



Tutkintaselostus

B2/2003M

**Hinaaja PEGASOS, kaatuminen ja uppoaminen Helsingin
edustalla 13.11.2003**

TIIVISTELMÄ

Suomalainen hinaaja PEGASOS upposi 13.11.2003 klo 21.41 Helsingin edustalla. PEGASOS oli ollut hinaaja POSEIDONin kanssa avustamassa panamalaista konttialusta MSC HINAa Helsingin Länsisatamaan. PEGASOSin konepäälikkö hukkui onnettomuudessa.

MSC HINA oli suurin siihen mennessä Helsingin satamaan tullut konttialus. Alukselle menossa ollut luotsi sai tietää, että alus oli hänelle tuntematon ja sen koko oli suuri (pituus 203 m) Helsingin satamaan. Toisen, avustavan luotsin mukaan ottamisesta päätettiin yhdessä luotsivanhimmman kanssa. Luotsi otti myös yhteyttä aluksen meklariin, jolta hän sai tietää, että MSC HINAN keulapotkuri ei toimi. Muita teknisiä tietoja hän ei saanut.

Hinaajavarustamolla oli tuolloin Helsingissä käytettävissä vain kaksi hinaajaa PEGASOS ja POSEIDON. Luotsit olisivat halunneet tehokkaammat hinaajat. Sää oli hinaajien päälliköiden mielestä tavanomainen, joten he pitivät avustustehtävää rutiininomaisena ja kalustoa riittävänä. Hinaajien päälliköt ja luotsit neuvottelivat tehtävästä päivän kuluessa puhelimitse.

Noustuaan MSC HINAan luotsit saivat tietää, että aluksen pienin nopeus pääkoneen konekäskyllä "Dead Slow Ahead" on 9,5 solmua. Alusta voitiin ohjaillla pienillä nopeuksilla (alle 6 solmua) kone välillä pysäyttäen. Luotsit harjoittelivat tätä manööveria 3–4 kertaa luotsausmatkan alussa leveässä väyläkohdassa, jossa aluksen mutkailu oli mahdollista. Hinaajien päälliköt sopivat matkalla kohtaamispaikalle Katajaluodon lounaispuolelle, että POSEIDON kiinnittyisi MSC HINAN keulaan ja PEGASOS kiinnittyisi MSC HINAN perään ja toimisi jarruttavana hinaajana. Kiinnittymisen jälkeen PEGASOS siirtyi HINAN tuulen suojan puolelle kulkien sen vierellä.

Luotsi pyysi PEGASOSia siirtymään laivan perään jarruksi. Kun nopeus oli pudonnut vajaaseen kolmeen solmuun, hinaaja aloitti siirtymisen. Samalla MSC HINA alkoi kääntyä vasempaan. Luotsi pyysi PEGASOSia nostamaan aluksen perää tuulen suuntaan. Luotsin mielestä oli kuitenkin pakko käyttää MSC HINAN konetta aluksen oikaisemiseksi, ettei se ajautuisi pois väylältä. Luotsi antoi komennon "Dead Slow Ahead", jonka MSC HINAN päällikkö vahvisti. MSC HINA kiihdytti nopeuttaan ja PEGASOS joutui vaaratilanteeseen, kun avustettava veti nopeuden kasvaessa hinaajan keskemälle peränsä taakse. Hinaajan päällikkö pystyi ohjailutoimenpiteillään viivästyttämään PEGASOSin kääntymistä poikittain. Kun hinaajan perä hieman alle kolmen solmun nopeudessa osui MSC HINAN potkurin jättövirtaan, PEGASOS kuitenkin kääntyi nopeasti poikittain ja kaatui välittömästi sen jälkeen. PEGASOSin päällikkö myöhästyi hinauskoukun hätälaukaisussa tapahtuman yllätyksellisyyden ja nopeuden vuoksi. POSEIDON irrottautui hinausköydestään välittömästi saatuaan tiedon kaatumisesta ja lähti kohti PEGASOSia. Aluksen upotessa PEGASOSin miehistö huuhtoutui mereen. Päällikkö ja kansimies pystyivät kiipeämään POSEIDONille. Konepäälikkö joutui eroon muista miehistön jäsenistä ja vajosi veden alle.

Onnettomuushetkellä tuuli oli länsilounaasta 10 m/s, aallonkorkeus oli 0,8 m ja veden lämpötila +5 astetta. PEGASOSin uppoamispaikan koordinaatit olivat N60° 06.93 E024° 54.34.

Puutteellisuudet avustuksen yhteisessä suunnittelussa ja kommunikoinnissa operaation kaikissa vaiheissa loivat edellytykset vaaratilanteen syntymiselle. Avustuksen kannalta tärkeät tiedot mm. avustettavan aluksen ja hinaajien ominaisuuksista sekä erilaiset näkemykset avustustavasta tar-

kentuivat eri osapuolille vähitellen sekä ennen luotsausta että sen alettua. Uudet tiedot eivät kuitenkaan johtaneet keskusteluun, jossa osapuolten eriävät näkemykset avustuksen toteutuksesta olisivat tulleet esiin ja käsitelty yhteiseksi avustussuunnitelmaksi. Vaaratilanne syntyi, kun viestintä epäonnistui operoinnin aikana käynnistettäessä avustettavan pääkone. Vaaratilanteen kehittymiseen onnettomuudeksi myötävaikutti hinausköyden normaali kiinnitystapa hinaajaan. Kaatumisen aiheutti lopulta hinaajan heikko vakavuus ja se, että tapahtuman nopeuden vuoksi päällikkö ei ehtinyt laukaista hinauskoukkua ennen hinaajan kaatumista.

PEGASOS ei ollut merikelpoinen katsastuksen umpeutumisen ja vaatimukset alittavan vakavuuden vuoksi. Toiminta perustui puutteellisiin tietoihin toisten osapuolten mahdollisuuksista ja rajoituksista. Vajavainen kokemus oudon ja suuren aluksen avustamisesta ei johtanut riittäviin selvityksiin. Pelastusliivien käytössä oli puutteita.

Tutkintalautakunta antaa turvallisuussuosituksia varustamoille, luotsausliikelaitokselle ja merenkululaitokselle hinaaja-avustuksen turvallisuuden parantamisesta, satamille hinaajien käytön määräyksistä sekä merenkululaitokselle hinaajien vakavuussäännöistä ja katsastuksesta. Muutosten toteuttaminen on joiltain osin aloitettu.

SAMMANDRAG

BOGSERBÅT PEGASOS, KANTRING OCH SJUNKNING UTANFÖR HELSINGFORS DEN 13 NOVEMBER 2003

Den finska bogserbåten PEGASOS sjönk utanför Helsingfors den 13 november 2003. PEGASOS hade tillsammans med bogserbåten POSEIDON assisterat det panamanska containerfartyget MSC HINA till Västra hamnen i Helsingfors. PEGASOS maskinchef drunknade i olyckan.

MSC HINA var det största containerfartyget som dittills hade kommit till Helsingfors hamn. Lotsen som var på väg till fartyget fick veta om att fartyget var nytt för honom och att dess storlek (längd 203 m) var stor för Helsingfors hamn. Man beslöt tillsammans med lotsåldermannen att ta med en assisterande lots. Lotsen tog också kontakt med fartygets mäklare, som informerade honom om att förpropellern på MSC HINA inte fungerade. Annan teknisk information fick han inte.

Bogseringsbolaget hade då endast två bogserbåtar, PEGASOS och POSEIDON, tillgängliga i Helsingfors. Lotsarna skulle ha föredragit mer effektiva bogserbåtar. Vädret var enligt bogserbåtarnas befälhavare normalt, dvs. de ansåg assistansuppdraget vara rutinmässigt och uppsättningen tillräcklig. Bogserbåtarnas befälhavare och lotsarna förhandlade om uppdraget per telefon under dagens lopp.

Efter att ha stigit ombord på MSC HINA fick lotsarna veta att fartygets lägsta hastighet med huvudmaskinens maskinkommando "Dead Slow Ahead" är 9,5 knop. Fartyget kunde manövreras med låga hastigheter (under 6 knop) genom att alltemellanåt stoppa maskinen. Lotsarna övade denna manöver 3–4 gånger i början av lotsningssträckan i en bred del av farleden, där fartygets gir var möjlig. Bogserbåtarnas befälhavare kom på vägen till mötesplatsen sydväst om Stora Enskär överens om att POSEIDON skulle koppla i fören av MSC HINA och PEGASOS skulle koppla i aktern av MSC HINA och fungera som en inbromsande bogserbåt. Efter kopplingen förflyttade PEGASOS sig på läsidan av HINA och körde bredvid fartyget.

Lotsen bad PEGASOS att förflytta sig till fartygets akter för att fungera som en broms. Då hastigheten hade sjunkit till knappa tre knop började bogserbåten förflyttningen. Samtidigt började MSC HINA vända mot babord. Lotsen bad PEGASOS lyfta upp fartygets akter mot vinden. Enligt lotsens uppfattning var man dock tvungen att använda MSC HINAs maskin för att räta upp fartyget så att det inte skulle driva bort från farleden. Lotsen gav kommandot "Dead Slow Ahead" som MSC HINAs befälhavare bekräftade. MSC HINA ökade på hastigheten och PEGASOS råkade ut för en farosituation då det assisterade fartyget drog bogserbåten mera rätt akterut då hastigheten ökade. Bogserbåtens befälhavare kunde genom sina manövrar fördröja det att PEGASOS vände på tvären. Då bogserbåtens akter vid något under tre knops hastighet träffade propulsionsströmmen från MSC HINAs propeller, vände PEGASOS emellertid snabbt på tvären och kantrade omedelbart därefter. PEGASOS befälhavare utlöste bogserkroken för sent eftersom händelserna var så överraskande och plötsliga. POSEIDON lösgjorde sig från sin bogserlina omedelbart efter att ha fått veta om kantringen och begav sig mot PEGASOS. Då fartyget sjönk spolades PEGASOS besättning överbord. Befälhavaren och däcksmannen klarade av att ta sig ombord på POSEIDON. Maskinchefen kom bort från resten av besättningen och sjönk under vattnet.

Vid olyckstidpunkten var vinden från sydsydväst 10 m/s, våghöjden 0,8 m och vattentemperaturen +5 grader. Koordinaterna för platsen där PEGASOS sjönk var N60° 06.93 E024° 54.34.

Bristfälligheterna i den allmänna planeringen av assistansen och i kommunikationen under alla skeden av verksamheten skapade förutsättningarna för att en farosituation skulle uppstå. Viktig information ur assistansens synvinkel om bl.a. fartygets och bogserbåtarnas egenskaper samt olika uppfattningar om assistanssättet blev småningom noggrannare för de olika parterna både före lotsningen och efter att den hade påbörjats. Den nya informationen ledde dock inte till en diskussion där de olika parternas avvikande synpunkter på genomförandet av assistansen skulle ha kommit fram och behandlats till en gemensam assistansplan. En farosituation uppkom då kommunikationen misslyckades eftersom man under operationen startade det assisterade fartygets huvudmaskin. Bogserlinans normala kopplingssätt till bogserbåten medverkade till att farosituationen utvecklades till en olycka. Kantringen förorsakades slutligen av bogserbåtens svaga stabilitet samt av att befälhavaren p.g.a. händelsernas snabba framskridande inte hann utlösa bogserkroken innan bogserbåten kantrade.

PEGASOS var inte sjövärdig p.g.a. att besiktningen löpt ut och stabiliteten underskred kraven. Verksamheten baserade sig på bristfällig information om de andra parternas möjligheter och begränsningar. Otillräcklig erfarenhet av assisterandet av ett stort fartyg ledde inte till tillräckliga utredningar. Det fanns brister i användningen av flytvästar.

Undersökningskommissionen ger säkerhetsrekommendationer till rederierna, Lotsverket och Sjöfartsverket om förbättringen av säkerheten av bogserassistansen, till hamnarna om bestämmelserna om användningen av bogserbåtar samt till Sjöfartsverket om bogserbåtarnas stabilitetsbestämmelser och besiktning. Genomförandet av förändringarna har redan till vissa delar påbörjats.

SUMMARY

TUGBOAT PEGASOS, CAPSIZING AND SINKING OFF HELSINKI ON 13 NOVEMBER 2003

The tugboat PEGASOS (FIN) sank off Helsinki on 13 November 2003. The PEGASOS had together with the tugboat POSEIDON assisted the Panamanian container vessel MSC HINA to the West Harbour of Helsinki. The PEGASOS Chief Engineer drowned in the accident.

The MSC HINA was the largest container vessel which had by that time entered the Port of Helsinki. The pilot who was on his way to the vessel learnt that the vessel was new to him and that its size was large (LOA 203 metres) for the Port of Helsinki. Together with the Chief Pilot, a decision was made to take along another assisting pilot. The pilot also contacted the shipbroker, from whom he learnt that the bow thruster of the MSC HINA was unoperational. He did not receive any other technical information.

The towage company had then only two tugboats available in Helsinki, i.e. the PEGASOS and the POSEIDON. The pilots would have preferred more powerful tugboats. The weather was normal according to the tugboat masters so they considered the assistance operation to be routine and the equipment sufficient. During the course of the day the tugboat masters and the pilots discussed the operation by phone.

After embarking the MSC HINA, the pilots learnt that the minimum speed of the main engine with the engine order "Dead Slow Ahead" is 9.5 knots. It was possible to manoeuvre the vessel at low speeds (under 5 knots) by stopping the engine at intervals. The pilots practised this manoeuvre 3–4 times at the beginning of the pilotage in a wide passage of the fairway where it was possible for the vessel to yaw. When underway to the rendez-vous southwest of Katajaluoto, the tugboat masters agreed that the POSEIDON would fasten to the fore of the MSC HINA and the PEGASOS would fasten to the stern of the MSC HINA and thus act as a braking tugboat. After making fast the PEGASOS moved to the leeward of the HINA and proceeded along the container vessel.

The pilot asked the PEGASOS to move to the vessel's aft and to act as a brake. When the speed had decreased to less than three knots, the tugboat started this change-over. At the same time the MSC HINA started to turn to port. The pilot asked the PEGASOS to raise the aft of the vessel in the direction of the wind. In the pilot's opinion it was however a necessity to use the MSC HINA's engine to straighten up the vessel so that she would not drift off the fairway. The pilot gave the engine order "Dead Slow Ahead", which was confirmed by the MSC HINA master. The MSC HINA increased its speed and the PEGASOS got into a dangerous situation when the assisted vessel pulled the tugboat more to midships astern as the speed increased. The tugboat master was with the help of his manoeuvres able to delay the PEGASOS from turning in a transverse position. When the stern of the tugboat hit the propulsion current of the MSC HINA's propeller at a speed of somewhat under three knots, the PEGASOS however quickly turned in a transverse position and capsized immediately after that. The PEGASOS master was too late for the emergency releasing of the towing hook due to the surprising and quick nature of the incident.

The POSEIDON disengaged from its towing cable immediately after receiving information about the capsizing and set off towards the PEGASOS. When the PEGASOS sank, its crew was washed overboard. The master and the deck hand were able to climb onboard the POSEIDON. The Chief Engineer got separated from the other crew members and sank under water.

When the accident took place, the wind was from west-southwest 10 m/s, the wave height was 0.8 m and the water temperature +5 degrees. The coordinates for the position where the PEGASOS sank were N60° 06.93 E024° 54.34.

Deficiencies in the general planning of the assistance operation and in the communication during the whole operation created the conditions for the arising of the dangerous situation. Important information from the point of view of the assistance operation on e.g. the characteristics of the assisted vessel and the tugboats as well as different points of view on the way to assist got gradually more specific for the various parties before the pilotage and after it had started. However, the new information did not lead to a discussion where the differing views of the various parties on the carrying out of the assistance would have come up and been processed to a common assistance plan. A dangerous situation arose when the communication failed during the operation when the main engine of the assisted vessel was started. The fact that the towing cable was fastened to the tugboat in a normal way contributed to the dangerous situation developing into an accident. The capsizing of the tugboat was eventually caused by its poor stability and the fact that because of the quick nature of events, the master did not have time to release the towing hook before the tugboat capsized.

The PEGASOS was not seaworthy because its inspection was overdue and the stability did not meet the requirements. The operation was based on inadequate information about the possibilities and limitations of the other parties. Inadequate experience in assisting an unknown and large vessel did not lead to sufficient inquiries. There were deficiencies in the usage of life-jackets.

The investigation commission gives safety recommendations to shipping companies, the Finnish State Pilotage Enterprise and the Finnish Maritime Administration on the improvement of the safety of tugboat assistance, to ports on the instructions on the use of tugboats and to the Finnish Maritime Administration on the tugboat stability regulations and inspections. The realization of the changes has for some parts already been started.



KÄYTETYT LYHENTEET

AIS	Automatic Identification System, alusten automaattinen tunnistusjärjestelmä
ARPA	Automatic Radar Plotting Aid, tutkan automaattinen seurantatoiminto
DGPS	Differential GPS, tukiasemin tarkennettu GPS-paikannus
DOC	Document of Compliance, varustamon turvallisuusjohtamisjärjestelmän vaatimustenmukaisuusasiakirja
GPS	Global Positioning System, satelliittipaikannusjärjestelmä
IMO	International Maritime Organization, kansainvälinen merenkulkujärjestö
ISM	International Safety Management, kansainvälinen turvallisuusjohtamisjärjestelmä
MKL	Merenkululaitos. Lyhennystä on käytetty myös sen edeltäjästä Merenkulkuhallituksesta.
SMC	Safety Management Certificate, aluksen turvallisuusjohtamistodistus
SMS	Safety Management System, varustamon ja aluksen turvallisuusjohtamisjärjestelmä
VTS	Vessel Traffic Service, liikenteenohjauskeskus

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	I
SAMMANDRAG.....	III
SUMMARY	V
KÄYTETYT LYHENTEET	VII
ALKUSANAT	XI
1 TAPAHTUMAT JA TUTKIMUKSET	1
1.1 Alukset	1
1.1.1 PEGASOS – yleistiedot, miehitys, ohjaamo, hinausvarustus ja vakavuus.....	1
1.1.2 MSC HINA – yleistiedot, miehitys ja ohjaamo.....	9
1.1.3 POSEIDON – yleistiedot, miehitys, ohjaamo, hinausvarustus ja vakavuus	13
1.1.4 Varustamot	15
1.2 Onnettomuustapahtuma.....	16
1.2.1 Sääolosuhteet.....	16
1.2.2 Onnettomuusmatkan valmistelu	17
1.2.3 Tapahtumat merellä 13.11.2003.....	19
1.2.4 Henkilövahingot	30
1.2.5 Tapahtumapaikka	30
1.2.6 Osapuolten käsitykset onnettomuuden syistä.....	31
1.3 Pelastustoiminta.....	32
1.3.1 Hälytystoiminta	32
1.3.2 Pelastustoiminnan käynnistyminen ja kulku.....	33
1.3.3 Öljyntorjunta ja aluksen pelastaminen	34
1.3.4 Aluksen vahingot	35
1.4 Avustushinausta ohjaavat säädökset, määräykset ja ohjeet	35
1.4.1 Merenkulkualan turvallisuuskulttuuri.....	36
1.4.2 Kansainväliset sopimukset ja suositukset.....	40
1.4.3 Kansallinen lainsäädäntö ja ohjeet	41
1.4.4 Eri osapuolten operointimääräykset, laatujärjestelmät ja koulutus	43
1.5 Tehdyt erillisselvitykset.....	48
1.5.1 Tutkimukset onnettomuusaluksella.....	48
1.5.2 Rekisteröintilaitteet	48
1.5.3 Hinaajan koko ja paaluveto sekä avustusmenettely	50

1.5.4	PEGASOSin vakavuusominaisuuksien selvittäminen	55
1.5.5	PEGASOSin vakavuus onnettomuustilanteessa	62
1.5.6	Kaatumis- ja uppoamistapahtuman laskelmat.....	66
2	ANALYYSI.....	73
2.1	Analyyysi tapahtumien kulusta	73
2.2	Onnettomuuden välittömät syyt ja myötävaikuttaneita tekijöitä.....	74
2.2.1	Vaaratilanteen perussyt.....	74
2.2.2	Vaaratilanteen välitön syy	78
2.2.3	Kaatumisen välittömät syyt.....	79
2.2.4	Organisaatioiden sisäinen toiminta myötävaikuttavana tekijänä	81
2.3	Osapuolten välinen yhteistyö – tärkein taustatekijä	86
2.4	Pelastustoiminta	88
3	JOHTOPÄÄTÖKSET	91
3.1	Avustustoiminnan kulku	91
3.2	Hinaajien operoinnin turvallisuuskulttuurin merkitys	92
3.3	MKL:n katsastustoiminta ja vakavuusmääräykset	94
4	TURVALLISUUSSUOSITUKSET	95
4.1	Lyhyen tähtäimen turvallisuutta parantavat toimenpiteet	95
4.2	Pitkän tähtäimen toimenpiteet.....	96

LIITTEET

- Liite 1. Satamahinaajat ja avustustoiminta – hinaajaan vaikuttavat voimat
- Liite 2. Hinaajien vakavuus yleisesti ja PEGASOS
- Liite 3. MSC HINAN Pilot Card
- Liite 4. PEGASOSin peräkannen järjestelypiirros
- Liite 5. PEGASOSin päällikön piirros aluksensa liikkeistä 13.11.2003
- Liite 6. PEGASOSin miehitystodistus
- Liite 7. PEGASOS, lastitilanne ”tankkitiedot”, piirros
- Liite 8. Nopeus- ja paikkatietojen analyysi
- Liite 9. MSC HINAN tiedot
- Liite 10. Ote MSC HINAN ohjailuominaisuuksien taulusta komentosillalla

LAUSUNNOT

- Lausunto 1. Merenkululaitoksen lausunto
- Lausunto 2. Hinaajavarustamon lausunto
- Lausunto 3. Luotsausliikelayoksen lausunto
- Lausunto 4. Suomen Satamaliiton lausunto
- Lausunto 5. Opetushallituksen lausunto

ALKUSANAT

Helsingin meripelastuskeskus teki 13.11.2003 klo 21.55 Onnettomuustutkintakeskuksen päivystäjälle ilmoituksen suomalaisen hinaaja PEGASOSin uppoamisesta Helsingin edustalla. PEGASOS oli ollut hinaaja POSEIDONin kanssa avustamassa konttialus MSC HINAa Helsingin Länsisatamaan. PEGASOSin konepäällikkö hukkui onnettomuudessa. Vesiliikenneonnettomuuksien johtava tutkija siirtyi tiedon saatuaan meripelastuskeskukseen ja seurasi siellä pelastustoimia.

Onnettomuustutkintakeskus päätti 17.11.2003 asettaa tutkintalautakunnan tutkimaan tapausta. Tutkintalautakunnan puheenjohtajaksi määrättiin Onnettomuustutkintakeskuksen johtava tutkija Martti **Heikkilä**. Lautakunnan jäseninä ovat toimineet Onnettomuustutkintakeskuksen asiantuntijat tekniikan lisensiaatti Olavi **Huuska** ja merikapteeni Sakari **Häyrinen**. Lautakunnan pysyvänä asiantuntijana on ollut Onnettomuustutkintakeskuksen erikoistutkija, merikapteeni Risto **Repo**. Lautakuntaa on avustanut tekniikan ylioppilas Mikko **Kallas**.

Tutkintalautakunnan jäseniä seurasi PEGASOSin nostoa 23.11.2003. HINAN päällikkö antoi meriselityksen Helsingin merioikeudessa 14.11.2003. PEGASOSin päällikkö antoi meriselityksen onnettomuuden johdosta Turun merioikeudelle 11.12.2003. Kaksi tutkijaa oli läsnä meriselityksissä. PEGASOSin meriselityksen uusi käsittely¹ pidettiin Turun käräjäoikeudessa 27.4 ja 12.5.2005. Lisäksi lautakunnan jäsenet ovat kuulleet miehistöjen jäseniä, luotseja ja varustamon edustajia. PEGASOSiin lautakunnan jäsenet ovat tutustuneet sekä noston jälkeen Helsingissä että myöhemmin Teijon telakalla, minne alus hinattiin.

Onnettomuustutkinnan tarkoituksena on turvallisuuden parantaminen, joten syyllisyys- ja vahingonkorvauskysymyksiä ei käsitellä. Tutkintaselostusta ei ole kirjoitettu sisällön ja tyylin osalta siten, että se olisi tarkoitettu käytettäväksi oikeustoimissa. Tutkintaselostuksessa esitetyt johtopäätökset ja turvallisuussuositukset eivät muodosta olettamusta syyllisyydestä tai vahingonkorvausvelvollisuudesta.

Tutkinnan laajuus. Aiemman vastaavan onnettomuuden (Hinaaja VOIMA, uppoaminen Kaskisten satamassa, Onnettomuustutkintakeskuksen tutkintaselostus C 14/2001 M) ja tämän onnettomuuden tutkinnan yhteydessä tuli ilmi seikkoja, joiden johdosta tutkintalautakunta päätti laajentaa tutkinnan koskemaan hinaustoimintaa Helsingissä sidosryhmineen.

Rekisteröintitiedot laivoilta ja VTS:stä. Molemmilta hinaajilta saatiin talteen sähköisesti rekisteröitynyttä tietoa DGPS-paikannuslaitteeseen kytketystä karttaohjelmasta. PEGASOSin karttatietokone otettiin talteen välittömästi aluksen noston jälkeen ja tietokoneen kovalevyllä olleen rekisteröintidatan sai pelastettua norjalainen tähän erikoistunut yritys Ibas AS. Tutkinnan käyttöön saatiin MSC HINALta kansi- ja konepäiväkirjat sekä Helsingin VTS-keskuksesta tutkarekisteröinnit.

Turvallisuusjohtamis- ja laatujärjestelmät. Hinaustoiminnan sidosryhmät, joiden toimintaa on selvitetty, ovat alusten varustamot, luotsausliikelaitos, merenkulkulaitos ja Helsingin satama. Lautakunta on selvittänyt varustamoiden ja alusten turvallisuusjohtamisjärjestelmiä ja niiden auditoin-

¹ Uusi käsittely pidettiin korkeimman oikeuden päätöksen perusteella, koska ensimmäistä meriselitystä annettaessa oli tapahtunut menettelyvirhe. Myös 11.12.2003 annettu meriselitys on jäänyt voimaan.

tia ja valvontaa sekä tarkastellut myös yleisellä tasolla osallisten organisaatioiden toimintaa ohjaavia turvallisuus- ja laatujärjestelmiä.

Vakavuuslaskelmat. Lautakunta on teettänyt PEGASOSin vakavuuslaskelmia Ship Consulting Ltd:llä ja tehnyt omia laskelmia kaatumisesta hinaustilanteessa.

Hinaajia koskevat määräykset. Lautakunta on kerännyt eri luokituslaitosten ja hallintojen hinaajia koskevat vakavuusmääräykset sekä vertaillut niitä keskenään koskien PEGASOSin onnettomuustilannetta.

Tiedottaminen tutkinnasta. Tutkinnan aikana lautakunta on tiedottanut tapaamisissa tutkinnan edistymisestä asianosaisille, joita ovat PEGASOSin varustamo ja aluksen päällikkö, MSC HINAN varustamon edustajat, luotsit, MKL meriturvallisuus, MKL liikenteenohjaus ja Luotsausliikelaitos sekä Helsingin satamalaitos. Lausuntokierroksen aikana tutkintalautakunta esitti osapuolille mahdollisuuden keskustella tutkinnasta lautakunnan jäsenten kanssa. Tällaiset keskustelut käytiin sekä luotsien että Luotsausliikelaitoksen, Helsingin sataman ja varustamoiden edustajien kanssa.

Tutkintaselostusta koskevat lausunnot. Raportin lopullinen luonnos lähetettiin 16.10.2006 onnettomuuksien tutkinnasta annetun asetuksen (79/1996) 24 §:ssä tarkoitettua lausuntoa sekä mahdollisia kommentteja varten merenkulku- ja pelastusviranomaisille, alusten päälliköille ja varustamoille sekä Luotsausliikelaitokselle, luotseille, Helsingin satamalle, Suomen Satamaliitolle ja Opetushallitukselle. Merenkululaitokselta, hinaajavarustamolta, Luotsausliikelaitokselta, Satamaliitolta ja Opetushallitukselta saatiin raportista lausunnot. Molempien varustamoiden teknisiltä asiantuntijoilta saatiin lisäksi tutkintaselostuksen teknisiä yksityiskohtia käsittelevät muistiot. Luotsit ja Helsingin Sataman edustaja antoivat kommentteja tutkintaselostuksesta. Lausunnot ovat tämän tutkintaselostuksen liitteinä.

Lausuntokierroksen aikana käytyjen keskustelujen ja saatujen kirjallisten lausuntojen perusteella tutkintalautakunta on viimeistellyt tutkintaselostuksen ja täydentänyt sitä erityisesti kaatumista- ja vaarantilanteiden dynaamisten ilmiöiden osalta.

Tutkintaselostuksen sisältö. Tutkintaselostuksessa on aluksi kuvattu alukset ja varustamot. Onnettomuustapahtumien kulku on koottu osallisten kertomuksista ja rekisteröintitiedoista. Tapahtumien kannalta tärkeät säännöt, määräykset ja ohjeet on käsitelty seuraavaksi. Sitten on kuvailtu tehty erikoisselvitykset ja niiden pohjalta on esitetty alusten liikkeitä ja eri tekijöiden vaikutus PEGASOSin kaatumiseen ja uppoamiseen.

Analyysissä on aluksi tutkintalautakunnan tiivistetty käsitys tapahtumien kulusta. Tämän jälkeen on analysoitu onnettomuuden välittömät syyt ja siihen myötävaikuttaneita tekijöitä. Lopuksi on käsitelty mukana olleiden organisaatioiden sisäistä toimintaa ja niiden yhteistyötä.

Johtopäätöksissä on esitetty tiivistetysti tutkintalautakunnan käsitys onnettomuuden syistä ja muita hinaajien turvallisuuteen vaikuttavia seikkoja.

Tutkintalautakunta esittää suosituksia hinaajien turvallisuuden parantamiseksi.

Liitteisiin on koottu tutkinnan kuluessa laadittuja raportin pohjana olevia aineistoja sekä oleellisia dokumentteja.

1 TAPAHTUMAT JA TUTKIMUKSET

1.1 Alukset

1.1.1 PEGASOS – yleistiedot, miehitys, ohjaamo, hinausvarustus ja vakavuus

PEGASOSin yleistiedot²

Hinaaja PEGASOS oli rakennettu Ruotsissa Falkenbergs Varv AB:n telakalla ja valmistunut 1968. Sen alkuperäinen nimi oli BJÖRN. Se siirtyi Suomeen vuonna 1993, omistajaksi tuli Mäntyluoto Tug Service. Vuodesta 1996 alus oli ollut Suomen Merisukellus Oy:n omistuksessa aluksi nimellä RAUMA III ja vuodesta 1999 PEGASOS. Alusta operoi Alfons Håkans AB. Kevästä syksyyn vuonna 2003 alus oli ollut edellisen talven aikana sattuneen jäävaurion vuoksi telakoituna.

