

PRIAMOKSEN AJAUTUMINEN MATALIKOLLE KOTKASSA

SIMULOINTITARKASTELU

Onnettomuustutkintakeskukselta saadussa toimeksiannossa oli tehtävänä selvittää vaihtoehtoisten ohjailutoimenpiteiden vaikutusta Priamoksen liikerataan sen lähdettyä Mussalon sataman laiturista.

Liikeratalaskelmissa käytettiin Simulco Oy:n Naviquantum-simulointiydintä, joka on kuuden vapausasteen (6 degrees of freedom) modulaarinen simulointimalli. Simulointiydin on käytössä useissa merenkulun koulutus- sekä tutkimus-simulaattoreissa. Priamoksen tarkastelussa simuloitiin aluksen kolmea vapausastetta; pitkittäis- ja poikittaisnopeutta sekä mutkailua. Aallokosta aiheutuneella vähäisellä kallistelulla, jyskinnällä ja kohoilulla ei tarkasteltavassa tapauksessa ollut merkittävää vaikutusta aluksen liikerataan.

Liiketilasimuloinnissa alukseen vaikuttavien voimien ja sen uppouman sekä mukana kulkevan vesimassan, ns. lisätyn massan avulla lasketaan aluksen hetkelliset kiihtyvyydet eri vapausasteissa. Kiihtyvyyksien perusteella lasketaan nopeuskomponentit ja edelleen aluksen liikerata. Priamoksen liiketilan simulointi perustui laskentaan, jossa arvioitiin alukseen vaikuttavia hydrodynaamisia voimia, tuulivoimia sekä avustavan hinaajan työntövoimaa. Hydrodynaamiset voimat syntyvät aluksen kulkiessa veden halki sekä työntö- ja ohjaislaitteiden käytön ansiosta.

Laskennassa käytettiin Priamosta vastaavan kokoisen rahtilaivan runkomallia, jossa päämittasuhteet ja rungon täyteläisyys vastaavat Priamoksen mittoja. Laivan suuntavakavuus, eli sen kyky vastustaa kääntymisliikettä ja pyrkimys kulkea suoraan, riippuu rungon päämittasuhteista ja rungon täyteläisyydestä. Valtaosa aluksista, kuten myös Priamos, on suuntavakaita ja peräsimen kääntävä vaikutus syntyy epäsuorasti sen synnyttämän sivuvoiman avulla, joka aiheuttaa rungolle sivuttaisliikettä. Tämä yhdessä pitkittäisliikkeen kanssa muodostaa rungolle sortokulman, joka lopulta auttaa peräsintä kääntämään alusta vastakkaiseen suuntaan. Tämä sortokulman kääntävä vaikutus on selkeästi nähtävissä kaikissa laivoissa esimerkiksi käännösten lopussa, kun kääntymisliike on ensin pysäytetty vastaruorin avulla. Jos tällaisessa tilanteessa peräsin palautetaan ja jätetään keskelle, alus alkaa uudestaan kääntymään vanhaan suuntaan, sillä se kulkee vielä edellisen käännöksen jäljiltä sortokulmassa. Vasta kun sortokulma on hävinnyt, niin suuntavakaa alus jatkaa kulkuaan suoraan. Toisaalta alukselle voi syntyä sortokulmaa muillakin tavoin kuin peräsimen käytön seurauksena. Priamosin tapauksessa tuulen voima työnsi peruuttavaa alusta oikealle ja tämän seurauksena sen perä pyrki kääntymään vastakkaiseen suuntaan eli vasemmalle. Aluksen runko synnyttää kokonsa vuoksi suuria voimia jo pienilläkin nopeuksilla ja runkovoimat kasvavat nopeasti nopeuden neliössä hydrodynamiikan lakien mukaisesti.

Aluksen kulkiessa veden halki, sen ympärille muodostuu painekenttä. Matalassa vedessä kulkevan aluksen painekenttä rajautuu meren pohjaan. Sen seurauksena veden virtaus rungon alitse hidastuu ja aluksen suuntavakavuus kasvaa. Tämä kääntymistä hidastava vaikutus on otettu simulointilaskennassa huomioon ja veden syvyydeksi on asetettu 18 metriä sataman karttatietojen mukaan.

Laivan rungon voidaan osoittaa synnyttävän voimia vedessä pystyssä olevan siipiprofiilin kaltaisesti. Teoriatarkasteluissa rungon pituutta vastaa profiilin jänne, rungon leveyttä profiilin paksuus ja rungon syväystä profiilin pituus. Aivan kuten siipiprofiililla, sortokulmassa kulkevan rungon synnyttämän sivuvoiman vaikutuspiste sijaitsee karkeasti noin kolmanneksen sen ”johtoreunasta”, tässä tapauksessa taaksepäin kulkevan aluksen perästä keulaan päin. Kääntymisliikkeessä laivan kääntymiskeskiö asettuu lähelle rungon sivuvoiman vaikutuspistettä. Kun alus kulkee taaksepäin, peräsimen etäisyys rungon kääntymiskeskiöstä on pieni. Kun lisäksi peräsimen profiili on virtauksessa väärin päin, eikä potkurin kiihdyttämä veden virtaus osu peräsimeen, jää sen teho heikoksi. Priamosin peräsin oli laiturista lähdön jälkeen aikavälillä 18:37 – 18:41 keskellä. Näin ollen peräsimen ohjailuvaikutus on ollut merkityksetön. Laskennassa peräsin on ollut keskellä koko simulointijakson ajan.

