineistona käytetyt väylät.

Väylä	Kulkusyvyyys
Haminan vanha väylä	9,0 m
Loviisan vanha väylä	7,3 m
Rauman vanha väylä	7,3 m
Uusikaupunki – Isomatala	10,0 m
Kaskinen	8,0 m
Vaasa	8,0 m
Oulun tuloväylä	8,0 m
Oulu – Kemi rannikkoväylä	10,0 m
Veitsiluoto	7,3 m

Regressiomallin avulla on muodostettu yhtälö, jolla voidaan arvioida riski, millä laivaonnettomuus, kuten esimerkiksi pohjakosketus, tapahtuu ko. linjalla. Tarkastelussa käytetty regressioyhtälö on muodoltaan seuraava:

$$K_{\text{exp}} = Q = e^{(a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n) \times L} - 0,3 \quad (1)$$

$$Q = a_0 + a_2 K_{\text{exp}}^2 + a_3 K_{\text{exp}}^3 + a_4 K_{\text{exp}}^4 \quad (2)$$

Missä Q on onnettomuuksien määrä kullakin linjalla ja kaavojen (1) ja (2) kertoimet ja muuttujat on määritelty taulukoissa Taulukko 11 ja Taulukko 12.

Taulukko 11 Linjan onnettomuuslukumäärän regressiomallin kertoimet.

x_i	Määritelmä	a_i
	vakiotermin a_0	-0,917144
x_1	Mutka1	0,977387
x_2	Lesysuh ²	-0,000571
x_3	Supore ²	-1,699744 × 10 ⁻⁸
x_4	Mutka1 ²	-0,084383
x_5	Mutkat ²	-0,1745 × 10 ⁻⁵
x_6	Xkalev1 ³	-0,204374
x_7	Absmut2 ³	-0,3199 × 10 ⁻⁵
x_8	Shsmut5 ³	0,444440
L	Laivojen lukumäärä / 10000	

Taulukko 12 Linjan onnettomuusennusteyhtälön kertoimet

x_i	Määritelmä	a_i
	vakiotermin a_0	0,079483
K_2	K_{exp}^2	9,525093
K_3	K_{exp}^3	-12,821343
K_4	K_{exp}^4	4,462186

Taulukko 13 Regressiomallin pätevyysalueet.

Muuttuja	Minimi	Maksimi
Mutka ¹	0	4,715
Lesysuh ²	0	26,177
Supore ²	2,489	905,944
Mutka1 ²	4523,56	10295768,9
Mutkat ²	0	584844,3
Xkalev1 ³	0,00001556	9,213
Absmut2 ³	0	296228,1
Shsmut5 ³	0	5,231

Taulukko 14 Kultakin väylälinjalta määritettävät väylägeometriaan liittyvät parametrit.

Parametrin nimi	Selitys	Määritelmä
APIT	Mitoitusaluksen pituus [m]	
ALEV	Mitoitusaluksen leveys [m]	
ASYV	Mitoitusaluksen syväys [m]	
LAI7080	Linjalla kulkeneiden alusten lukumäärä	
NET7080	Linjalla kulkeneiden alusten yhteenlaskettu tonnimäärä	
LINJPIT	Linjan pituus [m]	
LINJLEV	Linjan leveys [m]	
LINJSYV	Linjan syvyys [m]	
MATALAT	Matalikkojen pituuden suhde linjan pituuteen	Matalikkojen osuus (-5 m:n syvyyskäyrä) $\pm 0,2$ nm väyläalueen ulkopuolella. Peräkkäisten matalikkojen välin tulee olla yli 0,5 nm, jotta matalikot luetaan erillisiksi.
RANTAVI	Rantaviivan pituuden suhde linjan pituuteen	Rantaviivan osuus $\pm 0,6$ nm väyläalueen ulkopuolella..
PORTIT	Reunamerkkiparien lukumäärä	
REUNMER	Yksittäisten reunamerkkien lukumäärä	
KSYV1	Linjan syvyys alkupään käännöspaikalla	$\frac{1}{4}$ linjan pituudesta
KSYV2	Linjan syvyys loppupään käännöspaikalla	$\frac{1}{4}$ linjan pituudesta
KALEV1	Linjan leveys alkupään käännöspaikalla / Linjan leveys	$\frac{1}{4}$ linjan pituudesta
KALEV2	Linjan leveys loppupään käännöspaikalla / Linjan leveys	$\frac{1}{4}$ linjan pituudesta
ABSMUT1	Käänöskulman suuruus linjan alkupäässä [°]	
ABSMUT2	Käänöskulman suuruus linjan loppupäässä [°]	

7.2 Laskelmien suorittaminen

Laskelmat suoritettiin samoille väylävaihtoehdoille kuin yhteentörmäysriskin arvioimiseksi suoritetuissa GRACAT-laskelmissa.

Vertailtavien väylien geometriatietojen määrittämiseksi nykyisin käytössä oleva Nyhamn-Rödsjär-väylä jaettiin 27 linjaan ja suunniteltu Kökarin väylä 13 linjaan. Kultakin linjalta määritetyt geometria- ja liikennesuureet käyvät selville Liitteen 12 Taulukoista 2 ja 3 vuoden

2003 liikennemäärille ja Taulukoista 5 ja 6 vuoden 2015 liikennemäärille. Molempien tarkasteltujen väylien linjojen numerointi ja väylien geometriasuureiden määrittystapa käyvät ilmi Liitteen 12 kartoista. Tarkastelu suoritettiin vain idästä länteen tapahtuvalle liikenteelle, jolloin liikennemäärä eri linjoilla on puolet kokonaisliikenteestä. Periaatteessa laskelmat olisi tullut suorittaa molempiin suuntiin, jolloin kokonaiskarilleajojen määrä saataisiin molempien suuntien summana. Koska tässä tarkastelussa laskelmat suoritettiin vain yhteen suuntaan, saadaan likiarvo karilleajojen määrälle kertomalla yhden suunnan tapausten määrä kahdella.

Regressiomallilla saadut tulokset on esitetty Taulukko 16:ssa suunnitellulle Kökarin väylälle ja Taulukko 15:ssa Nyhamn-Rödsjär-väylälle. Laskelmat kokonaisuudessaan on esitetty Liitteen 12 Taulukossa 4 vuoden 2003 liikennemäärille ja Taulukossa 7 vuoden 2015 liikennemäärille.

Nyhamn-Rödsjär-väylän karilleajoennustetta tarkasteltaessa kiinnittää huomiota poikkeuksellisen korkeat onnettomuusmäärät joillakin linjoilla. Nämä linjat on Taulukko 15:ssa merkitty punaisella. Tämä johtuu suureksi osaksi kunkin linjan käänöskulmiin liittyvien muuttujien ylikorostuneeseen vaikutukseen regressiomallissa. Erityisen voimakkaasti tämä näkyy linjalla 22, joka sijoittuu Staholmin ja Prästskärin väliseen merialueeseen. Tämä väylänkohta on tunnetusti vaikeasti navigoitava ja siellä on sattunut vuosina 1991-2001 tilaston (Taulukko 5) mukaan kaksi karilleajoa (MS Cindy ja MS Isabella), mutta mallin antamat ennusteet eivät kuitenkaan tältä osin ole realistisia. Tästä johtuen mallin antamia karilleajojen lukumääriä tuleekin pitää pikemminkin karilleajoalittiutta kuvaavana indeksinä kuin todellisten onnettomuuksien lukumäärän ennusteina. Mikäli mallilla haluttaisiin ennustaa todellisia onnettomuusmääriä, olisi kyseisten muuttujien suhteen syytä tehdä osaregressio niiden selityksasteen varmistamiseksi. On myös huomattava, että kyseisiin muuttujiin liittyvien alimuuttujien pätevyysalueet ylittyvät ylikorostuneiden linjojen lähtöarvoilla.

Muita mallin mukaan karilleajoalittiita alueita Nyhamn-Rödsjär-väylällä ovat Syndersjärin itä- ja länsiviittojen välinen linja (linja 17), Bockholmenin länsipuolinen linja (linja 16) ja Stora Gottholmenin luoteispuolinen linja (linja 20) alueella, missä Långnäsiin johtava väylä haarautuu. Kaikissa näissä kurssinmuutos linjalle tultaessa ja linjalta poistuttaessa on yli 30°.

Suunnitellulla Kökarin väylällä mallin mukaan karilleajokriittisiä alueita ovat Rönnbackskärin pohjoispuoli (linja 3), Kökarin yhteysalusten ja pääväylän risteysalue (linja 7), Kuggholms kobbenin pohjoispuoli (linja 4) sekä Björkörin pohjoispuoli (linja 12). Yhteisenä selittäväenä tekijänä kyseisille linjoille voidaan pitää väyläalueen kapeutta ja rantaviivojen sijoittumista väyläalueen läheisyyteen.

Regressiomallin antamia tuloksia voidaan pitää myös siihen nähden oikeansuuntaisina, että suoritettujen nopeutettujen simulaattoriajot tunnistivat useimmat yllämainitusta karilleajokohteista, kuten simulaattoriajot tuloskuvista voidaan havaita. Nyhamn-Rödsjär-väylän linjalla 22 kaikkiaan 8 ulosajoa (Kuva 22), linjalla 16 yksi ulosajo ja linjalla 17 yksi ulosajo (Kuva 26). Linjalla 20 ei simulaattoriajoissa sattunut ulosajoja.

Kökarin väylällä ei mikään linja ollut regressiomallin mukaan yhtä karilleajoherkkä kuin yllä mainitut Nyhamn-Rödsjär-väylän linjat. Kuitenkin linjalla 3 tapahtui kaksi ulosajoa (Kuva 21), linjalla 4 kaksi ulosajoa (Kuva 19 ja Kuva 21). Regression tunnistamalla linjoilla 7 ja 12 ei simulaattoriajoissa tapahtunut ulosajoja.

Taulukko 15 Regressiokaavalla saadut tulokset Nyhamn-Rödskär-väylälle.

Linja n:o	Karilleajoa vuodessa vuoden 2003 liikenne länteen	Onnettomuus todennäköisyys vuoden 2003 liikenne länteen	Karilleajoa vuodessa vuoden 2015 liikenne länteen	Onnettomuus todennäköisyys vuoden 2015 liikenne länteen
1	0,154	3,80E-05	0,243	4,21E-05
2	0,378	1,02E-04	0,489	9,28E-05
3	0,089	2,06E-05	0,080	1,29E-05
4	0,208	4,81E-05	0,218	3,52E-05
5	0,204	4,71E-05	0,211	3,42E-05
6	0,121	2,88E-05	0,103	1,72E-05
7	0,161	3,97E-05	0,151	2,60E-05
8	0,786	1,94E-04	1,384	2,39E-04
9	0,372	9,20E-05	0,498	8,61E-05
10	1,221	3,02E-04	2,491	4,31E-04
11	0,139	2,96E-05	0,222	3,29E-05
12	0,503	9,33E-05	0,756	9,80E-05
13	2,327	4,32E-04	5,870	7,61E-04
14	0,305	5,65E-05	0,376	4,87E-05
15	0,326	5,28E-05	0,413	4,68E-05
16	3,281	5,32E-04	9,283	1,05E-03
17	4,179	9,59E-04	12,847	2,06E-03
18	0,755	1,75E-04	1,310	2,13E-04
19	0,530	1,21E-04	0,811	1,30E-04
20	2,730	6,26E-04	7,262	1,16E-03
21	0,158	1,18E-04	0,147	7,69E-05
22	28,081	5,30E-03	179,340	2,37E-02
23	2,661	4,38E-04	7,018	8,08E-04
24	0,689	1,71E-04	1,159	2,02E-04
25	0,156	8,28E-05	0,247	9,15E-05
26	0,268	3,28E-04	0,314	2,68E-04
27	0,252	3,08E-04	0,287	2,45E-04
Koko väylä	51,030	0,011	233,527	0,032

Taulukko 16 Regressiokaavalla saadut tulokset suunnitellulle Kökarin väylälle

Linja n:o	Karilleajoa vuodessa vuoden 2003 liikenne länteen	Onnettomuus todennäköisyys vuoden 2003 liikenne länteen	Karilleajoa vuodessa vuoden 2015 liikenne länteen	Onnettomuus todennäköisyys vuoden 2015 liikenne länteen
0	0,499	1,08E-04	0,575	8,67E-05
1	0,081	1,77E-05	0,102	1,56E-05
2	0,323	7,08E-05	0,408	6,26E-05
3	0,880	1,93E-04	1,611	2,47E-04
4	0,813	1,78E-04	1,449	2,22E-04
5	0,574	1,26E-04	0,905	1,39E-04
6	0,211	4,90E-05	0,222	3,60E-05
7	0,816	1,82E-04	1,456	2,27E-04
8	0,533	1,32E-04	0,817	1,41E-04
9	0,083	2,05E-05	0,110	1,91E-05
10	0,203	5,02E-05	0,310	5,36E-05
11	0,080	2,67E-05	0,095	2,22E-05
12	0,813	2,72E-04	1,448	3,39E-04
Koko väylä	5,910	0,001	9,510	0,002

7.3 Karilleajoennusteen antamien tulosten vertailu onnettomuustilastoihin ja tarkastelusta tehtävät johtopäätökset

Regressiomallin antamat ennusteet karilleajojen määrälle sekä Nyhamn-Rödsjär-väylälle, että suunnitellulle Kökarin väylälle on koottu alla olevaan taulukkoon (Taulukko 17). Vertailun vuoksi taulukkoon on otettu Nyhamn-Rödsjär-väylällä vuosina 1991-2001 sattuneista karilleajoista määritetty keskimääräinen karilleajotaajuus sekä myös vuosien 1990-2000 koko Suomen karilleajotaajuuteen perustuva arvo (Ks. luku 5.4.3).

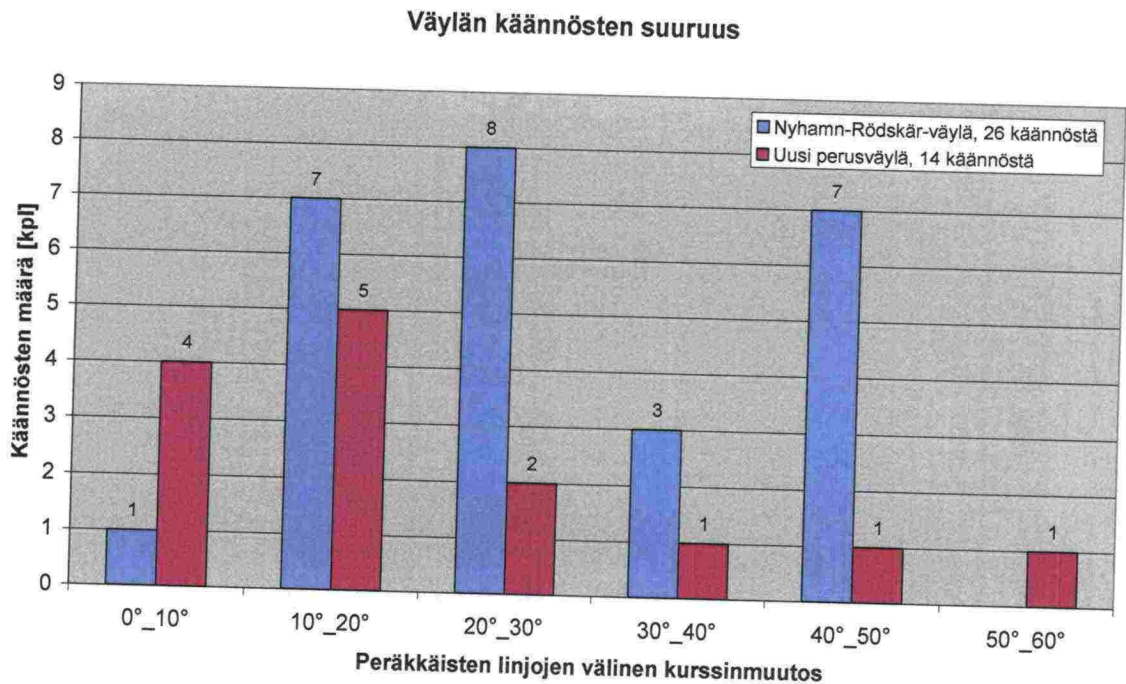
Regressiomallin ennuste Kökarin väylälle on suuruusluokaltaan jonkin verran korkeampi kuin koko Suomen onnettomuustaajuudesta määritetty ennuste, johon verrattuna regression antama arvo on n. 3,2-kertainen. Nyhamn-Rödsjär-väylän regressioennuste on n. 25-kertainen koko Suomen onnettomuustaajuuteen verrattuna, tapahtuneisiin karilleajoihin verrattuna n. 170-kertainen.

Onnettomuustilastojen [3] mukaan 41%:ssa kaikista karilleajoista on syynä navigointivirhe. Vaikka tutkimuksessa käytetty regressiomalli ylikorostaa suurten käännösten karilleajoa lisäävää vaikutusta, on sen antama ennuste kuitenkin oikeansuuntainen. On varsin loogista ajatella, että väylä, jolla on useita suuria käännöksiä, on karilleajoalttiimpi, kuin väylä, jolla on vähän käännöksiä ja jotka ovat lisäksi selvästi pienempiä. Peräkkäisten linjojen väliset kurssinmuutokset määritettiin sekä suunnitellulta Kökarin väylältä, että Nyhamn-Rödsjär-väylältä. Tulokset on esitetty pylväsdiagrammina (Kuva 28), josta nähdään, että uudella väylällä käännöksiä on määrällisesti vähemmän (14 käännöstä) kuin Nyhamn-Rödsjär-väylällä (26 käännöstä). Yli 30°:n käännöksiä uudella väylällä on vain 3 kpl kun taas nykyisellä väylällä niitä on 10 kpl. Uuden väylän ainoa yli 50°:n käännös sijaitsee alueella, jossa käännökseen on riittävästi tilaa.

Regressiokaavalla saatuja tuloksia ei tule kuitenkaan tarkastella absoluuttisina onnettomuusmäärien ennusteena, vaan karilleajoalttiutta kuvaavana indeksinä, joka paljastaa väylien navigoinnin kannalta vaikeat kohdat ja joka osoittaa muutoksen suuruutta karilleajoriskissä verrattuna tilanteeseen ennen uuden väylän käyttöönottoa. Karkeana ennusteena analyysin perusteella voidaan sanoa, että uuden väylän käyttöönotto pudottaisi karilleajoriskin lähes kymmenenteen osaan nykyisestä.

Taulukko 17 Regressiomallin antamien karilleajoennusteiden vertailu vuoden 2003 liikennemäärille Nyhamn-Rödsjär-väylällä vuosina 1991-2001 sattuneiden karilleajojen määrään sekä vuosien 1990-2000 onnettomuustilastoista laskettuihin koko Suomea koskeviin karilleajotaajuuksiin.

Väylä	Regr. [tap/vuosi] vuoden 2003 liikenne	Vuosina 1991-2001 sattuneet [tap/vuosi]	Koko Suomi [tap/vuosi] vuoden 2003 liikenne
Kökarin väylä	11,8		3,8
Nyhamn-Rödsjär-väylä	102,0	0,6	4,1



Kuva 28 Peräkkäisten väylälinjojen välinen kurssinmuutos sekä uudella että Nyhamn-Rödsjär-väylällä.

8 Alusten yhteentörmäysriskin arviointi GRACAT-ohjelmistolla

8.1 Johdanto

Pelkästään intuitioon perustuen voidaan esittää arvio, että riski alusten yhteentörmäyksille on pienempi ehdotetulla uudella Kökarin väylällä kuin nykyisin käytössä olevalla väylällä. Arviota voidaan perustella ainakin yhteysalusliikenteen ja risteyskohtien (väylältä erkaneva, väylälle liittyvä tai väylän ylittävä liikenne) vähäisemmällä määrällä uudella väylän tapauksessa. Uudella väylällä on oletettavasti odotettavissa myös huomattavasti vähemmän huviveneliikennettä kuin saariston suojassa kulkevalla vanhalla väylällä.

Yleinen arvio riskin pienemisestä ei ole kuitenkaan riittävä väylävaihtoehtojen vertailuun ja investointipäätösten pohjaksi. Vaihtoehtojen tarkempi vertailu ja kustannus-hyöty tarkastelut edellyttävät arviota myös siitä kuinka paljon pienempi riski alusten yhteentörmäyksille uudella väylällä voidaan odottaa saavutettavan nykyiseen verrattuna. Tämän arvioiminen vaatii kvantitatiivisten menetelmien käyttämistä yhteentörmäysriskin tarkasteluun. Tässä työssä yhteentörmäysriskiä eri väylävaihtoehdoilla on arvioitu GRACAT-ohjelmiston avulla. GRACAT-ohjelmistoa on sovellettu aiemmin Särkän väylän tarpeellisuusselvityksessä ja Suomenlahden Offshore VTS:n riskianalyseissa.