Nimi	PEGASOS, ex RAUMA III, ex BJÖRN
Omistaja	Suomen Merisukellus Oy
Lippuvaltio	Suomi
Kutsu	OJFI
IMO-numero	6801078
Luokka	Lloyd's +100A1
Pituus, suurin	28,75 m
Pituus, pp	25,53 m
Leveys	8,3 ³ m
Suurin syväys	3,735 ⁴ m
Sivukorkeus	4,6 m
Uppouma	448,6 t (syväyksellä 3,735 m)
Brutto	217
Pääkoneen teho	1700 hv (1250 kW)
Potkurin halkaisija	2,50 m, säätösiipinen
Paaluveto	22,2 t (110 % koneteholla)
Keulapotkurin teho	611 hv (450 kW)
Nopeus	12,5 solmua
Keulapotkurin työntö	noin 8 t (arvio)
Hinauskaaren säde	2,9 m, alkuperäisissä laskelmissa 4,0 m
Hinauspisteen korkeus	6,2 m perustasosta (BL)
Hinauspisteen etäisyys	10,4 m 0-kaaresta

PEGASOSin syväykset voidaan ilmoittaa kahdella tavalla: syväys perusviivasta tai syväys kölön alareunasta. Keulasyväys perusviivasta mitattuna on noin 0,41 m suurempi kuin kölistä mitattuna. Peräsyväys perusviivasta on noin 0,60 m pienempi kuin kölistä. Tutkintaselostuksessa syväys on esitetty mitattuna perusviivasta, jollei muuta ole mainittu.

² Tietojen lähteet ovat:aluksen todistusasiakirjat, linjapiirustus ja sen pohjalta teetetyt vakavuuslaskelmat sekä varustamon julkaisemat tiedot.

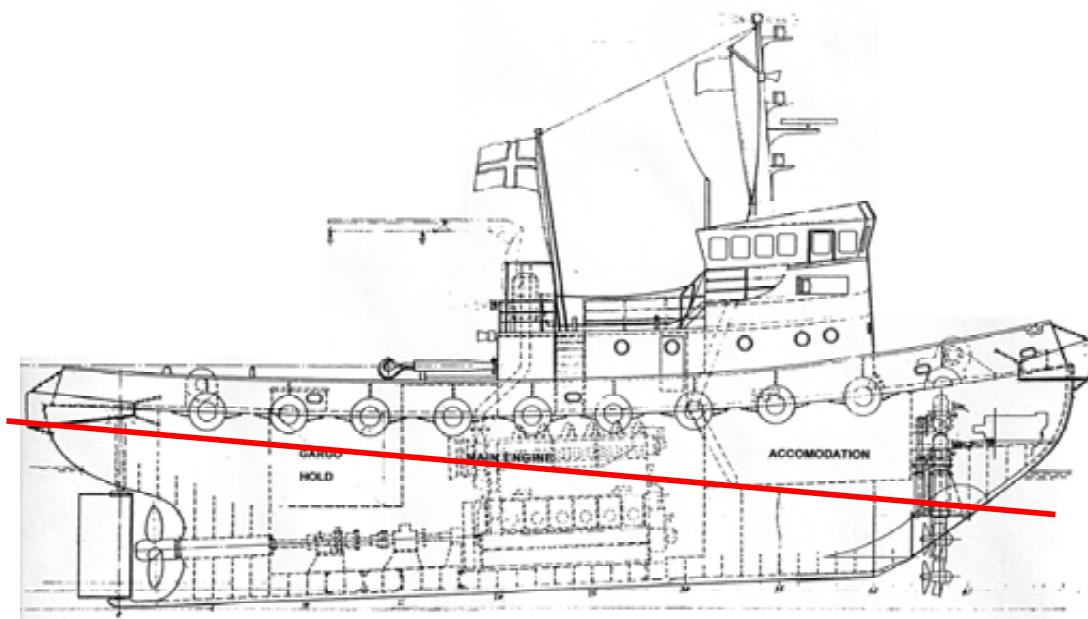
³ Linjapiirustuksen ja alkuperäisen vakavuusaineiston mukaan. MKL:n todistusasiakirjoihin on lukuarvoksi merkitty 8,2 m, samoin varustamon julkaisemiin tietoihin. Tutkinnassa on käytetty arvoa 8,3m.

⁴ Laskettu International Load Line certificate (1966), LR 23.11.1999 perusteella.



Kuva 1a. Hinaaja PEGASOS

(Copyright Alfons Håkans Ab)



Kuva 1b. PEGASOSin yleisjärjestelypiirustus vuoden 1996 muutosten jälkeen. Keulapotkurilaitteisto sijaitsi todellisuudessa yhden kaarivälin perään päin piirustukseen merkitystä paikasta. Hinauskoukku ja nosturi olivat erilaiset kuin kuvassa. Kuvaan on piirretty aluksen vesiviiva (asento) meriselityksessä 11.12.2003 annetun lastitilanteen pohjalta (käsitelty tutkinnassa nimellä "tankkitiedot").

PEGASOSin todistusasiakirjat

Katsastusasiakirjat. Aluksen vuosikatsastus oli tehty 5.11.2002 ja katsastus oli voimassa 9.8.2003 (+/- 3kk) eli 9.11.2003 saakka. Uusi katsastus oli sovittu tehtäväksi 14.11.2003.

PEGASOSille oli myönnetty ulkomaanliikenteen lastialuksen turvallisuusjohtamistodistus (SMC). Alusta itseään ei ollut auditoitu, mutta perusauditointi oli hyväksytty erityisehdoin 24.10.2001 ja se oli voimassa 23.10.2006 asti.

Hinaajan vakavuusasiakirjat oli hyväksytty 24.11.1993 ja ne sisälsivät rakentajatelakan vakavuusaineiston sekä hinaustilanteen lisävaatimusten mukaiset laskelmat.

Paaluvedon mittauspöytäkirjan mukaan (MKL 13.4.1997) aluksen paaluvedoksi oli saatu 22,2 t pääkoneen teholla 110 %.

Varalaidan mittauspöytäkirjan mukaan varalaita oli 865 mm (Lloyd's Register International Load Line Certificate (1966) 23.11.1999, voimassa 9.8.2004 asti). Tämän perusteella aluksen suurin sallittu syväys oli 3,735 m.

PEGASOSin miehitys ja miehitystodistukset

PEGASOSin miehistönä oli kolme henkilöä; päällikkö, konepäälikkö ja YT-kansimies. Miehitystodistus oli annettu 16.3.1999 ja se oli voimassa toistaiseksi. Miehitystodistuksen mukaan tämä oli aluksen minimimiehitys. Lisäehtona todistuksessa oli: "Aluksella hinattaessa tulee lisäksi palkata puolimatuusi": Aluksen miehitys oli miehitystodistuksen mukainen, jos satama-avustusta ei tulkita hinaukseksi. Miehitystä on käsitelty lisää kohdassa 1.4.3.

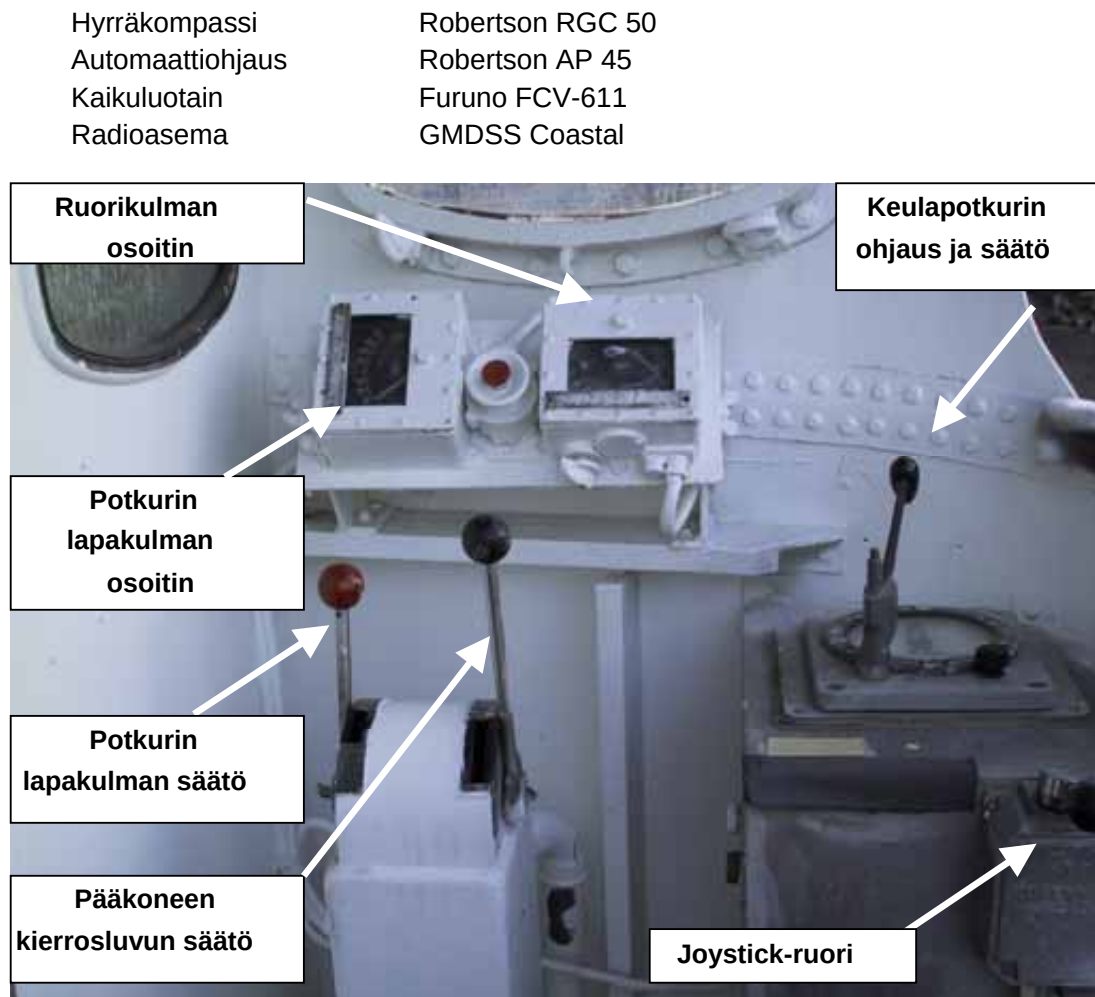
Päälliköllä (s. 1960) oli merikokemusta vuodesta 1983. Hänelle oli myönnetty vahtiperämiehen pätevyyskirja vuonna 1995. Hän oli työskennellyt hinaajilla vakituisesti vuodesta 1991 lähtien, mitä ennen hän hoiti niissä sijaisuuksia. Hinaajan päällikkönä hän oli toiminut yhtäjaksoisesti vuodesta 1995 lukien. PEGASOSin päällikkönä hän oli ollut vuodesta 1999 lukien. Kertomansa mukaan hän oli ollut mukana kaikkiaan noin 1500 satamahinauksessa, valtaosin Helsingissä.

PEGASOSin ohjaamo ja sen laitteet

PEGASOSin ohjauslaitteina olivat konventionaalinen säätösiipipotkuri-peräsinyhdistelmä ja keulassa oleva atsimuutti-tyyppinen ohjauspotkuri, joka laskettiin tarvittaessa alas. Ohjauspotkuri kääntyi 360 astetta.

Aluksen ohjaamossa oli seuraavat navigointi- ja ohjauslaitteet:

Tutka	Furuno FR 7040 D, X-Band
Tutka	Raytheon 92562
Satelliittipaikannin	Philips DGPS navigator
Elektroninen kartta	Transas Tsunamis Offshore 99



Kuva 2. PEGASOSin ohjaamon SB-siipi ja sen varustus.

PEGASOSin ohjauspaikat

Käsiruori komentosillan keskellä, joystick-ruori sekä keulapotkurin ohjailu komentosillan oikealla laidalla ja aluksen kummallakin siivellä siltakannella. Konekäskyvälitin komentosillan oikealla laidalla joystick-ruorin yhteydessä, ja aluksen kummallakin siivellä siltakannella joystick-ruorien yhteydessä.

PEGASOSin hinausvarustus

PEGASOSin peräkansi ja sen varustus, hinauskoukku kansirakennuksen takana ja hinausvintturi syvennyksessä kannen peräosassa, näkyy kuvassa 5 ja liitteessä 4. Hinausvintturia ei avustustehtävissä normaalisti käytetä.

Hinauskoukun kiinnitysjärjestely oli toteutettu kolmen nivelen avulla siten, että varsinaisen koukun pituusakseli pysyi hinausköyden suuntaisena hinaajan asennosta riippumatta.

PEGASOSin hinauskoukku oli kiinnitetty kolmionmuotoiseen tukirakennelmaan, joka pääsi kääntymään noin 85° aluksen keskilinjaa kummallekin puolelle kansirakenteen takaseinään kiinnitetyn pystysuoran akselin varassa. Kääntyneen tukirakennelman osuimen kansirakenteen seinään estivät noin 2,3 m etäisyydellä aluksen keskilinjasta molemmin puolin olleet puskurit. Koukku oli kiinnitetty ristinielkappaleeseen, joka pystyi kääntymään vaakatasossa 135° tukirakennelman kummallekin puolelle. Koukun kääntymismahdollisuus on siten $\pm 220^\circ$ vaakatasossa.



Kuva 3a. PEGASOSin hinauskoukku laukaistuna.



Kuva 3b. PEGASOSin hinauskoukun kiinnitysjärjestely kuvattuna välittömästi aluksen noston jälkeen. Hinauskaaren säde oli noin 2,9 m. Tällä etäisyydellä oli nivelakseli, jonka ympäri koukku pääsi kääntymään ylöspäin 90° astetta.

Ristinielkappaleen pystynivel mahdollisti koukun pystysuoran liikkeen 90° ylöspäin. Lepotilassa koukku lepäsi puoliympyrän muotoisen tukirakennelman kiinnitetyn kehikon

varassa. Hinauskoukun rakenteesta johtui, että ns. hinauskaaren säteeksi⁵ tuli noin 2,9 m. Järjestely on esitetty kuvissa 3a ja 3b. Hinauskoukussa ei ollut nykäisyjä vaimentavaa joustaa.

PEGASOSin hinauskoukun laukaisumekanismi oli sähköhydraulinen, jossa sähköllä ohjataan hinauskoukun hydraulikan magneettiventtiiliä. Kokemuksesta tiedetään, että kyseisen laukaisumekanismiin viive on noin kolmesta viiteen sekuntia riippuen ilman lämpötilasta ja hydraulikkaöljyn viskositeetistä. Hydraulikkaputkistossa ei ollut lämmitystä. Hinauskoukun laukaisun painonapit sijaitsivat aluksen komentosillalla kummankin siivelle johtavan oven etupuolessa (kuva 4) sekä ohjaamon ohjauspulpetin keskiosassa. Koukun laukaisua varten oli lisäksi laukaisukahvat kansirakennuksen peräosan nurkassa molemmilla puolilla (kuva 5). Hinausköyden hätäirrotus tehtiin tällä sähköhydraulisella koukun laukaisulla.



Kuva 4. Hinauskoukun laukaisupainike, kummallakin puolella komentosiltaa.

Aluksen turvallisuusjohtamisjärjestelmän (SMS, kohta 10 Kriittiset operaatiot) mukaan myös kirveen⁶ oli oltava saatavilla nopeasti köyden katkaisua varten. Koukun hätälaukaisupaikkojen huolto ja testaus oli tehtävä säännöllisesti ja talvella oli huolehdittava laukaisumekanismiin jäänestöstä. Turha oleskelu pääkannella hinauksen aikana oli kielletty.

Avustuksessa käytettiin kahta MSC HINAn hinausköyttä, joita oli annettu ulos noin 40 metriä PEGASOSin päällikön kertoman mukaan. Köysien materiaali oli polypropyleeniä ja halkaisija viisi tuumaa (noin 12 cm). Kahta köyttä käytettiin turvallisuussyistä.

⁵ Hinauskaarella sijaitsee hinauskoukun kiinnityspiste (hinauspiste) eli se paikka, mihin hinausvoima aluksessa kohdistuu.

⁶ Kirveen käyttö tämän onnettomuuden yhteydessä olisi ollut mahdotonta.

PEGASOSin vakavuus

Aluksen käytössä ollut vakavuusaineisto

Aluksella käytössä ollut vakavuusaineisto koostui alkuperäisistä, vuonna 1968 rakentajatelakan tekemistä laskelmista ja vuonna 1993 tehdyistä hinaustilanteen vakavuuden laskelmista. Vuonna 1996 tehtiin vakavuuden tarkistuslaskelmia alukseen tehtyjen muutosten johdosta.

Rakentajatelakka Falkenbergs Varv AB oli tehnyt alukselle kallistuskokeen ja laskenut vakavuuden seitsemässä lastilanteessa. Mitään erillistä hinaustilanteen laskelmaa ei sisällynyt aineistoon.

Mäntyluoto Tugs Service Oy:n ostettua hinaajan varustamo hyväksytti vakavuuslaskelmat MKL:lla, jonka vaatimuksesta alkuperäisiin laskelmiin oli lisätty kaksi hinaustilannetta. Laskelmien mukaan alus täytti hyvällä marginaalilla MKL:n vaatimukset.

Vuonna 1996 alukseen asennettiin keulapotkuri, jolloin keulapiikkitankki jäi pois. Näiden muutosten vaikutusten selvittämiseksi tarkistuslaskelmilla arvioitiin muutokset aluksen tyhjäpainossa ja laskettiin vakavuus neljässä lastitapauksessa. Uusia hinaustilanteen laskelmia ei tehty. Nämä tarkistuslaskelmat eivät olleet aluksella käytettävissä.

Aluksella ollut hydrostaatiikka ja vakavuuden peruskäyrät antoivat mahdollisuuden laskea vakavuus muissakin lastitilanteissa viippauksen ollessa pieni.

PEGASOSin päälliköllä oli käytettävissä alkuperäiset vakavuuslaskelmat ja vuonna 1993 tehdyt hinaustilanteen MKL:n kriteerin mukaiset laskelmat. Näiden laskelmien tuloksin tarvitaan tieto keulaosan tankkimuutoksista. Viimemainitun tiedon vaikutukset eri lastitilanteiden vakavuuteen päällikön tuli arvioida itse. Varustamolla oli olemassa Excel-ohjelmaan rakennettu laskentataulukko, jonka avulla laskelmat saattoi tehdä, jos ohjelmaan oli syötetty aluksen tiedot. Ei ole selvillä, oliko PEGASOSissa tämä käytössä.

PEGASOSin vakavuus onnettomuushetkellä

Insinööritoimisto Ship Consulting Ltd oli tehnyt PEGASOSille kallistuskokeen 3.11.2003 Naantalissa aluksen ollessa telakoituna huoltokorjauksia varten. Kallistuskokeen tulokset valmistuivat 19.11.2003 eli kuusi päivää onnettomuuden jälkeen. Alkuperäisistä vuoden 1968 tiedoista paino oli kasvanut 33,2 tonnia eli 11,8 %. Painopiste oli siirtynyt 0,32 m keulaan päin ja noussut 11 cm eli 3,2 %⁷. Uutta vakavuusaineistoa katsastusta varten ei enää tehty, koska alus oli uponnut.

PEGASOSin lastitilanteesta onnettomuushetkellä on ristiriitaista tietoa. Meriselityksessä on ilmoitettu toisaalta syväykset keulassa ja perässä, toisaalta tankkien sisällöt. Nämä tiedot eivät ole yhteensopivia. Lisäksi on saatu tietoon kolmaskin mahdollinen lastitilanne. Tutkinnassa ei ole saatu selvitettyä tarkkaa onnettomuushetkellä vallinnutta lastiti-

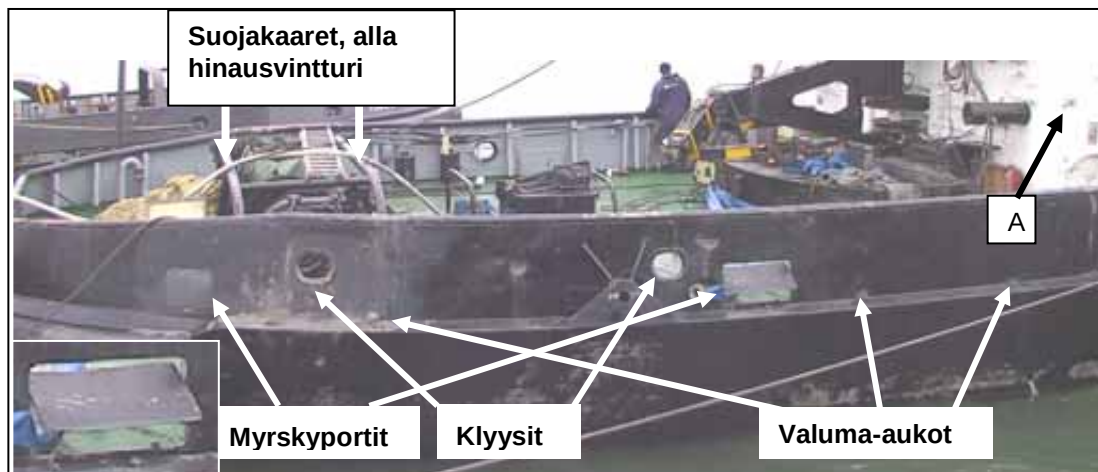
⁷ Kallistuskokeessa 3.11.2003 voiteluöljytankki 2,9 t oli sisällytetty tyhjäpainoon. Sen johdosta painon lisäys oli nimellisesti 36,1 t ja painopisteen nousu 8 cm. Tutkintalautakunnan tekemissä ja teettämässä vakavuuslaskuissa on lähtötietoina käytetty kallistuskokeen tuloksia. Voiteluöljytankilla ei ollut näkyvää vaikutusta aluksen painopisteen pituussuuntaiseen asemaan.

lannetta. Sen vuoksi laskelmissa on käytetty edellä mainittujen tilanteiden pohjalta muodostettua laskentahaarukkaa.

Tutkinnassa tehtyjen laskelmien perusteella PEGASOSin vakavuus ei täyttänyt laskentahaarukkaan mahtuvissa lastitilanteissa MKL:n vakavuusmääräyksiä avustustehtävissä toimivalle hinaajalle.

PEGASOSin vakavuutta on tarkasteltu yksityiskohtaisesti kohdissa 1.5.4, 1.5.5 ja liitteessä 2. MKL:n vaatimuksia ja niiden täyttymistä on käsitelty kohdissa 1.4.3 ja 1.5.5 sekä liitteessä 2. Liitteessä 2 on esitetty myös kuinka PEGASOS täytti tunnettujen luokitulaitosten vakavuusvaatimukset.

PEGASOSin partaan rakenne. PEGASOSin partaan rakenne poikkesi uudemmasta hinaajakäytännöstä, koska se oli jatkuvaa teräsrakennetta (vähäisiä reikiä lukuun ottamatta) ilman kannen tasolla olevaa koko partaan mittaista valumisrakoa. Aluksen kallistuessa vettä saattoi tulla kannelle jonkin verran klyysiaukkojen jouduttua veteen ja runsaasti vasta partaan reunan yli. Toisaalta kannelle kertynyt vesi poistuu hitaasti, minkä johdosta kannelle saattaa kertyä runsaasti vettä. Aluksi vesi kertyy vintturisyvennykseen. Klyysiaukot menivät veteen noin 5 astetta suuremmalla kallistumalla kuin kannen reuna. Aluksella oli kallistuessaan partaan rakenteen vuoksi laskelmia parempi vakavuus 10–15 asteen kallistumilla. Kun aukot joutuivat veteen, vakavuus palautui tilanteeseen ilman parrasta. Käytännössä tällaisella aluksella saattoi tällöin syntyä outoja ja vaarallisiakin tilanteita. Partaan vaikutusta on tarkemmin käsitelty liitteessä 2. Vakavuusaineiston laskelmissa alus on ilman parrasta, mikä on normaali käytäntö.



Kuva 5. PEGASOSin parras jatkui suoraan laidoituslevystä ilman valumisrakoa. Partaassa oli klyysien aukkoja, valumisaukkoja ja myrskyporteja. Kuvassa näkyy myös peräkannen hinauskoukun laukaisukahva Sb-puoli (A).

PEGASOSin parras oli teräslevystä ja se oli jatkoa laidan levytykselle. Peräosassa oli noin 35 cm korkeudella kannesta kaksi klyysiä, joiden pinta-ala oli $\approx 0,2 \text{ m}^2$. Myös keulakannella oli samanlaiset klyysit. Aluksen peräpartaassa, keskilinjassa oli yksi pienempi klyysi. Vintturisyvennyksestä johti kummallekin laidalle vedenpoistoputki halkaisijaltaan 10 cm. Sen alareuna oli 40 cm kannen tason alapuolella. Peräkannella oli myös kaksi

myrskyporttia molemmilla laidoilla ja lisäksi partaassa kansitasolla oli kuusi pienempää valuma-aukkoa molemmilla puolilla. Myrskyportin aukon koko oli 48 cm x 40 cm (pituus x korkeus) ja alareuna oli 6 cm kannesta, kuvan 5 yksityiskohta. Aukossa oli hieman keskikohdan yläpuolelta saranoitu teräslevy, joka kääntyy ulospäin auki veden paineesta. Samanlaiset myrskyportit olivat myös aluksen keulakannella. Tutkijoiden kokeilussa upoksista nostetun aluksen myrskyportit avautuivat jäykästi. Valuma-aukkojen yhteispinta-ala oli 0,034 m² per puoli. Piirros peräkannen järjestelystä on liitteenä 4.

1.1.2 MSC HINA – yleistiedot, miehitys ja ohjaamo



Kuva 6. MSC HINA Helsingin Länsisatamassa 14.11.2003. Kontteja oli ehditty purkaa kuvaushetkeen mennessä. Tiedossa ollut konttimäärä on esitetty kuvassa 14.

MSC HINA oli suurin Helsingin satamaan siihen mennessä tullut konttialus. Alus on rakennettu 1984 Warnemundessä Itä Saksassa VEB Warnow Werft -telakalla ja sen rakennetta on muutettu 1989. Se on tarkoitettu konttien kuljettamiseen. Luokitustila on Bureau Veritas.

Yleistiedot

Nimi	MSC HINA, ex LEIXOES, ex MSC MELBOURNE, ex TIKHON KISELYEV
Omistaja	Compania Naviera HINA S.A., Sveitsi
Operaattori	Mediterranean Shipping Company, Sveitsi
Lippuvaltio	Panama
IMO numero	8201686
Kutsu	HPFP
Luokka	BV 1 3/3 CONTAINER SHIP DEEP SEA, ICE CLASS II
Pituus, suurin	203,06 m
Pituus, pp	192,73 m
Leveys	25,40 m
Korkeus pääkanteen	15,90 m
Syväys	9,82 m
Uppouma	26583 t (syväyksellä 8,75 m)
Kuollut paino	21370 t
Brutto	21586

Netto	7164
Pääkoneen teho	15 882 kW ⁸ 122 RPM
Nopeus	17 solmua (service speed)
Nopeus lastissa	15,5 solmua
Pääkoneen tyyppi	B & W 9 K80GS
Potkuri	4-lapainen, kiinteäsiipinen, halkaisija 6,0 m, oikeakätinen
Miehistö	27

Aluksessa on hidaskäyntinen pääkone, joka on suoraan kytketty potkuriin. Potkurin käyntisuuntaa muutettaessa täytyy pääkone pysäyttää ja käynnistää uudelleen eli kyseessä on nk. yliheittotyyppinen kone. Aluksessa on keulapotkuri, mutta se ei ollut käytökunnossa.

Todistusasiakirjat

MSC HINAn alustodistukset olivat voimassa. Aluksen turvallisuusjohtamistodistus (SMC) oli myönnetty 05.08.2003⁹.

MSC HINAn miehitys

MSC HINAn miehistön lukumäärä oli 28 henkilöä. Aluksen päällikkö oli ukrainalainen samoin kuin sähkömestari. Kansipäällystä oli Intiasta. Konepäällikkö ja III-konemestari olivat Myanmarista sekä II- ja IV-konemestari ja muu miehistö oli Intian kansalaisia.

Päälliköllä (s. 1965) oli merikokemusta vuodesta 1988. Hänelle oli myönnetty merikapteenin kirja vuonna 2001. Hän oli toiminut HINAn päällikkönä 22.10.2003 alkaen.

Aluksen komentosillalla oli onnettomuushetkellä kaksi valtion luotsia. Luotsauksesta vastanneella luotsilla (s. 1954) oli luotsikokemusta vuodesta 1985 lähtien. Toisella luotsilla (s. 1961) oli merikokemusta vuodesta 1979 ja luotsina hän oli ollut vuodesta 2003.

MSC HINAn ohjaamo ja koneiden ohjaus

Aluksen propulsiojärjestely – potkuri kiinteälapainen ja potkuriakseli suoraan kytketty pääkoneeseen – on sellainen, että pienin mahdollinen jatkuva nopeus eteenpäin on noin 9 solmua.

⁸ Pilot Card'issa merkintä "Maximum Power" Tutkinnassa sen on oletettu olevan MCR (maksimi jatkuva teho, Maximum Continuous Rating)

⁹ Marine Casualty Report, MSC HINAn päällikön meriselitys 14.11.2003



**Konekäskyn
välitin**

Kuva 7. MSC HINAn komentosilta.

MSC HINAn ohjailunopeustaulukko oli konekäskynvälittimen vieressä (kuva 8). Taulukossa olivat konekäsky, potkurin (ja koneen) kierrosluku sekä vastaava aluksen nopeus (Taulukko 1). Nämä ovat samat kuin Pilot Card:iin merkityt lastatun tilanteen arvot. Komentosillan takalaipiossa oli aluksen ohjailuominaisuuksia kuvaava taulu (Ship's manoeuvring characteristics), jossa on täydellisempi taulukko kierrosluku-nopeus vastaavuudesta sekä lastatulle että painolastissa olevalle alukselle (Liite 2 taulukko 1 ja Liite 10).

Pienemmät nopeudet ovat mahdollisia nopeuden pudotessa koneen pysäyttämisen jälkeen. Päällikön ilmoituksen mukaan alus tottelee peräsintä normaaleissa olosuhteissa viiteen solmuun asti¹⁰.

Pidemmän aikaa aluksella voi ajaa selvästi alle 9 solmun nopeudella pysäyttämällä kone antaen nopeuden pudota ja käyttäen suuria peräsinkulmia oikealle tai vasemmalle (tuulen suunnasta riippuen). Alhaisin mahdollinen nopeus riippuu tuulen suunnasta ja voimasta. Tuulen tarttuessa alukseen, käynnistetään kone. Tällaista menettelyä kokeiltiin luotsien noustua alukseen ennen kapeisiin väylänkohtiin tuloa. Tuolloin aluksen mutkailu oli mahdollista leveässä väyläkohdassa, jossa kurssin ja asennon muutoksista ei ollut vaaraa.

Ilman peräsimellä operointia tuuli tarttui alukseen 7,5 solmun nopeudella. Pysäyttämällä ja käynnistämällä kone sopivin väliajoin ja pitämällä peräsin yli oikealle, MSC HINAn nopeus saatiin putoamaan 4,5 solmuun¹¹.

¹⁰ MSC HINAn meriselitystilaisuus, päällikön kuuleminen. (Tarkoittaa, että kun nopeus putoaa viiteen solmuun koneen pysäytyksen jälkeen, tutkintalautakunnan täsmennys).

¹¹ MSC HINAn meriselitystilaisuus, päällikön kuuleminen.

Taulukko 1. MSC HINAn ohjailunopeustaulukko (kuva 8), konekäsky, potkurin (ja koneen) kierrosluku sekä vastaava nopeus¹². Taulukko oli konekäskynvälitimen vieressä. Vastaavien konetehtojen on arvioitu olevan (rpm/kW): 52/1250, 70/3000, 80/4500 ja 90/6500 (Liite 2).