Priamosin viippaus perälle oli 0,2 metriä, joka otettiin huomioon laskennassa. Perätrimmi on hieman heikentänyt taaksepäin kulkevan aluksen suuntavakavuutta, mutta sen vaikutus on ollut erittäin pieni.

Priamos ajalehti lähdössä tuulen mukana kauemmas laiturista. Hitaasti peruuttavan aluksen ja laiturin reunan välinen hydrodynaaminen vuorovaikutus jäi simulointilaskelmien mukaan vähäiseksi, eikä vaikuttanut aluksen liikerataan.

Tavallisten rahtilaivoissa käytettävien potkureiden hyötysuhteet ovat hyvin lähellä toisiaan. Potkureiden vaatiman tehon suhde niiden antamaan työntöön poikkeavat eri potkurimerkeillä korkeintaan muutaman prosentin toisistaan. Tässä tarkastelussa tällaiset erot ovat vähäisiä ja Priamosin potkurin suorituskykyä laskennassa käytettiin vakipotkurin (Wageningen-B) suoritusarvoja.

Perän ohjailupotkurin sijainti lähellä peruuttavan aluksen kääntymiskeskiötä ja taaksepäin vetävän potkurin vanavesikentässä heikensi suuresti sen ohjailutehoa. Simulointilaskelmien mukaan potkurin kiihdyttämä veden virtaus perän ohjailupotkurin kohdalla ylitti 3,5 m/s (n. 7 solmua). Tunneliin asennetun ohjailupotkurin antama työntö on voimakkaasti riippuvainen tunnelin suun ohi virtaavan veden nopeudesta. Esimerkiksi keulan ohjailupotkurin ohjausteho alkaa useissa laivoissa heiketä jo yli neljän solmun nopeudessa ja ohjausteho voi olla kokonaan hävinnyt 8 – 10 solmun nopeudessa. Joissain kokeissa on havaittu jopa ohjausvaikutuksen muuttumista vastakkaissuuntaiseksi, kun potkuritunnelin ohi virtaavan veden paine on kääntänyt tunnelista työntyvän veden kiinni runkoon. Tällöin veden voimakkaasti kiihtyvä virtaus on muodostanut rungon viereen alipainekentän, joka vaikutus on kumonnut ja ylittänyt ohjailupotkurilla aikaansaadun

työntövoiman. Tämän vuoksi Priamosin simulointilaskelmissa on perän ohjailupotkurin teho arvioitu olemattomaksi.

Sen sijaan keulan ohjailupotkurin vaikutus oli hyvä. Sen suuri etäisyys peruuttavan aluksen kääntymiskeskistä ja aluksen alhainen nopeus, alle kolme solmua, antoi keulan ohjauslaitteelle hyvän hyötysuhteen. Peruuttavan pääpotkurin jättövirtauksen vaikutus kauempana aluksen keulaosassa ja toisaalta kääntymisliikkeen aiheuttama keulan siirtyminen pois potkurin virtauskentästä on vähentänyt pääpotkurin ohjailupotkurille aiheuttamia vaikutuksia.

Priamoksen kansilasti oli jaettu tasaisesti aluksen pituussuunnassa konttipinojen korkeuden laskiessa kohti aluksen keulaa komentosiltanäkyvyyden takaamiseksi. Konttirivien välissä oli suurehkot aukot. Tämä on pienentänyt kansilastin aiheuttamaa tuulivoimaa, kun ilmavirtaus on päässyt kulkemaan konttirivien välissä tasaten tuulen painetta. Simulointilaskennassa tuulivoimia arvioitiin vastaavien kansilastissa olevien konttilaivojen laskentatulosten avulla. Priamoksen tuulivoimajakauma oli melko tasainen, painottuen hieman peräänpäin siellä olevien korkeampien konttipinojen ja kansirakenteen vuoksi. Tuulen hetkellisiä vaihteluita aluksen ympärillä ei ole tallennettu ja laskennassa on käytetty tasaista tuulen nopeutta 17 m/s suunnasta 230 astetta.