8.2 GRACAT-ohjelmisto

GRACAT ('Grounding and Collision Analysis Toolbox') on Tanskan teknillisessä korkeakoulussa (DTU) kehitetty analyysiohjelmisto helpottamaan karilleajoihin ja alusten yhteentörmäyksiin liittyvän riskin arvioimista. Kokemuksen perusteella karilleajot ja yhteentörmäykset ovat yleisimpiä laivoille sattuvia havereita.

GRACAT-ohjelmiston taajuusmoduulin avulla (Frequency analysis module) voidaan arvioida yhteentörmäysten ja karilleajojen vuotuinen esiintymistajuus tai todennäköisyys tietyllä ohjelmalle määritellyllä reitillä operoivalle alukselle. Ohjelma tarjoaa näin mahdollisuudet erilaisten alusten ja/tai reittien systemaattiseen vertailuun niiden edustaman onnettomuus-riskin suhteen.

Ohjelmiston vauriolaskentamalleilla (Damage analysis module) voidaan edelleen arvioida karilleajon tai yhteentörmäyksen seurauksena alukselle syntyvien vaurioiden suuruutta ja sijaintia. Ohjelmistoon sisältyy myös erillinen moduuli (Consequence analysis module) seuraustarkastelujen (vaurioituneen aluksen vakavuuden säilyminen (time to capsiz), alukselle syntyneistä vaurioista johtuvan öljypäästön suuruus) tekemistä varten. Näitä moduleita ei kuitenkaan ole hyödynnetty tässä tutkimuksessa.

Onnettomuustajuuksien laskenta perustuu tarkasteltavan laivaliikenteen toimintaympäristön huolelliseen määrittelyyn ohjelmalle. Yhteentörmäysriskin tarkastelua varten tarvittava toimintaympäristön määrittely sisältää väylät käännöspisteineen, liikenteen määrän kaikilla eri väylillä ja väylänosilla, väyliä käyttävien alusten tyypin ja koon, alusten käyttämän nopeuden

eri väyläosilla, sekä liikenteen jakautumisen väylän leveydelle (poikkeama väylän keskilinjasta) eri väyläosilla [20]. Määrittelyt tehdään erikseen kummallekin väylän ajosuunnalle. Väylät määritellään ohjelmalle väyläpisteiden (tyypillisesti käännöslinjalapisteiden) avulla käyttäen todellisia pituus- ja leveysasteiden lukuarvoja. Ohjelma muodostaa väyläpisteiden tietojen avulla graafisen kartan tarkasteltavasta merialueesta ja väylästä helpottamaan mm. laskentatapausten spesifioimista. Väylillä operoivien alusten tyyppin ja koon määrittely tapahtuu valitsemalla tarkastelukohteessa kyseeseen tulevat alustyyppit ja kokoluokat ohjelman tyyppikirjastosta.

8.3 Yhteentörmäysriskin laskenta GRACATissa:

GRACATissa yhteentörmäysten (ja karilleajojen) esiintymistajuuden arviointiin sovellettava laskentamalli perustuu japanilaisen Fujin vuonna 1974 esittämään malliin, jossa ensiksi määritellään teoreettisesti mahdollinen törmäysten määrä aikayksikössä alusten navigoidessa reittiään periaatteessa "sokeina" ja mallille määritellyn alusten poikkeamaa väylän keskiviivasta kuvaavan jakauman mukaisesti väylälle sijoittuneina. Oletuksena ensivaiheessa on, että alukset eivät tee mitään korjaavia manöövereitä törmäysten välttämiseksi. Arvio käytännössä toteutuvien törmäysten määrälle aikayksikössä saadaan kertomalla saatu teoriassa mahdollinen törmäysten määrä ehdollisella todennäköisyydellä, joka kuvaa alusten kykyä törmäyksen uhatessa havaita vaaratilanne riittävän ajoissa ja reagoida siihen toteuttamalla törmäyksen välttämiseksi tarvittavat korjaavat ohjailutoimenpiteet ja manööverit. Kertoimena käytettävä todennäköisyystermin ("Causation Factor") pyrkii ottamaan huomioon esimerkiksi tarkasteltavan alueen sääolosuhteet ja näkyvyyden, sillan miehityksen, navigaattoreiden tarkkaavaisuuden ja koulutustason, navigoinnin apuna olevien laitteiden tason, alusten ohjailuominaisuudet ja alusten operointikäytännöt (esim. mahdollinen nopeuden alentaminen huonossa näkyvyydessä) [21].

GRACAT-ohjelmisto vaatii analyysin tekijää määrittämään ohjelmalle arvon laskennassa käytettävälle onnettomuuden ehdolliselle aiheutumistodennäköisyydelle ("Causation Factor"). Todennäköisyysarvo määritellään erikseen kullekin ohjelmassa tarkasteltavalle yhteentörmäysten tyyppille. Tätä yleistä arvoa voidaan tarpeen mukaan suurentaa tai pienentää väyläosuusittain erikseen annettavilla kertoimilla.

Ohjelma antaa käyttöön tietyt kokemukseen perustuvat oletusarvot yhteentörmäysten aiheutumistodennäköisyyksille. Ohjelman oletusarvot perustuvat Fujin ja Mizukin esittämiin kokemuseräisiin havaintoihin yhteentörmäysten aiheutumistodennäköisyyksistä. Näitä oletusarvoja suositellaan käytettäväksi, ellei erikseen esimerkiksi tarkasteltavan kohteen yksityiskohtaisen analyysin [21] perusteella voida osoittaa nimenomaisesti kyseeseen kohteeseen paremmin soveltuvia arvoja.

GRACAT-ohjelmisto tarkastelee erikseen kolmea erityyppistä yhteentörmäysskenaariota:

1. kahden aluksen törmäämistä vastakkain suoralla väyläosuudelle johtuen kaksisuuntaisesta liikenteestä kyseisellä osuudella ja mahdollisuudesta sille, että eri suuntiin kulkevien alusten ajolinjat osuvat päällekkäin (head-on collision);
2. kahden aluksen törmäämistä toisiinsa väylällä olevassa mutkassa johtuen käännöksen laiminlyönnistä tai myöhästymisestä (error of omission) ja aluksen joutumisesta sen seurauksena kontaktiin toisen samaa väylää eri suuntaan ajavan aluksen kanssa (intersection collision); ja

3. kahden risteäviä väyliä käyttävän aluksen törmäämistä toisiinsa väylien risteyksessä (crossing collision).

Risteysmallin (3) erikoistapauksena voidaan haluttaessa erikseen laskemalla approksimoida myös potentiaalisia törmäystilanteita, joissa

- a) pääväylältä sivulle risteävälle väylälle erkaneva alus kääntyy sitä pääväylää pitkin vastaan tulevan toisen aluksen eteen (tai sitä päin);
- b) vastaantulevan liikenteen editse sivusta pääväylälle liittyvä alus ajaa pääväylää vastakkaiseen suuntaan kulkevan toisen aluksen eteen (tai törmää sen kylkeen);
- c) sivusta pääväylälle liittyvä alus kääntyy pääväylää samaan suuntaan kulkevan toisen aluksen eteen (tai törmää sen kylkeen); tai
- d) sivusta pääväylälle liittyvä alus epäonnistuu käännoksessä (laiminlyönti tai myöhästyminen) ja joutuu sen seurauksena kontaktiin pääväylää vastakkaiseen suuntaan etenevän toisen aluksen kanssa. (vrt. edellä intersection collision).

Nämä tilanteet eivät tule suoraan huomioiduiksi GRACATin normaalille väylämallille tekemissä laskelmissa. Ne voidaan kuitenkin arvioida erikseen GRACATin Crossing-tapausten laskentamallia hyväksikäyttäen ja summata väylämallin tuloksiin.

GRACAT-ohjelmiston käyttämät laskentakaavat yhteentörmäysten taajuuden arvioimiseen eri tyyppisissä yhteentörmäyksissä on esitetty lähteessä [21]. Väylän mutkassa / käännoispisteessä tapahtuvan ohjausvirheen (error of omission) todennäköisyydelle käytetään laskennassa vakioarvoa 0.01 [21].

Yhteentörmäysriskin arviointi tehdään yksittäisen aluksen näkökulmasta sen liikennöidessä tiettyä valittua reittiä edestakaisin annetulla taajuudella (= vuotuinen liikennemäärä). Ohjelman laskemat tulokset esitetään taulukon muodossa erikseen kullekin aluksen reittiin kuuluvalla väylänosalla ja aluksen kummallekin kulkusuunnalle. Tulostaulukko esittää ohjelman laskeman arvion todennäköisyydelle, että tarkastelun kohteena oleva alus on yksittäisen vuoden aikana osallisena yhteentörmäyksessä toisen aluksen kanssa kyseisellä väylänosalla joko törmääjänä tai törmäyksen kohteena. Lisäksi tulostaulukko erottelee erityisesti vauriotarkasteluja varten ne tapaukset, joissa tarkasteltavana oleva alus on törmäyksen kohteena, esittäen arvion sekä näiden tapausten odotettavalle vuotuiselle määrälle että sitä vastaavalle todennäköisyydelle joutua törmäyksen kohteeksi. Tiettyä väylää tai reittiä koskeva kokonaisarvio yhteentörmäysten esiintymisestä voidaan laskea summaamalla yhteen kyseistä väylää tai reittiä käyttäville erilaisille aluksille ohjelmalla erikseen lasketut arviot yhteentörmäysten sattumiselle.

8.4 Alusten yhteentörmäysriskin arvioiminen tutkimuksen väylävaihtoehdoille

Seuraavissa kappaleissa on kuvattu GRACAT-ohjelmiston käyttötapaa tämän työn kohteena olleisiin väylävaihtoehtoihin liittyvän yhteentörmäysriskin arvioimisessa. Lisäksi on kuvattu tämän työn puitteissa käytettyjä tärkeimpiä yksinkertaistuksia ja oletuksia.

8.4.1 Perusrajaukset

Työssä on arvioitu yhteentörmäysten riskiä pelkästään linjaliikenteen alusten välillä sekä linjaliikenteen alusten ja yhteysalusten (saaristolauttojen) välillä. Kauppa-alusten törmäysmahdollisuudet huvialusten yms. kanssa on rajattu tämän tarkastelun ulkopuolelle. Lisäksi tehty riskiarvio tarkastelee liikennettä pelkästään avoimen veden olosuhteissa. Tämä rajaa tämän tarkastelun tuloksien ulkopuolelle talviaikaan varsin yleiset avustettavien alusten törmäykset avustavan murtajan kanssa.

GRACAT-ohjelma arvioi yhteentörmäysriskiä eri alusluokille laskentaa varten määriteltävien vuotuisten liikennemäärien pohjalta. Arvioinnissa ei tällöin huomioida alusten mahdollisesti noudattamista kiinteistä aikatauluista aiheutuvia rajoituksia kohtaamisten mahdollisuuteen tiettyjen alusten käyttäessä väylää aina aivan eri aikaan. Puhtaasti vuotuisiin liikennemääriin perustuvan arvioinnin voidaan todeta johtavan konservatiiviseen arvioon yhteentörmäysten esiintyvyydelle. Virhe on sitä suurempi mitä enemmän aikataulut erottelevat liikennettä. Vuotuisiin liikennemääriin perustuva arvio katsottiin kuitenkin tämän työn tarkoituksiin riittäväksi, eikä aikataulujen mahdollisia vaikutuksia yritetty huomioida laskennassa.

Yhteentörmäysriskin arviointi kohdennettiin erityisesti väyliin liittyviin liikenteen risteyskohtiin. Yhteentörmäysten mahdollisuuden voidaan olettaa korostuvan näissä pisteissä. Lisäksi tällä rajauksella voitiin rajoittaa arvion pohjaksi tarvittavien erillisten laskentatapausten määrää. Tarkasteltuja risteyskohtia sisältyi nykyiseen väylään yhteensä 17 kappaletta ja ehdotettuun uuteen väylään viisi kappaletta.

Yksittäisten alusten väylänkäytön tarkastelun sijasta riskilaskelmat tehtiin tarkastelemalla samalla kertaa yhdessä kaikkia tiettyyn alustyyppiin ja kokoluokkaan kuuluvia aluksia. Valitusta tarkastelutavasta johtuen yhteentörmäysriskiä kuvaavat tulokset eivät sisällä samaan alustyyppiin ja kokoluokkaan kuuluvien alusten yhteentörmäysten mahdollisuuksia. Tästä tuloksiin aiheutuvaa virhettä voidaan kuitenkin pitää pienenä ja tulosten käyttötarkoituksen kannalta merkityksettömänä.

GRACAT-laskennan tuloksena saadaan kussakin tarkasteltavassa väyläpisteessä arvio sille, että jokin laskennan kohteena olevaan alusluokkaan (tietty tyyppi ja kokoluokka) kuuluva alus on yksittäisen vuoden aikana osallisena yhteentörmäyksessä kyseisen pisteen kautta operoivien muiden alusten kanssa (muut tyypit ja kokoluokat). Toistamalla laskenta eri alusluokissa ja jakamalla näin saadut arviot kulloinkin kyseeseen tulevien muiden alusluokkien kesken voidaan muodostaa arviot yhteentörmäysriskistä kaikille mahdollisille alusluokkien pareittaisille yhdistelmille.

Nyt tehdyssä riskinarvioinnissa on hyödynnetty GRACATin tulostuksen antamaa mahdollisuutta erotella tarkastellun alusluokan toimiminen törmääjänä tai törmäyksen kohteena. Laskentatuloksista on tunnistettu se osuus arvioidusta törmäystaajuudesta, johon liittyen tarkasteltu alusluokka toimii törmääjänä ja törmäyksen kohteena ovat näin muihin tyyppeihin ja kokoluokkiin kuuluvat alukset. Tämä osuus taajuusarviosta on ositettu/jaettu kyseeseen tulevien muiden alustyyppien ja kokoluokkien kesken yksinkertaisesti niiden liikennemäärien suhteessa. Kullekin alusluokalle on määritetty näin laskettujen osatulosten summana taajuusarvio sellaisille törmäyksille, joissa kyseinen alusluokka on törmäyksen kohteena

(

Taulukko 19 ja Taulukko 20). Liikennemääriä on käytetty taajuusarvioiden osittamisessa laskennan yksinkertaisuuden takia. Tarkempi osittaminen vaatisi huomioimaan liikennemäärän lisäksi alusten koon, leveyden, ja nopeuden. Pelkästään liikennemääriin perustuva osittaminen johtaa oletettavasti pienillä aluksilla jossain määrin liian suuriin ja vastaavasti isoilla aluksilla liian pieniin arvioihin.

Ehdotetun uuden Kökarin väylän tarkastelussa on rajauduttu pelkästään Maarianhaminaan johtavaan perusväylään. Linjaliikenteen alusten mahdollisia tarpeita käydä Långnäsissä ja siihen liittyvää lisäriskiä yhteentörmäyksille ei ole arvioitu.

8.4.2 Väylämäärittelyt

Nykyisen väylän tarkastelussa perusväylänä on käytetty Silja Europan noudattamaa 8,2 m:n Nyhamn-Rödsjär-väylää välillä Rödsjär – Ledskär. Perusväylän lisäksi tarkastelussa on huomioitu Bogskärin eteläpuolitse kulkevaa rinnakkaisväylää käyttävä liikenne, Apteekkarin väylää käyttävä liikenne sekä Ledskärin rinnakkaisväylää käyttävä liikenne. Lisäksi on huomioitu kaikki yhteysalusliikenteen käyttämien väylien liittynät perusväylään.

Uuden Kökarin väylän tarkastelu on kohdistunut väyläsuunnitelman peruslinjauksen mukaiseen väylään välillä Rödsjär – Ledskär. Väylä noudattaa idässä aluksi 13 m väylää. Väylään liittyy Kökarin luoteispuolella Ahvenanmaalta liikennöivä yhteysalusliikenne. Lisäksi tarkastelussa on huomioitu väylähaara, joka erkanee peruslinjauksesta Västergrundin majakan koillispuolella. Tätä ns. eteläistä haaraa on oletettu käyttävän ne linjaliikenteen alukset, jotka eivät poikkeakaan lainkaan Ahvenanmaalla matkallaan Ruotsiin / Ruotsista.

Väylän sijainnin määrittävät käännoispisteiden koordinaatit määritettiin nykyiselle väylälle Silja Europan käyttämästä todellisesta trackista. Lisäksi yhteysalusten käyttämien väylien liittynät nykyiselle perusväylälle määritettiin digitaalisesta merikartasta. Uuden Kökarin väylän osalta väylää määrittävien käännoispisteiden koordinaatit perustuivat linjaluotsin ko. väylälle tekemään reittisuunnitelmaan.

Väylien poikittaissuuntainen tilankäyttö (= alusten sijoittuminen väylän keskilinjaan nähden) väylien eri pisteissä arvioitiin sen perusteella kuinka paljon kyseisessä paikassa on käytettävissä tilaa liikkumiselle keskilinjan sivuilla. Tällä perusteella määritettiin väylän tilankäyttöä kullakin väyläosuudella (= legillä) kuvaamaan GRACATin edellyttämät normaalijakauman parametriarvot (keskilinjasta poikkeaman keskiarvo ja keskihajonta).

Määrittelytiedot nykyiselle väylälle ja ehdotetulle uudelle Kökarin väylälle on esitetty Liitteissä 5, 6, 7 ja 8.

8.4.3 Liikennemäärät

Riskinarvioinnin perusteena käytetyt liikennetiedot (= eri alustyyppien ja kokoluokkien vuotuiset liikennemäärät eri väyläosille määritettynä erikseen kummallekin liikennöintisuunnalle) nykyiselle väylälle ja ehdotetulle uudelle Kökarin väylälle on esitetty liitteissä 9 ja 10.

Liikennemäärät perustuvat tämän työn yhteydessä tehtyyn liikenne-ennusteeseen vuodelle 2015 (kts. luku 4). Oletuksena on ollut liikenteen 3 % vuotuinen kasvu kaikilla alustyypeillä.

Nykyiseen väylään liittyvien reittivaihtoehtojen (Bogskärin rinnakkaisväylä, Apteekkarin väylä, Ledskärin rinnakkaisväylä) käyttö on arvioitu luvussa 4 esitettyjen periaatteiden pohjalta.

8.4.4 Alusten käyttämät nopeudet

Alusten on oletettu liikkuvan väylillä GRACAT ohjelmiston tyyppikirjastossa kyseiselle alustyyppille ja kokoluokalle annettua maksiminopeutta käyttäen.¹ Samaa nopeusarvoa on käytetty johdonmukaisesti kulloinkin tarkastellun väylän koko pituudella.

Tyyppikirjaston nopeusarvot perustuvat aluskannasta maailmanlaajuisesti kerättyihin nopeustietoihin [20]. Tyyppikirjaston mukaiset nopeusarvot on listattu tässä työssä tarkasteltujen alustyyppien ja kokoluokkien osalta seuraavassa taulukossa (Taulukko 18).

Taulukko 18 GRACAT-ohjelmiston tyyppikirjaston mukaiset nopeusarvot tässä työssä tarkastelluille alustyyypeille ja kokoluokille. Taulukossa olevat alusten päämitat ovat kunkin kokoluokan keskimääräisiä arvoja.

Alustyyppi ja kokoluokka	Pituus [m]	Leveys [m]	Syväys [m]	Nopeus [kn]
Bulker 20-30	172,0	22,8	9,1	16,0
Oil tanker 40-60	202,1	36,2	12,5	14,5
Oil tankers 0,5-1,0	57,1	10,6	2,9	10,5
Passenger 100-150	204,0	28,9	7,1	21,8
Passenger 80-100	176,6	29,0	6,3	21,0
Passenger 40-60	143,0	24,7	5,6	18,0
Passenger 1,5-2,0	50,0	9,5	2,4	11,5
Passenger 1,0-1,5	41,9	8,2	2,8	17,0
RoRo 100-150	199,5	31,0	9,5	20,0
RoRo 60-80	158,0	23,4	7,5	14,6
RoRo 20-30	105,5	18,0	4,6	12,3
Other 0,2-0,5	33,1	7,0	3,1	9,5

8.4.5 Yhteentörmäysten ehdollinen todennäköisyys ('Causation factor')

Tässä työssä on yhteentörmäysten ehdollisen aiheutumistodennäköisyyden arvona laskelmissa käytetty GRACAT-ohjelmiston oletusarvona antamaa arvoa $P = 1.3 \cdot 10^{-4}$. Tämä arvo perustuu Fujin ja Mizukin esittämiin kokemusperäisiin havaintoihin crossing ja intersection – tyyppisten yhteentörmäysten aiheutumistodennäköisyyksistä [21].

¹ GRACAT-ohjelmisto antaa mahdollisuuden määritellä kullekin väyläosalle (= legille) suurimman sallitun nopeuden. GRACAT-ohjelmistossa todettu virhe on kuitenkin estänyt käyttämästä laskennassa tätä kullekin väyläosuudelle erikseen määriteltävää maksiminopeuden arvoa.

Samaa arvoa on sovellettu johdonmukaisesti kaikissa tarkastelluissa väyläpisteissä. Samaa arvoa on sovellettu myös kumpaankin tarkasteltuun väylävaihtoehtoon. Oletuksena on tällöin ollut, että väylävaihtoehtojen välillä ei ole sellaisia eroja, jotka merkittävästi vaikuttaisivat alusten kykyyn havaita ja välttää uhkaavat törmäystilanteet.