MANOEUVRING SPEED TABLE		
MNVRG ORDER	RPM	SPEED (KTS)
FULL AHEAD	90	15,5
HALF AHEAD	80	13,5
SLOW AHEAD	70	11,0
D. SLOW AHEAD	52	9,2

Luotsien mukaan alus menetti kokeilutilanteissa ohjattavuutensa nopeuden pudottua alle 6 solmun¹³. Muissa yhteyksissä heidän antamissaan lausunnoissa tämä nopeus oli 5,5–6,5 solmua.

Ohjailtavuuden säilyttämiseksi kone oli välillä käynnistettävä. Peräkkäisten käynnistysten lukumäärä on aluksen Pilot Card'in mukaan 12 käynnistystä. Luotsien käsityksen mukaan MSC HINalla oli käytettävissä noin 5 käynnistystä, minkä jälkeen täytyi odottaa useita minutteja käynnistysilmapullojen täyttymistä. Tällaisessa tilanteessa joudutaan siis tarkkaan harkitsemaan manoveerien tarve, jotta reserviä jää hätätilanteiden varalta.

Konekäskyjen toteutus tapahtui tutkinnassa saatujen tietojen mukaan todennäköisesti siten kuin konetelegrafia käyttävällä aluksella normaalisti menetellään¹⁴. Aikaviiveeksi käskystä koneen pyörimiseen annetulla nopeudella on arvioitu 20–30 sekuntia.

Käynnistettäessä kone hyvin alhaisessa nopeudessa (1–2 solmua) ja pyydetyn konekäskyn ollessa Dead Slow Ahead ottaa potkuri alkuvaiheessa ennen nimellisa nopeuden saavuttamista pääkoneesta noin kaksinkertaisen tehon tasaisen nopeuden (noin 9 solmua ja 1250 kW) tilanteeseen verrattuna.

MSC HINAn lastitilanne

Aluksen tuulipinta-ala Helsinkiin tullessa oli noin 3050 m² (kuva 14). Keskisyväys oli 8,7 m. Alus oli peräviippauksessa, syväys keulassa oli 8,4 m ja perässä 9,1 m¹⁵. Alus kulki 11 m väylällä, joten varavesi oli paikoin pieni.

¹² Nämä ovat täyttä lastia vastaavat lukuarvot. Pilot Card'issa painolastitilanteelle on lukuarvot (rpm/nopeus): 52/9.5, 70/12.0, 80/14.0, 90/16.0.

¹³ MSC HINAn meriselitystilaisuus, luotsien kirjallinen lausunto

¹⁴ Konekäskyjen toteutusjärjestys on 1) Luotsi antaa komennon, jonka aluksen päällikkö välittää konekahvoja hoitavalle perämiehelle; 2) hän kääntää konetelegrafian pyydettyyn asentoon, jolloin konehuoneeseen välittyy tieto pyydetystä konekäskystä; 3) vuorossa oleva konemestari tekee pyydetyn säädön.

Jos kyseessä on koneen käynnistys, konemestari tekee käynnistykseen vaatimat toimenpiteet ja käynnistää ja säätää koneen. Koneen hitausvoimien vuoksi kuluu aikaa ennen kuin pyydetty kierrosluku saavutetaan. Käynnistettäessä konetta, joka on lämmin, kuluu Dead Slow Ahead kierrosten saavuttamiseen noin 15 sekuntia käynnistykseen aloituksesta.

Jos kyseessä on suunnan vaihto, konemestari tekee koneen pysäytyksen vaatimat toimenpiteet, vaihtaa koneen pyörimissuunnan ja sen jälkeen käynnistykseen vaatimat toimenpiteet. Kone voidaan käynnistää toiseen suuntaan vasta potkurin kierrosten laskettua riittävän alas.

¹⁵ Pilot Card



Kuva 8. MSC HINA, konekäskyvälitin ja ohjailunopeustaulukko.

Tutkintalautakunnan saama MSC HINAN onnettomuusmatkaa koskeva vakavuustarkastelu, joka oli tehty 13.11.2003, osoittaa aluksen vakavuuden olleen riittävän ko. lastitilanteessa.

1.1.3 POSEIDON – yleistiedot, miehitys, ohjaamo, hinausvarustus ja vakavuus



Kuva 9. Hinaaja POSEIDON.

(Copyright Alfons Håkans Ab)

Yleistiedot

Hinaaja POSEIDON on rakennettu Rauma-Repolan Uudenkaupungin telakalla 1978, uudisrakennus nro 418.

Pituus, suurin	25,87 m
Pituus, pp	22,75 m
Leveys	8,24 m
Pääkoneen teho	2000 hv, (1455 kW)
Nopeus	11,5 solmua
Paaluveto	20,7 t (100 % koneteholla)
Hinauskaaren säde	2,75 m, alkuperäisissä laskelmissa 2,0 m
Hinauspisteen korkeus	6,05 m perustasosta (BL)
Hinauspisteen etäisyys	10,5 m 0-kaaresta

Todistusasiakirjat

Katsastus ja miehitystodistukset. Aluksen katsastus oli voimassa ja miehitys oli miehitystodistuksen mukainen, jos satama-avustusta ei tulkita hinaukseksi. Miehitystodistus oli annettu 22.7.1998 ja se oli voimassa toistaiseksi. Miehityksenä tuli olla päällikkönä laivuri/vahtiperämies, alikonemestari/vahtikonemestari ja YT-matruusi. Lisäksi todistuksessa edellytetään, että hinattaessa tulee lisäksi palkata puolimatruusi.

Turvallisuusjohtamistodistus (SMC) on myönnetty 15.10.2002 hinaajavarustamon Helsingin satamaorganisaation SMS-perusauditoinnin yhteydessä kotimaanliikenteessä.

Hinaajan vakavuuslaskelmat ovat valmistajatelakan tekemät vuodelta 1978 ja MKL:n hyväksymät 7.9.1978, diaarinumero 329/78/301.

Paaluvedon mittauspöytäkirjan (Lloyds Register 4.9.1998) mukaan edellisenä päivänä tehdyssä mittauksessa paaluvedoksi oli saatu 20,7 t 100% koneteholla.

POSEIDONin miehitys

Päälliköllä (s. 1952) oli merikokemusta vuodesta 1969. Hänelle oli myönnetty perämiehen kirja vuonna 1973. Vuosina 1984–1992 hän oli ollut eri hinaajien päällikkönä. Hän oli toiminut 1992–2003 Helsingin satamaluotsina, satamaliikenteenohjaajana ja Helsingin VTS-keskuksen liikenteenohjaajana. Elokuusta 2003 hän oli ollut mm. POSEIDONin päällikkönä.

POSEIDONin ohjaamo ja sen laitteet

POSEIDON on konventionaalinen hinaaja, jota ohjataan peräsimellä.

POSEIDONin vakavuus

Rakentajatelakan Rauma-Repola, Uudenkaupungin Telakka tekemän kallistuskokeen 5.7.1978 mukaan hinaajan tyhjäpaino oli 256,62 t ja painopisteen korkeus perusviivasta

3,44 m. Aluksen vakavuuslaskelmat ovat valmistajatelakan tekemät vuodelta 1978 ja MKL:n hyväksymät 7.9.1978, diaarinumero 329/78/301. Niissä on laskettu staattinen ja sitä vastaava dynaaminen vakavuus kuudessa lastitilanteessa. Alus täytti vastaavat vakavuuskriteerit vuotokulman ollessa 40 astetta. Hinaustilanteen kriteerit oli tarkistettu yhdessä epäedullisimmaksi arvioidussa lastitilanteessa. Laskelmien¹⁶ mukaan POSEIDON täytti vaatimukset sekä poikittaisnopeudella 2,5 m/s että peräsimestä aiheutuvasta sivuttaisvoimasta 190 kN paaluvedolla.

POSEIDONin vakavuutta on tarkasteltu yksityiskohtaisemmin liitteessä 2.

1.1.4 Varustamot

Alfons Håkans AB

Alfons Håkans AB operoi 20 hinaajaa ja yhtä proomua marraskuussa 2003 ja se on Itämeren suurimpia hinaus- ja meripelastusyrityksiä. Yrityksellä on johtava markkina-asema Suomessa. Yhtiöllä on voimassa oleva turvallisuusjohtamisjärjestelmä (SMS).

Kansainvälisen Port State Control¹⁷ -järjestelmän tietojen mukaan Alfons Håkans Ab -varustamon aluksia ei ole pysäytetty turvallisuuspuutteiden vuoksi. Aluksia on tarkastettu 15 kertaa, aluksia on huomautettu 26,7 %:ssa tarkastuksista.

Mediterranean Shipping Company

Mediterranean Shipping Company operoi 91 alusta (helmikuu 2005). Aluksista kolme on matkustaja-aluksia, kolme irtolastialuksia ja loput alukset ovat suuria ja keskisuuria konttilaivoja. Alusten keski-ikä on noin 20 vuotta. Lisäksi yhtiöllä on rakenteilla 32 uudisrakennusta, jotka valmistuvat 2005–2007.

Kansainvälisen Port State Control -järjestelmän¹⁸ tietojen mukaan MSC-varustamon aluksia on pysäytetty 16 kertaa eri satamissa turvallisuuspuutteiden vuoksi vuoden 2003 jälkeen tehdyissä 367 tarkastuksessa. Varustamon aluksia on huomautettu 40,3 %:ssa tarkastuksista ja alus on jouduttu pysäyttämään 4,36 %:ssa tarkastuksista. MSC:n keskiarvot tarkastuksista ovat: huomautukset/tarkastus=1,83 ja pysäytykset/tarkastus=0,18. Puutteita oli ollut pääasiassa alusten yleisessä kunnossa, koneisto- ja potkurilaitteissa, palosammutuslaitteissa, työoloissa sekä turvallisuusjohtamisjärjestelmässä¹⁹.

MSC HINAlle oli tehty tarkastus ennen onnettomuutta 09.10.2003 Antwerpenissä Belgian viranomaisten toimesta. Alukselle oli annettu 13 huomautusta²⁰.

¹⁶ POSEIDONin vakavuusaineiston laskelmista löytyi kaksi virhettä, jotka kumosivat toisensa.

¹⁷ www.equasis.org 24.2.2005

¹⁸ www.equasis.org 24.2.2005

¹⁹ Alan keskiarvo tarkastuksissa on: huomautukset/tarkastus=0,4 ja pysäytykset/tarkastus=0,0.

²⁰ Huomautukset kohdistuivat seuraaviin luokituksiin: Fire & Safety measures 1 kpl, Propulsion & aux machinery 8 kpl, MARPOL (annex 1) 2 kpl ja ISM 2 kpl

Tutkinnan saamien tietojen mukaan MSC HINAn keulapotkuri oli ollut viisi vuotta epä-kunnossa. Keulapotkurin epäkuntoisuus ei aiheuta port-state-control huomautusta, koska sitä ei lasketa turvallisuusvarusteeksi.

1.2 Onnettomuustapahtuma

Tapahtumakuvaus perustuu alusten päälliköiden antamiin meriselityksiin, kuulustelupöytäkirjoihin, VTS-rekisteröintiin, PEGASOSin²¹ ja POSEIDONin satelliittipaikannuksen rekisteröinteihin sekä tutkintalautakunnan jäsenten käymiin keskusteluihin asianosaisten kanssa.

1.2.1 Sääolosuhteet

Merisääennusteet onnettomuuspäiväksi 13.11.2003 olivat²²:

Merisää tiedotus merenkulkijoille 13.11.2003 klo 12.45: "Kovan tuulen varoitus: Suomenlahti: lännen ja lounaan välistä tuulta 14 m/s. Odotettavissa huomiseen keskipäivään asti: Suomenlahti: länsituulta 5–9 m/s. Yöllä voimistuvaa lännen ja lounaan välistä tuulta, huomenna aamupäivällä 9–14 m/s. Paikoin utua, kohtalainen tai hyvä näkyvyys"

Merisää tiedotus klo 19.10: Kovan tuulen varoitus: "Suomenlahti ja Selkämeri: huomenna lounaistuulta 14 m/s. Odotettavissa huomiseen iltaan asti: Suomenlahti: voimistuvaa lännen ja lounaan välistä tuulta, huomenna päivällä 10–14 m/s. Yöllä utua, paikoin sumua, päivällä kohtalainen tai hyvä näkyvyys"

Ilmatieteen laitoksen mukaan tuulen nopeus vaihteli Helsingin edustalla Harmajalla tehtyjen havaintojen mukaan 13.11.2003 klo 12:00–24:00 6–10 m/s suunnan ollessa 274–248 astetta. Hetkellinen puuskanopeus oli klo 19:00 lähtien 10,3–12,9 m/s. Näkyvyys oli yli 20 km ja ilman lämpötila +5 astetta.

Onnettomuusajankohdan mittaustiedot Harmajalla:

Klo	Tuulen suunta	Tuulen nopeus [m/s]	
		10 min k.a.	puuskissa
21:21	247	7,8	10,4
21:51	243	10,2	12,7
22:00	242	9,7	11,6

Veden lämpötila oli +5 astetta. Vallitseva merkitsevä aallonkorkeus oli 0,8 m²³.

²¹ PEGASOSin elektronisen kartan tietokone otettiin talteen välittömästi aluksen noston jälkeen ja tietokoneen kovalevyllä olleeseen rekisteröidyn paikkadatan sai pelastettua norjalainen tähän erikoistunut yritys Ibas AS.

²² Sääennusteet: Ilmatieteen laitoksen fax no 669 5.4.2005

²³ Tuulitiedot: Ilmatieteen laitoksen raportti 11.05.2004. Meritiedot: MRSC Helsinki, Toimenpideluettelo 14.11.2003

Onnettomuushetkellä oli pimeää. Aluksissa oli normaalit kulkuvalot. Työskentelyä varten valonheittimet olivat toiminnassa. HINAN ohjaamoon olivat näkyvissä väylän merimerkkien ja poijujen valot.

1.2.2 Onnettomuusmatkan valmistelu

Aamupäivällä 13.11.2003 MSC HINAN päällikön edustajana Helsingissä toimiva meklari Oy Finnsteve Ab (Mediterranean Shipping Co:n agentti) otti yhteyttä Alfons Håkans Oy Ab:n (myöhemmin Håkans) Helsingin satamaorganisaation aluepäällikköön. Varustamon noin 200 m pituinen konttialus MSC HINA oli samana päivänä saapumassa Helsinkiin, Länsisatamaan laituriin L9, ja tarvitsi hinaaja-avustusta²⁴. Aluepäällikkö, joka toimi myös hinaaja PEGASOSin päällikkönä, ilmoitti hinaajavarustamolla olevan tarjolla kaksi hinaajaa, POSEIDON ja PEGASOS. Näiden käytöstä sovittiin HINAN meklarin kanssa.

MSC HINAN meklari oli tehnyt luotsitilauksen Helsingin meriliikennekeskuksessa (Helsinki VTS) toimivalta luotsinvälitykseltä. Ensimmäisen tiedon mukaan MSC HINAN piti saapua Helsingin Länsisatamaan jo puolen päivän tienoilla, mutta myöhemmin ilmoitettiin, että se on myöhässä ja saapuisi vasta noin klo 20. Luotsinvälitys välitti luotsattavan aluksen nimen ja ennakkotiedon saapumisajasta vuorossa olleelle luotsille. Luotsin kertoman mukaan hän sai tiedon MSC HINAN luotsauksesta aamupäivällä 13.11 Helsingin meriliikennekeskukselta. Luotsi oli luotsannut aikaisemmin saman varustamon PATRICIA-alusta ja oletti aluksi MSC HINAN olevan sen sisaraluksen (rakennettu 1990, kuollut paino 18150 t, pituus 165,5 m, leveys 23,5 m, syväys 10 m, aluksessa on keulapotkuri ja säätölapapotkuri)²⁵. Luotsin mukaan PATRICIA oli uudenaikainen alus ja helppo käsitellä sekä oli ohjailtavissa vielä alle kolmen solmun nopeuksilla.

Helsingin meriliikennekeskus ei anna luotseille muuta tietoa aluksesta kuin sen nimen ja saapumisajan luotsipaikalle; tätä tietoa päivitetään tarpeen mukaan. Iltapäivällä 13.11 luotsi kuitenkin etsi omatoimisesti aluksen tietoja internetistä. Hän huomasi, että alus olikin hänelle tuntematon ja totesi sen koon suureksi (pituus 203 m) Helsingin satamaan. Luotsi keskusteli tilanteesta luotsivanhimman ja muiden kollegoidensa kanssa. Yhdessä tehtiin päätös, että mukaan tarvitaan myös avustava luotsi aluksen suuresta koosta johtuen. Luotsi otti yhteyttä aluksen meklariin, jolta hän sai tietää, että MSC HINAN keulapotkuri ei toimi. Muita teknisiä tietoja hän ei saanut.

Luotsi otti yhteyttä Håkansin aluepäällikköön ja sai tiedon avustukseen tulevista hinaajista POSEIDON ja PEGASOS. Koska luotsi piti PEGASOSia liian pienenä suhteessa avustettavan kokoon, hän tiedusteli mahdollisuutta saada PEGASOSin tilalle tehokkaampi hinaaja, esimerkiksi NEPTUN. Muita hinaajia ei kuitenkaan ollut Helsingissä saatavilla. Tehokkaampia hinaajia olisi ollut mm. Sköldvikin öljysatamassa, mutta niiden saatavuudesta²⁶ ja siirtokustannuksista Helsinkiin olisi varustamon pitänyt sopia erikseen. Luotsien mukaan Helsingissä oli saatavilla vain Alfons Håkans Ab:n hinaajia.

²⁴ Helsingin Satamalla ja hinaajavarustamo Alfons Håkans Oy:llä on sopimus sataman jäänmurrosta talvikaudella, mutta sopimus ei kata valmiutta erilaisiin satamaliikenteen avustustehtäviin. Helsingin Sataman ja Alfons Håkans OY AB:n välinen hankintasopimus nro 70/2001, 29.11.2001

²⁵ Luotsin kuuleminen 19.10.2004

²⁶ Hinaajien ajoaika Sköldvikistä Helsinkiin on kaksi ja puoli tuntia.

Hinaajavarustamo käyttää hinaajien yhteisen paaluvedon määrittämiseksi kaavaa²⁷, jolla voidaan laskea avustettavaan alukseen kohdistuva tuulivoima. Valmistelussa kaavaa ei käytetty. PEGASOSin päällikkö ilmoitti uudessa meriselityksessä hinaajien yhteiseksi paaluvedoksi 50 tonnia. POSEIDONin päällikön mukaan ei pidetty tarpeellisena selvittää MSC HINAN tietoja enempää. Sää oli hinaajien päälliköiden mielestä tavanomainen, joten he pitivät avustustehtävää rutiininomaisena ja kalustoa riittävänä.

Hinaajilla valmistauduttiin avustustehtävään normaalirutiinien mukaisesti. PEGASOSin konepäällikkö ja kansimies kokeilivat aluksen hinauskoukun hätälaukaisun toiminnan kuormittamattomana aluksen toimintakäsikirjan ja varustamon turvallisuusjohtamisjärjestelmän mukaisesti. Myös POSEIDONilla hätälaukaisun toiminta kokeiltiin. Ne toimivat oikealla tavalla.

Meriselityspöytäkirjan (11.12.2003) mukaan²⁸ PEGASOSin päällikkö ilmoitti aluksensa lastitilanteen kahdella tavalla. Kirjallisen meriselityksen mukaan keulasyväys oli 3,1 m ja peräsyväys 4,3 m²⁹. Oikeudessa hän ilmoitti suullisesti lastitilanteen seuraavasti: "polttoainetta PEGASOSissa oli ollut arviolta 26–27 tonnia perätankissa. Painolastia oli ollut yli 50 tonnia perässä ja makeaa vettä noin 7 tonnia. Makean veden tankki on keulassa³⁰." Avustustehtävään lähdettäessä hän ei tehnyt matkakohtaisen lastitilanteen vakavuustarkastelua.

Meriselityksen uudessa käsittelyssä³¹ päällikkö ilmoitti aluksensa olleen perätrimmissä, joka ei ollut huomattava. Hänen käsityksensä oli, että onnettomuuspäivän vakavuus oli "viranomaisten mukaan riittävä" ja vakavuusaineistossa oli otettu huomioon alukseen tehdyt muutokset. Hän ei muistanut oliko hänelle ilmoitettu PEGASOSille viikkoa ennen tapahtumaa tehdystä kallistuskokeesta. Hän oli tukeutunut MKL:n hyväksyntään vakavuuslaskelmiin. Hän ei ollut tehnyt vakavuuslaskelmia ennen merelle lähtöä, koska hänen mielestään näitä ei tarvitse tehdä jokaista matkaa varten. Aluksen lastitilanne pyrittiin pitämään "aina samassa tasossa, joka on koettu hyväksi satamahinaustilanteessa ja täyttää MKL:n vaatimukset". Säädökset kuitenkin edellyttävät lastitilanteen tarkastuksen matkan alussa³².

Hinaajien päälliköt ja luotsit neuvottelivat päivän kuluessa puhelimitse ja sopivat kohtaanvansa tavanomaisella kohtaamispaikalla Koirakarin lounaispuolella. PEGASOSin päällikön mukaan kommunikointi hinaajilta avustettavalle alukselle kulkee luotsin kautta sovitulla radiokanavalla.

MSC HINA ja sen päällikkö olivat tulossa Helsingin satamaan ensimmäistä kertaa. Tutkijoille toimitettujen tietojen mukaan MSC HINAN päällikkö suoritti aluksen tarvitseman hi-

²⁷ Käytetty kaava on muotoa: $Tuulivoima = 0.5 \times \rho \times v^2 \times A$ [N]; missä $\rho = 1.23$ [kg/m³], v = tuulen nopeus [m/s], A = tuulipinta-ala [MSC HINAN tuulipinta-ala on noin 3050 m²], kaavassa oletetaan tuulivoimakertoimen olevan 1.0. (Kaavan mukaan saadaan tuulivoiman suuruudeksi 188 kN sääennusteen tuulen nopeudella 10 m/s ja 368 kN nopeudella 14 m/s). Riittävän paaluvedon laskentaa on käsitelty kohdassa 1.5.3 ja liitteessä 1.

²⁸ M/S PEGASOS, meriselityspöytäkirja 11.12.2003 liitteinen, Turun käräjäoikeus, 03/9416

²⁹ Käytännön mukaan nämä on mitattu syväysmerkeistä. Vastaavat syväydet perusviivasta ovat: keula 3,51 m ja perä 3,70 m.

³⁰ Nämä tankkien täytökset vastaavat perusviivasyvyyksiä keulassa 2,55 m ja perässä 4, 26 m.

³¹ Turun käräjäoikeus 27.4 ja 12.5 2005, pöytäkirja 05/3474

³² Merilaki 17.3.1995/369 1 8§, 6 3§, Merilaki 3.7.1967/326 1§, 2§. Asetus 7.10.1988/855 3 10§,

naajien paaluvetotehon laskelman varustamon ohjeistuksen mukaisesti ja sai tulokseksi 27 tonnia ja tarjottujen hinaajien yhteiseksi paaluvedoksi 59,8 tonnia³³.

1.2.3 Tapahtumat merellä 13.11.2003

Luotsauksen aloitus

Luotsit nousivat laivaan klo 20.30 MSC HINAN ollessa silloin noin 3 mailia Helsingin Ka-suunista pohjoiseen, kuva 10. Laivaan nousua varten luotsi pyysi MSC HINAN päällikköä alentamaan aluksensa nopeutta noin 5 solmuun. Päällikkö vastasi, että hänen aluksensa pienin nopeus koneiden käydessä on 9,5 solmua. Päällikkö pysäytti koneet, jolloin nopeus hidastui sen verran, että luotsit saattoivat nousta alukseen.

MSC HINAN päällikkö tutustutti luotsit aluksensa ohjailuominaisuuksiin kertomalla uudelleen, että aluksen pienin nopeus pääkoneen konekäskyllä "Dead Slow Ahead" on 9,5 solmua. Tämä tieto tuli luotseille täytenä yllätyksenä. Jo päivällä luotsit olivat saaneet tietää, että MSC HINAN keulapotkuri ei toimi.

MSC HINAN päällikön kertoman mukaan luotsit olivat huolestuneita aluksen suuren koon vuoksi. Päällikkö tarjoutui tilaamaan kolmannen hinaajan, mutta sai kuulla, ettei sitä ole saatavilla. Päällikkö muistutti myös luotseille, ettei Helsingin satamaan ole ilmoitettu kokorajoitusta lukuun ottamatta syväystä, joten MSC HINA voi mennä satamaan. Päällikön mukaan luotsi sanoi, että hän tulee yrittämään ja toivottavasti kaikki menee hyvin.

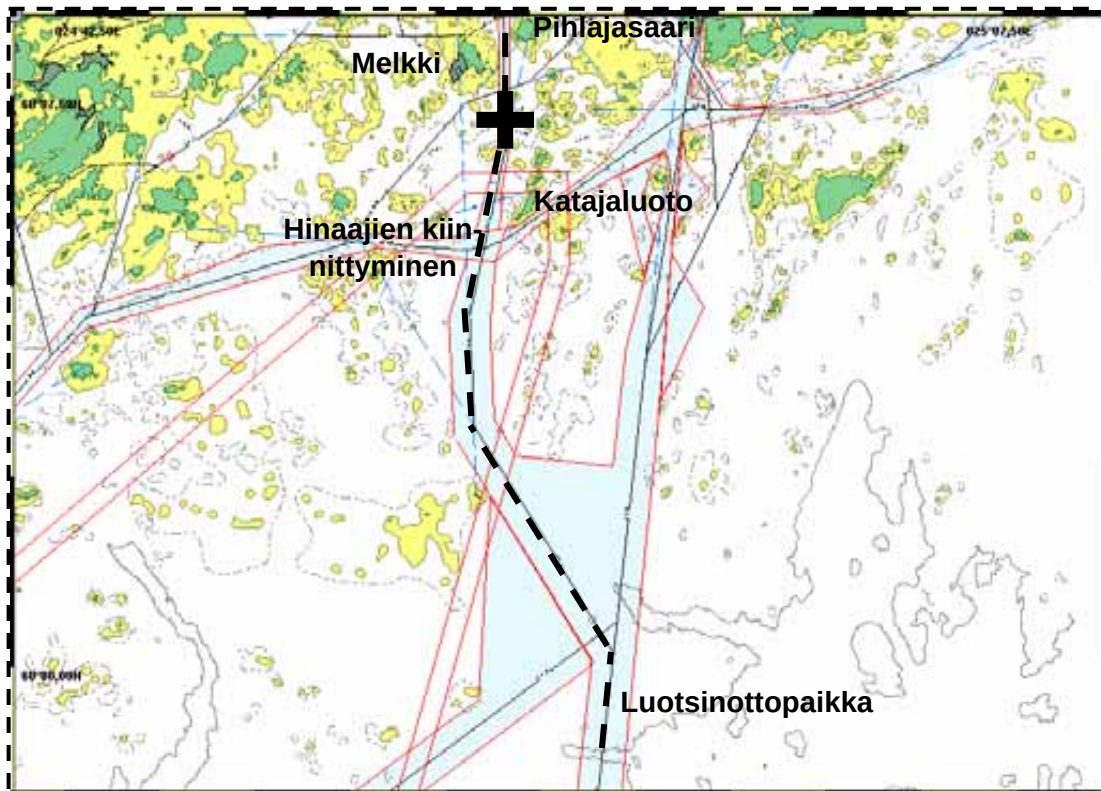
Komentosillalla olivat MSC HINAN päällikkö, yliperämies, vahtiperämies, ruorimies ja kaksi luotsia. Luotsi sijoittautui komentosillan oikealla puolella olevan tutkan luo ja antoi ruorikomennot ruorimiehelle. Päällikkö välitti luotsin konekäskyt perämiehelle, joka käänsi konetelegrafia. Avustavan luotsin kertoman mukaan mistään erityisestä työnjaosta ei ollut sovittu paitsi, että luotsi hoiti kaiken käskytyksen. Molemmat luotsit pitivät yhteyttä hinaajiin suomen kielellä VHF-puhelimilla kanavalla 8. Avustava luotsi tarkkaili myös tutkaa ja kommunikoi laivan henkilökunnan kanssa³⁴.

MSC HINAN päällikön ja luotsien kertoman mukaan luotsit ajoivat päällikön opastuksella muutaman mailin tutustuakseen aluksen ohjailuominaisuuksiin. Kyseisellä kurssilla ja tuulen suunnalla MSC HINAa ohjailtiin pienillä nopeuksilla (alle 6 solmua) kone välillä pysäyttäen. Silloin aluksen peräsin oli käännetty yli oikealle ja koneen käynnistyksen jälkeen potkurivirta synnytti tuulen kääntävää voimaa vastustavan voiman. Luotsit harjoittelivat tätä manööveria pysäyttäen ja käynnistäen koneen 3–4 kertaa. VTS-tietojen mukaan alus totteli hyvin ohjausta. Kuvassa 11 on näytetty MSC HINAN nopeuden muutokset harjoittelun aikana³⁵.

³³ Fax 23.8.2004, Univan Ship Management, 32 sivua

³⁴ Luotsien kuulustelupöytäkirjat 23.1. ja 29.1.2004 ja meriselityskuulustelut 14.11.2003

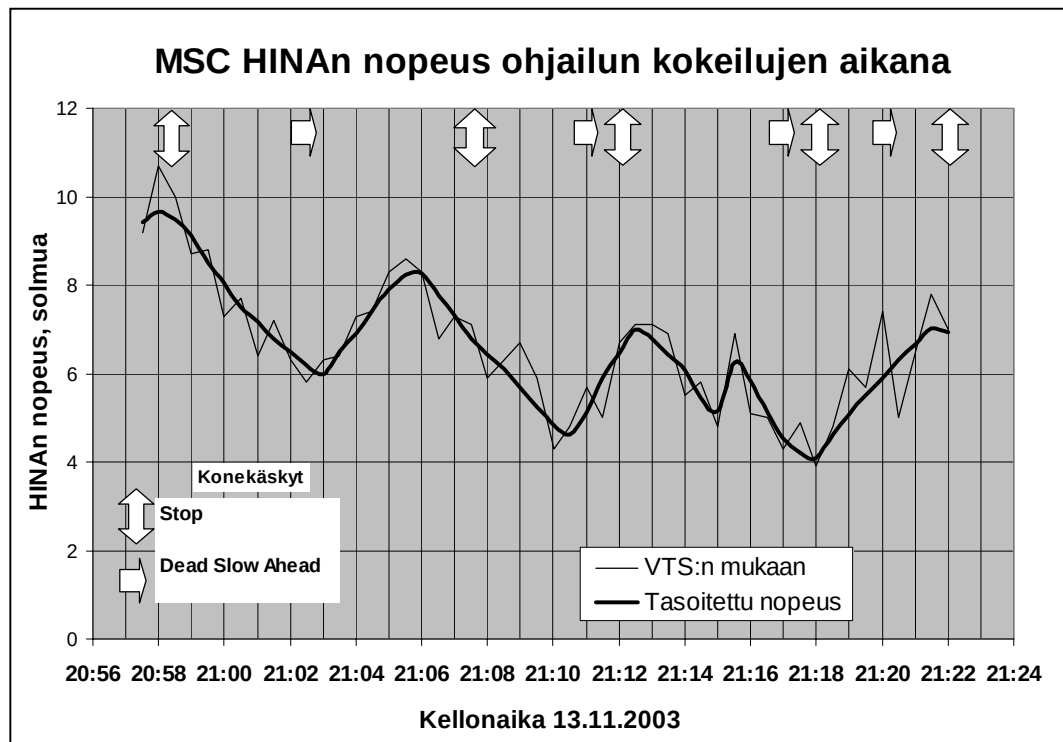
³⁵ Kuvaan 11 merkityt konepäiväkirjan mukaiset konekäskyjen ajat on synkronoitu GPS:n aikaan lisäämällä konekäskypäiväkirjaan merkittyyn aikaan 1 minuutti. Aikojen yhteensopivuus ei ole niin hyvä kuin kuvassa 13a. Tasoitus on tehty käsin, ajat on taulukoitu VTS-rekisteröinnistä ½ minuutin välein. Huom: kansipuolen päiväkirjan merkinnöissä on paikoin ½-1½ minuutin ero konepäiväkirjaan verrattuna vaihtelevaan suuntaan. Esim. (synkronoimattomat ajat, konepäiväkirja ensin) klo DS 21:02/21:01, STOP 21:06½/21:05, STOP 21:11/21:12. Ilmeisesti noin kello 21:15 tapahtunut operaatio on jäänyt merkittämättä.