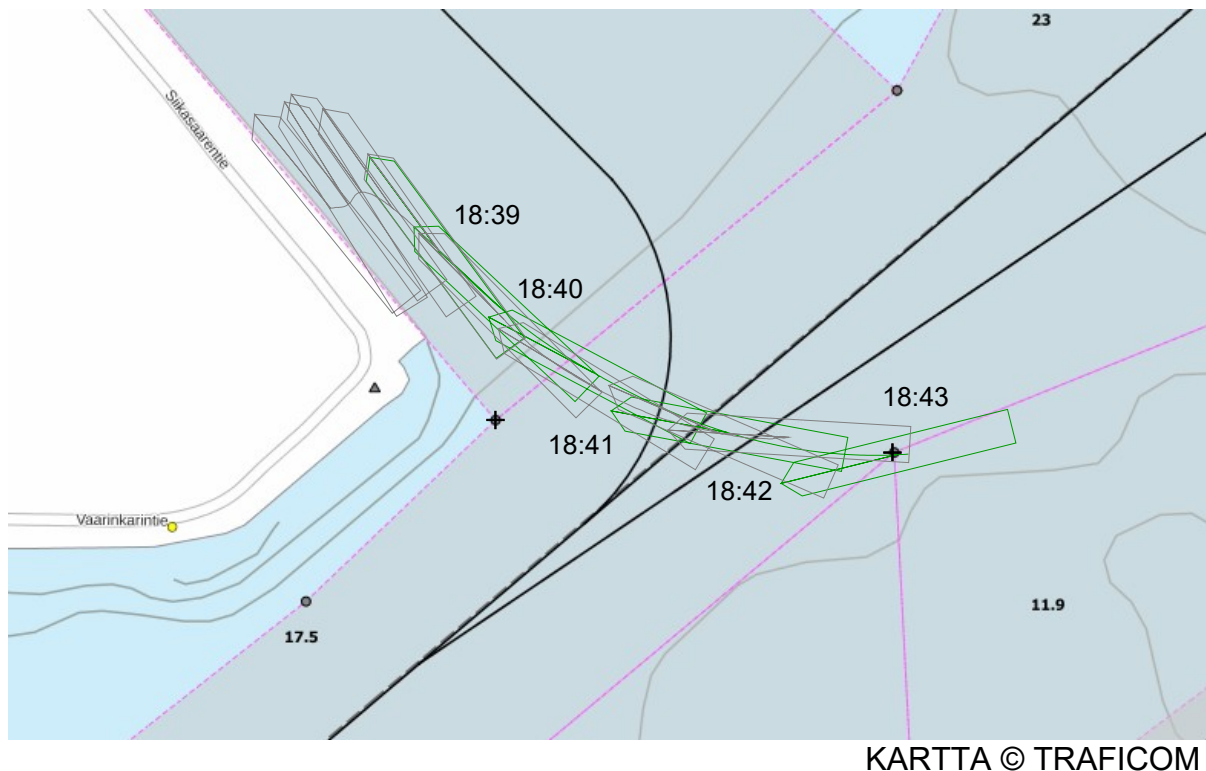
Tutkinnassa saatujen tietojen perusteella avustava hinaaja työnsi Priamosta sen oikeasta kyljestä, noin 25 metriä keskilaivasta keulaan päin. Kun Priamos liikkui taaksepäin, hinaaja seurasi sen mukana. Tällöin osa hinaajan työntövoimasta kului sen kuljettamiseen sivuttain, keula kiinni avustettavan kyljessä. Hinaajan suurimman työntöarvon on arvioitu olleen enimmillään alle puolet hinaajan paaluvetoavimasta. Tätä työntöarvoa on käytetty simulointilaskelmissa hinaajan tuomana ulkoisena voimavektorina.

Hinaajan työntö yhdessä Priamoksen keulaohjauspotkurin käytön kanssa olivat ainoat merkittävät tekijät, jotka käänsivät Priamoksen perää oikealle laiturista lähdön jälkeen. Aikavälillä 18:40:10 – 18:41:50 aluksen keulaohjauspotkurin teho oli nollassa. Kello 18:40:50 Priamoksen komentosillalla ryhdyttiin myös muihin ohjailutoimenpiteisiin pääpotkuria ja peräsintä käyttäen.

Simulointilaskelmissa on tutkittu erilaisten ohjailutoimenpiteiden vaikutusta aluksen liikerataan. Seuraavilla sivuilla on esitetty näitä tuloksia. Laivasymbolit on esitetty karttapohjalla yhden minuutin välein. Simulointitarkastelut on aloitettu ajanhetkestä 18:39:00, kun Priamos on jo ollut hitaassa liikkeessä taaksepäin ja laskenta on päätetty tutkitusta ohjailutoimenpiteestä riippuen ajanhetkeen 18:42:00 tai 18:43:00 siten, että pääpotkurin ja peräsimen komentoja ei ole laskennassa muutettu. Näin ollen simuloitujen liikeradat poikkeavat hieman tositahtumasta lähellä yli ajettua poijua, mutta eri toisaalta ohjailuvaihtoehtojen vaikutus aluksen liikerataan on nähtävillä jo välialueen keskellä, ennen kun alus on ajautunut poijun läheisyyteen.