8.5 Tulokset

Tehdyn riskinarvioinnin tulokset on esitetty seuraavissa taulukoissa, nykyisen väylän tulokset (Taulukko 19) ehdotetun uuden Kökarin väylän tulokset (Taulukko 20). Taulukoissa esitetyt lukuarvot kuvaavat arvioitua vuotuista taajuutta sellaisille alusten yhteentörmäyksille, joissa kyseiseen alustyyppiin ja kokoluokkaan kuluva alus on törmäyksen kohteena. Taajuuksien summaus alustyyppien ja kokoluokkien yli antaa tuloksena arvion yhteentörmäysten kokonaistaajuudelle eri väyläpisteissä ja koko tarkastellulla väyläosalla. Alustyypeittäin tarkasteltujen väyläpisteiden yli summatut arviot antavat lähtökohdan väylien kustannus-hyöty vertailuille (kts. luku 9).

Arvioitu yhteentörmäysten taajuus nykyiselle väylälle vuoden 2015 ennustetta vastaavalla liikennetiheydellä on 0.0548 törmäystä per vuosi (= keskimäärin yksi törmäystapaus vajaan 20 vuoden välein). Tämän arvion ulkopuolelle on jätetty mahdolliset yhteysalusten keskinäiset törmäystapaukset tietyissä nykyisen väylän pisteissä (Överön yhteysalussatamaan johtava väylä (WP 16B), Överön pohjoispuolella oleva 4,5 m:n väyläristeys (WP 17), Bergön yhteysalusreitien risteykset (WP23B ja WP 24)). Yhteysalusten välisten törmäysten kokonaistaajuudeksi näissä risteyskohdissa arvioitiin 0.00066 törmäystä per vuosi. Tämä riski jää voimaan myös ehdotetun uuden Kökarin väylän toteutuessa yhteysalusten jatkaessa liikennöintiään nykyiseen tapaan.

Taulukko 19 Arvioitu alusten yhteentörmäysten taajuus nykyisellä väylällä.

KÖKARIN VÄYLÄ
VANHA

Arvioitu yhteentörmäysten taajuus risteyskohdissa (törmäystä per vuosi)
kun kyseinen alustyyppi on törmäyksen kohteena

Oletettu yhteentörmäyksen todennäköisyys vaaratilanteessa:

1,30E-04

Liikenne: Vuoden 2105 ennusteen mukainen

Alustyyppi & kokoluokka	Waypoint 1	Waypoint 2	Waypoint 6B	Waypoint 8	Waypoint 11	Waypoint 16B	Waypoint 17	Waypoint 21	Waypoint 23B
Bulker 20-30	5,07E-05								
Oil tanker 40-60	6,45E-05								
Oil tanker 0.5-1.0	5,98E-06	5,16E-06	6,23E-06	2,41E-05	1,20E-05	2,96E-05	5,83E-06	1,44E-05	8,99E-07
Passeng 100-150	8,39E-05	1,24E-04	1,53E-04	3,38E-04	1,68E-04	4,16E-04	8,17E-05	2,02E-04	1,26E-05
Passeng 80-100	2,52E-04	3,58E-04	4,41E-04	1,01E-03	5,03E-04	1,25E-03	2,45E-04	1,35E-03	1,89E-05
Passeng 40-60	8,39E-05	1,18E-04	1,45E-04	3,38E-04	1,68E-04	4,16E-04	8,17E-05	3,32E-04	6,32E-06
Passeng 1.5-2.0	5,98E-06	5,16E-06	6,23E-06	2,41E-05	1,20E-05	2,96E-05	5,83E-06	1,82E-05	
Passeng 1.0-1.5	3,43E-04			1,36E-03	7,14E-04	2,06E-03	5,40E-04	1,16E-03	7,73E-05
RoRo 100-150	2,45E-04	3,88E-04	4,43E-04	9,86E-04	4,89E-04	1,21E-03	2,38E-04	1,65E-03	1,23E-05
RoRo 60-80	1,63E-04	2,57E-04	3,16E-04	6,57E-04	3,26E-04	8,07E-04	1,59E-04	9,58E-04	1,23E-05
RoRo 20-30	7,20E-05	1,48E-04	1,84E-04	2,90E-04	1,44E-04	3,56E-04	7,01E-05	1,73E-04	1,08E-05
Other 0.2-0.5	4,94E-05	2,06E-05	2,49E-05	9,64E-05	4,78E-05	1,19E-04	2,33E-05	5,75E-05	3,60E-06
Yhteensä	1,42E-03	1,42E-03	1,72E-03	5,12E-03	2,58E-03	6,69E-03	1,45E-03	5,90E-03	1,55E-04

Alustyyppi & kokoluokka	Waypoint 24	Waypoint 26	Waypoint 28	Waypoint 31	Waypoint 32	Waypoint 33	Waypoint 37	Waypoint 42	YHTEENSÄ
Bulker 20-30									5,07E-05
Oil tanker 40-60									6,45E-05
Oil tanker 0.5-1.0	1,48E-06	1,94E-06							1,08E-04
Passeng 100-150	2,07E-05	2,66E-04	2,07E-04	5,96E-04	1,60E-04	5,15E-04	6,23E-04	4,97E-04	4,46E-03
Passeng 80-100	3,16E-05	3,95E-05	7,21E-05	8,93E-04	2,26E-03	1,55E-03	3,37E-04	1,96E-04	1,08E-02
Passeng 40-60	1,04E-05	1,37E-05	2,42E-05	2,98E-04	8,53E-05	5,15E-04	1,14E-04	6,54E-05	2,82E-03
Passeng 1.5-2.0					2,36E-05	3,67E-05	8,13E-06	4,66E-06	1,80E-04
Passeng 1.0-1.5	9,45E-05	1,30E-04		2,10E-03	2,57E-03	3,31E-03			1,45E-02
RoRo 100-150	2,01E-05	2,63E-05	4,69E-05	5,79E-04	2,45E-03	1,50E-03	3,30E-04	1,91E-04	1,08E-02
RoRo 60-80	2,00E-05	2,62E-05	4,69E-05	5,79E-04	1,35E-03	1,00E-03	4,18E-04	9,84E-05	7,19E-03
RoRo 20-30	1,75E-05	2,30E-05	4,13E-05	5,11E-04	1,37E-04	4,42E-04	9,75E-05	5,60E-05	2,77E-03
Other 0.2-0.5	5,88E-06	6,22E-05	4,25E-05	1,70E-04	4,56E-05	1,47E-04	1,25E-04	7,27E-05	1,11E-03
Yhteensä	2,22E-04	5,89E-04	4,81E-04	5,73E-03	9,08E-03	9,02E-03	2,05E-03	1,18E-03	5,48E-02

Nykyisellä väylällä väyläpisteistä suurinta törmäysriskiä näyttäisivät edustavan Apteekkarin väylän eteläinen liittymä perusväylään (WP 32) ja Svinö-Degerby-linjan perusväylältä itään johtava risteys (WP 33), Södra linjenin perusväylän ylittävä risteys (WP 8), Överön yhteysalusatamaan johtavan väylän risteys (WP 16B), Apteekkarin väylän pohjoinen liittymä perusväylään (WP 21) ja Svinön yhteysalusatamaan johtavan väylän risteys (WP 31). Pisteissä WP 32, WP 33 ja WP 31 riskiä korottaa Svinön ja Degerbyn välinen erittäin vilkas yhteysalusliikenne (Föglölinjen) joka operoi linjaliikenteen käyttämän väylän yli ja osittain sitä pitkin. Vastaavasti pisteessä WP 16B perusväylältä Överön poikkevat ja sille takaisin palaavat Tvärgående linjen ja Södra linjen yhteysalukset muodostavat hyvin vilkkaan risteuksen perusväylälle. Kuva 29 ja Kuva 30 esittävät edellä mainittujen väyläkohtien sijainnit.

Vastaavasti arvioitu yhteentörmäystaajuus ehdotetulle uudelle Kökarin väylälle (Taulukko 20) on 0.00938 törmäystä per vuosi (= keskimäärin yksi törmäystapaus runsaan 100 vuoden välein). Uusi väylä pienentäisi näin arvioituna alusten yhteentörmäysriskin Turku – Maarianhamina välillä vajaaseen kuudenteen osaan nykyisestä. Tarkastelluista väyläpisteistä suurinta riskiä yhteentörmäyksille näyttäisivät ehdotetulla uudella väylällä edustavan pisteet WP 13 ja WP 14, joissa Kökarin ja Ahvenanmaan välillä liikennöivä yhteysalusliikenne

ylittää uuden väylän. Samaa suuruusluokkaa oleva riski arvioitiin liittyvän pisteeseen WP 19, jossa suoraan Ruotsiin kulkeva liikenne erkanee tai liittyy ehdotettuun uuteen väylään. Kuva 31 esittää edellä mainittujen väyläkohtien sijainnit.

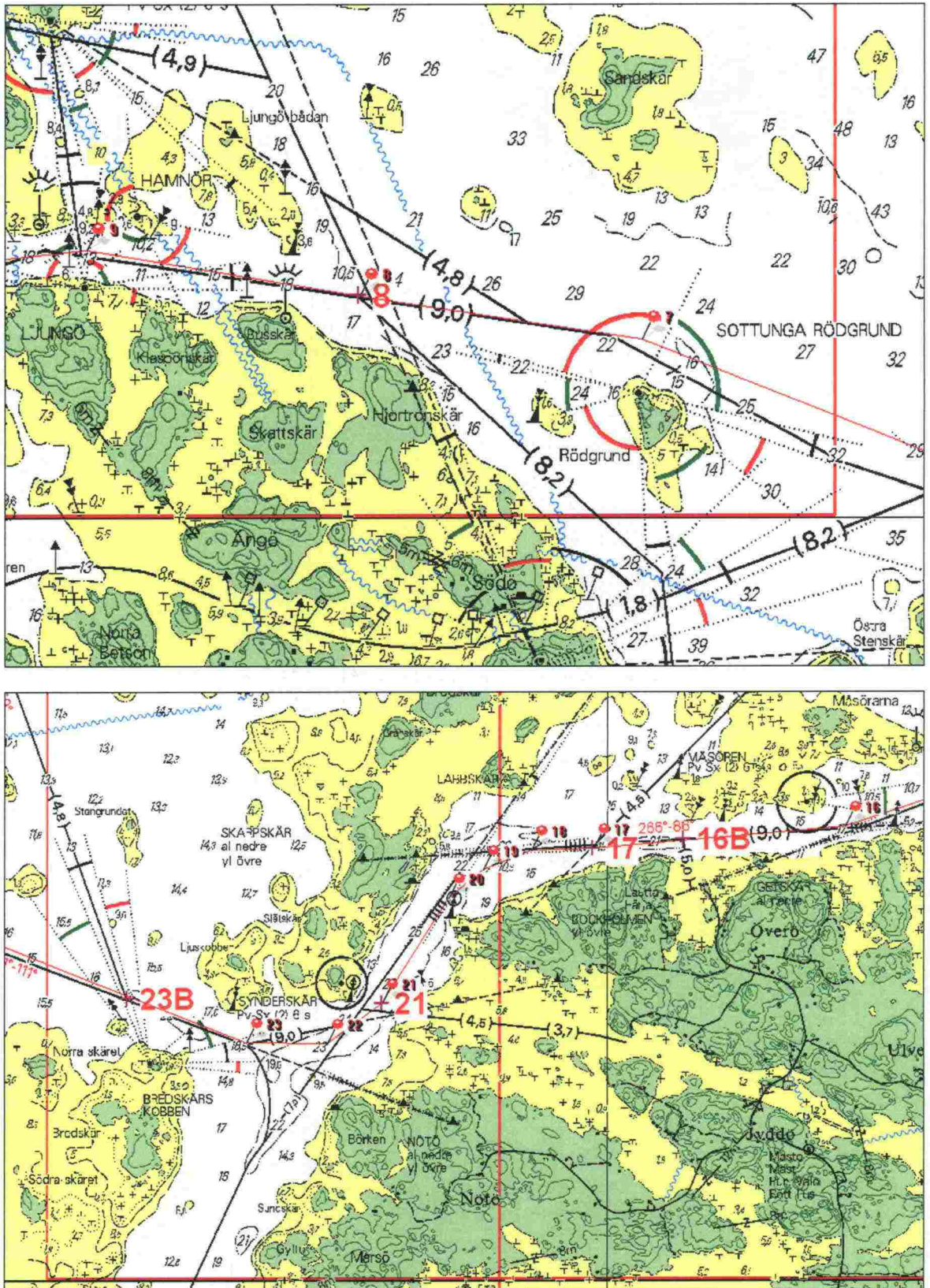
Taulukko 20 Arvioitu alusten yhteentörmäysten taajuus ehdotetulla uudella Kökarin väylällä.

**KÖKARIN VÄYLÄ
UUSI**

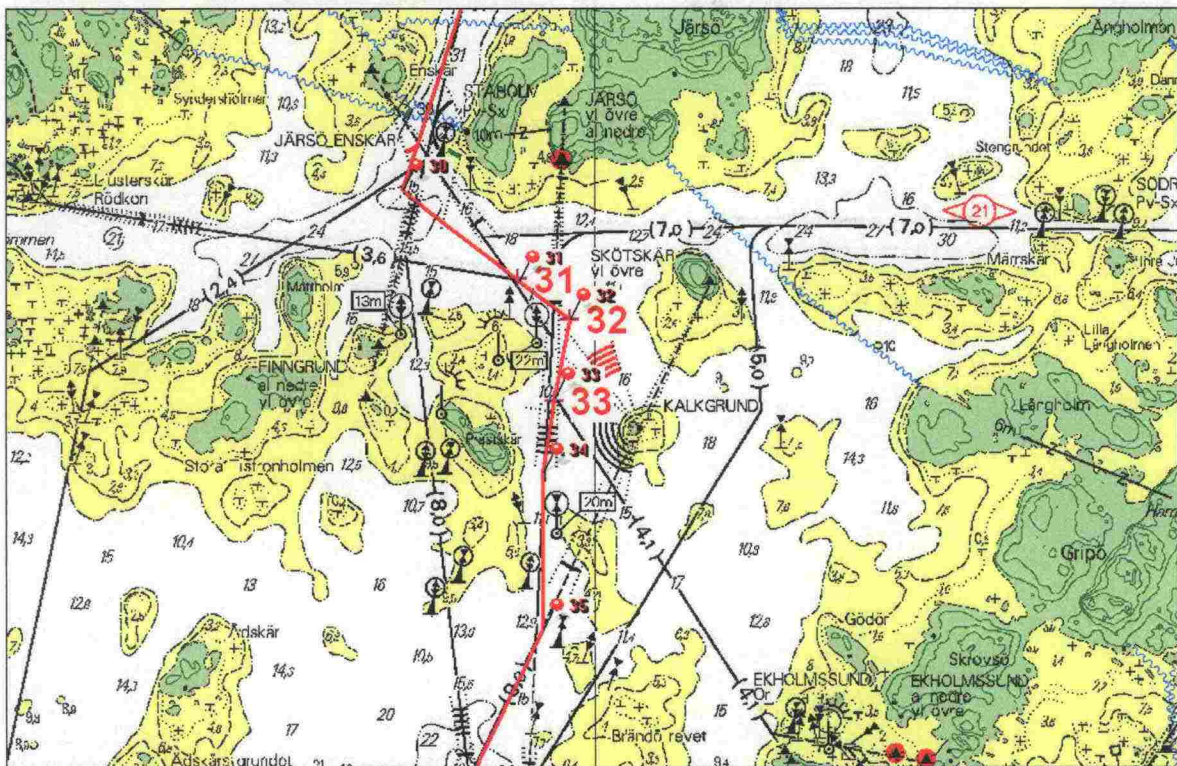
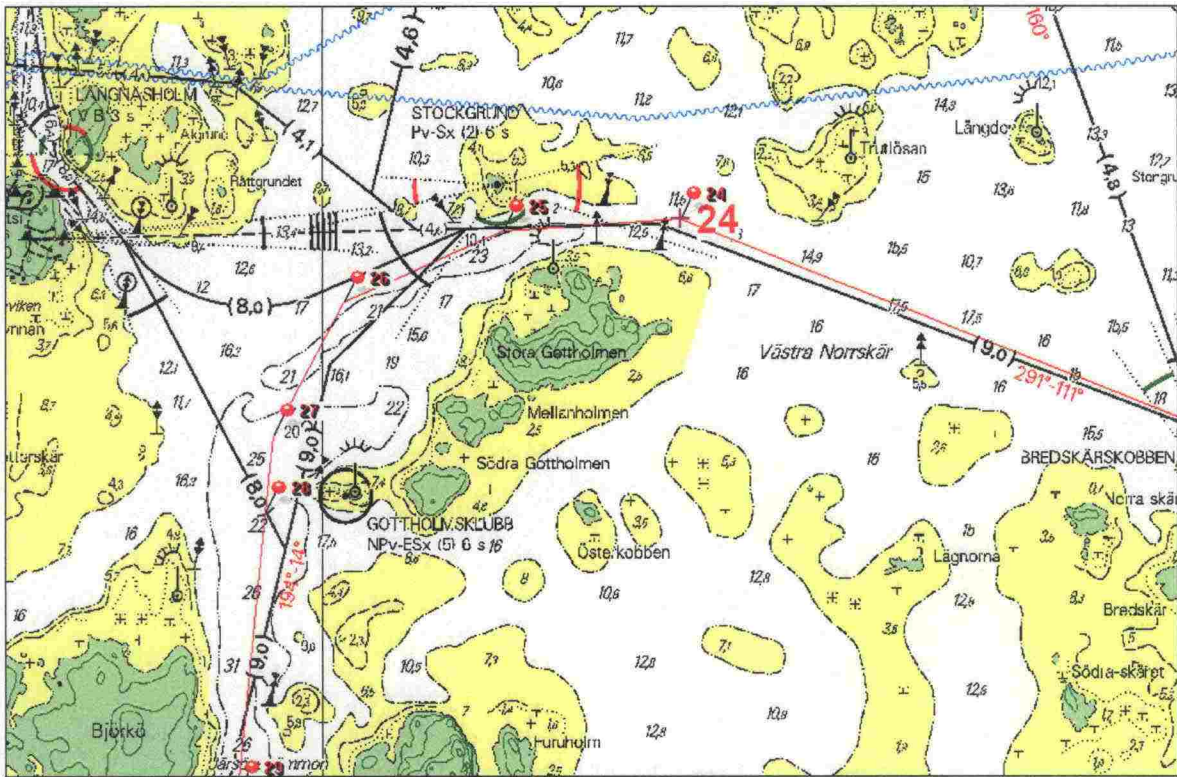
Arvioitu yhteentörmäysten taajuus risteyskohdissa (törmäystä per vuosi)
kun kyseinen alustyyppi on törmäyksen kohteena

Oletettu yhteentörmäyksen todennäköisyys vaaratilanteessa: 1.30E-04
Liikenne: Vuoden 2015 ennusteen mukainen