Kuva 10. HINAn reitti, luotsien alukseen nousupaikka, hinaajien kiinnittymispaikka ja PEGASOSin uppoamispaikka (merkitty ristillä). Ohjailu- ja konemanööverien harjoitteluosuus on luotsinottopaikan ja hinaajien kiinnittymisen välillä.

Hinaajien päälliköt sopivat matkalla kohtaamispaikalle, että POSEIDON kiinnittyisi HINAn keulaan ja toimisi vetävänä hinaajana, kun taas PEGASOS kiinnittyisi HINAn perään ja toimisi jarruttavana hinaajana. Hinaajien lähestyessä aiottua kohtaamispaikkaa, luotsi otti yhteyttä PEGASOSiin ja pyysi hinaajia tulemaan Katajaluotoon saakka. Lisäksi he sopivat hinaajien ehdotuksesta, että POSEIDON asettuu HINAn keulapuolelle ja PEGASOS peräpuolelle, koska PEGASOSissa oli kombi-tyyppisenä hinaajana keulapotkuri ja näin ollen parempi ohjattavuus. POSEIDONin päällikön mukaan HINAn propulsio-ominaisuuksia ei saatettu hinaajien päälliköiden tietoon. PEGASOSin päällikkö sanoi³⁶ tienneensä "MSC HINAn nopeudet". Luotsien mukaan asiasta saattoi olla puhetta sovittaessa kohtaamispaikkaa.

³⁶ Meriselitys 27.4 ja 12.5.2005, pöytäkirja 05/3474



Kuva 11. MSC HINAn nopeus VTS:n mukaan luotsien tutustuessa aluksen ohjailuominaisuuksiin leveällä väyläosuudella luotsinottopaikalta lähelle Katajaluotoa (kuva 10). Kuvaan merkityt konepäiväkirjan mukaiset konekäskyjen ajat on synkronoitu GPS:n aikaan lisäämällä konekäskypäiväkirjaan merkittyn aikaan 1 minuutti.

Hinaajien kiinnittyminen

Hinaajat odottivat Katajaluodon luona klo 21.15, kuva 12. MSC HINAn nopeus oli tuolloin noin 8 solmua. PEGASOSin päällikkö ilmoitti, että nopeus on liian suuri ja etteivät hinaajat ota vastaan hinausköyttä niin kovassa vauhdissa. MSC HINAn kone pysäytettiin, jolloin sen vauhti hiljeni. Hinausköysien otto MSC HINASTA ja kiinnittyminen tapahtui klo 21.20–21.30 noin 5–6 solmun nopeudella, PEGASOS perässä (klo 21.27 MSC HINAn laivapäiväkirjan mukaan³⁷) ja POSEIDON keulassa (klo 21.29). PEGASOS otti vastaan kaksinkertaisen hinausköyden ajamalla keulansa MSC HINAn perään. PEGASOSin hinausköyden pituus oli sen päällikön kertoman mukaan 40–50 m, joka hänen käsityksensä mukaan oli sopivin ja turvallisin aiottuun tehtävään. MSC HINAn 3. perämiehen ilmoituksen mukaan köyden pituus aluksesta PEGASOSiin oli ”noin 15–20 metriä”³⁸. MSC HINAn 2. ja 3. perämies, jotka valvoivat köysien kiinnitystä keulassa ja perässä, ihmettelivät köysien kiinnitystapaa suoraan koukkuun. Heidän mielestään köysi olisi pitänyt vetää ”under the gobbline”³⁹, eli vetää köysi aluksen peräkannella vintturin päällä olevien kaarien alta. Sen jälkeen kun MSC HINA oli ankkuroitunut, päällikkö kutsui pai-

³⁷ Kaikki tutkintaselostuksen kellonajat, myös MSC HINAn laivapäiväkirjan ja konepäiväkirjan kellonajat, on synkronisoitu HKI VTS:n aikaan (UTC +2, GPS-aika). MSC HINAn kellonakoihin on lisätty 1 minuutti.

³⁸ MSC HINAn meriselitys, perämiehen kirjallinen lausunto. Arvioiden ero selittyy sillä, että MSC HINAn perämies on ehkä tarkastellut etäisyyttä PEGASOSin perään. Tutkinnassa on etäisyydeksi arvioitu 40 m.

³⁹ MSC HINAn meriselitys, perämiehen kirjallinen lausunto

kalle 3. perämiehen, joka ilmoitti, että hinausköysi oli kiinnitetty "väärin", koska sitä ei ollut vedetty kaaren alitse. (Tämä köyden vetotapa muistuttaa ns. gob-rope-järjestelyä eli ridaria).

MSC HINAN perämiesten kertomuksen mukaan molempien hinaajien kansirakennuksen teräsovet olivat auki. Meriselityksen uudessa käsittelyssä PEGASOSin päällikkö ilmoitti kannella olleiden puisten kulkuovien ("sääovet olivat lukolla varustettuja puuovia") olleen suljetut säätiiviisti⁴⁰. POSEIDONin päällikkö kertoi, että hänen aluksensa teräsovet olivat kiinni.

PEGASOSin päällikkö kertoi myös, että hinausköyden ei tule kulkea kaaren alitse. "Kaari on olemassa vain sitä varten, ettei hinausköysi sotkeudu muihin kansilaitteisiin." Lisäksi hän esitti, että ridarin käyttö olisi haitannut aiottua tehtävää. "Ridaria käytetään sellaisessa tilanteessa, jossa roikutaan aluksen perässä samassa asennossa. Tässä tilanteessa oli edessä monta manööveriä ennen laituripaikalle saapumista". "Satamaavustuksissa ei ole koskaan käytetty ridaria. Siitä on haittaa satama-avustuksessa, kun joudutaan välillä puskemaan ja välillä vetämään laivaa. Mikäli ollaan vain perä perää vasten tilanteessa, silloin ridari parantaa turvallisuutta." POSEIDONin päällikön kertomus ridarin käytöstä oli samansisältöinen. PEGASOSin päällikön käsityksen mukaan ridarin käyttö tässä tilanteessa olisi heikentänyt turvallisuutta, koska manööverit puolelta toiselle olisivat vaikeutuneet.

PEGASOSin miehistö ei käyttänyt pelastusliivejä kiinnittymisen yhteydessä kannella, POSEIDONin miehistö käytti. PEGASOSin päällikön kertoman mukaan hinaajien päälliköt olivat kiinnittymisen yhteydessä ja sen jälkeen muutamaa otteeseen ilmoittaneet luotsille, että MSC HINAN vauhti oli liian kova.

MSC HINAN päällikkö sanoi luotsille, että perässä olevan hinaajan tulisi vetää hänen alustaan taaksepäin toimimalla jarruna⁴¹, jolloin Dead Slow-nopeus olisi noin 7 solmua⁴². Luotsi oli tuolloin kertonut, että PEGASOS voi olla jarruttamassa vain, jos nopeus olisi noin kolme solmua. Päällikkö yllättyi meriselityksensä mukaan tästä tiedosta. Avustavan luotsin kertoman mukaan PEGASOS oli ilmoittanut "vauhdiksi noin 3,5 solmua alaspäin, niin sitten se pystyy kääntymään siellä ympäri" ⁴³.

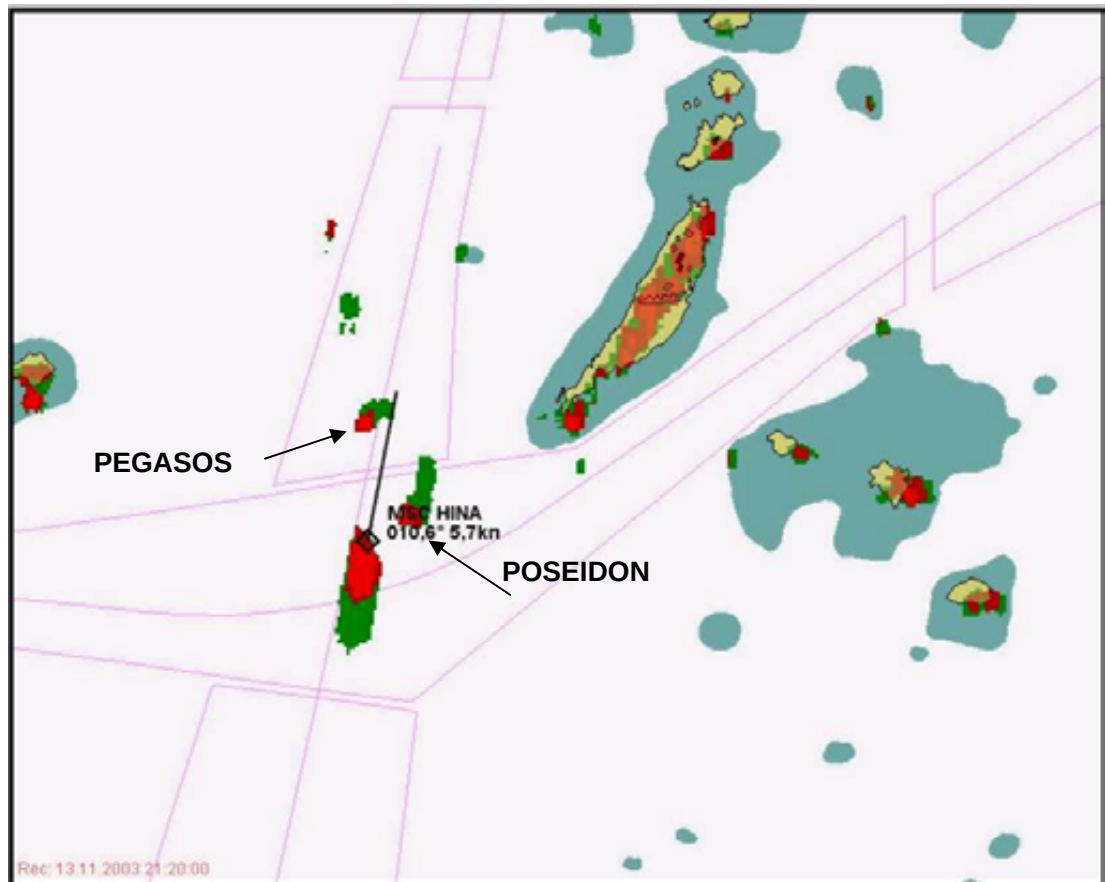
Kun PEGASOSin päällikkö oli ilmoittanut luotsille, että köydet olivat kiinni, ilmoitettiin MSC HINASTA sen "potkaisevan eteenpäin" ja MSC HINAN potkuri käynnistettiin uudelleen. PEGASOSin päällikkö ohjasi silloin aluksensa hinausköydet löysällä avustettavan aluksen oikealle puolelle ja ajoi samansuuntaisesti kuin MSC HINA noin viisi minuuttia. (PEGASOSin päällikön piirros tapahtumien kulusta on Liite 5; piirroksen asemat 1 ja 2).

⁴⁰ Ovi on **säätiivis**, jos sen läpi ei pääse vettä missään meriolosuhteissa. Jotta suljettu tila voidaan ottaa mukaan vakavuuslaskuissa, sen on oltava säätiiviisti suljettu. Ovi on **vesitiivis**, jos sen läpi ei pääse vettä paineella, joka vastaa sen sijainnin edellyttämää painetta.

⁴¹ "jarru" – sanan merkityksestä osapuolilla oli eri näkemys. Tämä kävi ilmi PEGASOSin toisessa meriselityksessä 27.4 ja 12.5 2005

⁴² MSC HINAN meriselitys, päällikön lausunto ja kuuleminen

⁴³ MSC HINAN meriselitys, avustavan luotsin kuuleminen

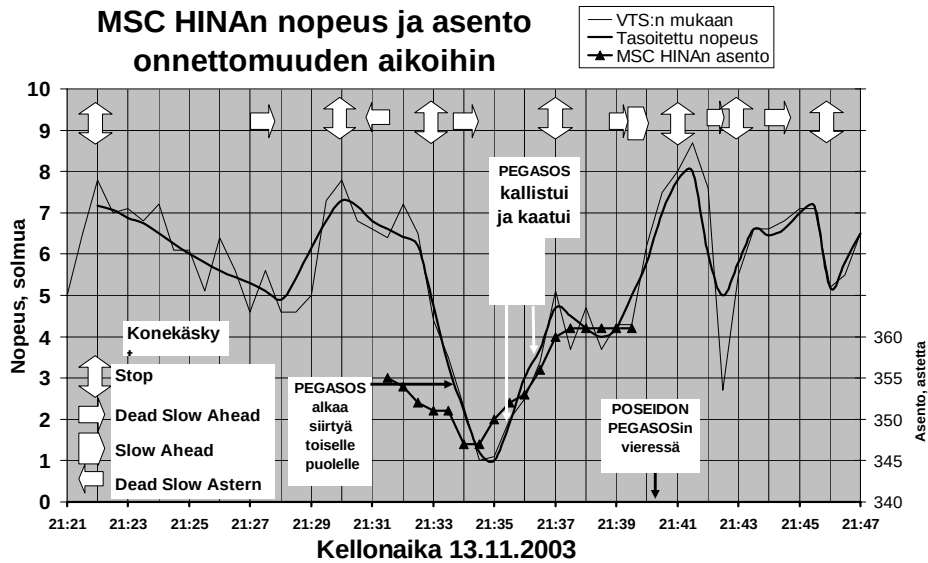


Kuva 12. Hinaajat aloittamassa kiinnittymistä MSC HINAan, VTS-kuva 21:20:00 13.11.2003.

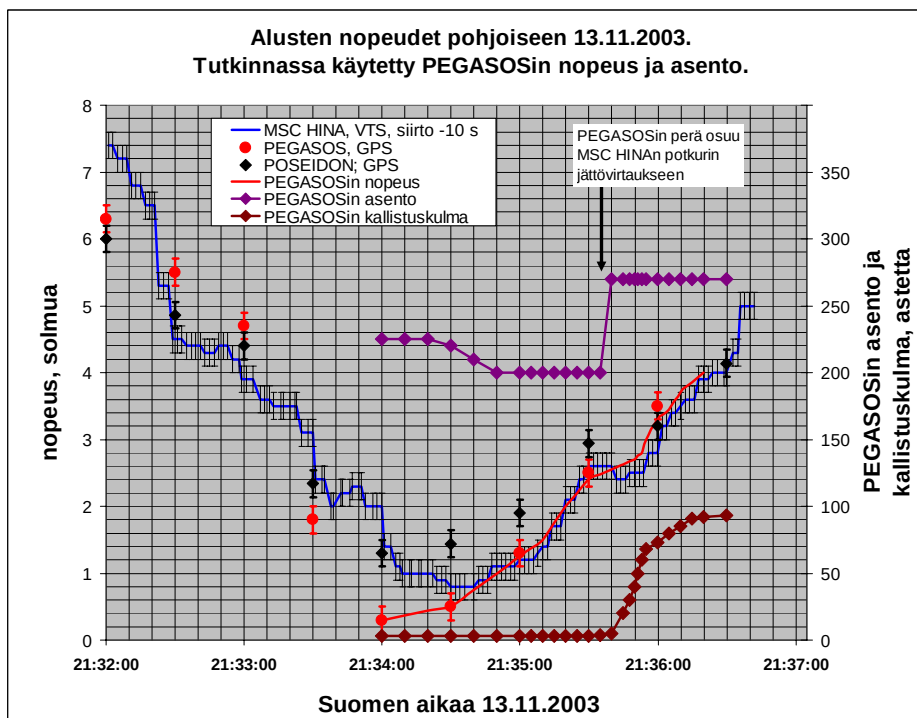
PEGASOSin siirtyminen MSC HINAN perän ohi

MSC HINAN avustava luotsi kysyi PEGASOSin päällikön kertoman mukaan, voiko hinaaja siirtyä laivan perään jarruksi. Tuolloin MSC HINAN vauhti oli kuitenkin noin viisi solmua. Päällikkö ilmoitti luotsille, että vauhdin on pudottava noin kolmeen solmuun ennen kuin käännökseen jarruttavaksi hinaajaksi voitaisiin ryhtyä. PEGASOSin päällikön kertoman mukaan hinaajavarustamon keskuuteen on kokemuksen pohjalta syntynyt käytäntö, että hinaajat eivät kiinnittyneenä käänny hinattavan kulkusuuntaan nähden päinvastaiseen suuntaan, mikäli vauhtia on yli kolme solmua.

MSC HINAN potkuri pysäytettiin uudelleen ja aluksen vauhti hiljeni. Vauhdin hiljeneminen tehostui, kun konetta käytettiin taaksepäin. Kun nopeus oli pudonnut vajaaseen kolmeen solmuun, PEGASOS aloitti siirtymisen (Liite 5, asemat 3 ja 4). PEGASOSin päällikkö siirtyi komentosillan vasemmalta siiveltä oikealle siivelle, koska sieltä oli tilanne paremmin hallittavissa. Kuvassa 13a on MSC HINAN nopeus hinaajien kiinnittymisen jälkeen ja myös avustettavan asento (keulasuunta) onnettomuuden aikoihin. Kuvassa 13b on kaikkien kolmen aluksen nopeudet onnettomuushetkellä (Liite 8, jossa on esitetty tutkinnassa tehty alusten nopeus- ja paikkatietojen analyysi eri rekisteröintitietojen pohjalta).



Kuva 13a. MSC HINAN nopeus VTS:n mukaan alkaen hieman ennen hinaajien kiinnittymistä ja päättyen 11 minuuttia PEGASOSin kaatumisen jälkeen, jatkoa kuvalle 11. Myös HINAN asento on näytetty. Kurssi 360 on pohjoiseen. Kuvaan merkityt konepäiväkirjan mukaiset konekäskyjen ajat on synkronoitu GPS:n aikaan lisäämällä konekäskypäiväkirjaan merkittyyn aikaan 1 minuutti. Aikaerot konekäskypäiväkirjan ja kansipuolen päiväkirjan välillä ovat melko pienet.

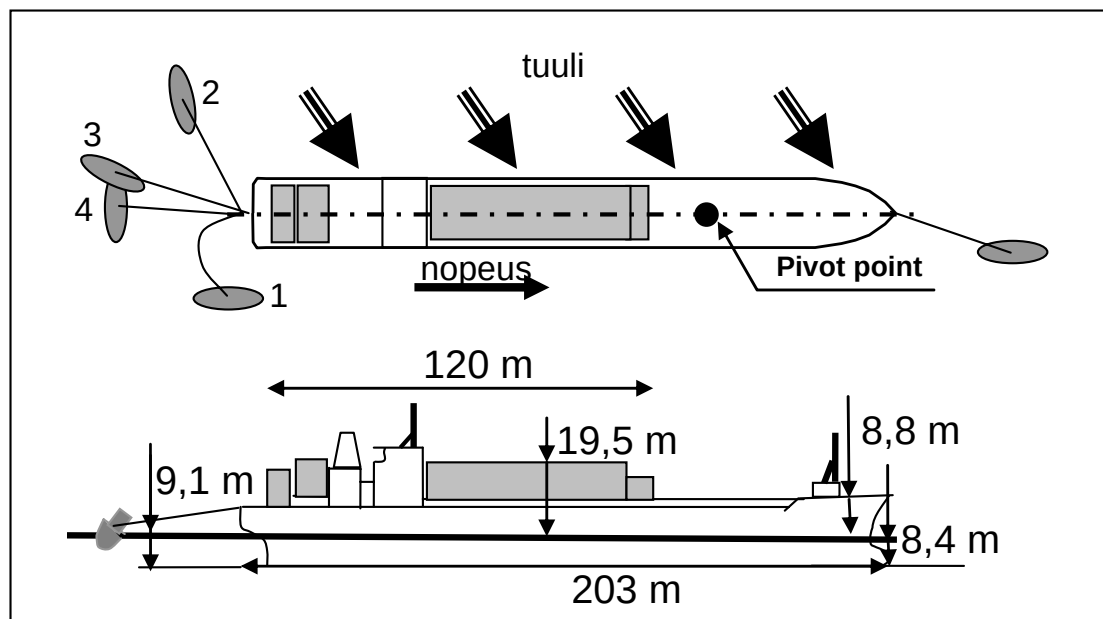


Kuva 13b. Alusten nopeudet pohjoiseen, PEGASOSin asento ja kallistuskulma. MSC HINAN nopeus perustuu ajan osalta korjattuun VTS-rekisteröintiin (-10 s), hinaajien nopeudet GPS-rekisteröintiin (Liite 8: Nopeus- ja paikkatietojen analyysi).

VTS-tietojen mukaan PEGASOSin siirtyminen alkoi noin klo 21.34. MSC HINAN nopeus pieneni edelleen PEGASOSin jarruttavasta vaikutuksesta. MSC HINAN nopeus oli pienimmillään noin yksi solmu klo 21.34.10–21.34.50. Kesti jonkin aikaa, ennen kuin MSC HINAN konekäsky "Dead Slow Ahead" alkoi nostaa alusten nopeutta.

Meriselityksen uudessa käsittelyssä PEGASOSin päälliköltä kysyttiin tietojen vaihdosta hinaajan kääntymisen alussa. Päällikkö kertoi ilmoittaneensa aluksensa olevan kääntymässä ja pitävänsä itsestään selvänä, että avustettavan potkuria ei tässä tilanteessa käytetä⁴⁴.

Päällikkö ohjasi PEGASOSia siten, että hinaaja siirtyi ensin MSC HINASTA sivulle kiertäen hinausköyden ja alkoi sitten kääntää peräänsä kohti MSC HINAA, sen liikkuessa eteenpäin. Käännös jatkui, kunnes PEGASOSin keula osoitti päinvastaiseen suuntaan kuin HINAN keula. Tuolloin PEGASOS oli suoraan MSC HINAN perän takana. MSC HINAN perä oli tämän operaation johdosta ja tuulen vaikutuksesta sortunut jonkin verran myötätuuleen, jolloin luotsi pyysi PEGASOSia nostamaan aluksen perää tuulen suuntaan (Kuva 14, asema 2 ja Liitteen 5 asemat 5 ja 6). PEGASOSin päällikkö kertoi ääriasennossa MSC HINAN vasemman kyljen olleen selvästi näkyvissä⁴⁵.



Kuva 14. MSC HINA:n avustustilanne onnettomuushetkellä. Asemassa 1 PEGASOS kulki kiinnittymisen jälkeen HINAN rinnalla. Tavoite oli päästä asemaan 2, jossa HINAN perän oikaisu olisi ollut tehokasta. PEGASOS ehti olla tässä asemassa vain hetken, ennenkuin se alkoi HINAN kiihdytyksen vuoksi ajautua asemaan 4.

⁴⁴ Lainaus meriselityspöytäkirjasta: "Ilmoittiko kuultava, että Pegasos on kääntymässä ja kielsikö kuultava M/S Hinaa käyttämästä potkuria? Kyllä. Kuultava oli ilmoittanut kääntymisestä ja kieltänyt käyttämästä potkuria. On itsestään selvyyttä, ettei potkuria tässä tilanteessa käytetä. Kuultava ilmoittaa kuitenkin aina, ettei potkuria käytetä. Ilmoitus siitä, että hinaaja on kääntymässä aluksen perän ympäri, pitää sisällään jo sen, ettei potkuria saa tässä tilanteessa käyttää. Kuultava ei tässä tilanteesta tästä syystä enää erikseen kieltänyt käyttämästä potkuria, koska manööveri on tuttu kaikille luotsseille ja hinaajille", Turun käräjäoikeus Pöytäkirja 05/3474, L 04/5972.

⁴⁵ Päällikön haastattelu Teijossa 3.12.2003. GPS-tallenteissa tämä ääriasento ei näy johtuen siitä, että paikkatieto on tallennettu tasaminnuutein. Tallenteissa tiheämmin olevat paikkapisteet on interpoloitu (liite 8, kuva 7).

PEGASOS alkoi siirtyä MSC HINAN perässä tuulen suuntaan vasemmalle (kuva 14). Hinaajan päällikkö otti käyttöön sekä keula- että peräpotkurien täyden tehon/työntövoiman, arviolta klo 21:34:50. Hinaaja oli tällöin siirtymässä MSC HINasta nähdessä takavasemmalle.

Päällikkö ohjasi PEGASOSia edelleen hinaajan oikealta (SB) siiveltä, kuva 2. Aluksen asennon hallitsemiseksi hänellä oli käytössään pääkoneen kierrosluvun, potkurin lapakulmien ja peräsinkulman säätövivut sekä kääntyvän keulapotkurin ohjauskulman ja tehon säätövipu. Ohjaamon oikean puoleinen ovi oli auki ja VHF-puhelimen kuuloke (luuri) oli tuotu ulos sille siellä olevaan paikkaan. Päällikkö hoiti myös VHF-liikenteen. Muut kaksi hinaajan miehistön jäsentä olivat ohjaamossa. Heidän tehtävänä oli mm. seurata hinausköyttä, aluksen kallistumaa ja nopeutta GPS-navigaattorilta⁴⁶. Nopeus oli ilmoitettu päällikölle hänen sitä kysyttyään.

Luotsin kertoman mukaan kun PEGASOS oli siirtynyt HINAN perään jarrutusasentoon, hän sai siitä tiedon radiopuhelimella. PEGASOSia pyydettiin nostamaan MSC HINAN perää tuuleen ja POSEIDONia vetämään MSC HINAN keulaa tuulen alapuolelle aluksen oikaisemiseksi. Luotsin kertoman mukaan MSC HINAN asento ei kuitenkaan korjaantunut ja alus oli hänen käsityksensä mukaan ajautunut tuulen mukana kohti väylän oikeaa reunaa. Hän kertoi nähneensä väylän vasemmalla reunalla olevan punaisen poijun (kuva 16) MSC HINAN keulan oikealla eli väärällä puolella.

Luotsi ei nähnyt väylän linjatauluja, koska linjataulujen valot sekoittuivat Salmisaaren valoihin. Luotsien keskuudessa pidetään väylää poijuportin jälkeisellä osuudella vaikeana mahdollisten virtausten ja vasemmalla puolella olevien matalikkojen vuoksi. Lisäksi väylä on ruopattu ja siinä on edempänä luotsien mukaan mahdollista ns. reunaimu-vaikutus (bank effect)⁴⁷. (kuvassa 15 näkyy aluksen asento väylällä). Luotsin mielestä oli pakko käyttää MSC HINAN konetta aluksen oikaisemiseksi, ettei se ajautuisi pois väylältä. Luotsi antoi komennon "Dead Slow Ahead", jonka MSC HINAN päällikkö vahvisti ja sitä noudatettiin heti. Luotsit eivät nähneet PEGASOSia, joka oli konttilastin katveessa. Luotsien keskuudessa on käsitys, että näin pieni nopeus ei riitä kaatamaan hinaajaa.

PEGASOSin kaatuminen

Hinaajien päälliköiden kertomusten mukaan MSC HINA ryhtyi käyttämään koneistoaan yllättäen, ilman ennakkovaroitusta. PEGASOSin päällikkö kertoi havainneensa vauhdin kiihtymisen potkurivirran synnyttämästä voimakkaasta kuohusta⁴⁸, ja kun hänen aluksensa alkoi siirtyä lähemmäs MSC HINAN keskilinjaa eli hinausköyden vetokulman suorstumisesta⁴⁹. Avustavan luotsin kertoman mukaan, hän antoi koneiston käyttämisestä ilmoituksen hinaajille. Ilmoitukseen ei tullut kuittausta. Radioliikenteessä luotsin kertoman mukaan kuittausta ei aina odoteta.

PEGASOSin päällikön meriselityksen mukaan luotsi kysyi, oliko vauhtia liikaa. Hän kertoo vastanneensa, että on aivan liikaa. Kysymys tehtiin vasta sen jälkeen, kun MSC HI-

⁴⁶ Kansimiehen kuuleminen, PEGASOSin meriselitys 27.4.2005.

⁴⁷ Tätä aihetta käsitellään luotsien koulutuksessa.

⁴⁸ Päällikön meriselitys 11.12.2003

⁴⁹ Kuuleminen Teijossa 5.12.2003

NA oli jo käyttänyt konettaan hetken. Tässä vaiheessa PEGASOS oli jo kaatumassa. Koska MSC HINAN koneenkäyttö tuli yllätyksenä, ei PEGASOSin päällikölle kertomansa mukaan jäänyt lainkaan aikaa valmistautua vauhdin ja potkurivirran lisääntymiseen. Kun PEGASOSin kallistuma oli ollut niin suuri, että vesi oli ryöpyynyt yli laidan, kansimies oli huutanut⁵⁰ päällikölle "lekota".

Kuvassa 15 tilanne väylällä on esitetty hetki ennen kaatumista. Alusten paikat on arvioitu yhdistämällä GPS- ja VTS-tiedot (Liite 8). Luotsi tarkkaili väylän vasemman reunan poijua (kuvassa syvyysmerkin 8,6 kohdalla) ja arvioi MSC HINAN olevan kääntymässä liikaa vasemmalle ja ajautumassa väylän oikeaan reunaan, jolloin hän antoi käskyn käynnistää kone. Konekäsky antoi luotsi, mutta MSC HINAN päällikkö vahvisti ne ja perämies käänsi konekäskytelegrafia, joka välitti käskyt konehuoneeseen. PEGASOSin päällikön kertoman mukaan MSC HINAN lisääntynyt vauhti veti hinaajan perä edellä kohti MSC HINAN potkurin jättövirtaa. Hinaajan perän osuessa potkurin jättövirtaan alus kääntyi poikittain MSC HINAN kulkusuuntaan nähden. Sen jälkeen PEGASOS kallistui nopeasti oikealle ja kallistumisliikkeen pysähtymättä kaatui. Päällikön arvion mukaan MSC HINAN yllättävästä vauhdin lisäyksestä kaatumiseen kului 10–15 sekuntia. VTS- ja GPS-tietojen mukaan HINAN nopeus kasvoi yhdestä solmusta 3,0–3,5 solmuun noin puolessatoista minuutissa ja PEGASOS oli kaatunut klo 21.36.