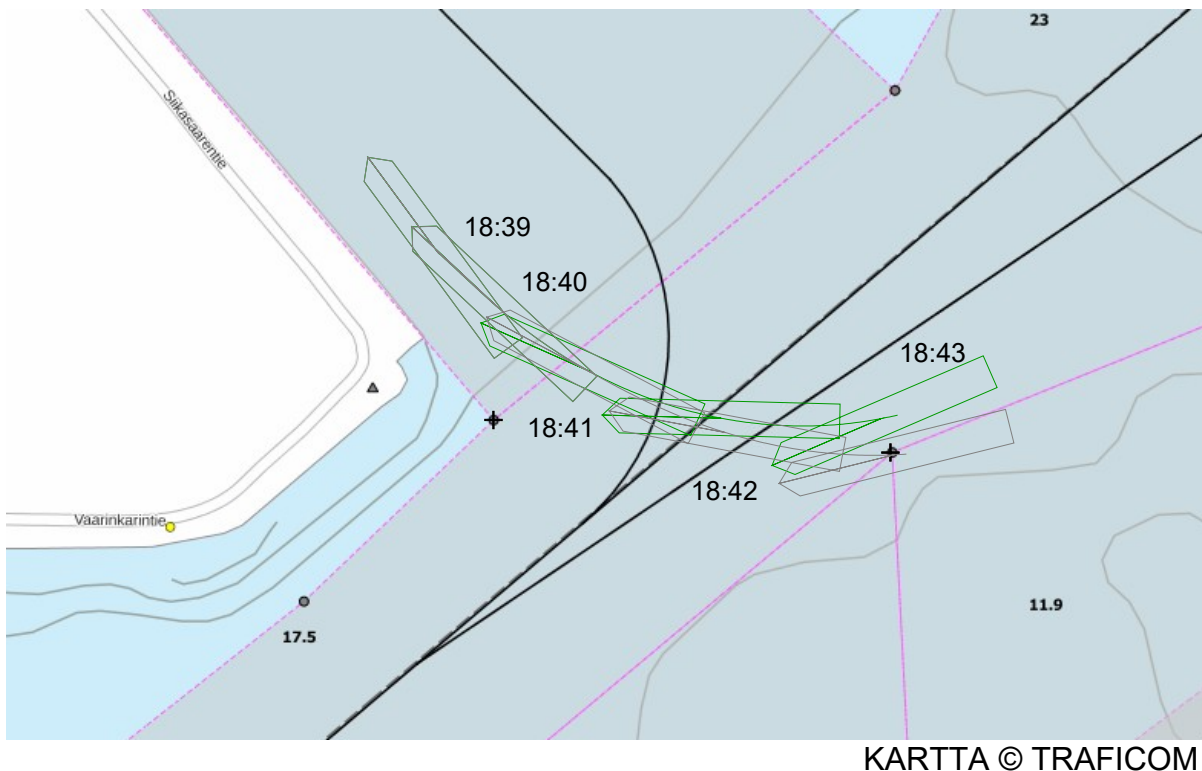
Ensimmäisessä kuvassa on esitetty todellinen ja sitä jäljittelevä simuloitu vertailuliikerata. Simulointimallin verifiointissa virtuaalialuksen runkoparametrejä säädettiin siten, että sen vertailuliikerata seuraa todellista liikerataa.

Simuloinnissa käytetty keulaohjailupotkurin teho seuraa todellisen tapahtuman aikajanaa. Simuloinnissa peruutusteho on pidetty vakiona koko simulointijakson ajan kello 18:43:00 asti.



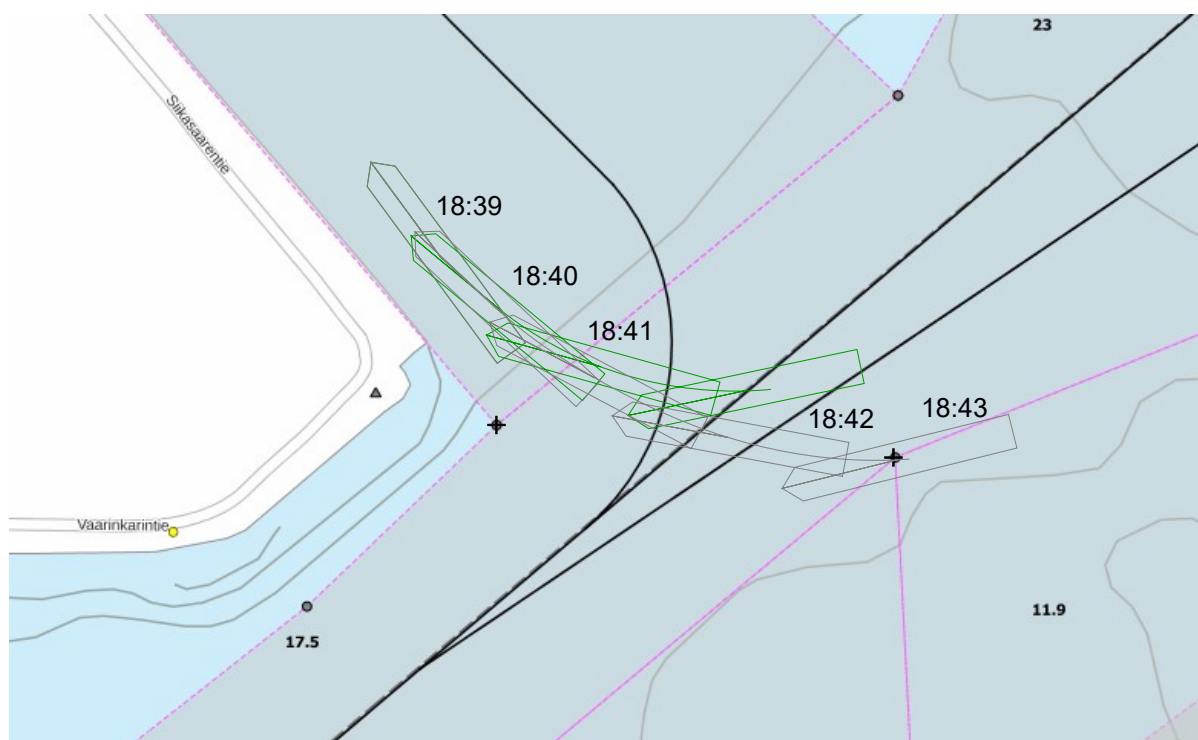
Kuva 1. Todellinen liikerata (harmaa) ja simuloitu vertailuliikerata (vihreä).