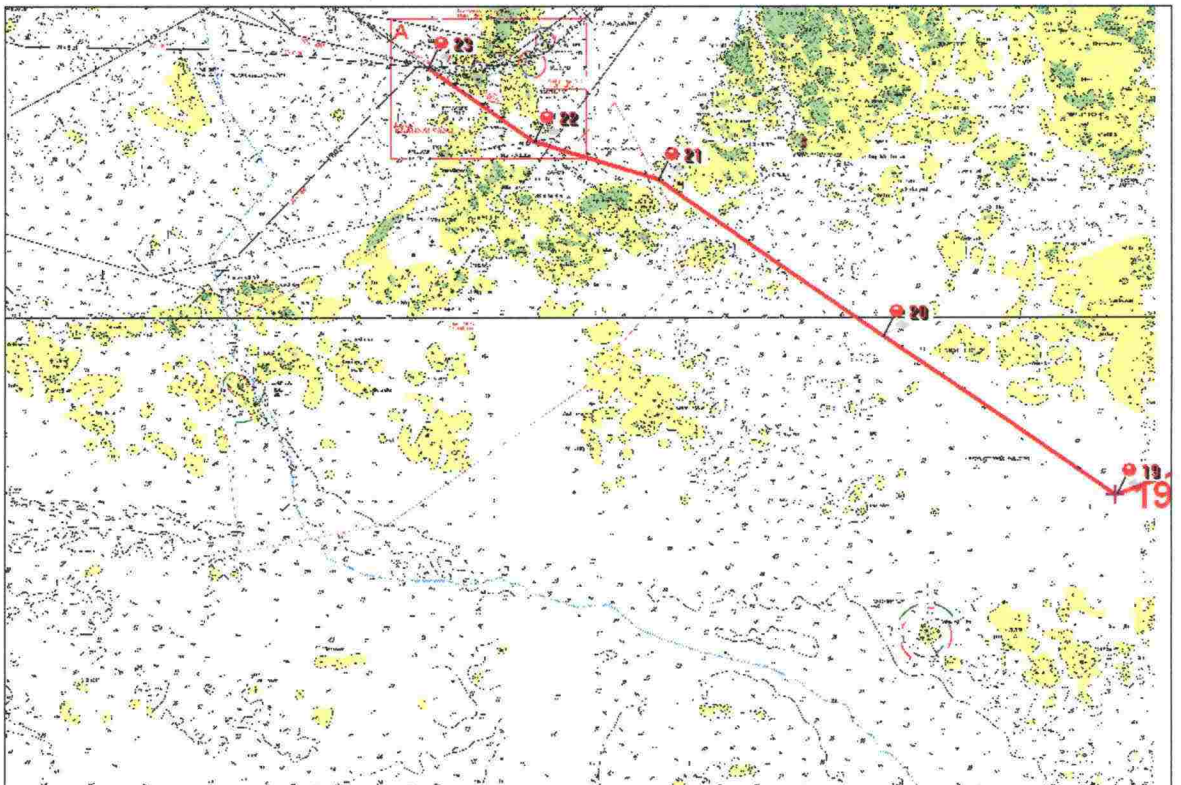
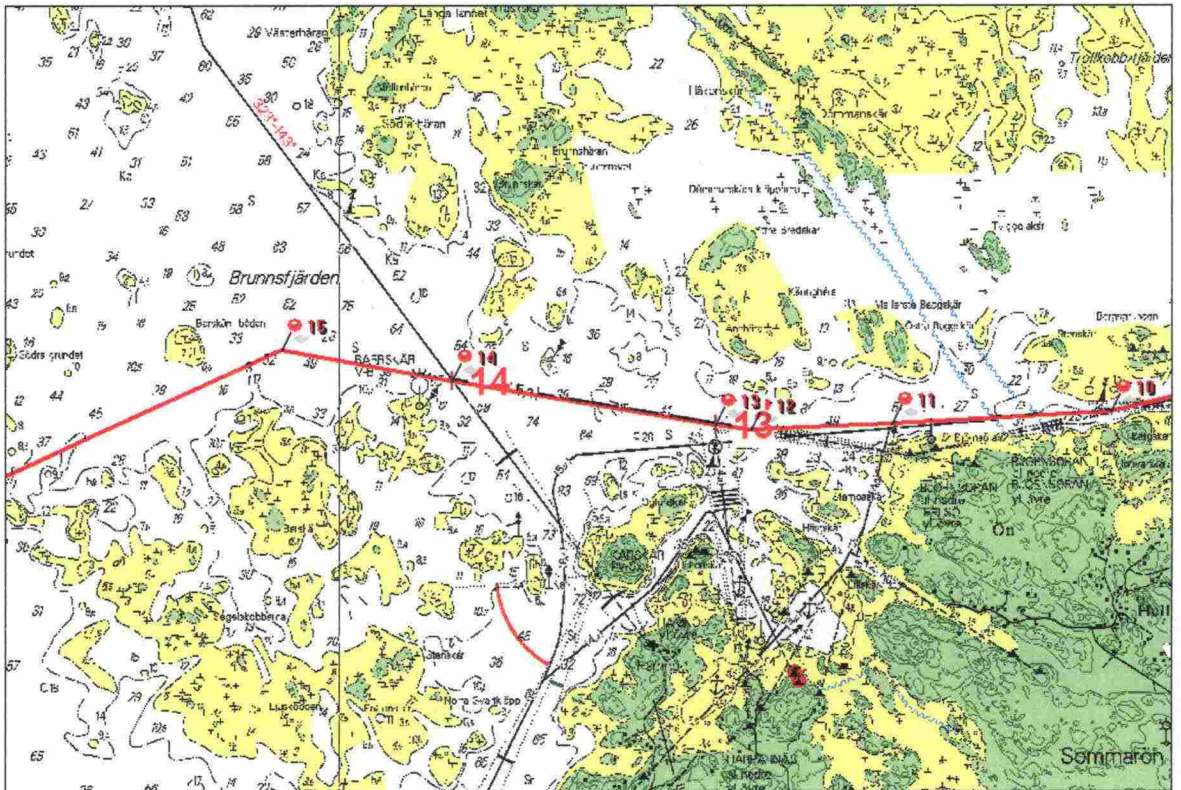
Alustyyppi & kokoluokka	Waypoint 3	Waypoint 11	Waypoint 13	Waypoint 14	Waypoint 19	Yhteensä
Bulker 20-30	5.07E-05					5.07E-05
Oil tanker 40-60	6.81E-05					6.81E-05
Oil tanker 0.5-1.0	1.17E-06	4.63E-06	1.20E-05	1.18E-05	9.60E-06	3.92E-05
Passenger 100-150	1.84E-05	6.50E-05	1.68E-04	1.66E-04	1.36E-04	5.54E-04
Passenger 80-100	4.95E-05	1.95E-04	5.04E-04	4.98E-04	4.03E-04	1.65E-03
Passenger 40-60	1.77E-05	6.50E-05	1.68E-04	1.66E-04	1.35E-04	5.52E-04
Passenger 1.5-2.0	5.90E-06	4.63E-06	1.20E-05	1.18E-05	9.65E-06	4.40E-05
Passenger 1.0-1.5	1.51E-05	2.69E-04	8.51E-04	9.64E-04		2.10E-03
RoRo 100-150	5.19E-05	1.89E-04	4.90E-04	4.84E-04	1.06E-03	2.28E-03
RoRo 60-80	3.56E-05	1.26E-04	3.27E-04	3.23E-04	5.76E-04	1.39E-03
RoRo 20-30	1.54E-05	5.57E-05	1.44E-04	1.42E-04	1.16E-04	4.74E-04
Other 0.2-0.5	2.97E-05	1.85E-05	4.79E-05	4.74E-05	3.86E-05	1.82E-04
Yhteensä	3.59E-04	9.92E-04	2.72E-03	2.81E-03	2.49E-03	9.38E-03



Kuva 29 GRACAT-ohjelman havaitsemat suurimman yhteentörmäysriskin omaavat väyläkohdat Nyhamn-Rödsjär-väylällä. [32]



Kuva 30 GRACAT-ohjelman havaitsemat suurimman yhteentörmäysriskin omaavat väyläkohdat Nyhamn-Rödsjär-väylällä. [32]



Kuva 31 GRACAT-ohjelman havaitsemat suurimman yhteentörmäysriskin omaavat väyläkohdat suunnitellulla Kökarin väylällä. [32]

9 Kustannus-hyöty-analyysi

9.1 Yleistä

Tämän tutkimuksen kustannus-hyötyanalyysi sisältää arvion siitä, kuinka suurta rahallista arvoa uuden väylän mukanaan tuoma pienennys yhteentörmäysriskissä vastaa. Onnettomuuksien seurausvaikutuksina tarkastellaan vaikutuksia vesistöön, kalastoon ja kalastukseen, erityisalueisiin, maisemaan, virkistyskäyttöön ja luonnonvarojen hyödyntämiseen. Mahdollisten onnettomuuksien seurauskustannuksia on tarkasteltu tarkemmin luvussa 9.2.

Peruskustannuksina tässä tarkastelussa huomioidaan uuden Kökarin väylän rakentamiskustannukset samoin kuin Kökarin väylän ja nykyisen väylän ylläpitokustannukset. Kustannuksiksi tulisi lukea myös linjaliikennettä harjoittaville varustamoille aiheutuvat uuden väylän käyttöönottamisesta aiheutuvat linjaluotsikirjojen uusimiskustannukset, mutta ne eivät ole mukana tässä tarkastelussa.

Normaalin alusliikenteen aiheuttamien potkurivirtausten ja aaltojen tiedetään vaikuttavan ahtaiden saaristoväyliä ranta-alueiden ekologiaan ja geologiaan. Näitä vaikutuksia ovat esimerkiksi rantojen eroosio, laitureille ja muille rannan rakenteille aiheutuvat vauriot, alusten aiheuttamien virtausten vaikutukset merieläinten lisääntymiseen ja rannan ja merenpohjan kasvillisuuteen. Näiden vaikutusten rahallista arvoa ei vielä tunneta, mutta ilmiötä on tarkasteltu luvussa 11.

9.2 Onnettomuuksien seurauskustannukset

9.2.1 Yleistä

Merenkululaitoksen tekemän 1990-luvun onnettomuusanalyysin [3] mukaan Suomessa tapahtuneissa pohjakosketuksissa ja karilleajoissa on sattunut hyvin vähän vakavia vaurioita. Vain prosentissa tapauksista alus on jäänyt hylyksi. Yhteentörmäyksissä ei toisen osapuolen vaurioita yleensä ole kirjattu, joten tuntemattomien osuus on varsin suuri (48%). Yhteentörmäyksissä hylyksi jääneiden osuus on huomattavasti suurempi kuin karilleajoissa (6%). Yhdessäkään näistä tapauksista ei tiedetä tapahtuneen öljyvahinkoja (13 % tapauksista ei ole asian suhteen informaatiota). Suomen vesillä tapahtuneiden onnettomuuksien määrä on kuitenkin tilastollisesti tarkastellen suhteellisen pieni, joten niiden perusteella tehtävät ennusteet saattaisivat johtaa liian optimistisiin arvioihin. Tästä johtuen tämän työn tarkasteluissa on käytetty suurelta osin kansainvälisiin tilastoihin perustuvia ennusteita.

Seuraavassa alusonnettomuuden seurauskustannuksia on tarkasteltu eriteltyinä yhteentörmäyksiin ja karilleajoihin. Aluksi tarkastellaan öljyvuodon todennäköisyyttä molemmissa onnettomuustyypeissä sekä määritetään aluksesta/aluksista mereen vuotavan öljyn määrä, samoin kuin öljyn torjuntakustannukset. Seuraavaksi tarkastellaan alusten korjaus- ja seisontakustannuksia sekä kustannuksia, jotka aiheutuvat viranomais- ym. palveluista onnettomuuden tapahduttua.

Ympäristövaikutusten suuruuteen vaikuttaa mm. alusten saamien vaurioiden suuruus, lastin laatu, aluksen/lastin koko, aluksen tyyppi, vuodenaika, pohjan laatu, sijainti merialueella, tuuli- ja virtausolosuhteet, jääolosuhteet ym. Alusvaurioiden tarkempi analyysi ei kuitenkaan olisi ollut tämän työn puitteissa realistista sen vaatiman suuren työmäärän takia. Tämän johdosta tarkasteluissa on käytetty sekä öljyvuodon määrälle, torjuntakustannuksille että alusten kokemille vaurioille tilastoihin perustuvia keskimääräisiä arvoja.

9.2.2 Öljyvuodon todennäköisyys ja suuruus

Pohjakosketustilanteissa ja karilleajoissa pääsee harvoin öljyä mereen, sillä kaksoispohja suojaa tehokkaasti alusten tankkeja vahingoittumiselta pienissä havereissa. Yhteentörmäyksissä öljyvuodon todennäköisyys on kansainvälisten tilastojen mukaan hieman karilleajoja suurempi. Pahimmat seuraukset ovat luonnollisesti raakaöljyä tai öljytuotteita kuljettavien tankkereiden lastitankkien vaurioituessa. Todennäköisyys kaksoisrunkoisen aluksen lastitankkien repeytymiseen rannikon väylillä on kuitenkin hyvin pieni. Toisaalta muidenkin kauppa-alusten onnettomuudet voivat olla ainakin paikallisesti tuhoisia, jos aluksen polttoainetankkiin syntyy repeämiä. Ympäristön kannalta pienetkin päästöt ovat kuitenkin haitallisia, jos niitä sattuu usein. Ympäristö ei ehdi palautua ja vahingon jäljet jäävät näin ympäristöön.

Iso-Britannian merialueille on suoritettu ympäristöllisesti korkean riskin omaavien alueiden (Marine Environmental High Risk Areas = MEHRA's) määrittely [7]. Siinä merialueet luokiteltiin esimerkiksi luonnon, maiseman, kauneusarvojen/taloudellisten tekijöiden, geologian ja kalastuksen perusteella eriarvoisiin alueisiin. Kunkin merialueen saastumisriski onnettomuuden seurauksena määriteltiin perustuen alueen liikennetilastoihin ja luotuihin onnettomuusriskimalleihin, jotka kalibroitiin alueella sattuneista onnettomuuksista kerätyn pitkänajan tilastotiedon avulla. Tutkimuksessa analysoitu onnettomuustilastomateriaali oli varsin laaja, joten sen tuloksien katsottiin olevan sovellettavissa joiltain osin myös tässä tehtävään analyysiin. Yksi näistä hyödynnetyistä tuloksista oli öljyvuodon todennäköisyys eri onnettomuuksissa.

Kaikista onnettomuuksista ei luonnollisestikaan aiheudu öljyvuotoa ja toisaalta öljyvuoto ei ole seurausta pelkästään öljysäiliöalusten onnettomuuksista. MEHRA-tutkimuksessa on annettu öljyvuodon todennäköisyyden arvot sekä säiliöalusten lastitankkivuodolle, että kaiken tyyppisten kauppa-alusten polttoainetankkivuodolle. Todennäköisyydet on määritelty alusten yhteentörmäyksille, tulipalo- ja räjähdysonnettomuuksille, alusten uppoamisille ja karilleajoille. Tässä suoritettavan väylävertailun kannalta relevantteja onnettomuustyyppisiä ovat yhteentörmäykset ja karilleajot, joille ilmoitetut öljyvuodon todennäköisyydet on kerätty oheiseen taulukkoon (Taulukko 21). Öljyvuodon suuruuden on katsottu olevan suoraan riippuvainen onnettomuudessa vaurioituneen aluksen koosta. Kalervo Jolman selvityksessä [8] on arvioitu lastivuodon suuruudeksi 1/48 lastin määrästä, joka perustuu HELCOM:n vuoden 1995 öljynkuljetusselvitykseen. Polttoainevuodon suuruudeksi voidaan Suomen ympäristökeskuksen mukaan ottaa suurimman polttoainetankin suuruus [8]. Myös nämä tiedot on ilmoitettu edellä mainitussa taulukossa (Taulukko 21)

Taulukko 21. Öljyvuodon tyyppi, todennäköisyys [7] sekä öljyvuodon suuruus [8] alusten yhteentörmäyksissä ja karilleajoissa.

	Lastivuoto	Polttoainevuoto
Yhteentörmäys	0,390	0,128
Karilleajo	0,120	0,300
Vuodon suuruus vuototapauksissa	1/48 lastista	Suurimman polttoainetankin tilavuus

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 22) on esitetty edellisessä taulukossa (Taulukko 21) öljyvuotojen suuruudelle esitettyjen yleisten arvioiden perusteella määritetyt arviot lasti- ja polttoainevuotojen keskimääräiselle suuruudelle tässä työssä tarkasteltavilla väylillä liikkuville eri tyyppisille ja kokoisille aluksille. Suurimman polttoainetankin tilavuus on arvioitu olevan alustyyppistä riippumatta pienillä aluksilla 150 tonnia, keskikokoisilla aluksilla 300 tonnia ja suurilla aluksilla 400 tonnia. Tämä arvio perustuu eri kokoisista aluksista kerättyihin tietoihin.

Taulukko 22 Alusten yhteentörmäyksen tai karilleajon seurauksena syntyvän lasti- tai polttoainevuodon arvioitu suuruus tässä työssä tarkasteltavilla väylillä liikkuvilla aluksilla. Pienen säiliöaluksen pieni lastivuodon suuruus perustuu olettamukseen, että keskimääräinen lastivuoto on 1/48 lastista.

Alustyyppi	Lastivuodon suuruus [ton]	Polttoainevuodon suuruus [ton]
Matkustaja-alus, suuri	0	400
Matkustaja-alus, pieni	0	150
Ro-Ro, suuri	0	400
Ro-Ro, keskikokoinen	0	300
Säiliöalus, keskikokoinen	1000	300
Säiliöalus, pieni	8	150
Irtolastialus, keskikokoinen	0	300
Muu alus, pieni	0	150

9.2.3 Öljyntorjuntakustannukset

Öljyntorjuntakustannuksiin vaikuttaa luonnollisesti eniten mereen valuneen öljyn määrä, mutta sen lisäksi myös se, kuinka nopeasti öljyntorjuntatyöt saadaan käynnistettyä. Suomen Ympäristökeskuksen mukaan öljyntorjuntakustannusten muodostumista tarkasteltaessa pätee arvio: A:B:C = 1:10:100 [13].

A.) vaurioituneen aluksen oma polttoaine ja/tai lastitankkien öljy kyetään keräämään haveripaikalla toiseen alukseen, arviokustannus on noin 170 €/tonni,

B.) mereen vuotanut öljy kyetään rajaamaan haveripaikalla ja keräämään välittömästi kohteen läheisyydessä. Arvioitu kustannus on siis noin 1 700 €/tonni ja

C.) öljy ehtii ajautua laajalle alueella ja rantautua. Öljyntorjunta merialueella edellyttää runsaasti kalustoa ja rannalta kerääminen on tehotonta, kallista ja edellyttää runsaasti joukkoja, joiden huolto usein on hankalaa. Kustannustaso saattaa olla jopa yli 17 000 €/tonni.

Tässä työssä ei kuitenkaan ole ollut mielekästä tarkastella eriaosteisten öljyntorjuntatoimenpiteiden kustannuksia, vaan öljyntorjuntakustannukset on määritelty suoraan riippuviksi öljyvudon suuruudesta. Työssä on käytetty Euroopassa tapahtuneiden öljyonnettomuuksien torjuntakustannusten keskiarvoa, joka on noin 10 400 € per tonni [12]. Tieto perustuu lähteeseen [9], jossa on analysoitu eri maanosissa tapahtuneiden öljyonnettomuuksien torjuntakustannuksia.

Lähteen [9] kustannuksia tarkasteltaessa on otettava huomioon yleinen öljyntorjuntakustannustason nousu erityisesti vuonna 1989 sattuneen Exxon Valdez öljytankkerin onnettomuuden jälkeen. Tällöin varsinkin Yhdysvalloissa öljyntorjuntakustannukset nousivat rajusti. Myös Euroopassa on kustannustasossa tapahtunut yleistä nousua erityisesti MT Erika- (vuosi 1999) ja MT Prestige- (vuosi 2003) alusten havereiden jälkeen. Itämerellä ei kustannustason nousu ole ollut yhtä dramaattista, ja edellä esitetty kustannusarvio on jossain määrin konservatiivinen. Toisaalta on syytä huomata, että talvella tapahtuvan öljypäästön torjunnan kustannukset voivat öljytonnia kohden nousta hyvinkin suuriksi.

9.2.4 Ympäristölle aiheutuva haitta

Öljyvudosta ei aiheudu pelkästään torjuntakustannuksia, vaan mereen joutunut öljy aiheuttaa haittaa myös kalakannalle, linnustolle, hylkeille ja kalankasvatukselle sekä muille merellisille elinkeinoille kuten esimerkiksi turismille. Rantojen saastuminen vaikuttaa myös tonttien hintoihin sekä veneilyyn ja muuhun virkistyskäyttöön.

Ympäristölle aiheutuva haitta jakautuu suurissa onnettomuuksissa usealle vuodelle. Koska arvioidut kustannukset ovat kuitenkin varsin karkealla tasolla, voitaneen käyttää arviota, jossa kustannusten on arvioitu kohdistuvan yhdelle vuodelle. Tässä työssä on käytetty ympäristökustannusten arvioinnissa kaavaa (3) lähteestä [12], joka perustuu Saaristomerelle suunnitellulle meriliikenteen hallinta- ja informaatiojärjestelmälle suoritettuun kustannus-hyöty-analyysiin [10]. Haitan on katsottu olevan saman suuruinen lastivuodoille (= raakaöljy tai öljytuotteet) ja polttoainevuodoille.

$$C_{env} [1000 \text{ Euro}] = 9,33 \times V_{oil} [\text{tonni}] + 610,7 \quad , \text{ missä} \quad (3)$$

- C_{env} on ympäristövahingon kustannus ja
- V_{oil} on vuotaneen öljyn määrä.

9.2.5 Alusten korjaus- sekä seisontakustannukset

Alusten korjauskustannukset riippuvat sekä alustyyppistä, aluksen koosta että vaurion vaikeusasteesta. Tässä tarkastelussa on kuitenkin käytetty kullekin alustyyppille ja aluskoolle tilastollisesti keskikokoisen vaurion kustannuksia. Varsinaisten korjauskustannusten lisäksi tässä on huomioitu myös liitännäiskustannukset, kuten hinaus- ja telakointikustannukset.

Alusten keskimääräisistä seisontakustannuksista on vaikea saada tarkkaa arviota. Lähteissä [10] ja [11] on annettu laajoihin kansainvälisiin tilastoihin perustuvia tietoja, joiden on katsottu riippuvan aluksen tyyppin ja koon lisäksi myös vaurioitumisasteesta. Lähteen [10] taulukot kokonaisuudessaan on kerätty liitteeseen 1. Tässä tarkastelussa käytetyt kustannukset on kerätty luvun 9.2.7 yhteenvetotaulukkoon (Taulukko 23). Huomattakoon, että esitetyt kustannukset koskevat vain yhteentörmäyksessä suuremmat vauriot saanutta osapuolta, toisen osapuolen kustannuksia ei tässä tarkastelussa ole huomioitu.