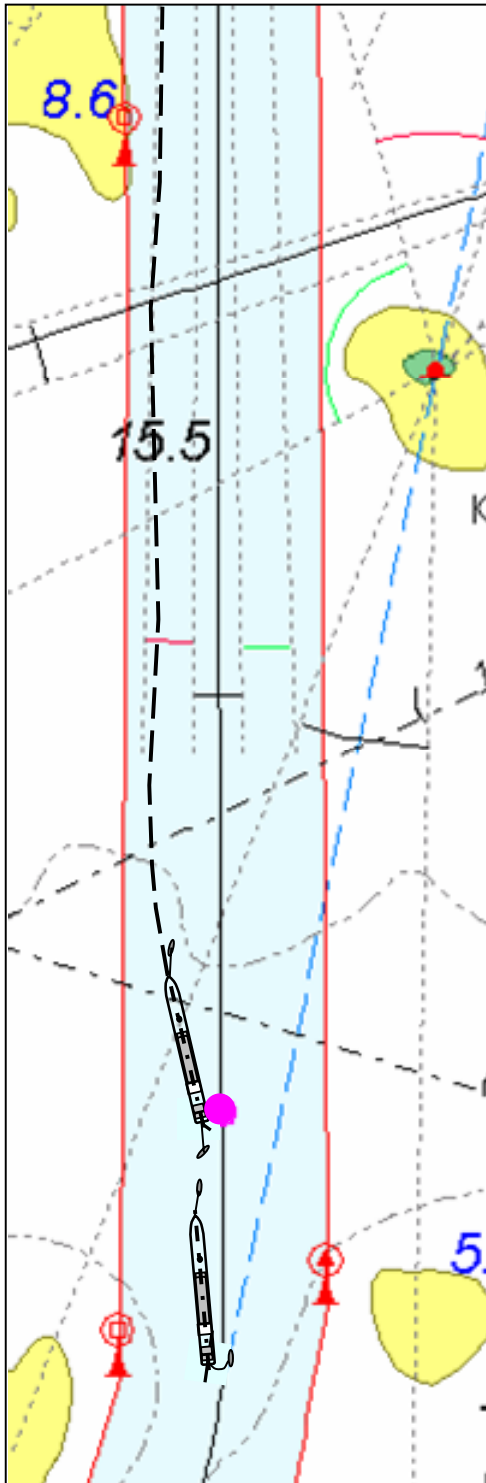
MSC HINAN päällikön kertoman mukaan luotsi oli antanut käskyn Dead Slow Ahead ja pian tämän jälkeen Slow Ahead. MSC HINAN päällikön ja MSC HINAN konekäskypäiväkirjan mukaan jälkimmäistä käskyä ei ehditty toteuttaa. Luotsien kertoman mukaan Slow Ahead käskyä ei koskaan annettu. Samaan aikaan päällikkö sai perästä tiedon, että hinaaja oli pahasti kallellaan ja oli kaatumassa. Heti tämän jälkeen hän sai tiedon, että hinaaja oli kaatunut. Luotsi antoi välittömästi konekäskyn STOP. MSC HINAN kansipäiväkirjan ja aluksen päällikön kertoman mukaan nopeus oli tuolloin noin 3,5 solmua. Tieto hinaajan vaikeuksista tuli komentosillalle MSC HINAN peräkannella olevilta miehistön jäseniltä.⁵¹ MSC HINAN kolmannen perämiehen silminnäkijälausunnon mukaan kun köydet olivat kiristyneet, niin hetkessä hinaaja meni poikittain ja kaatui samalla, kun hän ilmoitti asiasta päällikölle. Valot sammuiivat ja köysi irtosi.⁵²

PEGASOSin kallistuessa päällikkö yritti laukaista hinauskoukun veden syöksyessä parnaan yli painamalla laukaisemiseen tarkoitettua nappia. Päällikkö oli tuolloin vielä ulkona komentosillan siivellä ja ulottui sieltä laukaisunappiin. Hänen kertomansa mukaan hinaajan kallistumisen ja tilanteen nopeuden vuoksi hinauskoukun laukaisu ei onnistunut, vaikka hän mielestään osui laukaisunappiin. PEGASOSin päällikkö huuhtoutui sisään ohjaamoon. Ohjaamon ollessa jo täyttymässä päällikkö sukelsi laukaisunapin luokse ja onnistui tällä kertaa laukaisemaan hinauskoukun. Laukaisun onnistumisen päällikkö havaitsi siitä, että PEGASOSin liike veden suhteen pysähtyi. Aluksen sisäosiin virtasi vettä ohjaamon portaiden kautta.

⁵⁰ PEGASOSin meriselitys 27.4.2005. Myös ensimmäisessä PEGASOSin meriselityksessä kansimies mainitsi "lekotuksen", pöytäkirja 03/9416 11.12.2003

⁵¹ MSC HINAN meriselitys, luotsien kirjallinen lausunto

⁵² MSC HINAN meriselitys, kolmannen perämiehen lausunto ja kuuleminen



Kuva 15. MSC HINAn ja hinaajien sijainnit väylällä vähän ennen kaatumista sekä MSC HINAn reitti. Alempi sijainti on hetkellä, kun HINA alkaa jarruttaa koneellaan klo 21:32. Ylemmässä kohdassa PEGASOS on menossa nurin. Violetti piste osoittaa PEGASOSin uppoamispaikan. Alusten paikat on arvioitu yhdistämällä GPS- ja VTS-tiedot (Liite 8).

Miehistön pelastautuminen aluksesta

PEGASOSin kaaduttua sen pääkone ja apukone pysähtyivät. Valot sammuiivat ja ohjaamoon tuli pimeää. Päälikkö kertoo avanneensa ohjaamon vasemman puoleisen, "kattoluukuksi" muuttuneen oven kaksin käsin työntämällä. Päälikkö pääsi tästä ovesta konemestarin avustuksella ylös ohjaamon ulkoseinän päälle. Tämän jälkeen hän avusti konemestarin ulos. Yhdessä he avustivat kansimiehen aluksen kyljelle.

Aluksen edelleen kallistuessa miehistö siirtyi palteen kautta aluksen pohjan päälle. PEGASOSin miehistöstä ei kenelläkään ollut pelastusliivejä yllään.

Toimenpiteet MSC HINalla ja POSEIDONilla

MSC HINAn peräkannella oli perämies ja kansimiehiä, jotka hinausköysien kiinnittämisen jälkeen olivat siirtyneet pois vaara-alueelta. Syynä tähän oli miehistön turvallisuuden varmistaminen. He seurasivat hinausta peräkannella olevan kansirakennuksen oikealla puolella olevasta käytävästä. He havaitsivat PEGASOSin vaikeudet ja kaatumisen, joista perämies ilmoitti MSC HINAn komentosillalle.

MSC HINalla olleet luotsit kuulivat aluksen miehistöltä aluksi PEGASOSin kallistumisesta ja saivat välittömästi sen jälkeen tiedon hinaajan kaatumisesta. Tiedon PEGASOSin kaatumisesta avustava luotsi ilmoitti radiolla POSEIDONille. MSC HINAn päälikkö antoi käskyn valmistautua mahdolliseen hätäankkurointiin.

POSEIDON irrottautui lupaa kysymättä hinausköydestä välittömästi saatuaan tiedon kaatumisesta ja lähti kohti PEGASOS:ta. POSEIDONin päällikön kertoman mukaan hän havaitsi PEGASOSin arviolta noin 200 metrin etäisyydellä kaatuneena oikealle kyljelleen. Kuvassa 16 POSEIDON on saapumassa PEGASOSin luo.

Lähestymisen aikana PEGASOS jatkoi kallistumistaan ja POSEIDONin päällikkö havaitsi miehistön seisovan pohjan päällä toisella sivulla, koska PEGASOS ei ollut kääntynyt täysin ympäri. Päällikkö ohjasi POSEIDONin oikean kyljen PEGASOSin viereen noin klo 21.40. Hinaajien veden pinnan yläpuolisten osien väliin jäi muutama metri vettä.

PEGASOSin uppoaminen ja sen jälkeiset tapahtumat

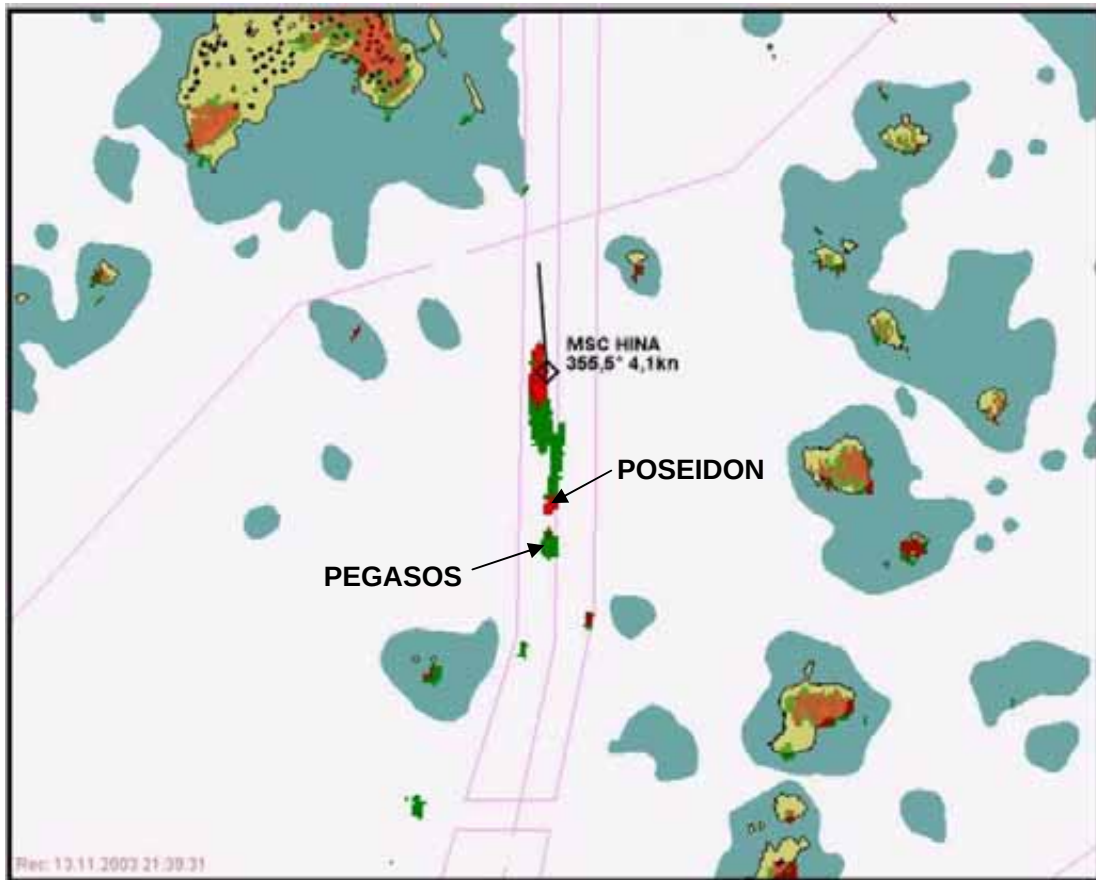
Hinaajan vajotessa PEGASOSin miehistö huuhtoutui mereen. Alus upposi hyvin nopeasti noin klo 21.41.

POSEIDONin päällikkö havaitsi PEGASOSin miehistön ryhmänä meressä. Hinaajan päällikkö ja kansimies alkoivat uida kohti POSEIDONia. Heille heitettiin pelastusrenkas, jota veden varassa olleet eivät saaneet kiinni. Kylkeen laitettiin alumiinitikkaat, joita pitkin päällikkö ja kansimies kiipesivät POSEIDONille. Konepäällikkö joutui eroon muista miehistön jäsenistä. PEGASOSin upotessa hän joutui aluksesta purkautuvien ilmakuplien kohdalle ja vajosi veden alle.

POSEIDON jatkoi kadonneen konepäällikön etsintää klo 23.30 saakka, jolloin MRSC HKI vapautti sen pelastustoimista aluksella olleiden radio- ja sähköongelmien vuoksi. Alus siirtyi Hietalahteen, minne oli tilattu ambulanssi pelastettuja varten.

Luotsit keskittyivät MSC HINAN pitämiseen väylällä ja kuljettamaan sen ankkuriin Pihlajasaaren länsipuolelle. MSC HINA kulki korjattujen⁵³ VTS-tietojen mukaan melko suoraan lähellä väylän vasemman puoliskon länsireunaa, kuva 15. Luotsi pyysi MSC HINAN päällikköä tilaamaan kaksi muuta hinaajaa, jotta alus saadaan turvallisesti satamaan. MSC HINA ankkuroitui klo 22.30.

⁵³ VTS:n rekisteröinneissä alusten tutkakaiut ovat vajaan MSC HINAN leveyden verran liikaa idässä. Tämä korjaus on kuvattu liitteessä 8.



Kuva 16. POSEIDON saapumassa kaatuneen PEGASOSin luo. VTS-kuva klo 21:39:31.

Liitteessä 8 on VTS-tutkavideosta otettuja tilannekuvia suurennoksina. Kuvissa ei ole mukana aikaa ja paikkaan tehtyjä korjauksia.

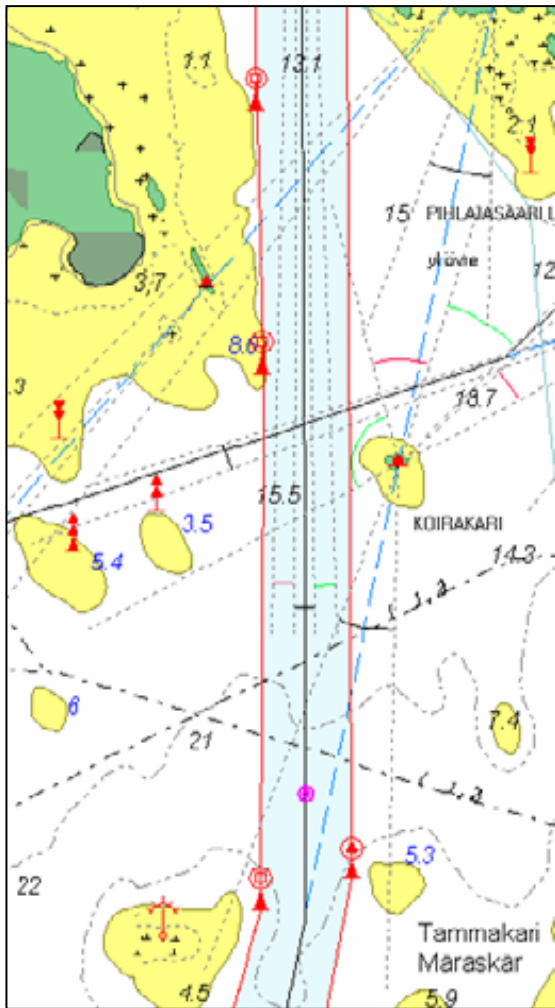
Fortumilta tilatut kaksi hinaajaa, ESKO ja AHTI, saapuivat MSC HINAN luo klo 02.10. Ne avustivat MSC HINAN laituriin, jonne se kiinnittyi klo 03.25. Hinaaja ESKO joutui käyttämään 38 t jarrutusvoimaa MSC HINAA laituroitaessa, vaikka MSC HINA ei käyttänyt omaa koneistoaan.

1.2.4 Henkilövahingot

PEGASOSin konepäälikkö joutui vedessä eroon muista miehistön jäsenistä. Hänellä ei ollut pelastusliivejä ja hänen uimataitonsa oli heikko. Merivoimien sukeltajat löysivät 14.11.2003 konepäälikön hukkuneena merenpohjasta parin kymmenen metrin etäisyydeltä PEGASOSin hylystä. Aluksen kansimies oli sairaalahoidossa noin kaksi viikkoa.

1.2.5 Tapahtumapaikka

PEGASOSin onnettomuuspaikka on Helsingin Länsisatamaan johtavalla 11 metrin väylällä Melkin ja Katajaluodon saarten välissä. Tapahtuma-alueen välittömässä läheisyydessä ei ole valoja, jotka toimisivat kiintopisteinä liikkeen arvioimiseksi pimeänä yönä.



Kuva 17. Kartta onnettomuusalueesta. PEGASOSin uppoamispaikka ($60^{\circ} 06.93N$, $024^{\circ} 54.34E$) on merkitty violetilla ympyrällä. Väylän määritelty väyläalueen leveys on 270 m.

Helsingin edustan- ja sataman vesi-alueilla on voimassa seuraavat nopeusrajoitukset: Katajaluodon sisäpuolinen vesialue maksimi 16 solmua.

Väylän syvyys onnettomuuspaikalla on noin 20 m. MSC HINAN syväys oli keskimäärin 8,75 m. Veden syvyys oli siten noin 2,3 kertaa aluksen syväys. Aluksen pohjan ja väylän pohjan välinen etäisyys oli 11,25 m eli noin 1,3 kertaa avustettavan aluksen syväys. Väylän syvyys satamaan tultaessa vaihtelee 13–22 m välillä.

PEGASOSin uppoamispaikka⁵⁴ on näytetty violetilla pisteellä kuvassa 17. Matkalla kohti satamaa väylän vasemmalle puolelle jää muutama matalikko, oikealle puolelle Koirakari. Sen jälkeen väylän vasen reuna kulkee pitkin matalikon reunaa ruopattuna.

1.2.6 Osapuolten käsitykset onnettomuuden syistä

PEGASOSIN päällikkö: MSC HINAN ennalta ilmoittamaton konevoiman käyttö, mistä aiheutui erittäin voimakas potkurin jättövirta, johon hinaaja vääjäämättömästi ajautui. Sen jälkeen PEGASOSin kaatamista ei enää mikään voinut estää⁵⁵.

POSEIDONIN päällikkö: Mikäli nyt kyseessä olevan kokoinen laiva käyttää koneitaan (yliheittokone) on vesivirtaus niin voimakasta, että hinaaja ei pysty tekemään mitään⁵⁶.

⁵⁴ PEGASOSin uppoamispaikan koordinaatit, $60^{\circ} 06.93N$ $024^{\circ} 54.34E$, ovat 13.11.2003 aluksessa kiinni olleen pelastuslautan paikka (MRSC Helsinki toimenpideluettelo, 14.11.2003).

⁵⁵ PEGASOSin päällikön meriselitys 11.12.2003.

⁵⁶ POSEIDONin päällikön kuuleminen PEGASOSin meriselitystilaisuudessa 11.12.2003

MSC HINAn päällikkö: Hinausköysi oli virheellisesti kiinnitetty, koska se oli vedetty suoraan hinauskoukkuun, eikä hinaajan perään asetetun "gabb-line"/"aft safety bar"⁵⁷ kautta. "Hinaajassa on kaari, jonka alitse hinausköysi pitää johtaa koukkuun, joka on vähän kauempana, mutta tässä tapauksessa hinausköyttä ei ollut viety tämän kaaren alitse, vaan se oli kiinnitetty suoraan hinauskoukkuun. Tämä menettely, että hinausköysi tulee kaaren alta, pakottaa hinaajan olemaan koko ajan samansuuntaisesti hinattavan aluksen kanssa, mutta jos sitä ei viedä kaaren ali, vaan se kiinnitetään suoraan koukkuun, voi käydä niin, että hinaaja pääsee kääntymään poikittain hinattavaan alukseen nähden".⁵⁸

Luotsi: Avustustehtävään lähdettiin liian pienellä kalustolla. Avustettavan aluksen ohjailuominaisuudet olivat täysin oudot: "Dead Slow" -nopeus 9,5 solmua⁵⁹.

Avustava luotsi: MSC HINAn suuri koko, harvinainen yliheittokone, jonka perusnopeus on 9,5 solmua. Keulapotkuri ei ollut toiminnassa. Lisäksi MSC HINAn koneen käyttöviipua ei voinut käyttää (konetta ei voinut pysäyttää ja käynnistää) kuin noin 5 kertaa peräkkäin ilman noin kaksi minuuttia kestänyttä kompressorin käyttöä. Lisäksi hinaajien voima oli liian alhainen avustettavaan nähden⁶⁰.

1.3 Pelastustoiminta

1.3.1 Hälytystoiminta

MSC HINAlla olleet luotsit ilmoittivat PEGASOSin vaikeuksista ja kaatumisesta radiolla POSEIDONille heti tiedot saatuaan. Välittömästi POSEIDONin irrottauduttua MSC HINasta ilmoitti hinaajan päällikkö tapahtumasta Helsinki VTS:lle. Samaan aikaan myös avustava luotsi ilmoitti onnettomuudesta VTS:lle.

Helsingin meripelastuslohkokeskus⁶¹, MRSC Helsinki, vastaanotti PEGASOSin Cospas/Sarsat-hätäpoijuhälytyksen klo 21.41 samanaikaisesti VTS:sta tulleen hätäilmoituksen kanssa. MRSC:n päivystäjä teki yleisen MayDay relay -hätäilmoituksen haveristin puolesta klo 21.41.

MayDay relay -kutsun perusteella ilmoitautui välittömästi useita aluksia. MRSC antoi kuudelle kauempana olleelle alukselle luvan jatkaa matkaa. Pelastustoimintaan ilmoitautuivat ja osallistuivat Harmajan luotsiaseman luotsikutteri, pelastusristeilijä JENNY WIHURI, Suomenlinnan merivartioaseman veneet PV 121 ja NV 104, ulkovartiolaivat MERIKARHU ja TAVI, Helsingin pelastuslaitoksen veneet HM 71 ja HM 81, Helsingin poliisivene VILLE 3 sekä merivoimien ohjusveneet OULU ja NAANTALI, komentovene TRÄSKÖ ja uisko U-206. Käytettävissä olleiden alusten määrää lisäsi se, että Helsingin edustalla oli käynnissä merivoimien sotaharjoitus.

⁵⁷ Hinausvintturin päällä olevat suojakaaret

⁵⁸ MSC HINAn päällikön lausunto 14.11.2003 ja kuuleminen meriselitystilaisuudessa 14.11.2003

⁵⁹ Luotsin kuulustelupöytäkirja 23.1.2004

⁶⁰ Avustavan luotsin kuulustelupöytäkirja 29.1.2004

⁶¹ Suomenlahden merivartiosto, Meripelastuslohkokeskus (MRSC Helsinki), Toimenpideluettelo / Meripelastustapahtuma 1461, 14.11.2003.

MRSC hälytti nopeasti etsintään alusten lisäksi Helsingin vartiolentolaivueen päivystäneen meripelastushelikopterin, Agusta Bell 412 OH-HVK ja partiolennolla olleen Dornier valvontalentokoneen. Kaluston varusteina helikopterissa, valvontalentokoneessa ja MERIKARHUssa oli lämpökamerat ja lisäksi helikopterissa pimeänäkölaitteet.

1.3.2 Pelastustoiminnan käynnistyminen ja kulku

Pelastustoimintaa johti koko operaation ajan MRSC Helsinki, joka määräsi klo 22.12 OULUn päällikön onnettomuuspaikan johtajaksi (OSC – On Scene Commander)⁶². MRSC käski VTS-keskusta sulkemaan onnettomuusväylän klo 22.14. Noin puolet edellä mainituista paikalle ilmoittautuneista aluksista oli saapunut onnettomuuspaikan läheisyyteen ja aloittanut siellä etsinnät jo ennen klo 22.30. PEGASOSin uppoamispaikan jo pelastustoimien alkuvaiheessa melko tarkasti tiedetyt koordinaatit tarkentuivat klo 22.28, kun OH-HVK löysi aluksessa kiinni olleen pelastuslautan paikasta 60° 06.93N 024° 54.34E.

Pelastustoimien tavoitteena oli löytää vielä kateissa ollut PEGASOSin konepäällikkö. Tätä tarkoitusta varten MRSC jakoi **etsintäalueen** kahdeksaan osa-alueeseen ja ohjeisti OULUn tehtävään, kuva 18. Koordinoitua etsintää laajalta etsintäalueelta teki klo 22.30–01.30 välisenä aikana OSC:n koordinoimana 14 alusta ja helikopteri. Sekä vedestä että rannoilta löydettiin alukseen kuuluneita tavaroita ja helikopteri tarkasti rannat.

Rajavartiolaitoksen sukeltajat tekivät **sukelluksia** PEGASOSiin klo 22.40–00.30 PV 121:n ja pelastuslaitoksen HM 71:n toimiessa sukeltajien tukialuksina⁶³. Kadoksissa ollutta ei löydetty. Aluksesta, joka oli 21 metrin syvyydessä oikealla kyljellään, valui hydrauliikkaöljyä.

Pelastustoiminnan johto sai tietää, että kadoksissa olleella ei ollut kelluntavälineitä ja hänet oli viimeksi nähty heti uppoamishetken jälkeen PEGASOSin uppoamispaikalla. Välittömästi puolen yön jälkeen tehdyssä tilannearviossa todettiin ihmisen selviävän hengissä 5–10 asteisessa vedessä hypotermiataulukon mukaan 1–3 tuntia. Meripelastusjohtaja päätti **keskeyttää etsinnät** klo 01.30 ja vapauttaa yksiköt mukaan lukien OSC tehtävistään. MERIKARHU jäi ankuriin haveripaikalle.

Jo ennen puoltayötä vapautettiin POSEIDON ja TAVI teknisten vikojen vuoksi etsinnästä. OH-HVK lähti kohti Malmin kenttää toiminta-ajan loputtua klo 00.19. Lisäksi PEGASOSin uppoamispaikalle toimittajia vienyt taksivene CARDINAL 2 ajoi klo 23.23 karille Katajaluodon lounaispuolella. Paikalle hälytettiin TAVIn apuvene ja poliisivene VILLE 3. Veneessä oli neljä henkilöä, se ei saanut vuotoja, mutta tarvitsi hinausta. Poliisivene irrotti CARDINALin kiveltä ja hinasi sen Pohjoisrantaan klo 01.06. Hinauksessa tapahtuneen kalustovaurion vuoksi poliisivene ei enää tämän jälkeen osallistunut etsintään.

⁶² MRSC HKI Toimenpideluettelo 14.11.2003

⁶³ MRSC HKI Toimenpideluettelo 14.11.2003



Kuva 18. Etsintäalue ja sen osat⁶⁴.

Seuraavana aamuna, 14.11.2003, MRSC sai käyttöön Ilmatieteen laitoksen tekemän ajelehtimislaskelman etsintää ja öljyntorjuntaa varten. Helsingin pelastuslaitos otti öljyntorjuntavastuun. Henkilöetsinnän vastuu siirrettiin klo 09.00 meripelastuskeskukselta Helsingin poliisille, jolloin meripelastustapahtuma päättyi. Aamupäivän aikana MERIKARHUn sukellusrobotilla (ROV) etsittiin kadonnutta PEGASOSin lähistöltä ja helikopteri OH-HVK tarkisti etsintäaluetta. Konepäällikkö löydettiin hukkuneena ROV:lla meren pohjalta parinkymmenen metrin etäisyydellä hylystä klo 12.25.

1.3.3 Öljyntorjunta ja aluksen pelastaminen

Öljyntorjunta. Aluksesta vuoti mereen vähäinen määrä kevyttä polttoöljyä ja hydraulioöljyä, minkä lisäksi kaksi kannella ollutta voiteluöljytynnyriä ajautui läheisen saaren rantaan.

Merivoimien ja Helsingin pelastuslaitoksen sukeltajat tukkivat PEGASOSin polttoaine- ja öljytankkien vuotavat ilmaputket 14.–15.11.2003. Karanneet öljytynnyrit ja muuta tavaraa kerättiin lähisaarten rannoilta⁶⁵. Sukeltajien tukialuksena toimi öljyntorjunta-alus HYLJE.

⁶⁴ OSC:n kirjallinen kertomus, 14.11.2003

⁶⁵ Helsingin kaupunki Pelastuslaitos, Tapahtumapäiväkirja

Öljyntorjunnan lisäksi sukeltajat tarkistivat tutkintalautakunnan pyynnöstä aluksen näkyvissä olleiden luukkujen tilan. Peräkannen luukut olivat kiinni. Konehuoneen ilmanottoaukot savupiippujen yläosissa olivat auki. Vasemmalla sivulla olleista ovista yksi oli auki. Aluksen peräsin oli noin keskiasennossa.

Aluksen nosto. PEGASOS oli pohjassa oikealla kyljellään. Alus nostettiin uppoamispaikalta 25.–26.11.2003 ja kuljetettiin Länsisatamaan tyhjäksi pumppaamista varten. Myöhemmin alus hinattiin varustamon toimesta Teijon telakalle.

Noston aikana todettiin, että kansirakennuksen asuintiloihin vievien kaksinkertaisten ovien säätiviitit teräsovet olivat auki. Kaatumisen puolella puuovi oli auki, mutta saranoiltaan.



Kuva 19. PEGASOS nousemassa pinnalle 26.11.2003.

1.3.4 Aluksen vahingot

Alus todettiin pelastusoperaation jälkeen korjauskelvottomaksi ja se romutettiin Teijossa kevään 2004 aikana.

1.4 Avustushinausta ohjaavat säädökset, määräykset ja ohjeet

Merellä liikkumisen turvallisuus riippuu merenkulkualan henkilöiden osaamisen lisäksi heidän organisaatioidensa turvallisuuskulttuurista, so. miten turvallisuuteen tähtäävät säännöt, määräykset ja ohjeet on laadittu, miten ne on sisäistetty ja miten niitä kulloissakin tilanteessa noudatetaan.

Hinaajatoiminnan turvallisuutta säätelevät merenkulun kansainväliset ja kansalliset säädökset. Ne voidaan jakaa kahteen pääryhmään: teknisiä ominaisuuksia säätelevät ja toimintaa säätelevät. Erityisesti toiminnan turvallisuutta ohjaa kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n alusten turvallisuusjohtamisen määrittelevä säännöstö (ISM-koodi), joka edellyttää laivaisäntää luomaan turvallisuusjohtamisjärjestelmän alusten turvalliseen johtamiseen ja käyttöön sekä ympäristönsuojeluun.

Avustushinaukselle satamissa ja sisääntuloväylillä ei ole määritelty kansainvälisiä normeja. Siitä on kuitenkin olemassa turvallisia toimintatapoja esittelevää kirjallisuutta. Satamahinaajia ja avustustoimintaa on käsitelty liitteessä 1.

Tämän onnettomuuden kannalta merkittävin tekninen alusominaisuus on **vakavuus**, minkä vuoksi sitä koskevia Suomen säädöstöä ja luokituslaitosten sääntöjä on käsitelty melko laajasti.

Hinaaja-avustuksessa on kysymys kaikkien osapuolten ammattitaitoisesta **yhteistyöstä** ja sen vuoksi tutkinnassa on käsitelty tapahtumaan osallisena olleiden organisaatioiden turvallisuuskulttuuria ja yhteistyötä määritteleviä ohjeita.