Tässä kuvassa on esitetty simulointitulokset laskelmasta, jossa keulan ohjailupotkuri on ollut käytössä koko aikajakson. Laskelman mukaan aluksen perä olisi juuri ohittanut poijun, mutta jos pääpotkuria olisi edelleen käytetty taaksepäin, aluksen keula olisi lopulta kulkenut poijun yli.



Kuva 2. Simuloidut vertailuliikerata (harmaa) ja liikerata, kun keulan ohjailupotkuri on ollut koko ajan käytössä (vihreä).

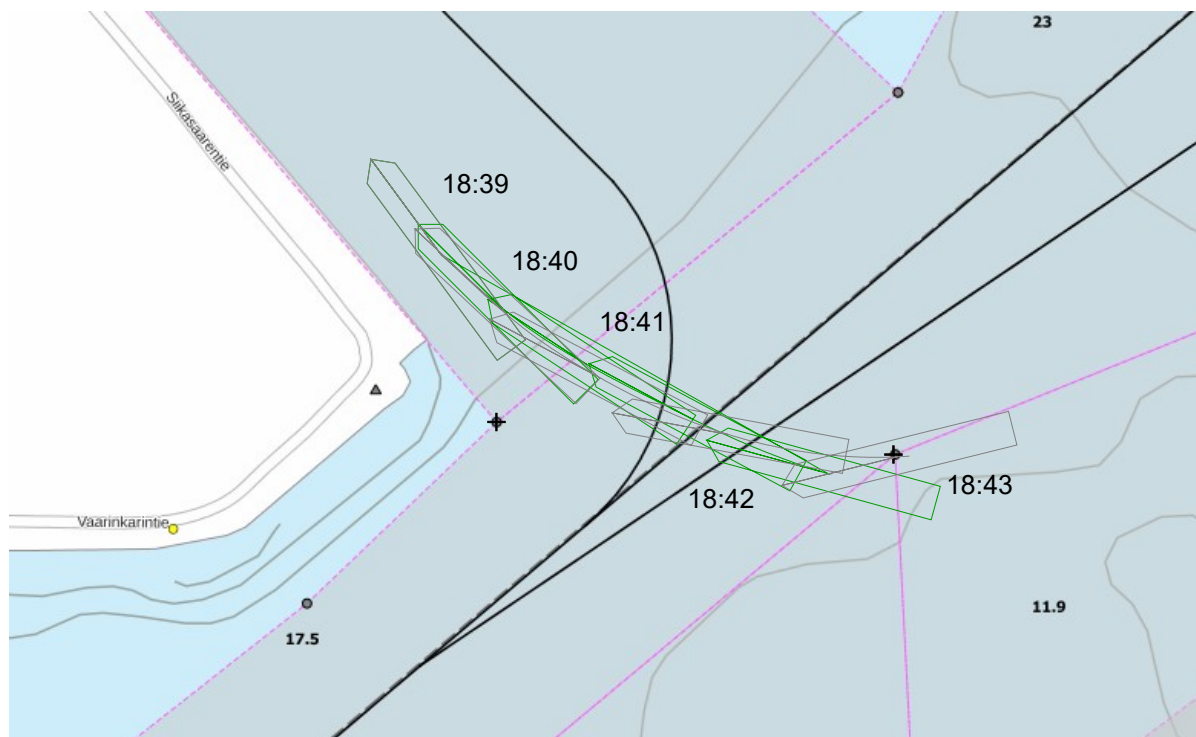
Tässä laskelmassa hinaaja puskee kyljestä 45 metriä keskilaivasta keulaan päin ja keulan ohjailupotkuri on koko aikavälin käytössä. Hinaajan työntövoiman siirtyminen 20 metriä edemmäs kasvattaa kääntävää momenttia selvästi ja avustettavan kääntösäde pienenee. Se, missä kohtaan avustettavan kylkeä puskeva hinaaja voi toimia, riippuu avustettavan aluksen rungon muodoista ja kylkilevytyksen vahvuudesta.



KARTTA © TRAFICOM

Kuva 3. Simuloidut vertailuliikerata (harmaa) ja liikerata, kun hinaaja puskee 45 metriä keskilaivasta keulaan päin, keulan ohjailupotkuri on koko aikavälin käytössä (vihreä).