9.2.6 Viranomais- ym. palveluiden kustannukset

Onnettomuuden tapahduttua aiheutuu etsinnästä, pelastustoimista ym. kustannuksia, jotka on otettava huomioon. Lähteissä [10] ja [11] on esitetty karkeita kansainvälisiä arvioita näistä kustannuksista. Kustannusten on katsottu riippuvan alustyyppin lisäksi öljypäästön suuruudesta. Jo öljyvaaran tiedostamisesta aiheutuu kustannuksia, joille on annettu lähteissä arvio. Matkustaja-aluksia koskien on annettu myös arvio evakuointikustannuksista.

Lähteen [10] kustannustaulukko kokonaisuudessaan on nähtävissä liitteessä 1, tässä tarkastelussa käytetyt kustannukset on kerätty luvun 9.2.7 yhteenvetotaulukkoon (Taulukko 23).

9.2.7 Yhteenveto onnettomuuksien seurauskustannuksista

Seuraavaan taulukkoon (Taulukko 23) on kerätty tässä tarkastelussa kyseeseen tulevia alustyyppisiä koskevat mahdollisista onnettomuuksista aiheutuvat seurauskustannukset. Alustyypeistä suuriin matkustaja-aluksiin luetaan kaikki linjaliikenteen matkustaja-autolautat, pieniin matkustaja-aluksiin kaikki maakuntalautat sekä myös esimerkiksi MS Kristina Brahe, joka liikkuu tarkastelujakson aikana alueella. Suuriin RoRo-aluksiin luetaan kaikki linjaliikenteen RoRo-alukset ja Ropaxit sekä keskikokoisiin RoRo-aluksiin alueella säännöllisesti liikkuva MS Fjärdvägen-alus. Keskikokoisiin säiliöaluksiin luetaan esimerkiksi MS Palva joka liikkuu tarkasteltavalla alueella vain sillä osalla kuin se yhtyy Utön 13,0 m:n väylään, ja pieniin säiliöaluksiin MS Tankos, joka kuljettaa suhteellisen säännöllisesti polttoaineita Ahvenanmaalle. Keskikokoisiin irtolastialuksiin luetaan MS Kontula, joka osallistui alueen liikenteeseen samalla tavoin kuin MS Palva. Luokkaan pienet muut alukset luetaan MS Telepaatti ja alueella liikkuvat hinaajat.

Taulukko 23 Koostetaulukko onnettomuuden (karilleajo tai yhteentörmäys) seurauskustannuksista tarkastelun alustyypeillä.

Alustyyppi	Lastivuodon puhdistuskust. [1000€]	Polttoainevuodon puhdistuskust. [1000€]	Ympäristölle lastivuodosta aiheutuva haitta [1000€]	Ympäristölle polttoainevuodosta aiheutuva haitta [1000€]	Yhteentörmäyksen korjauskust. [1000€]	Karilleajon korjauskust. [1000€]	Seisontakust. [1000€]	Viranomaispalvelut [1000€]
Matkustaja-alus, suuri	0	4160	0	4343	295	249	3394	28
Matkustaja-alus, pieni	0	1560	0	2010	169	396	1016	28
Ro-Ro, suuri	0	4160	0	4343	389	645	576	24
Ro-Ro, keskikok.	0	3120	0	3410	353	401	434	24
Säiliöalus, keskikok.	10400	3120	9948	3410	502	349	705	490
Säiliöalus, pieni	83	1560	685	2010	192	280	564	490
Irtolastialus, keskikok.	0	3120	0	3410	353	401	434	24
Muu alus, pieni	0	1560	0	2010	127	145	51	14

9.3 Kustannus-hyöty vertailut

Kustannusvertailua tehtäessä otettiin huomioon luvussa 7.5 esitetyt GRACAT-ohjelmistolla lasketut ennusteet vuotuisille yhteentörmäystapahtumille sekä nykyisellä väylällä (Taulukko 19) että suunnitellulla uudella Kökarin väylällä (Taulukko 20). Lisäksi otettiin huomioon luvun 9.2.2 taulukossa (Taulukko 21) esitetyt arviot todennäköisyyksille, että yhteentörmäyksessä tapahtuu öljylasti- tai polttoainevuoto. Onnettomuuksien seurauskustannukset huomioitiin luvun 9.2.7 koostetaulukon (Taulukko 23) mukaisesti.

Onnettomuustapahtumien arvioihin perustuen lasketut arviot alusten yhteentörmäyksistä vuosittain keskimäärin aiheutuville kokonaiskustannuksille on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 24). Ennusteen mukaan nykyisellä perusväylällä liikennöitäessä arvio alusten yhteentörmäyksistä vuosittain keskimäärin aiheutuville kokonaiskustannuksille on 155 030 €. Vastaava arvio yhteentörmäysten vuotuisille keskimääräisille kokonaiskustannuksille liikennöitäessä Kökarin väyläsuunnitelman mukaisella uudella perusväylällä on 26 200 €. Molemmat arviot perustuvat vuoden 2015 ennustettuun liikennemäärään. Ehdotetun uuden Kökarin väylän tarkastelussa on oletettu, että linjaliikenne siirtyy kokonaisuudessaan käyttämään uutta väylää. Näiden arvioiden perusteella uudella Kökarin väylällä saavutettavissa oleva säästö alusten yhteentörmäyksistä aiheutuviin seurauskustannuksiin on keskimäärin 128 830 € vuodessa. Näissä kustannuksissa ei ole huomioitu yhteentörmäyksissä mahdollisesti aiheutuvia henkilövahinkoja.

Merenkululaitoksen ilmoituksen mukaan uuden väylän investointikustannukset ovat 500 000 – 1000 000 € ja kauppamerenkulun väylien vuotuiset ylläpitokustannukset 48 €/km. Tässä tarkasteltavan nykyisen perusväylän pituus on 80,7 km ja suunnitellun Kökarin perusväylän

pituus 75,5 km, josta seuraa vuotuisiksi ylläpitokustannuksiksi nykyiselle perusväylälle 3 874 € ja uudelle Kökarin perusväylälle 3 624 €.

Uudesta väylästä aiheutuu lisäksi varustamoille linjaluotsien luotsikirjojen uusimisesta lisäkustannuksia, joita ei ole määritelty tässä tarkastelussa.

Arvioitaessa suunnitellun Kökarin väylän kannattavuutta yhteentörmäysonnettomuuksien perusteella on elinjaksoksi otettu 30 vuotta, jota käytetään yleisesti väyläinvestoinneissa. Laskelmissa käytettiin 5%:n diskonttokorkoa, jonka avulla määritettiin sekä suunnitellun Kökarin väylän, että nykyisen Nyhamn-Rödsjär-väylän elinjaksokustannukset. Väyläinvestoinnin kannattavuus määritettiin elinjaksokustannussäästönä, joka saadaan vähentämällä nykyisen väylän elinjaksokustannuksista uuden väylän elinjaksokustannukset. Laskelman mukaan Nyhamn-Rödsjär-väylän elinjaksokustannukset ovat noin 2,4 M€ ja suunnitellun Kökarin väylän n. 1,5 M€, joten elinjaksokustannussäästöksi muodostuu n. 1 M€. Laskelman tulokset on esitetty seuraavassa Taulukko 25:ssä. Koko laskelman EXCEL-taulukko on nähtävissä LIITTEESSÄ 13.

Taulukko 24 Arvioidut yhteentörmäysonnettomuuksista aiheutuvat keskimääräiset vuotuiset seurauskustannukset Nyhamn-Rödsjär-väylälle ja Kökarin väyläsuunnitelman mukaiselle perusväylälle.

Alustyyppi	Kokoluokka	Nykyinen väylä kokonais kustannukset [1000€]	Kökarin väylä kokonais kustannukset [1000€]
Matkustaja-alus, suuri	100-150	21,43	2,66
Matkustaja-alus, suuri	80-100	51,90	7,93
Matkustaja-alus, suuri	40-60	13,55	2,65
Matkustaja-alus, pieni	1,5-2,0	0,30	0,07
Matkustaja-alus, pieni	1,0-1,5	24,21	3,51
Ro-Ro, suuri	100-150	22,44	3,72
Ro-Ro, suuri	60-80	14,94	3,88
Ro-Ro, keskikok.	20-30	4,56	0,78
Säiliöalus, keskikok.	40-60	0,67	0,71
Säiliöalus, pieni	0,5-1,0	0,22	0,08
Irtolastialus, keskikok.	20-30	0,08	0,08
Muu alus, pieni	0,2-0,5	0,72	0,12
Yhteensä		155,03	26,20

Taulukko 25 Suunnitellun Kökarin väylän kannattavuuslaskelman tulokset.

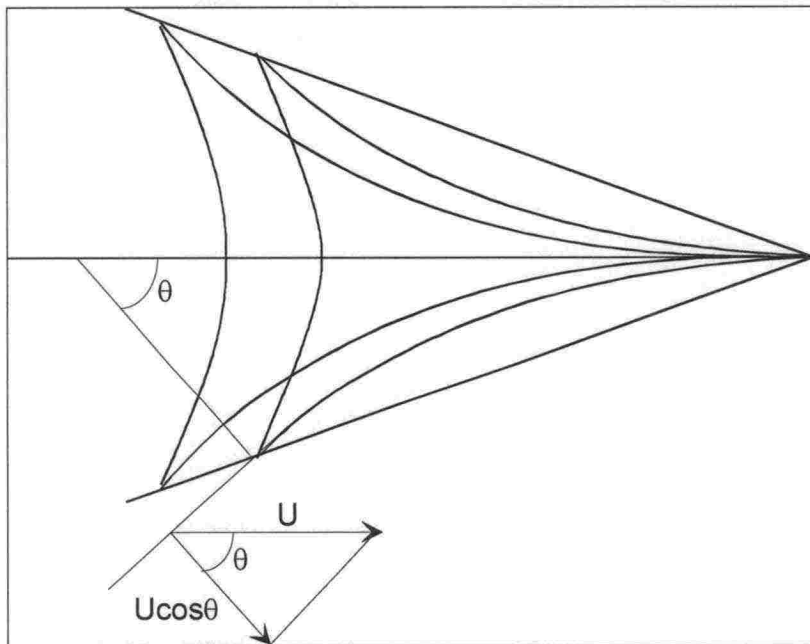
Diskonttokorko	5,0 %
Nyhamn-Rödsjär-väylän 30 vuoden elinjaksokustannukset	2 442 744 €
Suunnitellun Kökarin väylän 30 vuoden elinjaksokustannukset	1 458 468 €
Investoinnin kannattavuus (elinjaksokustannussäästö)	984 276 €

10 Laiva-aaltojen ominaisuuksista

10.1 Yleistä

Seuraavassa on esitetty muutamia näkökohtia laivan aallonmuodostukseen liittyen. Esitys on pelkistetty, ja teorian tukena on esitetty eräitä mittaustuloksia Airiston ja Rymättylän eteläpuolisilta merialueilta. Mittaustulokset ovat sidoksissa mittauskohteen morfologiaan ja ohittavien alusten ominaisuuksiin. Ne antavat kuitenkin hyvän käsityksen aalto- ja virtaushäiriön suuruudesta.

Laivan aallonmuodostukseen vaikuttaa laivan nopeus, runkomuoto ja veden syvyys. Kelvin-aaltoteorian mukainen laiva-aaltokuvio on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 32). Aaltokuvio muodostuu aluksen kulkusuuntaisista poikittaisista aalloista sekä erkanevista aalloista. Aluksesta katsoen aaltokuvio on muuttumaton, eli aallon nopeuden laivan kulkusuuntaisen komponentin tulee olla sama kuin laivan nopeus. Syvässä vedessä erkanevien aaltojen suuntakulma $\theta = 35.3^\circ$.



Kuva 32. Kelvin-aalto.

Syvyyden vaikutusta voidaan arvioida syvyyssiippuvalla Frouden luvulla,

$$Fn_h = \frac{V}{\sqrt{gh}}, \quad (4)$$

missä V on laivan nopeus, h veden syvyys ja g gravitaation aiheuttama kiihtyvyys.

Mikäli $Fn_h < 0.7$ veden syvyys ei vaikuta laivan aallonmuodostukseen. Airiston eteläpuolella suoritetuissa mittauksissa veden syvyys laivaväylällä vaihteli välillä 28-65 m ja suurin laivannopeus oli noin 21 solmua. Näillä arvoilla Frouden luvuksi saadaan 0.65-0.43, eli alusten voidaan katsoa kulkevan syvässä vedessä. Mittaustulokset voidaan katsoa edustavan hyvin myös Kökarin väylävaihtoehdon ympäristöä.

10.2 Laiva-aaltojen periodi

Mitatut laivat voidaan katsoa kulkevan syvässä vedessä, jolloin laiva-aallon vaihenopeudelle saadaan,

$$c_p = \frac{gT}{2\pi} = U \cos \theta, \quad (5)$$

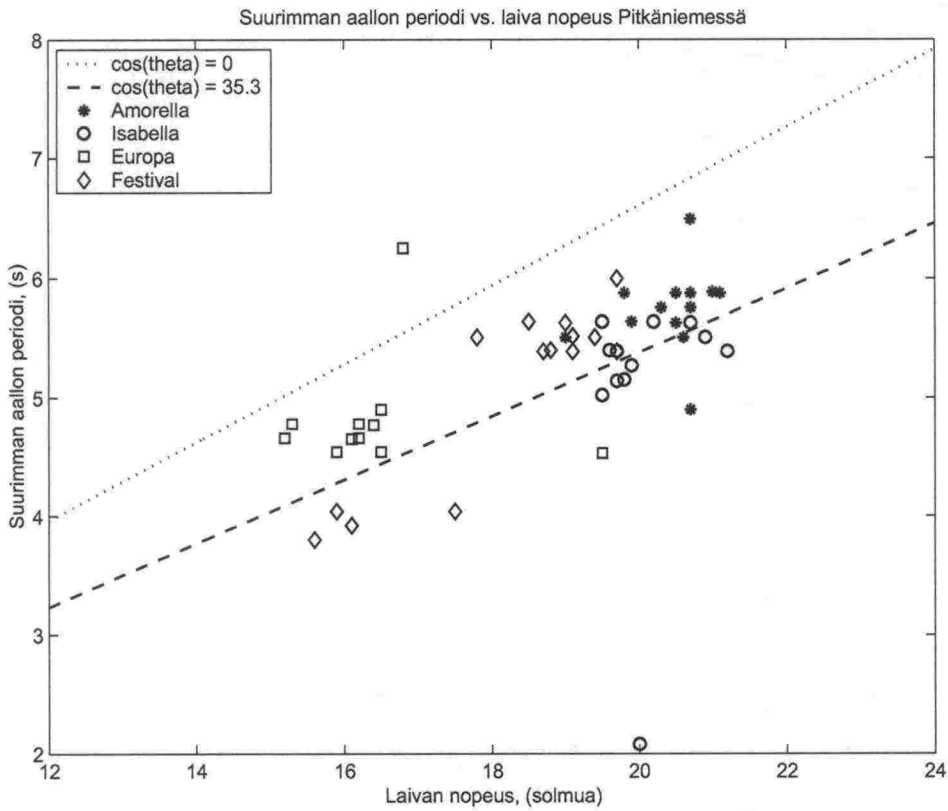
missä c_p on aallon vaihenopeus, T periodi, U laivan nopeus ja θ aallon suuntakulma.

Yhtälöstä 2 saadaan laiva-aallon periodiksi,

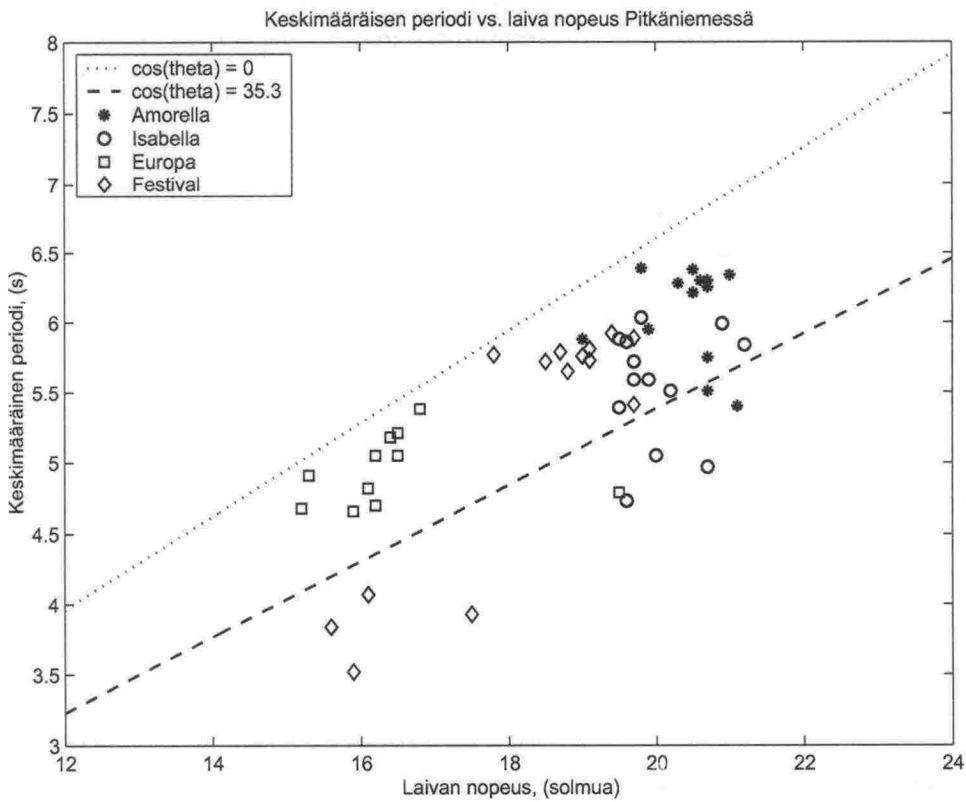
$$T = \frac{2\pi U}{g} \cos \theta. \quad (6)$$

Aallon periodi on siis suoraan verrannollinen laivan nopeuteen. Jos laivan nopeus annetaan solmuina, saadaan poikittaisten ($\theta = 0$) aaltojen periodiksi, $T_{poikittainen} = 0.33U_{kn}$, sekä vastaavasti erkaneville ($\theta = 35.3$) aalloille, $T_{erkaneva} = 0.269U_{kn}$. Muistisääntönä voidaan sanoa että poikittaiselle aallolle periodi on noin kolmannes ja erkaneville noin neljäs laivan nopeudesta solmuina.

Seuraavissa kuvissa (Kuva 33 ja Kuva 34) on esitetty esimerkkinä vertailu mitattujen laiva-aaltojen periodien ja laivan kulkunopeuden välillä Krampin eteläpuolella olevassa Pitkäniemessä. Mittaukset sopivat hyvin teoreettiseen laiva-aallon periodiin. Eroa mittaustulosten ja teorian antamien arvojen välille tulee lähinnä rannan "epämääräisestä" muodosta, aaltojen heijastumisesta rannasta ja interferenssistä tulevien aaltojen kanssa.



Kuva 33. Suurimman aallon periodi Pitkäniemessä.



Kuva 34. Keskimääräisen aallon periodi Pitkäniemessä.