1.4.1 Merenkulkualan turvallisuuskulttuuri

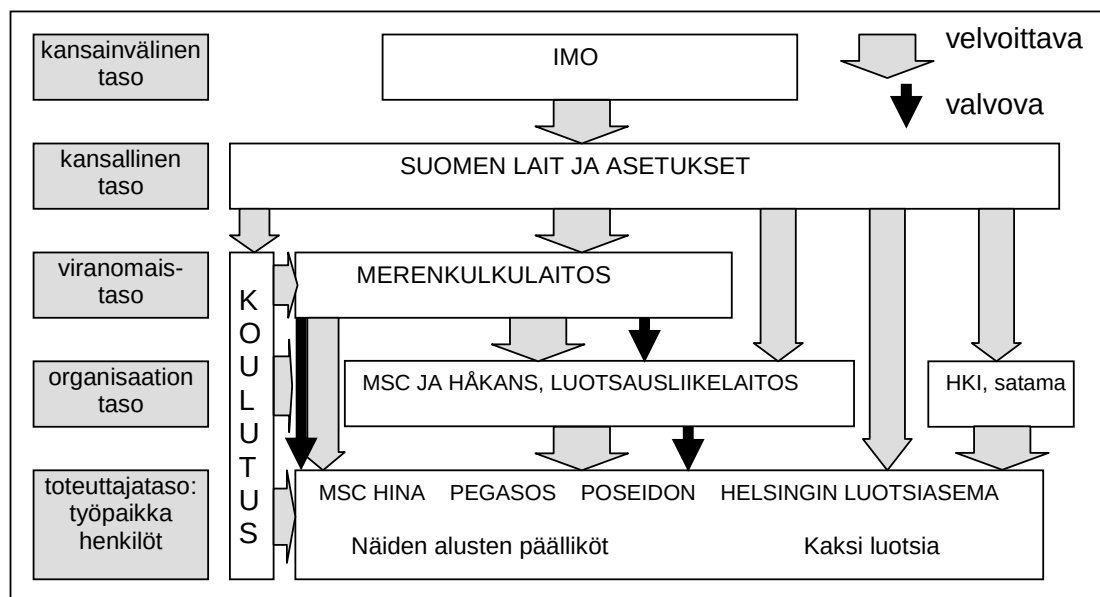
PEGASOSin onnettomuuden tutkinta on tuonut esille toimintaan osallistuneiden osapuolten vuosien mittaan ja onnettomuuden aikana tehtyjä laiminlyöntejä ja virheitä, joilla oli avustuksen turvallisuutta heikentäviä seurauksia. Kaikkea toimintaa ohjaa merenkulkualan turvallisuuskulttuuri. Sitä on laajasti käsitelty matkustaja-autolautta ISABELLAN onnettomuustutkintaraportissa⁶⁶, minkä vuoksi tässä tuodaan esille vain joitain seikkoja.

Turvallisuutta heikentävät teot, laiminlyönnit ja virheet eivät välttämättä aiheuta onnettomuuksia ja vahinkoja, koska hyvässä organisaatiossa turvallisuutta on varmistettu teknisillä, organisatorisilla ja inhimillisillä keinoin kaikilla toiminnan tasoilla. Turvallisuustavoitteiden minimitasoa määrittävät lait, asetukset ja alan säännöt. Turvallisuuskulttuurin hyvydestä riippuu kuinka hyvin ne ohjeistettu ja kuinka näitä noudatetaan tai toimitaanko minimitasoa yläpuolella. Turvallisuuskulttuurin hyvydestä riippumatta on varmaa, että virheitä tapahtuu jatkuvasti kaikilla toiminnan tasoilla. Osa virheistä synnyttää vaaratilanteita. Turvallisuuskulttuuriksi voidaan kutsua organisaatiossa vallitsevia tavoitteita, periaatteita ja toimintatapoja, joilla toisaalta kyetään suojautumaan virheiltä ja toisaalta kyetään löytämään virheet ja muuttamaan toimintaa ennen kuin vahinko tai onnettomuus tapahtuu. Turvallisuuskulttuuriin kuuluu myös jatkuva valppaus virheiden tunnistamiseksi sekä oikeudenmukainen virheiden (läheltä piti -tilanteiden ja vaaratilanteiden) raportointi- ja analysointijärjestelmä, joka johtaa sisäiseen oppimiseen ja sitä kautta jatkuvaan parantamiseen. Oikeudenmukaisessa organisaatiossa myös omat virheet voi ilmoittaa ilman pelkoa rangaistustoimenpiteistä.

⁶⁶ Matkustaja-autolautta ISABELLA, pohjakosketus Staholmin luona Ahvenanmaalla 20.12.2001, Onnettomuustutkintakeskuksen raportti B 1/2001 M: "turvallisuutta heikentävät teot sinänsä eivät normaalisti aiheuta onnettomuutta, koska terveeseen turvallisuusjärjestelmään kuuluu joukko suojauksia monella teknisellä ja inhimillisellä tasolla".

PEGASOSin onnettomuustapauksessa tulivat vaikuttamaan useiden organisaatioiden erilaiset turvallisuuskulttuurit.

Tällaisessa tilanteessa on mahdollista ajautua – jollei toimintaa suunnitella yhteisesti – toimimaan yhtä aikaa erilaisten turvallisuuskulttuurien pohjalta, koska saatetaan luottaa toisten tekemisiin. Pahimmassa tapauksessa heikoin turvallisuuskulttuuri saattaa ohjata koko toimintaa. Taustalla on vaikuttamassa merenkulkualan turvallisuuskulttuuri, jossa on vielä voimakkaasti esillä yksilösuoritusten periaate. Merenkulun alalla on runsaasti määräyksiä ja sääntöjä, joiden sisäistäminen ja noudattaminen todellisessa tilanteessa riippuvat voimakkaasti yrityksen tai aluksen turvallisuuskulttuurista. Kuvassa 20 on esitetty tähän onnettomuuteen liittyvät alan toimijat.

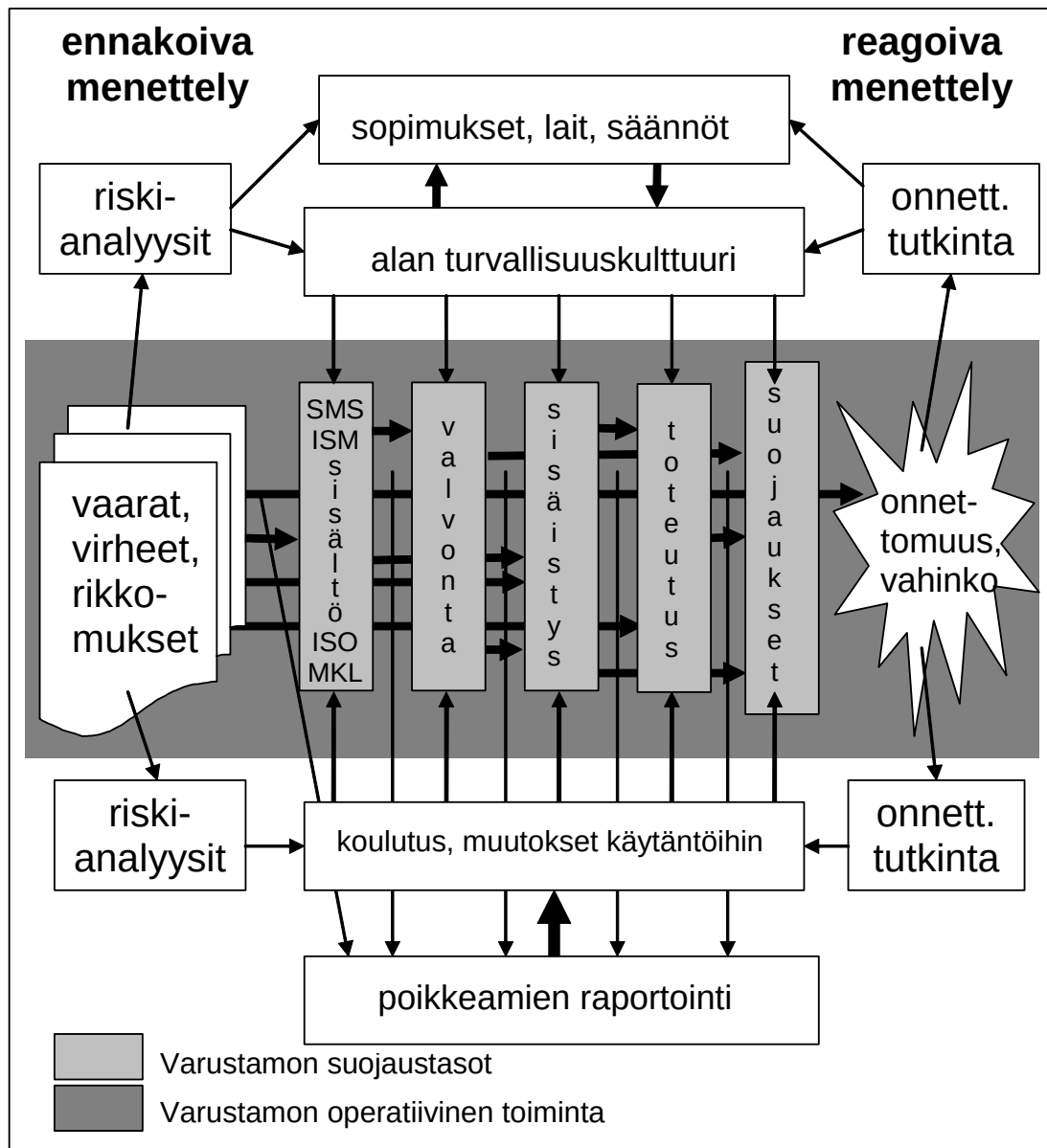


Kuva 20. Eri organisaatiotasolla olevat toimijat PEGASOSin onnettomuustilanteessa.

Professori James Reason on kuvannut kirjoissaan⁶⁷ turvallisuuskulttuuri-käsitettä, jota tässä selostuksessa käytetään viitekehyksenä hyväksi.

Kuvassa 21 on näytetty Reasonin ajatusten pohjalta laadittu kaavio varustamo-organisaation turvallisuusympäristöstä. Turvallisuusjohtamisjärjestelmän tavoitteena on tuntea ja saattaa organisaation tietoon kaikki tarpeelliset alaa koskevat määräykset, valvoa niiden toteutusta itse ja ulkopuolisen tahon kautta, kouluttaa ja harjoittaa henkilökunta niiden noudattamiseen ja suojautua vaaratilanteita vastaan ja niiden varalta.

⁶⁷. James Reason, Managing the Risks of Organizational Accidents, Ashgate 1997, ISBN 1 84014 1050, James Reason and Alan Hobbs, Managing Maintenance Error, Ashgate, 2004, ISBN 0 7546 1591 X ja James Reason, Human Error, Cambridge University Press, 1990

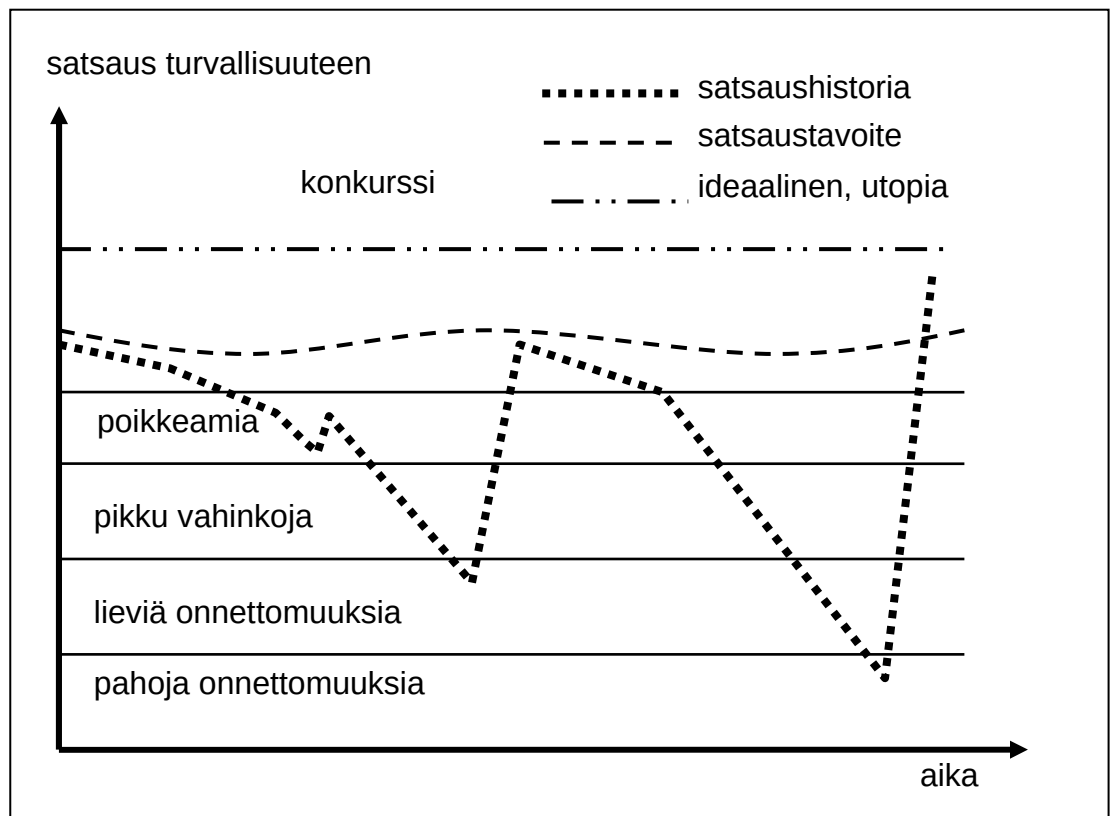


Kuva 21. Varustamo-organisaatio on vaarojen ja virheiden uhkaamana. Virheitä, joista osa vaarantaa turvallisuutta, syntyy kaiken aikaa kaikilla tasoilla. Hyvän turvallisuuskulttuurin omaava organisaatio onnistuu pysäyttämään niiden etenemisen ennen kuin virheeseen sisältyvä potentiaalinen vaara tai riski toteutuu.

Viime vuosina on kansainvälisesti otettu käyttöön uusia ja parannettuja laatujärjestelmiä kuten ISO 900X:2000 ja sen rakenteeseen pohjautuvat ympäristö – ja työterveys/työturvallisuusjärjestelmät. Merenkulun alalla turvallisuuden parantamiseen tähtää ISM koodi ja SMS (Safety Management System), joiden sisäistäminen merenkulussa on vielä kesken. Laajalti muilla aloilla ovat käytössä Det Norske Veritasin ISRS7 (International Safety Rating System, versio 7) ja OHSAS 18001:fi, joka perustuu brittiläiseen työturvallisuus- ja -terveysstandardiin BS8800. Näihin kaikkiin sisältyy vaatimus jatkuvasta parantamisesta, mikä auttaa organisaatiota pysymään valppaana. Toisaalta me-

renkukuelinkeino ja myös hinaajatoiminta nojaa edelleen vahvasti alusten päälliköiden ja luotsien yksilösuorituksiin. Valvovat viranomaiset saavat rahoituksen merkittävältä osalta valtion budjetista.

Kaupallista tulosta tavoitteleva organisaatio kykenee sijoittamaan turvallisuusjärjestelyihin osan tuloistaan. Liiallinen sijoittaminen johtaa konkurssiin, liian vähäinen sijoittaminen vahinkoihin, onnettomuuksiin tai katastrofiin. Liiketoiminnan arviointia varten on vaikiintuneet menettelyt. Turvallisuustilanteen arviointi varsinkin, jos mitään ei tapahdu (ei onnettomuuksia eikä vahinkoja tai niistä ei kerrota), on vaikeaa. Tätä esittää seuraava kuva 22, joka myös perustuu Reasonin ajatuksiin. Kun onnettomuuksia tai vahinkoja ei satu, valppaus saattaa heiketä ja toiminta suuntaa kiinnostuksen liiketoiminnan vaatimiin asioihin. Valppauden heiketessä tapahtuu onnettomuus ennen pitkää. Tapahtuman jälkeen valppaus yleensä paranee joksikin aikaa. Tavoitteena tulisi olla likimain vakiona pysyvä, organisaation toiminnan laajuuteen ja tyyppiin suhteutettu panostus turvallisuuteen.



Kuva 22. Yrityksen mahdolliset tavat satsata turvallisuuteen. Nähdään, että poikkeamien seuranta voi pitää organisaation hereillä.

1.4.2 Kansainväliset sopimukset ja suositukset

Merenkulun kansainvälinen turvallisuusjohtamissäädöstö (ISM-Koodi)⁶⁸

Säädösten tarkoituksena on olla kansainvälinen standardi alusten turvallisesta johtamisesta ja käytöstä sekä ympäristönsuojelusta. Koska ei ole kahta samanlaista laivayhtiötä eikä laivaisäntää ja koska alukset toimivat laajalla alueella erilaisissa olosuhteissa, koodi perustuu yleisperiaatteisiin ja – tarkoituksiin.

Hyvän turvallisuusjohtamisen kulmakivenä on yrityksen ylimmän johdon sitoutuminen turvallisuutta ja ympäristönsuojelua koskeviin asioihin. Yksilöiden sitoutuminen, pätevyys, asenteet ja motivaatio kaikilla tasoilla määrittävät turvallisuusjohtamisen lopputuloksen. Kun nämä seikat ovat kunnossa, voidaan puhua yrityksen hyvästä turvallisuus-kulttuurista.

ISM-koodin tavoitteina on varmistaa turvallisuus merellä, estää ihmisten loukkaantumiset ja ihmishenkien menetykset sekä ehkäistä ympäristö- ja omaisuusvahingot.

Yhtiön turvallisuusjohtamisen tavoitteiden tulisi mm:

- sisältää turvalliset menettelytavat aluksen käytössä ja taata turvallinen työympäristö
- esittää varotoimet kaikkien tunnistettavien uhkatilanteiden varalle
- jatkuvasti parantaa maissa ja aluksilla olevien henkilöstöjen turvallisuusjohtamistaitoja mukaan lukien valmistautuminen turvallisuutta ja ympäristönsuojelua koskeviin hätätilanteisiin.

Turvallisuusjohtamisjärjestelmän tulisi varmistaa:

- pakollisten määräysten ja sääntöjen noudattaminen
- järjestön (IMO), aluksen lippuvaltioiden, luokituslaitosten ja merenkulkualan järjestöjen soveltuvien koodien, ohjeiden ja standardien ottaminen huomioon.

Kun kolmas riippumaton osapuoli on todennut varustamon toimivan tämän säännösten mukaan, sille voidaan myöntää ns. vaatimusten mukaisuus-todistus (DOC)⁶⁹. Todistuksen saaneen yhtiön alukselle voidaan myöntää turvallisuusjohtamistodistus (SMC)⁷⁰, jos aluksen toimintatavat täyttävät niitä koskevat ISM-koodin määräykset.

⁶⁸ ISM-koodi (International Safety Management Code, Resolution A.741(18)) on osa IMO:n SOLAS-sopimusta (Chapter IX) ja se on ollut voimassa 1. heinäkuuta 2002 lähtien aluksille, joiden brutto on yli 500.

Suomen säädöstyössä ISM-koodi on saatettu voimaan Asetuksella laivaisännän turvallisuusjohtamisjärjestelmästä ja aluksen turvalliseen käyttöön liittyvistä johtamisjärjestelyistä 66/1996 ja Roro matkustaja-alusten turvallisuusjohtamisesta annetulla neuvoston asetuksella EY 3051/95.

Matkustaja-alusten osalta on MKL:n merenkulun tarkastusyksiköillä käytäntö, että SMS vaaditaan kaikilta varustamon aluksilta, jos yksikin alus kuuluu turvallisuusjohtamissäädösten piiriin (eli on yli 100 matkustajan alus).

⁶⁹ Document of Compliance

⁷⁰ Safety Management Certificate

Avustustoiminnan kansainväliset ohjeet

Vaikka satamahinauksesta ei ole olemassa kansainvälisiä sopimuksia tai määräyksiä, on aiheesta olemassa useita artikkeleita teknisessä kirjallisuudessa. Alan standardina (käsikirjana) voidaan pitää The Nautical Institute'n julkaisemaa teosta Henk Hensen: *Tug Use in Port – A Practical Guide* (1997, 2003). Teos perustuu pitkäaikaisen kokemuksen analyysiin ja uusimpiin tutkimustuloksiin. Teos esittelee hinaustekniikkaa ja kiinnittää erityistä huomiota operoinnin turvallisuuteen. Teoksen statusta alan toiminta-ohjeena nostaa IMO:n viittaus siihen (MSC/Circ. 1101, 8.9.2003). Sen mukaan IMO:n jäsenien tulee saattaa kiertokirjeessä esitetty ko. teoksen sisällysluettelo hallintojen, satamaviranomaisten, satamaoperaattoreiden, luotsiorganisaatioiden ja hinaajayhtiöiden tietoon⁷¹. Kirja on ollut myös PEGASOSin päällikön käytettävissä.

Maailmanlaajuisesti suurilla satamilla on turvallisuusmääräyksiä avustustoiminnasta, mutta Suomessa sellaisia on vain eräillä satamilla⁷².

Kansainväliset vakavuusmääräykset

Vakavuusmääräyksissä vakavuuden arvioimiseksi laaditut yleiset kriteerit on luotu teoriaa yksinkertaistamalla ja onnettomuustilastojen pohjalta. Hinaustilanteessa hinausköysi ja hinattava kohde/avustettava alus monimutkaistavat vakavuuden arviointia. Käytännössä suunnittelijan ja aluksen operoijan on tyydyttävä eri tahojen antamien määräysten täyttämiseen turvallisuusmarginaalein ja ns. hyvään merimiestapaan.

Staattisen ja dynaamisen vakavuuden vaatimukset hinaajille muissa kuin hinaustilanteissa ovat eri luokituslaitoksilla ja kansallisilla viranomaisilla melko yhtenevät, koska ne perustuvat IMO:n resoluutioon⁷³. Sen sijaan hinaustilanteen vaatimukset poikkeavat toisistaan. Yleisimmät vaatimukset on esitetty liitteessä 2.

1.4.3 Kansallinen lainsäädäntö ja ohjeet

Merilain pohjalta on annettu asetuksia alusten merikelpoisuudesta ja turvallisesta käytöstä, turvallisuusjohtamisjärjestelmästä, päällystön kelpoisuusvaatimuksista sekä alusten katsastamisesta ja alusturvallisuuden valvonnasta. Näiden täytäntöönpanoa valvoo merenkululaitos. Asetuksella laivaisännän turvallisuusjohtamisjärjestelmästä ja aluksen turvalliseen käyttöön liittyvistä johtamisjärjestelyistä³⁹ on ISM-koodi saatettu osaksi Suomen oikeusjärjestelmää. Tämä asetus velvoittaa Alfons Håkans Oy:tä laivaisäntänä toteuttamaan brutoltaan yli 500 oleville aluksilleen koodin mukaisen turvallisuusjohtamisjärjestelmän. Turvallisuusjohtamisjärjestelmä on osa varustamon laatujärjestelmää, jolloin se koskee varustamon kaikkia aluksia.

Hinaajien vakavuusmääräykset. Hinaajien tulee täyttää aluksille asetettujen vakavuusmääräysten⁷⁴ lisäksi hinaajille asetetut erityismääräykset⁷⁵. MKL oli aloittanut 1970-

⁷¹ IMO:n julkaisut MSC/Circ.1101, MEPC/Circ.409 ja FAL/Circ.100 8 September 2003, Ship/Port Interface, Availability of Tug Assistance

⁷² Porvoon ja Naantalın öljysatamien hinaajasäännöt, Neste Oil

⁷³ IMO Resoluutio A.749(18), Code on Intact Stability for all Types of Ships covered by IMO Instruments.

⁷⁴ Asetus alusten vakavuudesta 24.7.1972/588, MKL:n määräykset alusten vakavuudesta 1.8.1972 Dnro 2134/72/101

luvulla useiden hinaajien kaatumisonnettomuuksien johdosta hinaustilanteeseen soveltuvien vakavuuskriteerien kehittämisen⁷⁶. Kehittämisessä otettiin huomioon tuolloin saatavilla olevien tutkimusten tulokset ja muualla voimassa olevat määräykset. Työn tuloksena alusten vakavuudesta annettua asetusta (588/72) muutettiin asetuksella 781/85.

Käytännössä sääntöä sovellettiin jo useita vuosia aikaisemmin, mm. hinaaja POSEIDONiin v. 1978. Se sisälsi uusina vaatimuksina kaksi hinaustilanteen vakavuuskriteeriä konventionaalisille hinaajille. Tämän tyyppiset hinaajat jaettiin uusiin ja vanhoihin. Hinaaja on uusi, jos sen köli on laskettu tai se on ostettu ulkomailta tai siinä on suoritettu sellaisia muutostöitä, jotka olennaisesti vaikuttavat sen vakavuuteen 1.1.1987 tai sen jälkeen. Muussa tapauksessa hinaaja on vanha. Lisäksi, riippumatta siitä onko hinaaja uusi vai vanha, sen vakavuuden tulee täyttää erityismääräykset, jos hinaaja avustaa omalla potkurikoneistolla varustettua alusta. Määräyksen esittämällä kaavoilla hinaajan epäedullisimmassa lastitapauksessa lasketaan kaksi kallistavan momentin vartta:

1. hinaajaa vedetään poikittaisnopeudella 2,5 m/s (Vanhalla hinaajalla MKL voi sallia käytettävän pienempää nopeuden arvoa)⁷⁷.
2. osa hinaajan työntövoimasta suuntautuu kallistavasti sivulle.

Tärkeimmät näihin momentteihin vaikuttavat alusparametrit ovat: hinauskoukun sijoitus, kannen veteenmenokulma, vedenalainen lateraalipinta-ala ja paaluveto. Vaatimusten täyttämiseksi aluksen oikaisevan momenttivarren tulee erikseen määritetyllä tavalla ylittää kallistavat varret⁷⁸.

Tutkinnan yhteydessä asetuksen 781/85 tekstin on todettu vaativan lisäyksiä ja täsmennyksiä. Tarkemmin kriteerin laskentaa sekä PEGASOSin ja POSEIDONin vakavuutta on käsitelty liitteessä 2.

MKL:n nykyisin voimassa oleva poikittaisnopeuskriteeri on ainoa laatuaan maailmassa⁷⁹. Se kuvaa yksinkertaistetusti fyysikaalista tilannetta ja antaa eri menetelmiä verrattaessa suurimman kallistavan momentin. Työntökriteerin suhteen laskentatavat ovat yhtenäisemmät, vaikkakin erilaiset. Tutkinnassa arvioidut hinaustilanteen kriteerit eivät sovellu aallokossa käytettäviksi.

Sekä PEGASOS että POSEIDON ovat MKL:n hinaajille asetettujen vaatimusten piirissä, koska ne avustavat omalla potkurikoneistolla varustettuja aluksia. Lisäksi PEGASOSin vakavuus tuli merenkulkuhallituksen päätöksen mukaan tarkastella erikseen, koska siinä oli keulapotkuri.

⁷⁵ Merenkulkuhallituksen päätös hinaajien vakavuudesta 9.12.1985 Dnro 1679/82/101

⁷⁶ MKL:ltä saatu sääntöjen kehittämistä koskeva tausta-aineisto

⁷⁷ Nopeus vaikuttaa kallistavaan momenttiin toisessa potenssissa, ja se koostuu aluksen nopeuden ja virtausnopeuden (esim. avustettavan potkurivirta) summasta.

⁷⁸ Näiden varsien ja oikaisevan varren (GZ) väliin jäävän pinta-alan tietyllä kallistuskulma-alueella tulee olla vähintään 0,01 metriradiaania. Pinta-ala A_1 on poikittaisvedon hinauskriteeri, pinta-ala A_2 on paaluveto-hinauskriteeri.

⁷⁹ Erilaisista kriteerien määrittäytavoista kuitenkin seuraa, että ei ole selvää johtaako MKL:n määräys parhaaseen vakavuuteen.

Hinaajien miehitys. PEGASOSin ja POSEIDONin miehitystodistukset ovat sisällöltään samanlaiset (liite 6). Nämä miehitystodistukset noudattavat merenkulkulaitoksen yleistä linjaa tämänkokoisille hinaajille. Todistuksen sisältö on tulkinnanvarainen⁸⁰. Siitä voidaan päätellä, että hinaajien minimimiehitys liikennealue III mukaan lukien ajoajan ollessa alle 12 tuntia on kolme henkilöä; vahtiperämies, vahtikonemestari ja matruusi. Miehitystodistuksen mukaan aluksella hinattaessa tulee lisäksi palkata puolimatruusi. Tutkijoiden tulkinnan mukaan satama-avustus ei ole miehitystodistuksessa mainittua hinausta. Hinaajien ollessa jo matkalla sovittiin luotsien ehdotuksesta uusi MSC HINAN kohtaamispaikka, joka ylitti liikennealue III:n rajan 0,5 maililla.

1.4.4 Eri osapuolten operointimääräykset, laatu järjestelmät ja koulutus

Yhteistyön merkitys avustustoiminnassa

Alusten käsittelyssä hinaajien avustuksella on kysymys kaikkien osapuolten ammattitaitoisesta yhteistyöstä⁸¹. Avustettavalla aluksella ovat päällikkö, luotsi ja miehistö, hinaajilla niiden päälliköt ja miehistöt ja heidän on toimittava yhteistyössä. Tehokasta työskentelyä silmällä pitäen heidän kaikkien tulee olla ammattitaitoisia ja heidän tulee tiedostaa yhteistyön merkitys turvallisuuden varmistamisessa. Heidän tulee tuntee riittävästi toistensa työtä. Eri osapuolten operointimääräykset ja laatu järjestelmät (sisältäen turvallisuusjohtamisjärjestelmät) määrittelevät ja ohjaavat yhteistyötä avustusoperaatiossa.

MSC HINAN turvallisuusjohtamisjärjestelmän mukaan aluksen päällikkö vastaa koko operaatiosta ja hän sopii hinaajien käytöstä luotsien kanssa. Hinaajavarustamon ohjeissa todetaan, että hinaajan päällikkö tekee oman arvioinnin ja yhteissuunnitelman avustettavan aluksen luotsin ja/tai päällikön kanssa. Luotsien edellytetään aluksen turvallisen kulun varmistamiseksi vaihtavan tietoja luotsattavan aluksen päällikön kanssa sekä olevan yhteydessä muiden alueella liikkuvien alusten kanssa. Käytännössä luotsit usein johtavat avustusoperaatiota.

Alan perusteoksen⁸² mukaan avustustoiminnan onnistumisen perusedellytys on yhteissuunnittelu ja hyvä kommunikointi. Operaation aikana saattaa tulla uutta tietoa ja osapuolilla voi olla toimintaansa rajoittavia tekijöitä, joista on neuvoteltava toisten kanssa.

Hinaajavarustamo

Turvallisuusjohtamisjärjestelmän kuvaus ja hyväksyntä. Turvallisuusjohtamisjärjestelmä ei ole pakollinen PEGASOSin kokoiselle alukselle (brutto < 500). Suurin osa Håkansin aluksista on samaa kokoluokkaa ja varustamo tarvitsee turvallisuusjohtamisjärjestelmän vain kahdelle operoimalleen ulkomaanliikenteessä olevalle alukselle. Tästä

⁸⁰ Tulkinnanvaraisuus on poistettu MKL:n toimistopäällikön muistiolla 5.12.2006. Termi "hinattaessa" korvataan ilmaisulla "hinattaessa, avustettaessa tai saatettaessa", jotka on muistiossa määritelty.

Meriturvallisuus toiminnon johtoryhmän kokouksessa 11.12.2006 todettiin myös, että "satama-alue termistä luovutaan ja käytetään termiä liikennealue I miehitystodistuksessa. Vanhoissa todistuksissa oleva termi satama-alue tulkitaan jatkossa liikennealue I:ksi." Toimistopäällikön sähköposti 19.12.2006.

⁸¹ Henk Hensen: *Tug Use in Port – A Practical Guide* (Nautical Institute 1997) ja Resolution A.960(23), IMO 5.12.2003

⁸² *Tug Use in Port*

syystä varustamolla on varustamo-organisaation turvallisuusjohtamisjärjestelmä (SMS) sekä omia satamaorganisaatio- ja aluskohtaisia turvallisuusjohtamisjärjestelmiä.