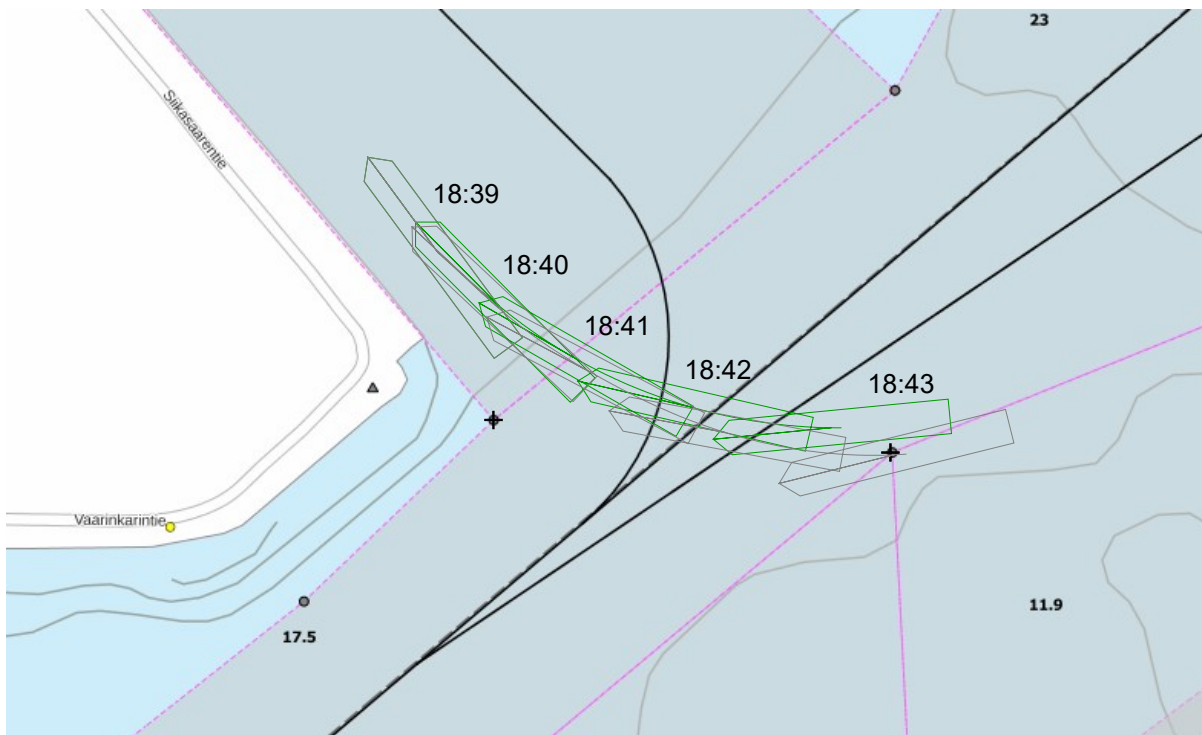
Kuvassa on oletettu tilanne, jossa hinaaja on käyttänyt puolta tehoa. Tällöin avustettavaan kohdistuva työntö on neljännes hinaajan paaluvedon voimasta. Koska Priamoksen simulointimallin runkoparametrit säädettiin siten, että laskettu liikerata noudattaa mahdollisimman tarkkaan todellista liikerataa kun hinaaja puskee täydellä teholla, jää liikerata hinaajan puolen tehon arvolla poijun länsipuolelle. Liikeratojen eroista selviää kuitenkin hinaajan työntövoiman vaikutus avustettavan liikkeisiin. Kuvasta on huomattavissa myös vinottain kulkevan hinaajan työntövoiman vaikutus avustettavan pitkittäisliikkeeseen eri työntöarvoilla. Keulan ohjailupotkurin käyttö seuraa todellisen tapahtuman aikajanaa.



KARTTA © TRAFICOM

Kuva 4. Simuloidut vertailuliikerata (harmaa) ja hinaaja käyttää puolta tehoa (vihreä)

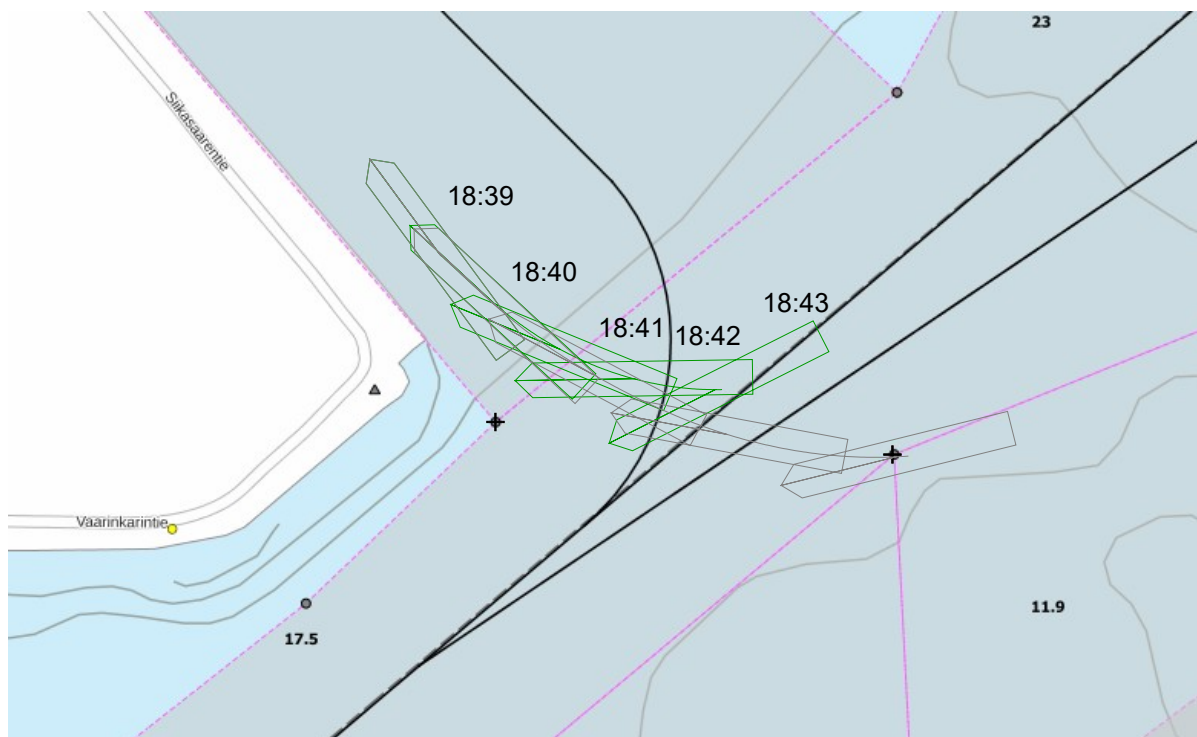
Edellisen sivun kuvan 4. variaatio, hinaaja puskee puolella teholla ja keulan ohjailupotkuri on koko aikajakson käytössä. Liikerata on poijun kohdalla siirtynyt noin kaksi laivan leveyttä, eli noin 50 metriä oikealle. Mielenkiintoista on huomata, että tässä tapauksessa liikerata on hyvin lähellä kuvan 2. liikerataa sivulla 5, jossa ainoana erona on hinaajan työntö. Vaikka kuvan 2. laskennassa hinaaja on neljän minuutin aikana kääntänyt Priamosta enemmän, on se myös samalla työntänyt avustettavaa enemmän vasemmalle.