10.3 Laiva-aaltojen vaimeneminen

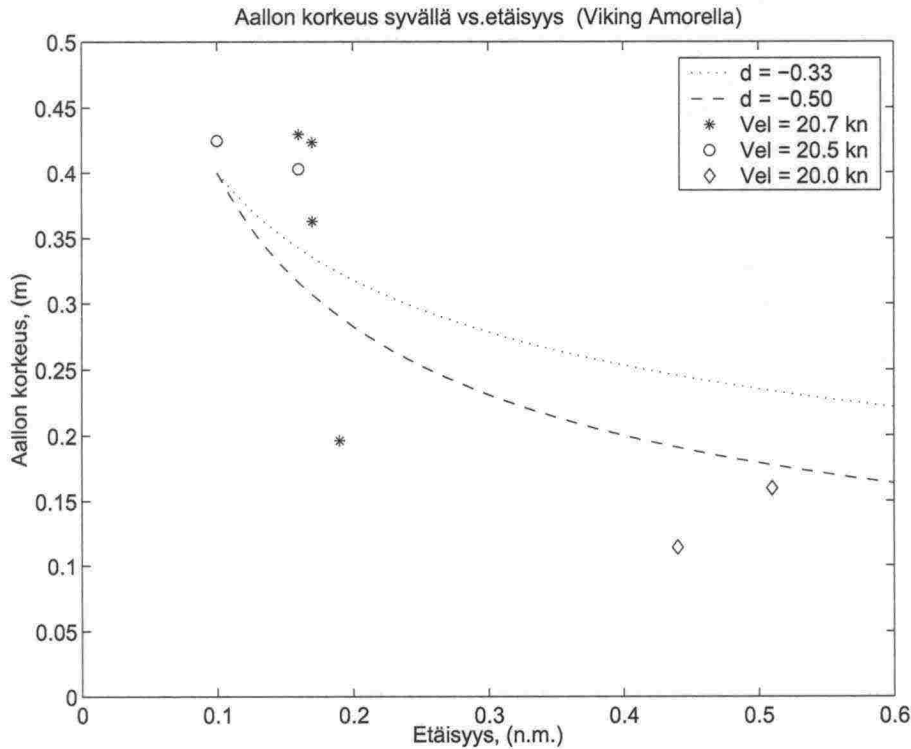
Kelvin aaltoteoriaan pohjautuen laiva-aaltojen vaimenemiselle voidaan johtaa seuraava yhteys,

$$\frac{H(r)}{H_0} = \left(\frac{r}{r_0} \right)^d, \quad (7)$$

missä $H(r)$ on suurin aallonkorkeus etäisyydellä r ja H_0 referenssiaallonkorkeus etäisyydellä r_0 laivan kulkureitiltä. Potenssi d on teorian mukaan $-1/2$ poikittaisille aalloille ja $-1/3$ erkaneville aalloille. Näillä arvoilla poikittaiset aallot vaimenevat erkanevaa aikaisemmin, eli etäällä aluksesta vaimeneminen on verrannollinen $\propto r^{-1/3}$. Potenssia $-1/3$ onkin yleisesti käytetty kuvaamaan aaltojen vaimenemista kun ollaan kiinnostuneita aaltojen ympäristövaikutuksista. Edellä esitetty vaimeneminen perustuu aaltojen harjojen pituuden kasvuun etäisyyden kasvaessa. Luonnossa vaimenemiseen voivat kuitenkin vaikuttaa myös muut seikat kuten paikallinen luonnonaallokko sekä tuuli. Kenttämittauksiin perustuen on esitetty muitakin arvoja, esimerkiksi Kofoed-Hansen (1999) mukaan paras vastaavuus on saatu potenssilla -0.55 .

Etelä-Airistolla suoritetuissa mittauksissa on liikaa hajontaa, jotta niiden perusteella voisi sanoa mikä potenssi kuvaisi parhaiten aaltojen vaimenemista. Luultavasti ainoa tapa määrittää tämä luotettavasti olisi mitata ohittavan laivan aaltojen vaimenemista usealla, riittävän etäällä toisistaan olevalla aaltomittarilla, jolloin vaimenemisen voisi määrittää suoraan eri antureiden välillä. Nyt mittaukset tehtiin yhdessä pisteessä ja vaikka laivojen ohitusetäisyydet vaihtelivatkin eivät eri ohitukset ole keskenään riittävän vertailukelpoisia. Seuraavassa kuvassa (Kuva 35) on esimerkki mitatuista laiva-aaltojen korkeudesta etäisyyden suhteen. Kuvaan on myös piirretty potensseja $-1/3$ ja $-1/2$ vastaavat käyrät.

Laivareitin siirtämisen vaikutusta arvioitaessa on järkevää käyttää potenssia $-1/2$ vaimenemisen ylärajana ja potenssia $-1/3$ alarajana. Mikäli ohittavien laivojen keskimääräinen etäisyys kaksinkertaistuisi pienentäisi se aallonkorkeutta havaintopisteessä 20-30%.



Kuva 35 Amorellan aaltojen vaimeneminen etäisyyden suhteen Krampin itäpuolella.

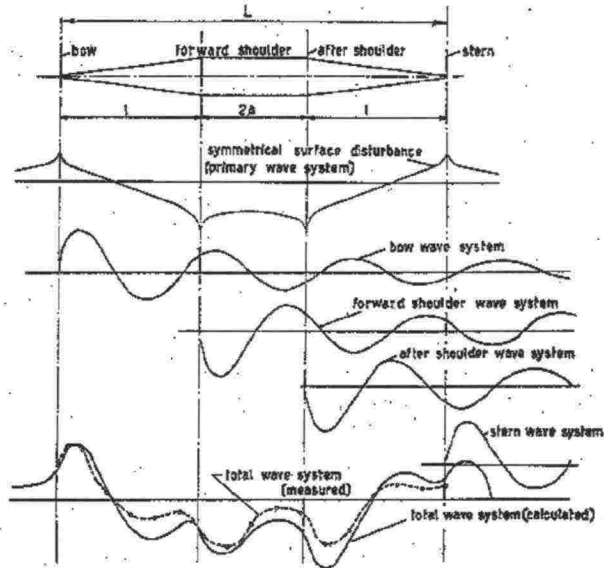
10.4 Laiva-aallon korkeus laivan nopeuden suhteen

Laivan vastus ja laivan aiheuttaman aallon korkeus suurenee aluksen nopeuden kasvaessa. Aaltovastukseen vaikuttaa kuitenkin syntyvien aaltojen interferenssi. Aallonmuodostus on suurin mikäli laivan keulasta, perästä ja kyljistä syntyvät aallot ovat sellaisia että niiden huiput osuvat laivan perässä samalle etäisyydelle eli aaltojen interferenssi lisää aallonkorkeutta. Vastaavasti jos aallot ovat vastakkaisessa vaiheessa pienentää interferenssi aallonkorkeutta. Tämän seurauksena on edullista ajaa laivaa tietyillä nopeusalueilla. Kuva 36 on esimerkki laivan muodostamien aaltojen interferenssistä. Kuvan 'laiva' on teoreettinen esimerkilaiva, mutta todellisuudessa tilanne on samankaltainen, eli laivan voi katsoa toimivan aaltolähteenä jossa aalto syntyy perässä ja keulassa sekä kohdissa joissa laivan rungon kaarevuus on suuri.

VTT:n laivalaboratorion suorittamien mallikokeiden perusteella aluksen aallon korkeus on likimain verrannollinen aluksen nopeuden neliöön, eli $H_{\max} \propto U^2$. Kuva 37 on esimerkki mallikokein tutkitusta aallonkorkeudesta. Kuvan tavanomainen alus vastaa tyypillistä matkustaja-autolauttaa.

Kuva 38 esittää Airiston eteläpuolisten mittausten perusteella määritetyn aallon korkeuden aluksen nopeuden suhteen. Keskimäärin aallonkorkeus putoaa nopeuden pienetessä, mutta selkeää riippuvuutta ei tämän perusteella voida määrittää. Aluksen nopeuden muutoksen merkitystä arvioitaessa on järkevintä käyttää mallikokeista saatua tulosta, muistaen kuitenkin että todellisessa tilanteessa aallonmuodostukseen voi sisältyä huomattavastikin hajontaa. Tällä

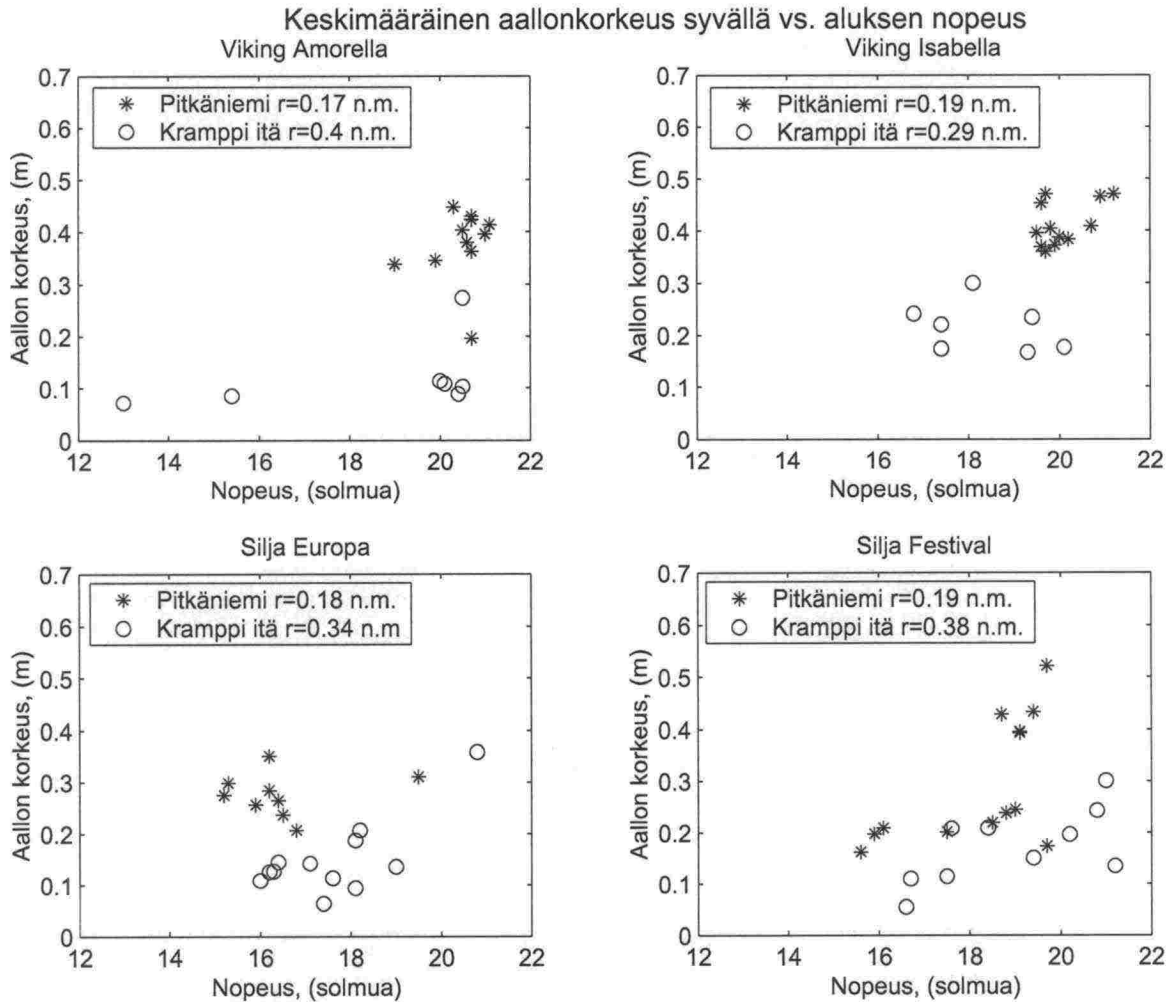
oletuksella pienenee aluksen aallon korkeus puoleen jos aluksen nopeus pienenee 30% ($1/\sqrt{2}$), joka siis vastaisi esimerkiksi nopeuden pudotusta 20 solmista 14 solmuun.



Kuva 36 Esimerkki laiva-aallon interferenssistä.

— Hoikka nopea alus

Kuva 37 Suurin aallonkorkeus 50m etäisyydellä aluksen keskilinjasta syvässä vedessä [15].



Kuva 38 Esimerkki mitatuista, syvään veteen muunnetuista aallonkorkeuksista aluksen nopeuden suhteen. Kuviin on merkitty keskimääräinen etäisyys mittauspisteistä (r) Pitkäniemessä ja Krampin itäpuolella. Mukaan on esityksessä otettu alukset joiden etäisyys poikkeaa vähemmän kuin 20% keskimääräisestä etäisyydestä.

11 Alusten aiheuttamien aaltojen ja potkurivirtausten vaikutuksista

11.1 Yleistä

Alusliikenteen ympäristövaikutukset voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin vaikutuksiin. Suorina vaikutuksina voidaan pitää aalto- ja virtausvaikutuksia sekä emissiopäästöjä. Epäsuoria ovat esimerkiksi liikenteestä aiheutuvien fyysikaalisten muutostekijöiden vaikutukset ympäristön kasvillisuuteen ja kalastoon sekä niiden vuorovaikutussuhteisiin. Epäsuorana vaikutustekijänä voidaan nähdä myös alusten painolastiveden vaihto, mikäli siihen liittyy painolastivesien mukana kulkeutuvien uusien tulokaslajien leviämisen mahdollisuus. Seuraavassa on lyhyesti kuvattu alusliikenteen tärkeimpiä ympäristövaikutuksia.



Kuva 39 Tyypillinen näkymä Turun saaristossa.

11.2 Eroosiovaikutukset

Mahdollisesti eniten keskustelua herättävä normaalin alusliikenteen aiheuttama ympäristövaikutusmuoto on nk. eroosiovaikutus, jota on erityisesti tutkittu Saaristomerellä ja Tukholman saaristossa. Viime vuosina on alusliikenteen vaikutuksia selvitetty lisää varsinkin Saaristomerellä, jossa pääpaino tarkasteluissa on ollut aalto- ja virtaushäiriöissä ja niiden osuuden selvittämisessä alueen silakan kutualueiden taantumiseen [15] ja [17]. Nopeiden alusten aiheuttamia virtaus- ja aaltohaittoja on myös selvitetty sekä Helsingin että Tallinnan edustan merialueilla [18]. Väyliin liittyvää alusliikenteen aiheuttamaa häiriötä on myös käsitelty lähteissä [14] ja [16].

Eroosiovaikutukset normaalista alusliikenteestä kohdistuvat sekä merenpohjaan väylällä, että rannan ympäristöön. Väyläalueella ja satamissa aluksen lähellä eroosiota aiheuttavat aluksen propulsiolaitteistojen aiheuttamat virtaukset, nk. potkurivirtaukset ja takaisinvirtauksen nopeuskenttä aluksen ympärillä. Aaltojen aiheuttamaa rantoja kuluttavaa häiriötä on selvitetty esimerkiksi viitteessä [16]. Ohikulkevasta aluksesta aiheutuvat aallot ymmärretään usein samaksi aaltohäiriöksi, joka silmin todetaan rannalla, mutta viimeaikaiset selvitykset Saaristomerellä [17], mallikoetulokset [15] ja nopeiden alusten aallonmuodostusta koskevat selvitykset [18] tukevat sitä käsitystä, että aallot aiheuttavat vaikutuksia myös rannan edustalla, syvemmällä kuin on aiemmin arveltu. Erityisesti nopeista aluksista aiheutuvat pitkät aallot ulottuvat hyvinkin vielä jopa 10...25 m syvyysalueella pohjaan. Pitkät aallot saattavat hetkellisesti nostaa hienoainesta pohjasta ylös mahdollistaen pohjasedimentin kulkeutumisen. Paikallisesti tuulelta suojatuilla alueilla on alusliikenteen aaltovaikutus merkittävä suhteessa tuuliaallon aiheuttamaan oskilloivaan virtausmuutokseen.

Aiemmin on alusten todettu aiheuttaneen enemmän eroosiohaittoja sora- ja hiekkarannoilla kuin nykyään. Osittain jopa vanhat eroosiorannat ovat saavuttaneet tasapainotilan, jossa eroosio on pysähtynyt ja uusi kasvillisuus on peittänyt vauriokohtia. Uuden sukupolven alukset ovat toisaalta suurempia kuin alukset 20-30 vuotta sitten, jolloin niiden aiheuttamat imuvaikutukset ovat kasvaneet: kasvaneiden imuvaikutusten johdosta pohjaan sedimentoitunut löyhä aines lähtee herkästi liikkeelle ja kulkeutuu virtausten mukana sellaisille alueille, jossa virtaustila on heikko, nk. akkumulaatiopohjille.

Aiemmin Turun edustan merialueella toteutetuissa mittauksissa mitattiin laivaliikenteen aiheuttamaa häiriötä rannan edustalla sekä Pohjois- [17] että Etelä-Airistolla [25]. Ruissalon edustalla mittauspisteet sijaitsivat 650 metrin (Järvistensaari) ja 550 m (Kuuva) etäisyydellä rannasta. Etelä-Airistolla etäisyydet olivat hieman suuremmat, mutta vastaavasti alusten ohitusnopeudet olivat tuntuvasti suuremmat (normaalit ajonopeudet).

Suurten matkustajalauttojen todettiin Ruissalon - Rajakaran välisellä alueella aiheuttavan n. 50 – 60 cm korkuisia aaltoja rannan edustalla. Aaltojen periodi oli luokkaa 3 – 4 s. Aaltohäiriön lisäksi mitattiin hitaasti vaimeneva vedenpinnan heilahtelu ohituksen yhteydessä. Tämä indusoi voimakkaita virtausnopeita matalilla lahdilla. Vedenpinnan heilahtelu oli mittausalueella maksimissaan luokkaa 20 cm, joskin rajoitetuimmissa lahdissa voi koko vesimassa heilahtaa ulos-sisään heilahtelun vaikutuksesta. Rannan edustalla mitattiin 1,5 m syvyydessä jopa 40 – 50 cm/ s virtausnopeuksia. Lähempänä rantaa pohjan läheiset virtausnopeudet olivat suurempia, jopa luokkaa 1,8 m/s aallon murtovyöhykkeessä.

Pienempien alusten todettiin aiheuttavan luokkaa 0,2 m korkuista aallokkoa, periodin ollessa 1,5 – 2,0 s. Virtaukset olivat toisaalta suurehkoja rannan edustalla, luokkaa 20 – 50 cm/s.

Tutkimuksissa todettiin virtausten nostavan hienoa pohjamateriaalia vesifaasiin rannasta ja pohjasta rannan edustalta. Tuloksia on käsitelty varsin seikkaperäisesti mm. viitteessä [27].

Uutta tutkimusaineistoa laivaliikenteen vaikutuksiin rantavyöhykkeellä on saatu Airiston eteläosissa ja Rymättylän eteläpuolella (Kramppi) suoritetuissa tutkimuksissa [25]. Selvitysten mukaan laiva-aaltojen ja virtausten aiheuttama pohjan sekoittuminen ja eroosiovaikutus ulottuu varsin syvälle rannan edustalla. Airiston mittausten perusteella pitkien laiva-aaltojen eroosiovaikutus on suurempi, kuin alueen luonnon aallokosta aiheutuvien virtausten aiheuttama eroosio. Luvussa 10 on esitetty joitakin Rymättylän eteläpuolella suoritettujen mittausten tuloksia, lähinnä häiriöaallon dimension ymmärtämiseksi.

11.3 Biologiset vaikutukset

Normaalin alusliikenteen biologisina vaikutuksina voidaan todeta mm. kasvillisuuden lajittumista huuhteluvaikutuksesta aiheutuen. Kalliorannoilla ko. tapahtumasta voi olla seurauksena kasvilajien ja eläinlajien määrän pienenemistä sekä sedimentin kulkeutumista, joka suurina pitoisuuksia voi haitata eri eliöryhmien kehitystä ja kalojen käyttäytymistä. Aaltojen ja virtausten aiheuttamasta eroosiosta on seurauksena myös epästabiliit olosuhteet, jolloin eroosiorantojen kasvisto köyhtyy, ja on epästabiliissa tilassa.

Lähellä laivaväylää olevilla rannoilla on alusliikenteestä todettu aiheutuvan sekä positiivisia, että negatiivisia vaikutuksia. Positiivisia vaikutuksia voi aiheutua alusten aiheuttamista aalloista niiden huuhdella rantoja. Vedenpinnan heilahtelulla rannalla voi myös olla rantaeliöstön ekosysteemiä laajentava vaikutus.

Kalastomuutokset kulkevat "käsi-kädessä" kasvillisuusmuutosten kanssa. Kasvillisuuden muutokset heijastuvat pieneliöihin joiden rakenteessa tapahtuu myös muutoksia, josta seuraukset ulottuvat edelleen kalastoon ja merilintupopulaatioihin asti. Yhtenä voimakkaimmin merenpohjien kasvillisuus- ja kalastovyöhykkeitä muokkaavana tekijänä on ollut näkösyvyyden voimakas lasku rehevöitymisen seurauksena sekä runsaan sedimentaation aiheuttama pohjien liettyminen [17].

11.4 Vaikutukset kaloihin ja kalastukseen

Laivaliikenteen vaikutuksista kalastoon tai kalastukseen on verrattain vähän objektiivista tutkimusaineistoa. Silakka ja sen kutualueet edustavat kalastosta ehkäpä tutkituinta aluetta. Tutkimuksia on suoritettu Turun edustalla useita.

Silakan kutualueet ovat kärsineet vesistöjen voimakkaasta rehevöitymisestä: pohjaan vajoava, osittain eloperäinen aines peittää kasvillisuutta, jolloin kutu ei kiinnity kasvien pintaan vaan joutuu heitteille. Airistolla on viime vuosina eräillä kutualueilla todettu mädin huuhtoutuneen lähes kokonaan perinteisesti hyväksi tunnetuilta kutualueilta. Yksi syy huuhtoutumiseen voi löytyä myös kasvillisuusmuutosten kautta: sedimentoitunut aines ja pienentynyt näkösyvyys muuttavat ympäristöolosuhteita, jolloin myös kasvien keskinäinen kilpailuasetelma ja tasapainotilanne muuttuu. Laivaliikenteellä on löyhiä pohjasedimenttejä sekoittava vaikutus erityisesti kapeilla ja matalilla saaristoväylillä. Ohittavien alusten vaikutuksesta löyhiä pohjasedimenttejä nousee vesipatsaaseen, kulkeutuen taas muualle. Kuitenkin välittömästi rantojen lähellä ohittavista aluksista aiheutuva huuhteleva vaikutus voi olla vaikutuksiltaan dominoivampi kuin sedimentaatiota aiheuttava vaikutus.