Turvallisuusjohtamisjärjestelmässä varustamo, satamaorganisaatiot (5 kpl) ja osa aluksista on auditoitu omina yksiköinä. Varustamolle on myönnetty vaatimusten mukaisuus-todistus (DOC). Satamahinaajat on sisällytetty satamaorganisaatioihin. PEGASOSia ei ollut auditoitu aluksena, vaan sille oli myönnetty erityisehdoin turvallisuusjohtamistodistus (SMC) 24.10.2001 (todistus SMC 292/2001/MKL). Varustamon Helsingin satamaorganisaatiolle perusauditointi oli tehty 15.10.2002.

MKL:n Saaristomeren tarkastustoimisto on auditoinut Håkansin Helsingin satamaorganisaation ja siihen kuuluvien alusten turvallisuusjohtamisjärjestelmiä. Vuonna 2001 oli auditoitu hinaaja NEPTUN ja tämän auditoinnin perusteella oli myönnetty myös PEGASOSin turvallisuusjohtamistodistus⁸³. Seuraavana vuonna tehtiin Helsingin satamaorganisaation perusauditointi ja sen yhteydessä puollettiin hinaajille POSEIDON ja HAMLET turvallisuusjohtamistodistusta⁸⁴. NEPTUNille tehtiin uusinta-auditointi vuonna 2003⁸⁵.

Hyvä turvallisuuskulttuuri edellyttää, että varustamolla on turvallisuusjohtamisjärjestelmässä menettelytavat kaikilla suojaustasoilla ks. kuva 21.

Alfåns Håkans Oy Ab:n **turvallisuusjohtamisjärjestelmä** on ollut jatkuvan kehityksen kohteena viime vuosikymmenen lopusta lähtien. Sen A-osassa (varustamo) todetaan mm. seuraavaa: *"yhtiön turvallisuusjohtamisen tavoitteiden tulee: .1 sisältää turvalliset menettelytavat aluksen käytössä ja turvallinen työympäristö" (1.2.2), ja "turvallisuusjohtamisjärjestelmän tulee varmistaa .1 pakollisten sääntöjen ja määräysten noudattaminen, .2 järjestöjen, hallintojen, luokituslaitosten ja merenkulun järjestöjen koodien, ohjeiden ja standardien huomioon ottamisen" (1.2.3).*

Kohdassa 5.2 todetaan mm: *"Päällikkö vastaa aluksellaan alusta koskevien kansainvälisten ja kansallisten asetusten noudattamisesta, turvallisuusjohtamisjärjestelmän toteuttamisesta ja henkilöstön motivoinnista toimimaan sen periaatteiden mukaisesti, että alus on miehitetty turvallisesti, miehitystodistuksen ja asetusten mukaisesti, yhtiön laatimien ohjeiden, menettelytapojen ja aluksen omien työohjeiden noudattamisesta."*

Kohdassa 11 Dokumentointi on ohjeet dokumenttien hallinnasta. Kohdassa 11.3 (Muutokset, korjaukset ja hyväksynnät) todetaan mm.: *Aluskohtaisten toimintaohjeiden päivittämisestä silta - ja konevalvontakansioissa vastaa päällikkö ja konepäällikkö. SMS-käsikirjoihin, sen liitteisiin, CD jakelun romppuihin, toimintaohjeisiin tai asiakirjapohjiin tehdyistä muutoksista tulee informoida yksiköissä, etenkin henkilöitä kenen työtä suoritettavat muutokset koskevat".*

Turvallisuusjohtamisjärjestelmän B-osassa (Håkansin Helsingin satamaorganisaatio) todetaan kohdassa II Meriklaari, 8.4: *Hinaajan on oltava meriklaarissa⁸⁶ aina ollessaan*

⁸³ ALFONS HÅKANS; ISM väliauditointi ms NEPTUN 16/21.8.2001 ja ALFONS HÅKANS; ms PEGASOKSEN perusauditoinnin hyväksyminen erityisehdoin 23.10.2001, MKL Saaristomeren tarkastustoimisto.

⁸⁴ ALFONS HÅKANS; ISM-perusauditointi, Helsinki; satamaorganisaatio 15.10.2002, MKL Saaristomeren tarkastustoimisto.

⁸⁵ ALFONS HÅKANS; ISM/uusintaauditointi ms NEPTUN 18.9.2003, MKL Saaristomeren tarkastustoimisto.

⁸⁶ Alus on kunnossa merelle lähtöä varten, mm. ovet asianmukaisesti suljettu

liikkeellä. Satama-avustusten nopean luonteen ja päivän aikana mahdollisesti tapahtuvien useiden avustusten aiheuttamien monien tulojen ja lähtöjen vuoksi ei merikelpoisuutta tarvitse kirjata kuitenkaan joka lähdöllä erikseen. Säännöllisesti liikuttaessa riittää, merkintä merikelpoisuudesta laivapäiväkirjaan lähtövalmistelujen yhteydessä jos/kun työvuorossa oleva päällikkö on vaihtunut. Satunnaisesti käytettävän hinaajan tai tavallista satama-avustusta kauemmaksi suuntautuvalla matkalla merikelpoisuus todetaan ja kirjataan erikseen jokaisen lähtövalmistelun yhteydessä. Henkilöstön rutiinit, 8.5 satama-avustus: "Alusavustus on suunniteltava ennakkoon aina tapauskohtaisesti. Erilaisten avustuksien erikoisvaatimukset on huomioitava. Suunnitteluun kuuluu hinaajan päällikön oma arviointi tulevasta avustuksesta ja yhteissuunnitelma avustettavan aluksen luotsin ja/tai päällikön kanssa. Suunnitelmasta on keskusteltava hyvissä ajoin työskentelykanavalla tai puhelimella. Oman aluksen miehistö informoidaan tehtävästä ja sovitaan työtapaa."

Lisäksi on mainittu avustuksessa huomioonotettavat seikat: vallitsevat olosuhteet (sää, syväydet, satama-alueen ja muun liikenteen asettamat rajoitukset), avustettavan ominaisuudet (tuulipinta-ala, konetehto, ohjailuominaisuudet, kokemukset saman alustyyppin mahdollisista aiemmista avustuksista, hinausköyden laatu ja kenen köysi) ja omat resurssit (hinaajien lukumäärä ja sijoittelu, tehot ja manoveerauskyvyt, veto – puskuavustus).

Varustamon ohjeistuksen mukaan käytettävästä hinaajakalustosta eri avustustehtävissä vastaa hinaajan päällikkö.

ISO-9000:2000 **laatujärjestelmä** on käytössä alakohtien 7.3 ja 7.5.2 osalta. Sertifioijana on Det Norske Veritas.

Avustettavan aluksen varustamo

MSC HINAn varustamon ohjeet sisältävät vaatimukset reittisuunnitelman teolle ml. luotsien käytön ja hinaaja-avustuksen⁸⁷. Suunnitelma ja sen toteutus on jaettu seuraaviin vaiheisiin: tietojen keruu, suunnitelman laadinta, toteutus ja valvonta. Luotsien kanssa toimiminen (Bridge Check List B4, Bridge Management Manual) sisältää mm. vaatimuksen sopia luotsien kanssa hinaajien käytöstä. Täydennyksenä on "Circular to Master T-64, 4.5.1996", joka korostaa päällikön vastuuta huolimatta luotsauksesta. Hän määrittää tarvittavan paaluvetotarpeen ja hinaajien määrän.

Ohjeet ovat varsin täydelliset. Niiden noudattamisesta on tarkempaa tietoa vain meriselytyksen pohjalta ja luotsien kertomuksista. Merkilläpantavaa on, että hinaajien käytöstä riittää sopiminen vain luotsien kanssa.

Ohjeiden sisältämään (B4) vaatimukseen hinaajien käytöstä kuuluu tarvittavan paaluvetodon laskenta⁸⁸. MSC HINAssa käytettiin menettelyä, joka on esitetty kirjassa "The Shiphandlers Guide"⁸⁹. Tutkinnan saamassa laskentaesimerkissä on käytetty epärealis-

⁸⁷ Fax 23.8.2004 from Univan Ship Management, 32 sivua

⁸⁸ Fax 23.8.2004 from Univan Ship Management, 32 sivua

⁸⁹ R.W. Rowe: The Shiphandler's Guide, The Nautical Institute, 2000

tisen pientä tuulen nopeutta, minkä johdosta tuulen aiheuttama voima on todettu mitättömän pieneksi. Lisäksi laskelmassa esitetty tuulipinta-ala on tutkijoiden käsityksen mukaan noin 10 % liian pieni. Lopulta paaluvetotarve on laskettu toisella menetelmällä ja kamalla MSC HINAN uppouma tuhannella, ja saatu 27 tonnia⁹⁰. Hinaajien paaluvetoksi MSC HINAN päällikkö arvioi hinaajien teho-oletusten perusteella $50 \text{ t} + 9,8 \text{ t} = 59,8 \text{ t}$ ⁹¹.

Tutkijoiden käsityksen mukaan hinaajien teoreettinen paaluveto oli 36,7–41,5 t + keulapotkuri 8 t, josta pääosa on käytettävä ohjailuun. Tutkinnan käsityksen mukaan tarvittava paaluveto oli noin 70 t. Myös mainittu käsikirja edellyttää tulokseen lisättävän olosuhteiden mukaisesti reserviä.

Luotsit

Luotseilla on mukanaan luotsauksessa tarvittavat tiedot väylästä ja heidän edellytetään aluksen turvallisen kulun varmistamiseksi vaihtavan tietoja luotsattavan aluksen päällikön kanssa sekä olevan yhteydessä muiden alueella liikkuvien alusten kanssa.

Alus tai aluksen agentti ilmoittaa aluksen nimen ja saapumisajan 24 h ennen aluksen saapumista luotsipaikalle, joko puhelimella tai faksilla Helsingin meriliikennekeskukselle⁹². Luotsin tilaus täytyy tehdä kuusi tuntia ennen aluksen saapumista ja vahvistaa tilaus kolme tuntia ennen aluksen saapumista luotsipaikalle. Helsingin meriliikennekeskus välittää aluksen nimen ja tiedon aluksen saapumisajasta kulloinkin vuorossa olevan luotsin matkapuhelimeen. Luotsi järjestää itse kuljetuksen luotsipaikalle.

Luotsit saavat tiedon hinaajista kysymällä sitä, joko hinaajaoperaattorilta tai aluksen agentilta. Luotsausliikelaitoksella ei ole ohjeistusta hinaajien käytöstä, tarvittavasta paaluvetosta tai hinaajien määrästä eikä tiedottamisesta. Luotsit eivät kertomansa mukaan tienneet hinaajien vakavuussäännöistä. Avustavalla luotsilla oli ollut vuoden aikana 10–20 luotsausta, joissa oli käytetty hinaaja-avustusta. Luotsien kertoman mukaan heidän koulutukseensa ei ole sisällynyt hinaaja-avusteisen aluksen luotsausta⁹³, asiaan perehtyminen on perustunut henkilöiden oma-aloitteisuuteen hinaajaoperaattoreiden myötävaikutuksella.

Sataman määräykset

Helsingin satamalaitoksella ei ole ohjeistusta käytettävästä hinaajakalustosta eri avustustehtävissä. Vain jäänmurrosta on sopimus hinaajavarustamon kanssa. Toisaalta satamaan ei ole muita kuin väylien mitoituksista johtuvia alusrajoituksia. Päätös hinaajien käytöstä ei ole kokonaan aluksen päälliköllä. Helsingin satama voi satamaviranomaisena määrätä aluksen käyttämään hinaaja-apua⁹⁴, vaikka satamalla ei ole varsinaista hinaajaohjesääntöä.

⁹⁰ Kutsuttu peukalosäännöksi Univan Ship Managementin faksissa 23.8.2004. Kirjassa Tug Use in Port on uppoumaan perustuen tarvittavan paaluveton laskentakaava $BP = (\text{uppoumax}60/100000) + 40$ tonnia, jolloin saadaan 56,2 tonnia. Kaava ei sovellu suuren tuulipinnan omaaville aluksille.

⁹¹ $2 \times 2500 \text{ BHP} \rightarrow 50 \text{ t}$ ja keulapotkuri $730 \text{ kW} \rightarrow 9,8 \text{ t}$.

⁹² VTS-Master's Guide, Gulf of Finland

⁹³ Pääluotsin kuulustelupöytäkirja 23.1.2004

⁹⁴ Helsingin kaupungin satamajärjestys, III 9§

Mahdollisten onnettomuuksien kuten PEGASOSin tapauksen seuraukset haittaavat myös satamaa. Syväväylä oli suljettuna kunnes hinaaja saatiin nostettua.

Eräissä Suomen ja useissa ulkomaisissa satamissa⁹⁵ määrätään avustavien hinaajien käyttöpakko (koko ja lukumäärä) avustettavan aluksen koon, laitteiden ja ohjailuominaisuuksien sekä vallitsevien olosuhteiden mukaan.

Koulutus hinaajien operointiin

Aluksen miehitystä koskevien säädösten mukaan ja PEGASOSin ja POSEIDONin miehistodistusten mukaan hinaajan päällikön kelpoisuusvaatimuksena on laivurin tai vahtiperämiehen tutkinto.

Tutkinnassa selvitettiin vahtiperämiehen ja merikapteenitutkinnon koulutukseen sisältyvät opintojen laajuudet koskien aluksen vakavuusteoriaa, hinaajaoperointia ja käytännön harjoituksia. Koulutus perustuu IMon ns. STCW 95 yleissopimukseen⁹⁶. Hinaajien operointi on opetuksessa yksi monista detaljeista ja sen käsittely on vähäistä. Hinaajien vakavuuskysymykset tulevat esille lähinnä onnettomuusraporttien käsittelyn yhteydessä. Vahtiperämiehet saavat opinnoissansa yleiskäsityksen aluksen vakavuudesta ja syvällisempi opetus kuuluu merikapteenitutkintoon. Käytännön harjoituksia hinaajilla ei koulutukseen sisälly.

Viranomais- ja varustamo-organisaatioissa voi olla sekä merenkulku- että insinööriopetuksen saaneita henkilöitä. Laivan ohjaajat ja laivan suunnittelijat katsova tilannetta eri näkökulmista ja käyttävät osin erilaista kieltä.

Alfons Håkans Ab:n sisäinen koulutus. Hinaajan käyttökoulutusta ei anneta merenkulkuoppilaitoksissa, joten oppiminen tapahtuu käytännössä. Håkansin hinaajavarustamon varatoimitusjohtajan mukaan kullakin alueella pyritään kerran vuodessa vapaaehtoisuuteen perustuen keskustelemaan luotsien kanssa ajankohtaisista asioista.

Luotsien koulutus. Uusien luotsien teoriakoulutusjaksossa on aluksen käsittelyä koskevassa osuudessa lyhyt kuvaus käytettävistä standardikomennoista avustus- ja saattohinauksen yhteydessä.⁹⁷ Luotseilta edellytetään aluksen käsittelykokemusta, minkä lisäksi on työssä harjoittelua.

Osalle vanhemmista kokeneista luotseista on luotsien peruskoulutusjaksolla ollut luento- ja sekä hinaajien käytännön työstä että hinaajien toimintaan ja operointiin vaikuttavasta teoriasta, mutta ei varsinaista koulutusta hinaajaoperaatioista. Luotseilla on ollut mahdollisuus mennä hinaajille mukaan niiden operoidessa heidän luotsausalueillansa. Luotsausliikelaikoksessa on luotsien koulutuksen kehittäminen parhaillaan käynnissä⁹⁸.

⁹⁵ Porvoon ja Naantalın satamissa on hinaajasäännöt. Esimerkiksi Ruotsin satamissa on hinaajanormeja (www.sjofartsverket.se/templates/SFVXPage.aspx?Page=567)

⁹⁶ International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978, as amended in 1995 (STCW Convention) and Seafarer's Training, Certification and Watchkeeping Code (STCW Code), IMO 1966

⁹⁷ Luotsien teoriajakso 8.-11.12.2003, Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus (MKK), Turun yliopisto

⁹⁸ Luotsausliikelaikoksella on lausunnossaan 30.11.2006 maininnut mm: "Luotsien koulutukseen kuuluu hinaajaoperoinnin teoriaa sekä käytännön opiskelua itse hinaajilla varsinaisessa avustustehtävässä" sekä "Luotsausliikelaikoksella on aloittanut yhteistyössä Neste Oilin kanssa saattohinaajakoulutuksen luotseille". Lisäksi vuonna 2006 on määritelty luotsien ammatillisen osaamisen ylläpitoon kuuluvat pakolliset ja suositeltavat kurssit, joihin kuuluu mm. vuosittaiset simulaattoriajot (Aluksen käsittelykurssi). Minna-Kaarina Forssen: Luotsien ja Kutteriohjaajien Ammatillisen Osaamisen kehittäminen, 2007.

1.5 Tehdyt erillisselvitykset

1.5.1 Tutkimukset onnettomuusaluksella

PEGASOSin noston yhteydessä tutkintalautakunta kuvasi aluksen ja otti talteen aluksen karttatietokoneen (Transas), jonka kovalevyiltä pelastettuja tietoja on käytetty tutkinnassa aluksen liikkeiden selvittämiseksi.

Tutkijalautakunta tutustui haverialukseen Teijossa 5.12.2003 ja teki tutkinnassa tarvittavia havaintoja ja mittauksia. PEGASOSin päällikkö oli mukana tilaisuudessa.

1.5.2 Rekisteröintilaitteet

PEGASOSilla ja POSEIDONilla oli molemmilla Transas-elektroninen karttajärjestelmä, joka rekisteröi aluksen GPS-paikan kerran minuutissa⁹⁹. MSC HINAN rekisteröinti perustuu laiva- ja konepäiväkirjojen merkintöihin jotka on tehty ¼ min tarkkuudella. Helsinki VTS tallentaa valvonta-alueellaan tapahtuvat alusten liikkeet (tutkakuva ja AIS).

Näiden tallenteiden pohjalta tutkintalautakunta on tehnyt alusten nopeusanalyysyjä, sekä määrittänyt tapahtumien ajankohdat¹⁰⁰.

Tapahtuma-aikojen synkronointi on esitetty liitteessä 8. PEGASOSin kaatuminen tapahtui nopeasti; MSC HINAN pääkoneen käynnistyskäskystä PEGASOSin kaatumiseen kului noin puolitoista minuuttia. Sen vuoksi on merkitystä eri tavalla ilmaistujen aikojen synkronoinnilla. GPS-järjestelmän aika on tarkka. VTS:n rekisteröintivideoissa näkyvän nopeustiedon aika on noin 15 sekuntia edellä GPS-aikaa. Tähän on päädytty vertaamalla MSC HINAN ja hinaajien nopeustietoja. Kun otetaan huomioon VTS-laskennan viiveet, erotukseksi tutkinnassa on määritetty 10 sekuntia. Henkilöiden kertomuksissa mainitsemat ajat on synkronoitu tapahtumien avulla. MSC HINAN konekäskyjen konepäiväkirjaan ja kansipäiväkirjaan kirjatut ajat on kirjattu ¼ minuutin tarkkuudella. Kello, johon perustuen konekäsky on kirjattu, on ilmeisesti ollut jonkin verran eri ajassa kuin oikea aika. Vertaamalla konekäskypäiväkirjan aikoja ja VTS:n perusteella saatuja MSC HINAN nopeuksia (kuvat 11 ja 13a), on päädytty lisäämään konekäskyn aikaan 1 minuutti. Tällä tavoin saadaan (kohtuullinen) yhteensopivuus. Vaikka ajat on kirjattu näennäisesti 15 s tarkkuudella, niissä saattaa olla esim. huolellisuudesta johtuvaa epätarkkuutta, mistä kertoo se, että kahdessa eri päiväkirjassa on saman tapahtuman kirjaus-hetkessä paikoin ½–1½ minuutin aikaero. Lisäksi syntyy viive, joka voi vaihdella käskyn antamisesta sen kirjaamiseen ja koneen käynnistämiseen ja potkurin pyörimiseen. Kellonaikana on johdonmukaisesti käytetty tarkkaa aikaa. Taulukossa 2 on esitetty eri tiedoista yhdistetyt ajan hetket eri tapahtumille, Suomen talviaikaa.

⁹⁹ Katsottaessa Transas-ohjelmalla rekisteröintiä, ohjelma interpoloi lineaarisesti datapisteet tasaminuutein saadun tiedon välille ja näyttää aluksen näin lasketun paikan yhden sekunnin välein. Paikan lisäksi näytettävät nopeus ja suunta pysyvät samoina koko interpoloidun minuutin ajan. Nämä vakioina esitettävät suuret ovat aloitusminuutin rekisteröidyt GPS-tiedot. (Liite 8)

¹⁰⁰ VTS ei ollut tapahtuma-ajankohtana rekisteröinyt AIS-tietoja. (AIS = automaattinen aluksen tunnistusjärjestelmä)

Taulukko 2. PEGASOSin onnettomuuden ajan hetkiä.

Tapahtuma	Aika
PEGASOS aloittaa siirtymisen MSC HINAN vasemmalle puolelle	21:33:30
PEGASOSIN perä MSC HINAan päin sen keskiviivalla	33:45
PEGASOS vasemmalla ääriasemassa	34:00
Hinaajia pyydetään oikaisemaan MSC HINAa	34:10
PEGASOS alkaa vetää täysillä suuntaan 225°	34:15
MSC HINassa annetaan Dead Slow Ahead-käsky	34:30
MSC HINAN potkuri alkaa pyöriä ja aluksen nopeus alkaa kasvaa	34:40
PEGASOSin päällikkö havaitsee potkurivirran	35:00
MSC HINAN nopeus 2 solmua	35:20
PEGASOSin peräosa osuu potkurin jättövirtaan ja alus alkaa kääntyä poikittain	35:35
PEGASOSin kaatuminen alkaa (20 asteen kallistuma ylittyy)	35:45
PEGASOSin GPS-rekisteröinti loppuu	36:00
MSC HINAN nopeus 3 solmua	36:00
PEGASOSin ohjaamon ovi iskeytyy veteen (kallistuma 80 astetta)	36:05
Koukun ensimmäinen laukaisuyritys	36:05
MSC HINAN nopeus 3,5 solmua	36:10
Sähköt katkeavat	36:10
Toinen laukaisu onnistuu	36:10
Tieto kaatumisesta MSC HINAan ohjaamoon	36:20
PEGASOSin koukku irtoaa	36:20
Tieto POSEIDONille PEGASOSin kaatumisesta	36:40
POSEIDON irti köydestä	36:50
MSC HINassa konekäsky Stop	37:00
MSC HINassa konekäsky Dead Slow Ahead	38:45
POSEIDON PEGASOSin vieressä	40:15
PEGASOS uppoaa	≈41:00

Tärkeä havainto MSC HINAN konekäskyjen rekisteröinneistä on, että kaikki PEGASOSin kaatumisen kannalta oleelliset komennot on kirjattu.

GPS-signaali loppuu klo 21.36.00. Syynä voi olla antennin joutuminen veteen, sähkönsaannin päättyminen tai tietokoneen pysähtyminen. Antenni sijaitsee mastossa kohdassa, joka joutuu veteen noin 85 asteen kallistumalla. Kertomusten mukaan sähköt katkesivat aluksen kaaduttua, eli suunnilleen samaan aikaan kun antenni meni veden alle.

Alusten nopeuksien ja MSC HINAN asennon määrittäminen on esitetty liitteessä 8. MSC HINAN nopeus avustustapahtuman aikana klo 20.56–21.47 on määritetty VTS:n rekisteröimästä nopeudesta käsin tasoittamalla (kuvat 11 ja 13a). PEGASOSin, POSEIDONin ja MSC HINAN nopeudet klo 21.32.30–21.36.30 eli juuri ennen PEGASOSin kaatumista on määritetty yhdistäen hinaajien GPS:n rekisteröintitiedot ja VTS:n mittaama MSC HINAN nopeus (kuva 13b ja liitteen 2 kuva 21). MSC HINAN asento (keulasuunta) väylässä määritettiin aluksen VTS-rekisteröinnin tutkakaiusta.

1.5.3 Hinaajan koko ja paaluveto sekä avustusmenettely

Merkittävimmät konkreettiset hinaaja-avustuksen turvallisuuteen vaikuttavat tekniset tekijät (kun oletetaan, että alus täyttää sääntöjen vaatimukset) ovat hinaajan/hinaajien riittävä koko ja kapasiteetti eli avustettavan käsittelyyn käytettävissä oleva siirtovoima sekä avustusmenettely. Siirtovoima kasvaa yleensä hinaajan koon kasvaessa ja se muodostuu työnnöstä ja rungon vastuksesta hinaajan liikkeessä. PEGASOSin ja POSEIDONin tyyppisillä hinaajilla siirtovoima syntyy lähes kokonaan propulsio- ja ohjailulaitteilla.

Hinaajan koko

Hinaajan koon tulee olla oikeassa suhteessa avustettavan kokoon, aiottuun tehtävään ja ympäristöolosuhteisiin nähden. Aluksen rungon oikaiseva momentti on suoraan verrannollinen hinaajan uppoumaan. Poikittaisvedosta johtuva kallistava momentti pienenee aluksen leveyden kasvaessa.

Hinaajan koon kasvaessa kasvaa myös sen vastus etenkin poikittaisvetotilanteessa, minkä johdosta avustettavan vakiokoneteholla saavuttama nopeus on alhaisempi kuin pienempää hinaajaa hinattaessa. Lisäksi avustettavan vakiokoneteholla aikaansaama kiihtyvyys pienenee, koska hinattavalla on suurempi vastus. Seurauksena koukun laukaisemiseen käytettävissä oleva aika pitenee.

Näistä syistä poikittaisvetotilanteessa suurempi hinaaja on turvallisempi. Hinaajan koon vaikutusta sen turvallisuuteen on tarkasteltu lähemmin liitteessä 2.

Paaluedon ja työnnön käsitteet

Tarvittavan siirtovoiman määrittäminen PEGASOSin ja POSEIDONin tyyppisillä perinteisillä hinaajilla perustuu vain niiden aikaansaamaan työntöön, jonka arvioinnin lähtökohta on paaluveto. Avustustilanteessa tarvittavaa paaluvetoa määritettäessä on selkeästi erotettava paaluedon ja työnnön käsitteet. Niitä on tarkemmin käsitelty liitteessä 1.

Paaluveto kuvaa hinaajan työntövoimaa, mutta se ei ole sama kuin eri käyttötilanteissa aikaansaatu työntövoima. Jo paaluveto voidaan käsittää monella tavalla. Merkittävien virallisten 100 % teholla mitattu, luokituslaitoksen tai viranomaisen vahvistama nimellinen paaluveto. On huomattava mahdolliset erot mittauksissa¹⁰¹. Paaluedon hetkellinen maksimi on erotettava jatkuvasta paaluedosta. Lisäksi on huomioitava mittauksissa käytetty pääkoneen kuormitusaste. Mittauksista ja säästöistä riippuen voidaan saada samalle alukselle jopa 50 % lisää nimellistä paaluvetoa. Varustamot saattavat käyttää markkinoinnissaan erilaisin perustein määritettyä paaluvetoa. Tutkinnassa perustaksi on otettu mittauksessa saatava ns. jatkuva paaluveto, joka on mittauksen keskiarvo 5–10 minuutin aikana.

PEGASOSin paaluveto oli mitattu pääkoneen 110 % teholla, joten nimellinen paaluveto on pienempi. Paaluveto pienenee mitatusta 22,2 tonnista noin 20,8 tonniin 100 % teholla. Mittauksessa veden syvyys oli 12 m vaaditun 14,6 m sijaan. Köyden pituus oli 130 m

¹⁰¹ Eri luokituslaitosten vaatimukset mittausolosuhteille ovat toisistaan poikkeavat.

vaaditun 172 m sijaan. Näistä johtuva korjauskerroin on $1,01^{102}$, joten korjattu nimellinen paaluveto on 21,0 tonnia. Lisäksi tuulta oli 14 m/s. Mittauspöytäkirjasta ei myöskään ilmene, vastaako tulos tämän raportin liitteen 1 kuvaa 5. PEGASOSin tämä paaluvetotulos on siten epäluotettava (vuonna 1993 MKL:lle tehtyjen laskelmien yhteydessä arvioitiin paaluvedoksi 16,9 tonnia).

POSEIDONin paaluveto on mitattu pääkoneen 100 % teholla ja se vastaa liitteen 1 kuvaa 5. Voidaan siten käyttää saatua arvoa 20,7 tonnia. Rakentajatelakka oli vuonna 1978 arvioinut MKL:n hinaus kiteerin laskelmissa paaluvedoksi 190 kN (19,4 tonnia).

Onnettomuustilanteessa saadaan **hinaajien yhteiseksi paaluvedoksi** siten 37,6–41,5 tonnia. Mittaustulokset ovat 5–6 vuoden takaa, joten ikääntymisen vaikutus on otettava huomioon.

Avustustilanteessa hinaaja liikkuu ja sen potkurikoneisto toimii normaalisti eikä viritettyinä viralliseen paaluvedon mittaukseen. Tällöin osa koneiston tehosta saattaa kulua erilaisten apulaitteiden käyttöön. Paaluvedon mittauksesta on saattanut kulua useita vuosia, jolloin potkuri, akselijohto ja pääkone eivät esim. kulumisen, likaantumisen ja eroosion johdosta tuota nimellistä paaluvetoa edes paaluvetotilanteessa.