KARTTA © TRAFICOM

Kuva 5. Simuloidut vertailuliikerata (harmaa) ja liikerata, kun hinaaja käyttää puolta tehoa ja keulan ohjailupotkuri on koko aikavälin päällä (vihreä).

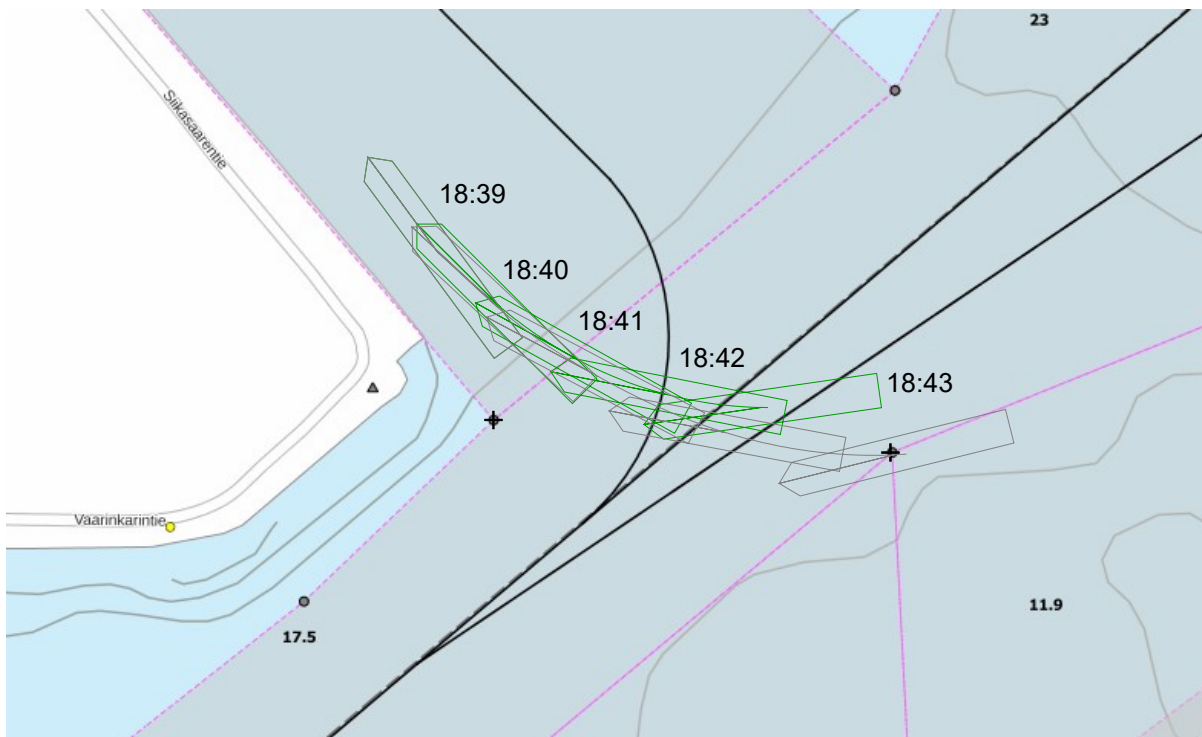
Tässä kuvassa on simuloitu liikerata, kun aluksen pääkonekomento on asetettu nollaan kello 18:39:00. Lisäksi keulan ohjailupotkuri on ollut koko ajan käytössä. Aluksen pitkittäisliikkeen hidastuminen on vähentänyt runkovoiman vaikutusta. Keulan ohjailupotkurin ja hinaajan työntövoiman vaikutuksesta aluksen kääntyminen on kiihtynyt, mikä on edelleen hidastanut aluksen pitkittäisnopeutta ja pienentänyt käännössädettä.



KARTTA © TRAFICOM

Kuva 6. Simuloidut vertailuliikerata (harmaa) ja liikerata, kun klo 18:39 on annettu pääkonekomento SEIS ja keulan ohjailupotkuri on koko ajan päällä (vihreä).