11.5 Alustyyppin ja käyttötarkoituksen merkitys ympäristövaikutuksen synnyssä

Alusten vaikutuksia tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon myös alustyyppit, jolloin todetaan liikenteen ympäristövaikutusmuodoista osan olevan sidoksissa aluksen käyttötarkoitukseen. Aluksen aallonmuodostus- ja virtausvaikutuksen lisäksi myös käyttäjien tarpeet ja käyttötavat luovat lähtökohdan vaikutusten esiintymiselle.

11.6 Matkustajaliikenne

Suurin mielenkiinto alusten ympäristövaikutuksista keskusteltaessa on yleensä kohdistunut Suomen ja Ruotsin väliseen matkustaja-autolauttaliikenteeseen, joskin alusliikenteestä puhuttaessa tulisi tarkastella kaikkia alustyyppisiä objektiivisesti. Ensimmäisen kerran kiinnitettiin laivaliikenteen aiheuttamiin eroosiovaurioihin huomiota Suomen ja Tukholman saaristossa yli 20 vuotta sitten, jolloin laivaliikenteen epäiltiin olevan osasy s erityisesti hiekka- ja sorarantojen kulumiseen laivaväylien reuna-alueilla. Suomen puolella päähuomio kohdistui tällöin laivaväylien reuna-alueiden mahdollisiin kasvillisuus- ja kalastomuutoksiin, sillä kallioisemman luontonsa vuoksi ei eroosiohaittoja esiintynyt kuin paikoitellen pienessä mittakaavassa.

Verrattaessa vanhemman sukupolven aluksia uusiin, on todettavissa kaksi muutosta ympäristövaikutusmielessä: parantuneen runkosuunnittelun ansiosta ovat uudet alukset taloudellisempia, jolloin aallonmuodostusvastus osana kokonaisvastusta on pienempi. Esimerkiksi uudet autolautat aiheuttavatkin oleellisesti pienemmän aallon kuin 70-80 luvulla kulkeneet edeltäjänsä. Toisaalta imu- ja painevaikutukset ovat kasvaneet alusten koon kasvaessa, ja vaikutukset voivat ulottua hyvinkin laajalle alueelle.

Nykytilanteessa Suomen ja Ruotsin välinen matkustaja-autolauttaliikenne jakaantuu sekä Helsingistä että Turusta Tukholmaan kulkevaan liikenteeseen. Alusten aiheuttama aaltohäiriö ja virtausvaikutukset ovat voimakkaampia Turun edustan merialueilla kuin Helsingin edustalla, jossa varsin pian satamasta lähdön jälkeen kuljetaan avoimessa ympäristössä. Toisaalta molempien linjojen alukset käyvät nykyisten tax-free-säädösten vuoksi Ahvenanmaalla, jossa autolauttojen aiheuttamat vaikutukset voivat olla Turkuu suuremmat. Toisaalta Turun edustan merialueella kulkevat myös muut alukset, mm. Naantaliin menevä liikenne, jolloin kokonaisympäristövaikutukset Airistolla ja Saaristomerellä ovat suuremmat.

11.7 Alustava-arvio alusliikenteen aalto- ja virtausvaikutuksista nykyisellä väylällä

Nykyinen linjaliikenteen käyttämä reitti on raportissa kuvattu graafisesti luvussa 3.3 (Kuva 4 ja Kuva 10). Reitti kulkee Turusta päin länteen purjehdittaessa Husön pohjoispuolitse, ohittaa Sottungan sen eteläpuolitse, jonka jälkeen reitti kulkee suojaisia merialueita pitkin mutkitellen Långnäsiin. Långnäsiistä reitti edelleen kulkee suoraan etelään Björköön ja Järsjön välistä ja yhtyy tässä raportissa kuvattuun Kökarin väyläsuunnitelmaan Lemlandin eteläkärjessä Ledskärin kohdalla (luku 3.3.7).

Yleisenä huomiona voidaan todeta, että nykyinen väylä kulkee tuuliaalloilta suojaisempaa reittiä kuin Kökarin väylävaihtoehto.

Turusta länteen matkatessa reitti jakautuu kahteen haaraan, joista eteläisempi kulkee Bogskärin eteläpuolelta ja ohittaa Bogskärin rannat ja karit yli 1,5 km päästä. Pohjoisempi reitti kulkee n. 400 m etäisyydeltä Bogskäristä. Reitit yhdistyvät Husön koillispuolella, jossa väylä kulkee lähimmillään 400 m päästä Husötä. Pohjoispuolella oleva Husö Öarna jää yli 1,1 km päähän. Tämän alueen matalat fladat ja matalikot ovat alttiita laivoista aiheutuville aalto- ja virtaushäiriöille.

Husön ja Sottungan välinen väyläosuus kulkee aivan saarten ja luotojen välitse, etäisyyden ollessa pienimmillään 120–200 m. Tällä alueella ohittavien alusten aalto- ja virtausvaikutukset rannoilla ovat selviä. Väyläosuuden pituus on noin 5,4 km.

Sottungan jälkeen on lähes 4 km km suora osuus, jossa etäisyys viereisiin saariin ja kareihin on yli 1 km. Tullaan Enskärin kohdalle, jossa väylä kääntyy kaakosta kulkemaan lounaaseen kulkien pienten saarten ja karien välistä. Reitti kulkee Överön ja Bockholmenin pohjoispuolitse ja matalia fladoja ja laivan synnyttämille takaisinvirtauksille alttiita pieniä poukamia ja matalikkoja on kaikkiaan n. 7,5 km matkalla molemmin puolin väylää.

Bockholmenin jälkeen reitti kääntyy n. 2,2 km suoran osuuden jälkeen Synderskärin kärjestä länteen (9.0 m). Käännöksestä on myös mahdollista ajaa 7,0 m väylää etelälounasta kohden. Edeltävällä suoralla osuudella etäisyys laivaväylälle on 250–300 m. Tämän jälkeen seuraa n. 7 km lähestyminen Långnäsän satamaan, jolla välillä aalto- ja virtausvaikutukset pienenevät merkittävästi aluksen hiljentaessa vauhtiaan. Tällä reittisuudella kuljetaan rantojen lähellä vasta aivan sataman edustalla.

Ajettaessa 7.0 m väylää Sandöstä etelään väylä kulkee ensin n. 3,3 km Bredskär Kobbenin länsipuolelta aina Sändön kärkeen. Tällä osuudella etäisyys on n 500 m saarten rantaan. Sandön kohdalla (Hässlö fjärden) alus tekee lähes 90 asteen käännöksen länteen, ja reitti kulkee n. 2,5 km matkan varsin läheltä Södra Hässlö saariryhmän kareja ja luotoja. Reitti jatkuu lähes suorana viitisen kilometriä, ja kääntyy Järsön eteläkärjessä 90 astetta etelään, yhtyen Långnäsistä tulevaan 9,0 m väylään.

Långnäsistä länteen päin lähdetessä reitti kulkee ensin n. 6,2 km matkan Björkö ja Järsön välitse, kulkien lähempänä Björköä. Aluksen nopeutta lisätään satamasta lähdetessä, eikä sen aalto- tai virtausvaikutukset vielä ole niin suuria kuin ajettaessa normaalilla nopeudella. Osuuden lopussa (Järsö Enskär) kuljetaan pienen karimuodostelman vieritse, jossa imuvaikutukset ovat tuntuvia. Reitti yhtyy 1,3 km osuuden jälkeen idästä tulevaan 7,0 m väylään. Seuraava 4,9 km matka kulkee vasta aivan lopussa saarten lähellä (Brändökobben). Järsö Enskärissä on etelään matkatessa mahdollista ottaa 9,0 m väylän sijasta 8,0 m väylä, joka n. 3,9 km jälkeen yhtyy taas 8,2 m väylään. Tämä 3,9 km osuus kulkee pienten karien ja matalikkojen vieritse.

Seuraava 8,2 km osuus pitkin Ledfjärdeniä kulkee varsin kaukaa rannoista, eikä alusten rantavaikutukset ole merkittäviä. Reitti yhtyy Kökarin väylävaihtoehdon mukaiseen reittiin Ledskärissä.

11.8 Kökarin väyläsuunnitelma

Kökarin väyläsuunnitelmaa on kuvattu aiemmin luvussa 3.2 (Kuva 1). Ympäristövaikutuksia arvioitaessa tulevat keskeisiksi alueiksi A.) Kökarin pohjoispuolinen alue väylän molemmin puolin (pisteet 4 – 9 kuvassa 1), B.) Kökarin länsipuolella pisteiden 11 – 13 välinen merialue ja jo lähellä Ahvenanmaan mannerta oleva pisteiden 15 – 17 välinen merialue (C.).

Suunniteltu Kökarin väylälinjaus seuraa Kuva 1:n mukaisesti Turku/Naantalista tulevaa 13 m syväväylää, ja erkanee siitä kuvassa esitetyssä pisteessä 3 (60°01,05' ja 21°06,17'). Tästä lähtee nykyisin 5,0 m väylä Kökarin pohjoispuolitse. Tähän pisteeseen asti laivaliikenne kulkee ulkosaariston olosuhteissa, jossa laiva-aaltojen ja virtausten vaikutuksilla ei ole käytännön merkitystä luonnon omaan tausta-aallockoon ja virtaustilanteeseen verrattuna.

Pisteiden 3 ja 4 välisellä alueella reitti kulkee ulkosaaristo-olosuhteissa, eikä merkittäviä saaria tai matalikkoja ole väylän vaikutuspiirissä. Tämän osuuden puolivälissä väylä kulkee Smågaddarna ja Skarvgaddarna kariryhmien vierestä noin 500–600 m etäisyydeltä. Kaakossa sijaitseva Snögrundet ohitetaan yli kilometrin päästä.

Pisteestä 4 reitti kääntyy länttä kohden ja reitin molemmin puolin ohitetaan saaria ja matalia karikoita. Tämän osuuden kokonaispituus on noin 10,5 km, ja se kulkee aivan Kökarin pohjoispuolitse. Etäisyys rantaan vaihtelee laajasti ollen lähimmillään hieman runsaat 100–500 m. Merikarttatarkastelun nojalla ei Kökarin pohjoispuolisesta merialueesta ole tarkkoja syvyystietoja. Pohjoispuolella saaria on hajanaisemmin väylän vaikutuspiirissä ja ne ovat tyyppillisesti yli 500 m etäisyydellä. Aluetta kuitenkin luonnehtii runsas kivikoiden ja karikoiden muodostama kokonaisuus.

Pisteiden 8 ja 9 välisellä osuudella väylä kulkee kauempaa saarista ja vain yksittäisiä karikkoja osuu väylän vaikutuspiiriin. Osuuden pituus on noin 3 km, ja etäisyys saariin on noin 600–800 m.

Pisteen 9 jälkeen väylä kääntyy lounaaseen ja kulkee alussa Barskärin ja Segelskobarna matalikkojen luoteispuolelta ohittaen ne 400–1000 metrin etäisyydeltä. Näiden alueiden laaja mataluus tekee ne potentiaalisiksi laiva-aaltojen vaikutuksille. Toisaalta ne ovat täysin alttiita lounaan ja etelän puoleisille tuulille, jolloin alusliikenteestä aiheutuva vaikutus ei voi olla merkittävä.

Noin 12 km päässä Kökarista ohitetaan lukuisia matalikkoja molemmin puolin väylää. Tämän osuuden pituus on noin 7,5 km ja sen varrella on laajoja matalikkoja 500–1000 metrin etäisyydellä. Sinänsä laivaväylän välittömässä läheisyydessä ei ole merkittäviä matalikkoja ja/tai kareja ja väylälinjaus seuraisi luonnollista syvännettä matalikkojen välissä.

Edellä esitetyn jakson jälkeen seuraa varsin syvä ja laaja alue, jossa ei ole matalikkoja, ja/tai karikkoja väylän läheisyydessä. Väylä taittuu luodetta kohden pisteessä 13. Pisteen 13 etelä- ja pohjoispuolella on n. 1,5 kilometrin etäisyydellä karikkoja ja matalikkoja, jotka ovat luonnostaan alttiita ja avoimia länsi-kaakkoissektorista puhaltaville tuulille/myrskyille.

Pisteen 14 läheisyydessä on kaksi merkittävää matalikkoa, Fästorna ja Kråkläppen /Österbådan, joiden yhteen laskettu vaikutusalueen pituus on noin 3,4 km. Tällä osuudella laivaliikenne kulkee varsin läheltä ko. matalikkoa. Ennen väylän yhtymistä Ledskäriissä olemassa olevaan Långnäsistä tulevaan väylään, ohitetaan Väktankäppen (osuuden pituus 2,2 km) ja kuljetaan Björön koillispuolitse Ledskäriin. Loppuosuuden pituus on noin 8,4 km, ja siinä kuljetaan 600–1000 metrin päästä saarien ja kariryhmien muodostamia kokonaisuuksia.

11.9 Vaikutusten arviointi YVA-prosessissa

Lähdettäessä toteuttamaan Kökarin väylävaihtoehtoa tulee alusliikenteen ympäristövaikutuksia nykyiseen väylään verrattaessa ottaa huomioon mm. seuraavia näkökohtia.

Paikallisen väestön näkökulmasta merenkulku kuuluu olennaisesti saariston meriympäristöön. Ilman sitä ei todennäköisesti olisi elävää saaristoa. Moni paikallisesta väestöstä saa ja on saanut elantonsa merenkulusta, jolla on selvästi positiivinen vaikutus merenkulun ympäristövaikutuksia pohdittaessa. Kesäasukkaat eivät ehkä näe alusten kulkua rantojen lähellä yhtä positiivisesti, ja onkin oletettavaa, että kahdesta väylävaihtoehdosta se, jonka varrella on enemmän kesäasuntoja, on kesäasukkaiden mielestä huonompi vaihtoehto. Talouksien ja kesäasuntojen lukumäärät ja sijainnit molempien väylien vaikutuspiirissä ovat siis ilmeinen selvitettävä asia YVA-prosessissa;

Osa reittiliikenteessä olevista aluksista ilmeisesti pysähtyisi Kökarissa Tax Free -säännösten vuoksi. Tästä syystä ko. alusten nopeudet eivät Kökarin pohjoispuolisella merialueella olisi

niin suuria kuin ajettaessa ohitse tavanomaista vauhtia pitäen. Tästä johtuen aalto- ja virtausvaikutukset olisivat tuntuvasti pienemmät autolauttaliikenteen osalta.

Kalastoon kohdistuvien vaikutusten arvioinnissa tulee YVA-selvityksessä päähuomiota keskittää kevät- ja syyskutuisten kalojen kutupaikkoihin väylien vaikutuspiirissä, sekä liikenteen ja syönnösalueiden välisiin suhteisiin. Matalat fladat ovat tyypillisiä hauen kutupaikkoja. Voimakkaat virtaukset sekoittavat kutulahtien vettä, ja nostavat hienoja sedimenttejä ja pohjalietettä vesifaasiin. Visuaalinen vaikutus on lähinnä näkösyvyyden pienentyminen, mutta biologiset vaikutukset ovat monitahoisempia. Matalissa lahdissa voi lähes koko lahden vesimassa vaihtua aluksen ohittaessa lahden, jonka johdosta veden lämpötila vaihtuu nopeasti, mäti saattaa irtautua kasvillisuudesta ja tuhoutua, sedimenttilaskeuma saattaa peittää mätiä ja estää sen kiinnittymisen vesikasvillisuuden pintaan jne. Airistolla suoritetuissa mittauksissa ([17] ja [27]) on alusliikenteen todettu nostavan pohjasta hienoainesta ohituksen yhteydessä merkittäviä määriä. Uudet tulokset myös näyttäisivät vahvistavan käsitystä, että vaikutukset eivät rajoitu pelkästään rannoille, että myös syvemmällä rantojen edustalla virtausvaikutukset saattavat ylittää merkittävästi tuuliaalloista aiheutuvat pohjanläheiset virtausnopeudet. Airistolla mahdollinen syy vanhojen silakka-alueiden taantuminen on todennäköisesti seurausta vesistöjen yleisestä rehevöitymisestä ja sen seurauksena syntyneestä potentiaalista löyhien sedimenttien ja detrituksen liikkumiselle: Tuuliaallot, laivaliikenne ja läjitykset sataman suulla saavat löyhät lietteet liikkeelle, ja ne peittävät alleen laajoja alueita Airistolla muuttaen alueen ekologiaa ratkaisevasti.

Kevätkutuisten lajien rinnalla on tarkasteluissa verrattava siian esiintymis- ja kutualueita molempien väylävaihtoehtojen yhteydessä. Tutkimustulokset siian kutualueiden tilasta ovat tuntuvasti harvemmat kuin silakan osalta. Muutoksia epäilemättä esiintyy myös siian kutu- ja syönnösalueissa Saaristomerellä, ja todennäköisesti suurin tekijä on yleinen rehevöityminen. Laivaliikenteen mahdolliset vaikutukset siian esiintymisalueille saattavat siksi jäädä yleisen rehevöitymisen ja Saaristomeren veden laadun muutosten sisälle, eikä erillisten tekijöiden vaikutuksia pystytä luotettavasti erittelemään. Kalastolle aiheutuvia mahdollisia vaikutuksia arvioitaessa tulee myös ottaa huomioon se tosiseikka, että vaikutukset tulisi voida arvioida koko ravintoketjun kannalta: alusliikenteen vaikutukset saattavat joissakin kohdissa olla merkityksettömiä kalaston kannalta, mutta niiden vaikutukset eläinplanktonin tai kasvillisuuden suhteen voivat olla merkittäviä. Tällaisessa tapauksessa muutokset ravintoketjussa tai kasvillisuusympäristössä muuttavat nopeasti laji- ja saaliseläinsuhteita ja tuloksena voi olla merkittäviä muutoksia myös kalaston suhteen.

Tuulelta suojaiset alueet ovat erityisen herkkiä laivaliikenteen aiheuttamille muutoksille. Erityisen merkittäviä muutokset voivat olla matalien lahtien, fladojen ympäristössä, jossa nopeat, dynaamiset ja toistuvasti tapahtuvat ilmiöt muuttavat ekosysteemin rakennetta ratkaisevasti. Pelkästään muutokset kasvillisuudessa voivat muuttaa eläinplanktonin laji- ja määräsuhdetta, joka vaikuttaa ratkaisevasti kalanpoikasten tuotantoon ko. alueella. Tutkimuksia kalaston ja laivaliikenteen vuorovaikutuksesta on jonkin verran tehty esim. Åbo Akademiassa ja Turun yliopiston Saaristomeren tutkimuslaitoksessa, mutta selvää tendenssiä laivaliikenteen vaikutuksista ei ole olemassa. Vastaavasti kasvillisuusmuutoksia on selvitetty erityisesti Åbo Akademin toimesta. Vastaavia tutkimuksia on myös tehty Tukholman saaristossa, joskin siellä päähuomio on keskittynyt toistaiseksi laivaliikenteen eroosivaikutusten selvittämiseen. Kasvillisuusmuutoksissa on kuitenkin todettava yleinen rehevöityminen pääasialliseksi muutosten aiheuttajaksi.

Uudet tutkimustulokset ovat nostaneet kysymyksen laiva- ja tuuliaaltojen mahdollisuudesta nostaa kiintoainesta ja kuollutta eloperäistä ainesta syvemmältä pohjalta vesifaasiin, jolloin

virtausten mukana löyhä aines pääsee kulkeutumaan tavanomaisten akkumulaatiopohjien ulkopuolelle. YVA-selvityksessä tulisikin tehdä jonkintasoinen herkkyysanalyysi kasviston valtalajeja ajatellen, jossa analysoidaan kasvien sietoa sedimentoitumista ajatellen:

Kalastukseen kohdistuvat vaikutukset rajoittuvat väylien välittömään läheisyyteen, joskin sana "välitön" voi sopivissa olosuhteissa tarkoittaa jopa 1-2 km etäisyyttä. Suurin haitta kalastukselle aiheutuu epäilemättä kiinteiden pyydysten likaantumisesta virtausten mukana liikkuvien eloperäisen aineksen tarrautuessa verkon havakseen. Ilmiöllä ei olisi käytännön haittaa, mikäli Saaristomeren veden laatu olisi samanlainen kuin viime vuosisadan alussa. Primäärisyys on jälleen rehevöityminen. Lisääntyneet virtaukset saattavat aiheuttaa myös positiivisia vaikutuksia: turbulenttinen virtaus sekoittaa vettä ja pohjan detritusta, tuoden saalisorganismit paremmin kalojen ulottuville. Seikka saattaa johtaa joiden ranta-alueiden suosimiseen kalojen käyttäytymismielessä, joka taas kalastajan näkökulmasta voi helpottaa kalojen löytämistä ja pyynnin suorittamista. Laivaväylän viereiset vesialueet ovat kuitenkin toistuvien vaikutusten piirissä, jolloin paikallisesti saattaa vanhastaan hyväksi todetut pyyntipaikat taantua. Toisaalta kalaston rakenne voi muuttua sellaiseen suuntaan, että kalaa kyllä tulee, mutta väärän merkkistä.

Eräs vaikeus ekologisen tilan säilyttämisen määritelmässä on sen ajallinen epämääräisyys. Verrataanko vaikutuksia tietyn paikan suhteen nykytilassa vai katsotaanko kymmenien vai satojen vuosien päähän taaksepäin? Ennallistamiskäsite tähtää taantuneiden järjestelmien palauttamiseen.

Tämän selvityksen tavoitteisiin ei ole kuulunut varsinaisesti selvittää uuden väylävaihtoehdon ympäristövaikutuksia suhteessa nykyiseen väylään. YVA-prosessi on väylän rakentamis- ja käyttökustannusten ja turvallisuustekijöiden ohella kuitenkin yksi tärkeimmistä valintakriteereistä, ja siksi sitä koskeva tarkastelu on oikeutettua.

Laivaliikenteen vaikutuksista linnustolle on nähtävissä kaksi pääkategoriaa: kevään ja syksyn huippuhetket muuttoon liittyen ja saaristossa pesivien vesilintulajien pesimis- ja syönnösalueet suhteessa olemassa olevaan ja suunniteltuun Kökarin väylävaihtoehtoon. Lintujen perimään ei liity käsitystä laiva-aaltojen korkeudesta rantavyöhykkeellä, mutta pesän rakentamisen alkuvaiheessa kärsitty pesän tuhoutuminen "opettaa" linnun rakentamaan pesän ylemmäksi rannalle. Poikasten kuoriuduttua saattaa ensimmäisten viikkojen aikana alusten aaltovaikutukset luoda otollisia tilanteita petolinnuille pyydystää poikasia. Aaltojen murtuminen ja virtausten aiheuttama pohjan sekoittuminen voi toisaalta parantaa joidenkin lajien poikasten ravinnon hakua rantavyöhykkeellä.

Tärkeä YVA-prosessiin kuuluva tekijä Saaristomerellä on hylkeiden esiintyminen. Kökarin väylävaihtoehdo kulkee todennäköisesti lähempää hyljealuetta, mutta vaikutus selvityksissä tulee pohjautua alan asiantuntijoiden näkemyksiin. Yleinen tilanne hyljepopulaatioiden suhteen on oleellisesti parempi kuin kymmenen, kaksikymmentä vuotta sitten. Nykyisessä tilanteessa puhutaan jo hylkeiden aiheuttamista merkittävistä vahingoista Saaristomeren ja Ahvenanmeren kalastajien pyydyksille.

Laivaliikenteen vaikutukset veneilyyn kohdistuvat periaatteessa venesatamiin ja veneiden ankkurointiin. Perussyys mahdolliseen haittaan on laiva-aallon yllätyksellisyys ja odottamattoman suuret virtausnopeudet matalissa rannoissa. Suurin osa veneille aiheutuneista vaurioista laivojen ohitukseen liittyen on aiheutunut ymmärtämättömyydestä ja riittämättömästä paikallisten olojen tuntemuksesta. Toisaalta myös paikallisille veneilijöille ja kalastajille on ajoittain aiheutunut ongelmia laiva-aaltojen irrottaessa veneitä kiinnityksistä tai virtausten kolhiessa veneitä kallioihin. YVA-prosessissa tulee tarkasteluun ottaa myös venesatamien ja keskeisten vene- ja kalalaitureiden sijainnit väylään nähden.

Öljypäästön aiheuttamia vaikutuksia on edellä käsitelty luvussa 9. Tässä raportissa on öljypäästöä käsitelty suhteessa yhteentörmäys- tai pohjakosketustilanteessa aiheutuvaan öljypäästöön ja siitä aiheutuviin kustannuksiin. YVA-prosessissa tulee lisäksi tarkastelua laajentaa koskemaan myös katurannat, hyljeluodot, mökkirannat ja kalankasvattamot.

11.10 Yhteenvedo ympäristövaikutuksista

Laivaliikenteen ympäristövaikutuksia Kökarin väylällä tulee verrata nykytilaan ja liikenteen vaikutuksiin nykyisellä väylällä. Edellä esitetyn tarkastelun nojalla voidaan todeta mm. seuraavia johtopäätöksiä:

Nykyinen väylä kulkee suojaisimmilla alueilla, joilla alusten aalto- ja virtausvaikutukset ovat Kökarin väylällä kulkevaan liikennöintiin verrattuna suuremmat.

Mikäli Kökarin väylän käyttöön liittyy pysähtyminen Kökarissa matkustajaliikenteen osalta, pienentää se merkittävästi matkustaja-alusten aiheuttamia aalto- ja virtaushaittoja Kökarin pohjoispuolella.

Kökarin väylä kulkee Kökarin länsipuolella ulkosaariston olosuhteissa. Ympäristö ei näin ollen ole eroosiomielessä niin herkkää kuin nykyisen laivaväylän ympäristö. Nykyisen väylän lähiympäristöstä on havaittavissa merkkejä liikenteen aiheuttamista morfologisista muutoksista hienojakoisista hiekka- ja soralajitteista koostuvilla rannoilla.

Laivojen virtausvaikutukset ovat tuntuvia matalien lahtien ja karikkojen ympäristössä. Suojaisen lahdenpoukaman veden voimakas vaihtuminen aluksen ohituksen yhteydessä voi muuttaa kohteen hydrodynamiikkaa ratkaisevasti. Ulkomeren olosuhteissa vaihtuvuus on luontaisesti suurempaa, ja vaikutukset laivaliikenteestä todennäköisesti pienemmät. Laivojen ohituksessa kapeilla väyläosilla havaittava vedenpinnan voimakas harmoninen heilahtelu on myös vähäisempää ulkomeren suuremman vesimassan vuoksi.

Kökarin väylän länsipuolella väylälinjaus kulkee useiden laajojen ulkomatalikkojen vieritse. YVA -tarkastelussa tulee kiinnittää huomiota ko. alueiden ekologiseen merkitykseen ja aalto/virtausdynamiikan mahdollisiin vaikutuksiin.

Nykyinen väylä kulkee alustavan karttatarkastelun pohjalta lähempää tärkeitä saaria ja luotoja kuin Kökarin väylälinjaus. Aalto- ja virtausvaikutukset ovat tästä syystä saarten rantamatalissa nykyisessä vaihtoehdossa suuremmat. YVA tarkastelussa tulisi väylän reuna-alueet luokitella niiden herkkyyssmielessä luotettavan analyysin tekemiseksi.

12 Tulosten yhteenveto ja johtopäätökset

Suunniteltu Kökarin väylä ja nykyisin käytössä oleva Nyhamn-Rödsjär-väylä eivät pituudeltaan suuresti poikkea toisistaan, mutta niillä on kuitenkin merkittäviä keskinäisiä navigoitavuuden ja väyläturvallisuuden vaikuttavia eroja.

Väylägeometrialtaan uusi väylä on nykyistä väylää selkeäpiirteisempi. Tämä havaittiin väylägeometriaan perustuvalla regressiomallilla suoritettussa karilleajoriskianalyysissä. Regressiokaavalla saatuja tuloksia ei tule kuitenkaan tarkastella absoluuttisina onnettomuusmäärien ennusteena, vaan karilleajoalttiutta kuvaavana indeksinä, joka paljastaa väylien navigoinnin kannalta vaikeat kohdat ja joka osoittaa muutoksen suuruutta karilleajoriskissä verrattuna tilanteeseen ennen uuden väylän käyttöönottoa. Karkeana ennusteena analyysin perusteella voidaan sanoa, että uuden väylän käyttöönotto pudottaisi karilleajoriskin lähes kymmenenteen osaan nykyisestä.

Suunnitellun Kökarin väylän navigoitavuuden selvittämiseksi suoritettiin VTT:n järjestelmäsimulaattorissa reaaliaikaisia ja nopeutettuja simulointeja. Reaaliaikaisia simulointeja oli ajamassa linjaluotseja ja päälliköitä Finnlinesilta, Seawindiltä, Silja Linelta ja Viking Linelta, eli reitillä säännöllistä linjaliikennettä harjoittavista varustamoista. Simulointien perusteella Kökarin väylä on ajettavissa Silja Europalla alueella todennäköisesti esiintyvissä tuuliolosuhteissa. Simulaattoriajajojen avulla pystyttiin paikallistamaan uudelta väylältä meriturvallisuuden kannalta alueet joissa karilleajoriski on muuta väylää suurempi. Nopeutetuissa simuloinneissa suurilla tuulen nopeuksilla ulosajot väyläalueelta keskittyvät väylän kapeikkoon Smågaddarnan luona. Myös reaaliaikaisissa simuloinneissa tämä kohta havaittiin väylän vaikeimmaksi paikaksi. Hieman pitempi, mutta parempi vaihtoehto olisi johtaa väylä Snodgrundin ympäri. Tätä vaihtoehtoa kokeiltiin reaaliaikaisissa simuloinneissa, mutta nopeutettuja simulointeja ei ajettu Snodgrundin ympäri.

Alusten yhteentörmäysten taajuus nykyiselle väylälle vuoden 2015 ennustetta vastaavalla liikennetiheydellä on 0.0548 törmäystä per vuosi (= keskimäärin yksi törmäystapaus vajaan 20 vuoden välein). Yhteentörmäystaajuus ehdotetulle uudelle Kökarin väylälle on 0.00938 törmäystä per vuosi (= keskimäärin yksi törmäystapaus runsaan 100 vuoden välein). Uusi väylä pienentäisi näin arvioituna alusten yhteentörmäysriskin Turku – Maarianhamina välillä vajaan kuudenteen osaan nykyisestä. Tarkastelluista väyläpisteistä suurinta riskiä yhteentörmäyksille näyttäisivät ehdotetulla uudella väylällä edustavan Kökarin luoteispuolella sijaitsevat väyläristeykset, joissa Kökarin ja Ahvenanmaan välillä liikennöivä yhteysalusliikenne ylittää uuden väylän. Samaa suuruusluokkaa oleva riski arvioitiin liittyvän myös risteykseen, jossa uuden väylän länsipäässä eteläinen vaihtoehtoinen haara eroaa tutkitusta peruslinjauksesta. Tarkastelussa oletettiin, että suoraan Ruotsiin kulkeva liikenne käyttäisi tätä vaihtoehtoista väylää muun liikenteen käyttäessä pohjoisempaa väylävaihtoehtoa.

Onnettomuustaajuusarvioihin perustuen laskettiin arviot alusten yhteentörmäyksistä vuosittain keskimäärin aiheutuville kokonaiskustannuksille. Ennusteen mukaan nykyisellä perusväylällä liikennöitäessä arvio alusten yhteentörmäyksistä vuosittain keskimäärin aiheutuville kokonaiskustannuksille on 155 030 €. Vastaava arvio yhteentörmäysten vuotuisille keskimääräisille kokonaiskustannuksille liikennöitäessä Kökarin väyläsuunnitelman mukaisella uudella perusväylällä on 26 200 €. Molemmat arviot perustuvat vuoden 2015

ennustettuun liikennemäärään. Ehdotetun uuden Kökarin väylän tarkastelussa on oletettu, että linjaliikenne siirtyy kokonaisuudessaan käyttämään uutta väylää. Näiden arvioiden perusteella uudella Kökarin väylällä saavutettavissa oleva säästö alusten yhteentörmäyksistä aiheutuviin seurauskustannuksiin on keskimäärin 128 830 € vuodessa. Näissä kustannuksissa ei ole huomioitu yhteentörmäyksissä mahdollisesti aiheutuvia henkilövahinkoja.

Merenkululaitoksen ilmoituksen mukaan uuden väylän investointikustannukset ovat 500 000 – 1 000 000 € ja kauppamerenkulun väylien vuotuiset ylläpitokustannukset 48 €/km. Tässä tarkasteltavan nykyisen perusväylän pituus on 80,7 km ja suunnitellun Kökarin perusväylän pituus 75,5 km, josta seuraa vuotuisiksi ylläpitokustannuksiksi nykyiselle perusväylälle 3 874 € ja uudelle Kökarin perusväylälle 3 624 €. Suunnitellun Kökarin väylän kannattavuutta arvioitiin yhteentörmäysonnettomuuksien vähenemisen perusteella. Elinjaksoksi otettiin 30 vuotta, ja laskelmissa käytettiin 5%:n diskonttokorkoa. Laskelman mukaan Nyhamn-Rödskär-väylän elinjaksokustannukset ovat noin 2,4 M€ ja suunnitellun Kökarin väylän n. 1,5 M€, joten elinjaksokustannussäästöksi muodostuu n. 1 M€.

Ympäristövaikutuksiltaan uusi väylä on todennäköisesti parempi kuin nykyinen väylä. Vaikka molempien väylävaihtoehtojen kokonaispituudet ovat suurin piirtein samat, kulkee nykyinen väylä pitemmän matkan suojaisemmissa olosuhteissa. Laivojen virtaus- ja aaltohäiriön vaikutus korostuu suojaisilla alueilla. Mikäli matkustaja-alusliikenne pysähtyisi Kökarissa, pienentyisivät alusliikenteen aalto- ja virtausvaikutukset alusten hiljaisemmista ajonopeuksista johtuen erityisesti Kökarin pohjoispuolisilla alueilla. Kökarin väylävaihtoehdossa alukset ohittavat keskeiset saariryhmät ja karikat hieman kauempaa kuin nykyisessä tilanteessa.

Uusi väylä kulkee Kökarin länsipuolella ulkosaariston olosuhteissa, joissa luonnostaan esiintyy suurempia aaltoja kuin sisäsaaristossa suojaamattomista olosuhteista johtuen. Alueella sijaitsee uuden väylän läheisyydessä laajoja matalikkoja, joiden herkkyys alueen ekosysteemissä tulee tarkistaa laivojen ohitukseen liittyvän vaimenevan virtaushäiriön vuoksi. YVA-tarkastelussa tulee myös ottaa huomioon mahdollinen väyliä käyttötapa tulevaisuudessa: käytetäänkö molempia väyliä koko ajan vai toimiiko nykyinen väylä vain Kökarin väylän varaväylänä.

Jääoloiltaan uusi väylä on jonkin verran vaikeampi kuin nykyinen väylä. Normaaleina ja leutoina talvina uusi väylä ei poikkea jäänmurtaja-avustuksen suhteen nykyisin käytössä olevasta väylästä. Ankarina ja erittäin ankarina talvina uuden väylän Kökarin länsipuolella liikkuvat alukset tulevat tarvitsemaan jäänmurtaja-avustusta.

Lähdeviitteet

1. Lounaja, A. Kökarin 8 m väylän suunnitelma. 16.1.2002 sekä lisäyksiä ja perusteluita aikaisempaan suunnitelmaselostukseen 18.1.2002.
2. Tanttu, A., Lång, R. Meri- ja sisävesiväylien kehittämisohjelma 2003 - 2012. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja. Helsinki 2001.
3. Merenkululaitos. Onnettomuusanalyysi 1990-2000. Karilleajot ja yhteentörmäykset. Merenkululaitoksen julkaisuja 7/2001. ISBN 951-49-0949-6. Merenkululaitos, Helsinki 2001.
4. Onnettomuustutkintakeskuksen kotisivu: <http://www.onnettomuustutkinta.fi/11081.htm>
5. M/s CINDYn karilleajo Ahvenanmaalla 17.9.2001. Onnettomuustutkintakeskuksen tutkintaselostus C 9/2001 M. Saatavissa Onnettomuustutkintakeskuksen kotisivulta osoitteessa <http://www.onnettomuustutkinta.fi/20838.htm>. Onnettomuustutkintakeskus, Helsinki 2001.
6. Itämeren jäätalven vaiheet (Leveyspiiriltä 57° N pohjoiseen). Finnish Marine Research N:o 254 Supplement 2. ISSN 0357-1076. Merentutkimuslaitos. Helsinki 1988.
7. Safetec UK Ltd. Identification of Marine Environmental High Risk Areas (MEHRAs) in the UK. Doc. No.: ST-8639-MI-1-Rev 01. UK Scotland, December 1999.
8. Jolma, K. Torjuntavalmius 2005 ja 2010. Suomen ympäristökeskus, Vesivarayksikkö. Helsinki 30.3.1999.
9. Etkin, D. S. Estimating Cleanup Costs for Oil Spills. 1999 International Oil Spill Conference. Seattle 1999.
10. Sukselainen, J., Rytönen, J.. Kustannus/hyöty-analyysi Saaristomerelle suunnitellulle meriliikenteen hallinta- ja informaatiojärjestelmälle. VTT:n tutkimusselostus VALC29. Espoo 1994.
11. Maio, D. et al. Port Needs Study, Report No. DOT-CG-N-01-91-1.2, 3. vol., prepared by John A. Volpe National Transportation Systems Center, U.S. Coast Guard, Washington D.C. 1991.
12. VTT Industrial Systems. The implementation of the VTMS-system for the Gulf of Finland. Forman Safety Assessment study. VTT:n tutkimusselostus (luottamuksellinen) VAL34-013153. Espoo 2002.
13. VTT Tuotteet ja tuotanto. Väylien syvyyskäytäntöä koskeva tutkimus. VTT:n tutkimusselostus (luottamuksellinen) TUO34-033206. Espoo 2003.
14. VTT Valmistustekniikka. Alusten aiheuttamat vauraukset Hepokarin väylän suunnitellulla läjitysalueella - alustava arvio. Tutkimusselostus VAL34-992432. Espoo 1999.

15. VTT, 2000a. Ship-generated waves in Archipelago Waterways. Research Report (Confidential) VAL32-001050. VTT Valmistustekniikka. Espoo 2000.
16. VTT, 2000b. Laivojen aiheuttama aalto- ja virtaushäiriö rannassa. Aalto- ja virtausmittaukset Airistolla 02-05.05.2000. Tutkimusraportti BVAL34-001016. VTT Valmistustekniikka. Espoo 2001. 40 s + liitt. 20.
17. VTT, 2001. Merenpohjan liettymisen vähentäminen ruoppaus- ja läjitystoiminnassa ja silakan kutualueiden saneerauksen mahdollisuudet Turun Airistolla. Tutkimusraportti BVAL34-011094. VTT Valmistustekniikka. Espoo 2001. 63 s.
18. PIANC. Guidelines for Managing Wake Wash from High-Speed Vessels. Report of WG 41. Maritime Committee of the International Navigation Association (PIANC) 2003.
19. VTT Tuotteet ja tuotanto. Käytetyn ydinpolttoaineen merikuljetusten altistusanalyysi. VTT:n tutkimusraportti. Luottamuksellinen. Espoo 2003.
20. ISESO, 2000a. User Manual for GRACAT – Grounding and Collision Analysis Toolbox. Document ID I107/I108.00.02.052.006A. 18.12.2000.
21. ISESO 2000b. Basic modelling principles and validation of software for prediction of frequencies. Document ID I107/108.00.02.052.004. 30.05.2000.
22. Ålandstrafiken. Skärgårdstrafiken 15.4.2003 – 14.4.2004. Tulostettavissa Internetistä www.alandstrafiken.aland.fi.
23. Suomen kauppalaivasto ja kalastusluvat 2003. Merenkululaitos Tilastotoimisto, Maa- ja metsätalousministeriö Kala- ja riistaosasto. Helsinki 2003.
24. Archipelago & West coast VTS Guide.
www.fma.fi/toiminnot/liikenteenohjaus/archipelago.php
25. VTT, 2002. Alusliikenteen ja tuulen aallonmuodostus ja eroosiovaikutus eteläisellä Airistolla. Tutkimusraportti VAL34-023288. VTT Tuotteet ja tuotanto. Helmikuu 2002.
26. Kofoed-Hansen, H., Jensen, T., Kirkegaard, J. & Fuchs, J. 1999. Prediction of wake wash from high-speed craft in coastal areas. International Conference Hydrodynamics of High Speed Craft, RINA, Paper No. 12.
27. Kohonen et al, 2000. Kalojen kutu- ja poikastuotantoalueiden suojele- ja kunnostustutkimus Turun Saaristossa. 1.12.1999 - 30.11.2000. Turun yliopisto/Saaristomeren tutkimuslaitos.
28. Kihdin-Isokarin väylätoimikunta. Kihdin-Isokarin väylätoimikunnan mietintö. Komiteamietintö 1990:16. Helsinki 1990.
29. VTT Laivatekniikan laboratorio. Kihdin-Isokarin väylähankkeeseen liittyvien väylien riskianalyysi. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Tutkimusraportti LAI-9266/89. Espoo 1989.
30. VTT Laivatekniikan laboratorio. Kihdin-Isokarin väylähankkeeseen liittyvien reittivaihtoehtojen turvallisuusanalyysi. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Tutkimusraportti LAI-9266/89/2. Espoo 1990.
31. VTT Laivatekniikan laboratorio. Kihdin-Isokarin väylähankkeen riskianalyysin täydennys. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Tutkimusraportti LAI-9266B/90. Espoo 1990.

32. CD-merikartta Pietari-Tukholma. Merenkululaitos 2004. Julkaisulupa n:o
1247/721/2004.