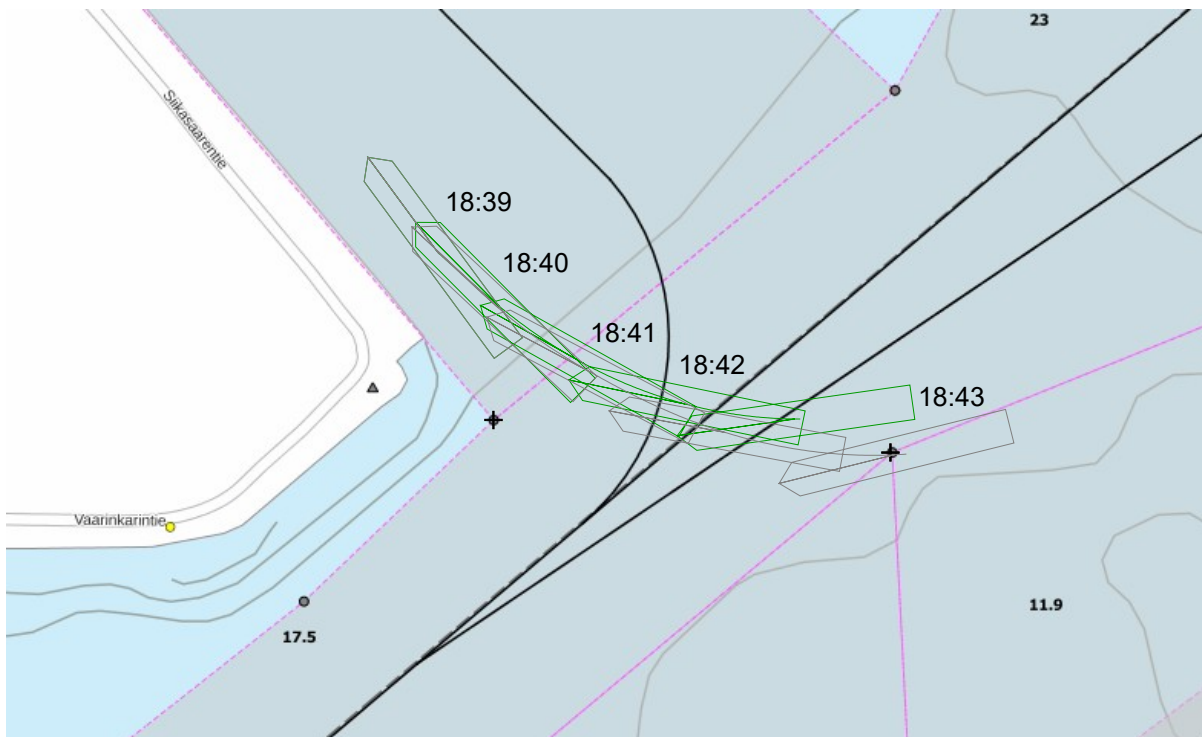
Tässä kuvassa on simuloitu liikerata, kun aluksen pääkoneasetus on asetettu nollaan kello 18:40:00. Lisäksi keulan ohjailupotkuri on ollut koko ajan käytössä. Vertauksena edellisen sivun kuvaan 6., jossa pääkoneasetus nollaan tehtiin minuuttia aiemmin, kääntösäde on tässäkin pienentynyt ja alus on pysynyt väyläalueella.



KARTTA © TRAFICOM

Kuva 7. Simuloidut vertailuliikerata (harmaa) ja liikerata, kun klo 18:40 on annettu pääkonekomento SEIS ja keulan ohjailupotkuri on koko ajan päällä (vihreä).

Simuloitu liikerata, kun aluksen pääkoneasetus on asetettu nolnaan kello 18:41:00. Lisäksi keulan ohjailupotkuri on ollut koko ajan käytössä. Vertauksena edellisen sivun kuvaan 7., jossa pääkoneasetus tehtiin minuuttia aiemmin, alus ajautuu jo lähelle poijua eikä turvamarginaalia jää käytännössä jäljelle.



KARTTA © TRAFICOM

Kuva 8. Simuloidut vertailuliikerata (harmaa) ja liikerata, kun klo 18:41 on annettu pääkonekomento SEIS ja keulan ohjailupotkuri on koko ajan päällä (vihreä).

Suurin epävarmuustekijä simulointilaskelmien lähtöarvoissa on avustavan hinaajan toteutuneen työntövoiman suuruus ja sen vaihtelu. Hinaajan suurimman työntöarvon on arvioitu olleen enimmillään vajaa puolet hinaajan paaluvetovoimasta. Tätä työntöarvoa on siten käytetty simulointilaskelmissa hinaajan synnyttämänä ulkoisena voimavektorina. Tämä saattaa olla arvoltaan liian suuri.

Vaikka hinaajavoiman suuruus ei ole tarkkaan tiedossa, simuloinneissa ovat eri ohjailutoimenpiteillä laskettujen liikeratojen suhteelliset erot kuitenkin kuvaavia ja antavat viitteitä ohjailukomentojen vaikutuksesta aluksen liikkeisiin.

Taaksepäin kulkevan aluksen kääntäminen onnistuu parhaiten keulan ohjailupotkurilla ja tarvittaessa hinaaja-avulla. Ohjailupotkurin työntö on suurimmillaan, kun alus liikkuu hitaasti ja tällöin myös hinaajan mahdollisuudet saavuttaa suurin apuvoima on parhain. Samaan aikaan avustettavan omat runkovoimat ovat pienentyneet, joten alus ehtii kääntyä toivotulle suunnalle ennen sen ajautumista väyläalueen reunalle.

Siuntiossa, 8.1.2019

SIMULCO OY

Jaakko Lehtosalo