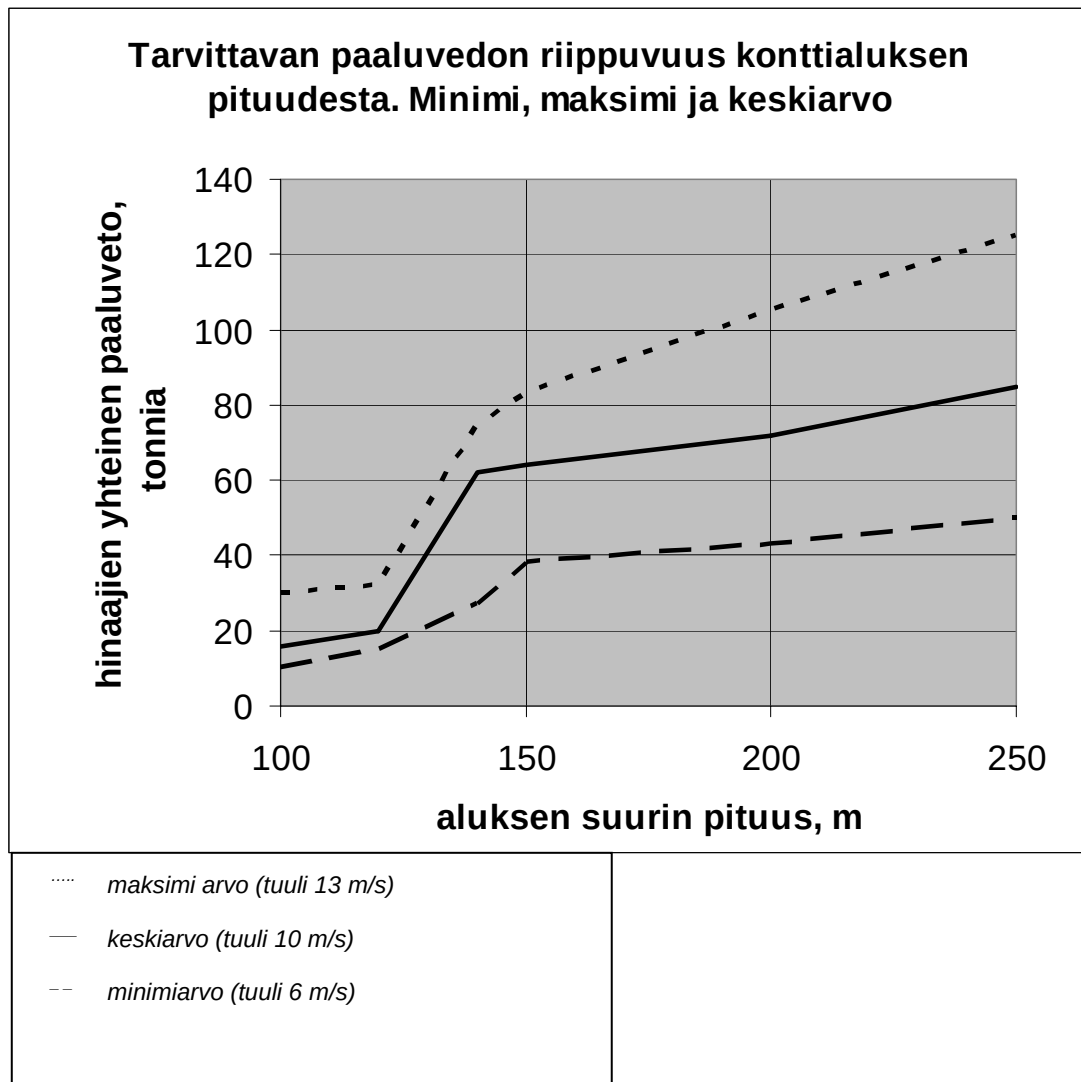
Hinaajaa käytetään useimmiten paaluvedosta poikkeavassa lastitilanteessa. Potkuri ei kohtaa vettä nollanopeudella eikä välttämättä virtauksen suuntaisesti. Tällöin saavutettavissa oleva työntövoima putoaa paaluvetotilanteeseen verrattuna 10–50 %. Hinaaja saattaa liikkua sivuttain eri kulmissa virtaukseen nähden, peruuttaa tai jopa edetä PEGASOSin tavoin taaksepäin avustettavan mukana samalla kun sen potkuri työntää hinaajaa eteenpäin. Tämän johdosta hinaajan työntövoima muuttuu jatkuvasti avustuksen aikana. On varauduttava siihen, että kriittisellä hetkellä käyttöön ei saada paaluvedon suuruista työntöä.

Turvalliseen operointiin tarvittava hinaajien paaluveto voidaan arvioida usealla tavalla, jotka on esitetty laajemmin liitteessä 1. Avustustilanteessa hinaajien aikaansaamien voimien tulee olla suuremmat kuin avustettavaan kohdistuvien voimien summa. Avustettavaan alukseen kohdistuvat sekä sen liikkeestä aiheutuvat vastus- ja hitausvoimat että ulkoisista olosuhteista johtuvat voimat. Veden syvyys aiotulla reitillä saattaa paikoin olla niin matala, että avustettavan vastuksen kasvu on otettava huomioon. Nämä voimat voidaan arvioida eri tavoin. Avustustehtävään valittavien hinaajien paaluvedon tulee olla noin kaksi kertaa laskemalla määritettävien tuuli-, aallokko- ja virtausvoimien summa. Näin otetaan huomioon edellä esitetyn mukainen todellinen käyttöön saatava työntövoima ja turvallisuusreserviksi tulee yllätysten varalta alan perusteoksen edellyttämä 20–25 %.

Yksi tapa tarvittavan paaluvedon määrittämiseen on laskea MSC HINAan kohdistuvat voimat. Tulokseksi saadaan tasaisella 10 m/s tuulella yhteensä 42 tonnia, kun otetaan

¹⁰² Hannu Jukola and Anders Skogman, *Bollard Pull, International Tug & Salvage Convention and Exhibition*, 2002

huomioon tuulen, aallokon ja hitausvoimien voittamiseen tarvittavat voimat. Kertominen kahdella johtaa 80 tonnin paaluvetotarpeeseen¹⁰³.



Kuva 23. Tarvittava paaluveto avustettaessa konttialusta. Eri satamien käytäntö lähteen "Tug Use in Port" mukaan. Alaraja vastaa normaaleja helppoja olosuhteita, yläraja vaikeita. Vaikka alkuperäislähteessä ei eri olosuhteille ole annettu tuuliarvoja, tutkintalautakunnan arviot on esitetty kuvassa¹⁰⁴.

Toinen tapa määrittää turvallinen paaluveto, on käyttää kirjassa Tug Use in Port esitettyä käyrästä. Likimääräinen, eri satamien käytäntöön perustuva käyrästä on kuvassa 23, joka on tarkoitettu kontti- ja kuivarahtialuksille. MSC HINAlle saadaan keskimmäisen käyrän avulla nimelliseksi tarvittavaksi paaluvetoksi noin 72 tonnia. Molemmilla tavoilla

¹⁰³ Eri voimakomponentit ovat: tuulivoima 27 tonnia (12 m/s = tasainen tuuli 10 m/s + 20 % puuskalisä) ja aallokon aiheuttama voima noin 10 tonnia (merkittävä aallon korkeus 0,8 m). Virtaukset oletetaan niin pieniksi, että niitä ei tarvitse ottaa huomioon. Hitausvoimien voittamiseen tarvitaan 5 tonnia, kun HINAA siirretään kahden minuutin aikana 12 m (noin ½ aluksen leveyttä). Voimat ovat yhteensä 42 tonnia.

¹⁰⁴ Tasainen tuuli vastaa sääennusteissa annettua tuulen nopeutta.

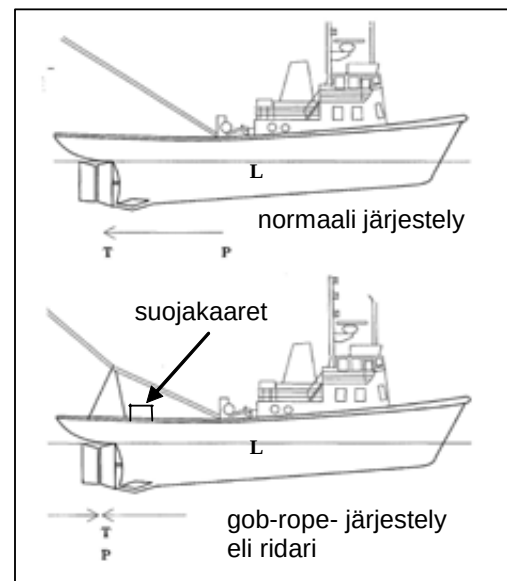
saadaan suuruusluokaltaan sama paaluvetotarve. Kuvassa 23 esitetyt eri käyriä vastaavat tuulen nopeudet on määritetty edellä esitetyllä laskentatavalla.

PEGASOSin varustamolla on käytössään käyrästö, joka näyttää tuulen aiheuttaman voiman tuulen nopeuden funktiona tuulipinnan ollessa 3000 m². Sen mukaan tuulivoima on noin 27 tonnia tuulen nopeudella 12 m/s. Käyrästön käytöstä tarvittavan paaluviedon määrittämiseen ei ole tutkinnassa saatu tietoa.

Avustustapa

Ammattikirjallisuudessa¹⁰⁵ on esitetty turvallisesti avustettavan nopeudeksi 1–2 solmua, kun POSEIDONin tyyppinen hinaaja on perä edellä kiinni avustettavan perässä. Siirtyminen avustettavan perän ohi voi tapahtua enintään 3 solmun nopeudessa.¹⁰⁶ PEGASOS oli ”kombi”-tyyppiä¹⁰⁷, jolle turvallisena avustettavan nopeutena pidetään kolmea solmua. Tätä suuremmalla nopeudella hinaaja ei saa joutua poikittain virtaukseen. Avustettavan potkuria ei saa käyttää ilman ajoissa annettua varoitusta. POSEIDON ja PEGASOS kiinnittivät hinausköyden suoraan koukkuun aluksilla vallinneen käytännön mukaisesti. Vaihtoehtoinen, myös yli 3 solmun nopeuksilla turvallisempi tapa on kuvan 24a gob-rope¹⁰⁸ eli ridari-järjestely. Järjestelyllä hinauspiste siirretään aluksen perään, jolloin hinaaja ei pääse kääntymään poikittain. Tämä johtuu siitä, että vedenalaisen lateraalipinnan painopisteen L ja hinauspisteen P välinen etäisyys kasvaa. Toisaalta hinaajan ohjailumahdollisuudet heikenevät, koska hinauspisteen ja propulsioon vaikutuspisteen T välinen etäisyys pienenee, kuva 24a.

Kuva 24a. Gob-rope eli ridari-järjestely, joka on turvallisempi hinaajan operoimissa avustettavan perässä yli 3 solmun nopeudella¹⁰⁹.



Perinteisellä hinaajalla gob-rope -järjestely ei ole tarkoituksenmukainen, mutta keulapotkurilla varustetulla kombi-tyyppisellä hinaajalla on sen käyttämiseen riittävä ohjailukyky. Tällöin jotkut hinaajat voivat toimia lähes saattohinaajan tavoin jopa 7–8 solmuun asti. Operointia avustettavan perässä on selostettu kirjan Tug Use in Port sivulla 27. Sieltä on otettu seuraava kuva 24b. Asemassa 1 hinaaja lähestyy avustettavaa perä edellä hinausköyden kiinnittämiseksi. Asemissa 2 ja 3 hinaaja auttaa avustettavan ohjailua käyt-

¹⁰⁵ Tug Use in Port, sivut 27, 59, 60 ja 95

¹⁰⁶ Tug Use in Port, s. 25

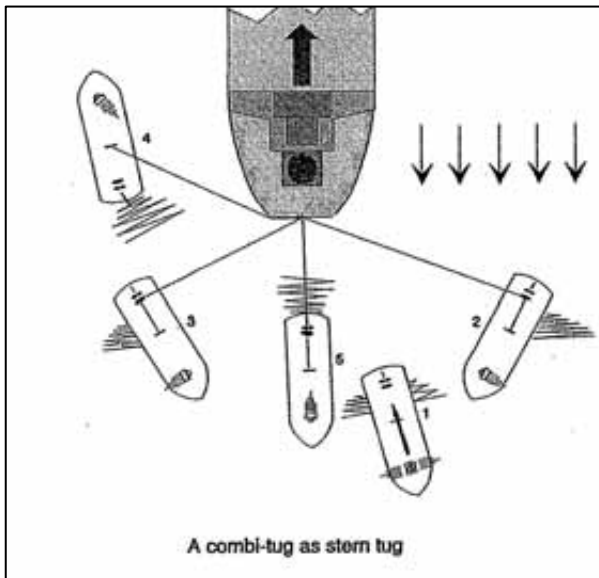
¹⁰⁷ PEGASOSia ei ole alun perin suunniteltu kombi-tyyppiseksi hinaajaksi. Keulapotkuri on asennettu jälkepäin. Esim. perän linjojen tulisi kombi-hinaajalla olla kantavammat kuin PEGASOSin tyyppisellä tavanomaisella hinaajalla.

¹⁰⁸ käytetään myös nimitystä martingale backrope, backrope, gob line, gaub line, gob-rope, ridari

¹⁰⁹ Kuvan lähde: The Shiphandler's Guide, s. 130. Katso myös Tug Use in Port, kuva 7.2

täen hyväksi runkonsa antamaa sivuttaisvoimaa. Asemassa 5 se voi toimia jarruna. Jos nopeus putoaa pieneksi, jolloin asemat 2 ja 3 eivät enää ole tehokkaita, hinaaja irrottaa ridarin ja siirtyy perinteisellä tavalla avustamaan ohjailua asemaan 4.

Vaikka kirjallisuudessa ridari on esitetty yleisenä menettelynä, sen käyttö on Suomessa harvinaista.



Saksan satamissa sen käyttö on pakollista perinteisille hinaajille¹¹⁰. Hinaajan operointi ridarin kanssa on erilaista kuin onnettomuustilanteessa käytetty menettely, jossa hinausköysi on kiinnitetty suoraan koukkuun. Ridari voi olla matkaa varten kiinteästi asennettu tai operoinnin aikana säädettävä, mikäli hinaaja on varustettu tarpeellisella laitteistolla. Hinaaja ei ridaria käytettäessä saa olla suuressa peräviippauksessa.

Kuva 24b. Operointi ridarin avulla.

Varustamo voi varautua mahdolliseen ridarin käyttöön etukäteen. Erilaisille avustustilanteille on mahdollista määritellä hinaajakohtaiset operointitavat ja niihin liittyvät turvalliset nopeudet ja menettelyt. Hinaajan ominaisuuksia voidaan parhaiten hyödyntää silloin, kun alus on varustettu operoinnin aikana säädettävällä ridari-laitteistolla. Miehistön on harjoiteltava ridarin käyttöä näitä tilanteita vastaavissa olosuhteissa.

Hinaajan peräkannella oleva suojakaari muistuttaa ridaria. Suojakaaren tehtävänä on kuitenkin estää hinausköyttä takertumasta kannella oleviin laitteisiin, PEGASOSilla mm. vintturiin, eikä ohjata hinausköyttä.

Oikein toteutettuna hinausköysi kiinnitettynä suoraan koukkuun tai vedettynä ridarin alta ovat turvallisia. Jos yhteisesti päädytään yli kolmen solmun nopeuteen, ridaria on syytä käyttää. Avustustapa sinänsä ei ole ratkaisevaa, vaan se, että toteutuksesta selkeästi sovitaan yhteisesti.

Käytettäessä ridaria hinaaja ei voi joutua poikittain virtaukseen, mutta se voi ajautua perä edellä avustettavan vetäessä. Tällöin liian suuri peräviippaus voi aiheuttaa vaaratilanteen, jos patoaalto ja avustettavan mahdolliset potkurin jättövirtauksen pyörteet nostavat vettä partaan yli. Kun hinaajan peräkansi joutuu veden alle ja peräviippaus kasvaa, vakavuus heikkenee. (Ks. liitteen 1 kohta 4.2 ja liitteen 2 kohta 3.2, kuva 16). Voi syntyä vaaratilanne, kun aluksen perä sukeltaa yhä syvemmälle. Kuvatun tilanteen estämiseksi alun perin kombi-hinaajiksi suunniteltujen alusten perän linjat muotoillaan kantaviksi.

¹¹⁰ Tug Use in Port 1997, sivu 100.

Runkomuodoltaan PEGASOSin kaltainen hinaaja on vaikeasti ohjailtavissa avustettavan vetäessä sitä perä edellä taaksepäin.

Hinaaja voi joutua vinohinaukseen myös ridaria käytettäessä, mutta se ei käänny poikittain virtaukseen. Vinohinauksessa löytyvässä tasapainotilassa hinaaja kuitenkin kallistuu ja samalla lisääntyy peräviippaus, joka on suhteessa hinaajan käyttämään konetehoon. Hinaajassa voidaan vaikuttaa tilanteeseen säätämällä konetehoa ja ohjailuvoimia.

Ilman ridaria tämä ohjailutilanne on erittäin vaikea yli-tai aliohjausvaaran vuoksi. Virtauksessa on jatkuvasti epätasaisuutta, aallokko aiheuttaa häiriöitä, samoin avustettavan liiketilan muutokset. Ohjailutoimenpiteillä on melko mahdotonta estää hinaaja kääntymästä poikittain, jos ilman ridaria olevan hinaajan peräsin osuu yllättäen potkurin jättövirtaukseen.

Avustuksen tapahtuessa köyden välityksellä, köyden pituus on merkittävä tekijä. Jos hinaaja toimii avustettavan lähellä, virtauskentät (hinaajat ja avustettava) heikentävät saavutettavaa työntövoimaa. Hinaajan tarvitsema aika siirtymiseen aluksen suhteen kasvaa, kun köyden pituus kasvaa. Toisaalta, jos hinaaja on liian lähellä, sen potkurin jättövirtaus saattaa lisätä avustettavan vastusta. Köyden pituudesta on ristiriitaista tietoa (MSC HINAN 3. perämiehen kertoman mukaan 15–20 m todennäköisesti alusten peräosien välillä ja 40–50 m PEGASOSin päällikön mukaan). Oletettavasti köyden pituus oli MSC HINAN perästä PEGASOSin koukkuun noin 40 m, mikä voidaan katsoa normaaliksi.

Kirjassa *Tug Use in Port* varoitetaan useaan otteeseen vaarasta, jonka synnyttää avustettavan aluksen potkurin käyttö hinaajan operoidessa aluksen perässä. Jos jostain syystä potkuria täytyy käyttää, tulee hinaajan päällikölle tiedottaa asiasta riittävän ajoissa.

1.5.4 PEGASOSin vakavuusominaisuuksien selvittäminen

PEGASOSin vakavuuden selvittämisen taustaksi tutkintalautakunta keräsi aineistoa hinaajien vakavuuteen vaikuttavista seikoista. Aineiston tähän tapaukseen vaikuttavat seikat on koottu liitteeseen 2. Normaaliin vakavuusominaisuuksien lisäksi on selvitelty kaatumiseen liittyviä seikkoja kuten kallistavan ja oikaisevan momentin suuruutta suurilla kallistuskulmilla ja kaatumisen nopeuteen vaikuttavia seikkoja.

Tutkintalautakunta sai käyttöönsä aluksen alkuperäisen vakavuusaineiston ja alukselle noin kaksi viikkoa ennen onnettomuutta tehdyn kallistuskokeen tulokset. Keväällä 2005 tutkintalautakunnalle toimitettiin varustamon Rauman toimistosta löytyneet, vuonna 1996 alukseen tehtyjen muutosten johdosta suoritettavat laskelmat.

Tutkintalautakunta teetti vakavuuslaskuja Ship Consulting Ltd:llä, joka oli tehnyt PEGASOSin kallistuskokeen hieman ennen onnettomuutta. Näiden aineistojen ja vakavuuslaskelmien pohjalta tutkintalautakunta on analysoinut aluksen vakavuutta.

Lastitilanteesta saatujen ristiriitaisten tietojen johdosta tutkinnan vakavuuslaskelmissa on käytetty kolmea lastitilannetta. Aluksen vakavuus näissä lastitilanteissa poikkeaa toisistaan, ja vakavuus onnettomuusmatkalla sijoittuu todennäköisesti niiden rajoittamaan

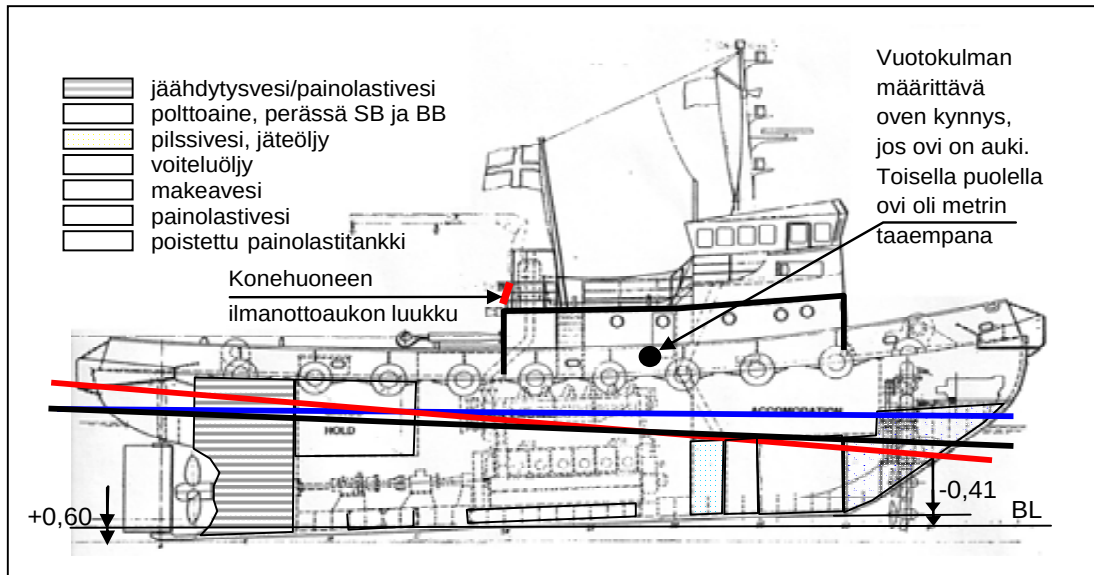
haarukkaan. Aluksen tankkijärjestely ja näitä kolmea lastitilannetta vastaavat kellumisvesiviivat on esitetty kuvassa 25. Tilanteet on eritelty seuraavassa taulukossa 3. Lastitilanteista on käytetty nimityksiä "kallistuskoe", "tankkitiedot" ja "syväystiedot". Onnettomuusmatka oli todennäköisesti ensimmäinen kallistuskokeen jälkeinen operointitehtävä¹¹¹. "Kallistuskoe" vastaa tilannetta, jossa lastitilanne oli muuttunut vain matkalla Naantali–Helsinki kuluneen polttoainemäärän, kertyneen jäteöllyn ja pilssiveden sekä poistettujen kallistusainojen johdosta. Kaksi muuta lastitilannetta vastaa meriselityksessä annettuja tietoja. Tilanteessa "tankkitiedot" syväydet ja uppouma on laskettu meriselityksen tankkien täytöstietojen pohjalta. Tilanteessa "syväystiedot" on etsitty parhaiten meriselityksen syväystietoihin sopivat tankkien täytökset.

Taulukko 3. Onnettomuustilannetta haarukoivat lastitilanteet

	Kallistuskoe	Tankkitiedot	Syväystiedot
Uppouma, tonnia	369,7	408,5	427,6
Keskisyväys (BL), m	3,25	3,41	3,61
Syväys keulassa (BL), m	2,89	2,55	3,54
Syväys perässä (BL), m	3,62	4,26	3,69
Peräviippaus, m	0,73	1,71	0,15
Syväys keulassa (köli), m	2,47	2,14	3,13 (ilmoitettu 3,1)
Syväys perässä (köli), m	4,22	4,86	4,29 (ilmoitettu 4,3)

PEGASOSin alkuperäinen vakavuus ja sen muutokset

Aluksen alkuperäinen vakavuusaineisto koostui rakentajatelakalla vuonna 1968 laaditusta vakavuusaineistosta sekä vuonna 1993 tehdyistä hinaustilanteen vakavuuden laskelmista.



Kuva 25¹¹². PEGASOSin yleisjärjestelypiirustuksen sivukuvanto. Kuvaan on lisätty tankkitiedot, vaihtoehtoiset kellumisvesiviivat ja vuotokulman määrittävän oven kynnyksen paikka. (Vesiviivat vastaavat eri lastitilanteita seuraavasti: sininen "syväystiedot", musta "kallistuskoe" ja punainen "tankkitiedot").

¹¹¹ On myös mahdollista, että polttoainetta otettiin lisää ennen avustukseen lähtöä.

¹¹² Todellisuudessa hinauskoukku ja nosturi olivat toisenlaiset ja keulapotkuri oli pari kaariväliä taaempana.

Keulapiikin takana olevasta painolastitankista erotettiin vuonna 1994 makeavesitankki ja jäljelle jäänyt osa muutettiin polttoainetankiksi. Vuonna 1996 alukseen asennettiin keulapotkuri, jolloin keulapiikkitankki jäi pois käytöstä. Vuoden 1996 muutosten vaikutus vakavuuteen selvitettiin laskelmin, joita ei kuitenkaan hyväksytetty viranomaisilla. Nämä muutokset ja laskelmat tehtiin PEGASOSin edellisen omistajan aikana. Aluksen päälliköllä ja Håkansilla oli tiedossa, että aluksen paino oli jonkin verran noussut.

Siitä ei ole tietoa, miten hyvin aluksen muuttuneet paino- ja tankkitiedot otettiin huomioon operoinnin yhteydessä käytettäessä aluksen ainoata vakavuusaineistoa, joka oli alkuperäinen.

Rakentajatelakan Falkenbergs Varv AB 27.1 1968 tekemän kallistuskokeen mukaan hinaajan tyhjäpaino oli 281,4 t ja painopisteen korkeus perusviivasta 3,48 m ja etäisyys 0-kaaresta 12,02 m. Telakan vakavuusaineistossa oli laskettu seitsemän lastilannetta, joissa peräviippaus oli suurimmillaan 0,47 m.¹¹³ Laskelmien mukaan hinaajan staattinen ja dynaaminen vakavuus oli tuolloisten ruotsalaisten kriteerien mukaan riittävä. Mitään erillistä hinaustilanteen laskelmaa ei sisällynyt aineistoon. Laskelmiin sisältyi 0,7 t–3,4 t nimikkeellä "miehistö ja muonavarastot" lastitilanteesta riippuen. Voiteluöljytankissa oli kaikissa lastitilanteissa 2,9 tonnia öljyä.

Mäntyluoto Tugs Service Oy:n ostettua hinaajan Suomeen, varustamo lähetti 13.5.1993 rakentajatelakan vakavuusaineiston hyväksyttäväksi MKL:lle. Aineisto palautettiin 18.5.1993 seuraavin huomautuksin: "aineistoa lähetetty 1 kpl" ja "aluksen vakavuus hinattaessa puuttuu". Varustamo teetti vaaditut lisäykset vakavuuslaskelmiin¹¹⁴ marraskuussa 1993. Laskelmissa käytettiin kahta heikoimmaksi arvioitua lastitapausta rakentajatelakan alkuperäisestä aineistosta. Laskelmien tulokset ovat kuvissa 26. Molemmissa tapauksissa alus täytti selvästi vaatimukset¹¹⁵. Edellä oleva ja tämä aineisto muodostivat tutkinnassa nimetyn "alkuperäisen" aineiston.

Vuonna 1994 aluksen keulaosan tankkijärjestelyä muutettiin tarkoituksena saada pitkille hinausmatkoille enemmän polttoainetta ja makeaa vettä. Kaarien 33 ja 35 väliin painolastitankkiin rakennettiin keskeltä jaettu makeavesitankki ja kaarien 35 ja 40 välillä painolastitankki muutettiin polttoainetankiksi. Tutkinnassa ei ole löydetty näitä muutoksia koskevia piirustuksia eikä vastaavia vakavuuslaskelmia. Nämä muutokset on päätelty eri lähteistä tulleista tiedoista.

Aluksen siirryttyä Suomen Merisukellus Oy:lle siihen asennettiin keulapiikkitankkiin keulapotkuri vuonna 1996. Tankki jäi pois käytöstä. Omistaja teetti vakavuuden tarkistuslaskelmat heinäkuussa 1996¹¹⁶. Laskelmissa arvioitiin muuttuneiden painojen vaikutus vakavuuteen.

Painon lisäykseksi arvioitiin tuolloin 8,6 tonnia. Painopisteen arvioitiin alentuneen 1 cm sekä siirtyneen keulaan päin 29 cm. Vakavuuslaskelmat pohjautuivat alkuperäisiin dokumentteihin. Ne tehtiin tyhjälle alukselle sekä neljälle lastitilanteelle, joissa peräviippaus

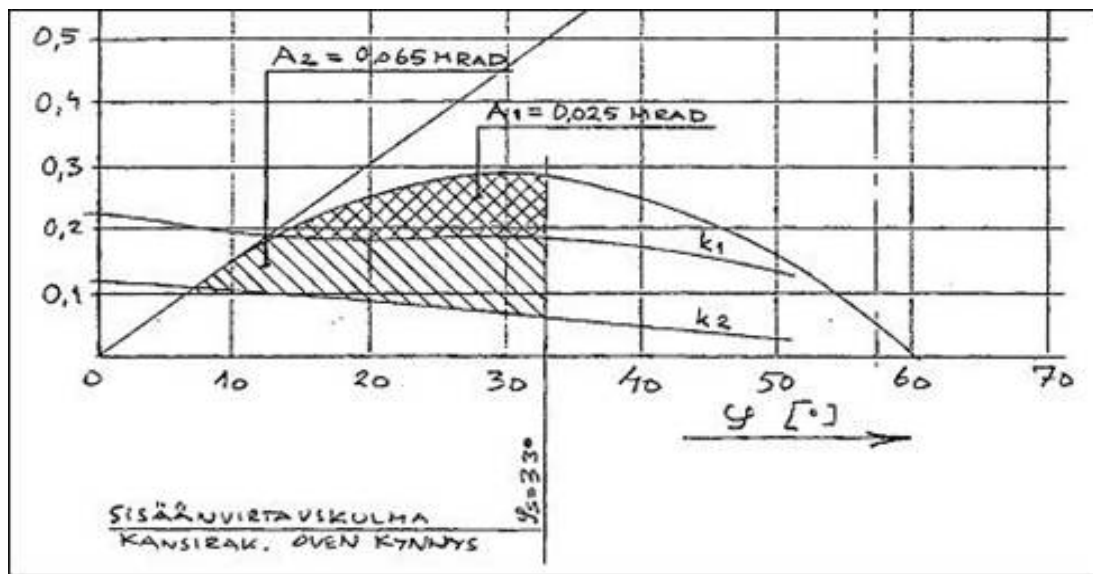
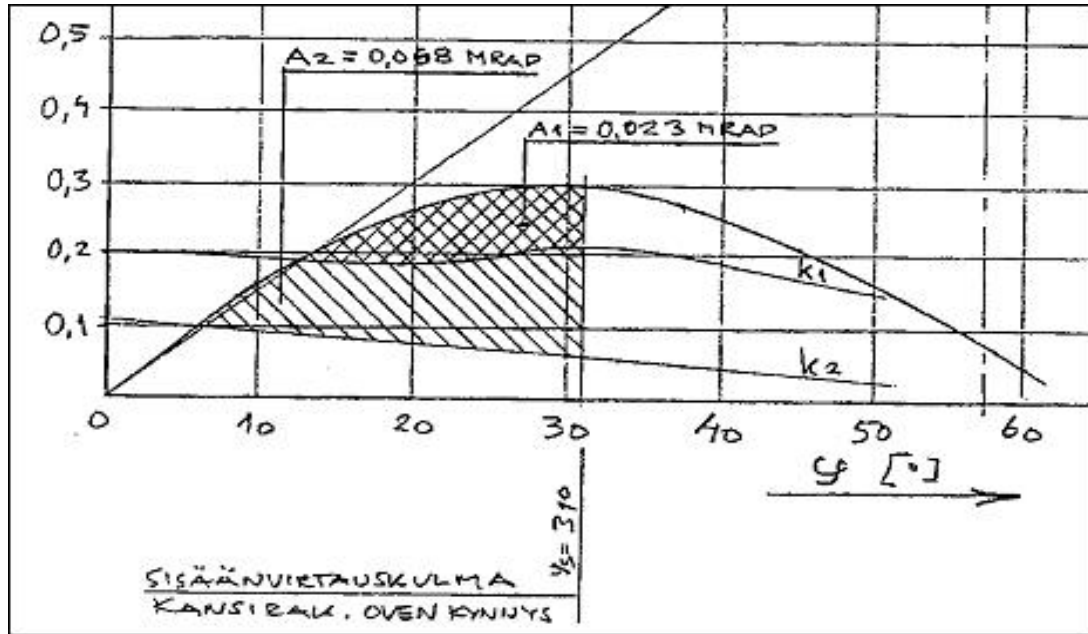
¹¹³ M/S BJÖRN VAKAVUUS, Insinööritoimisto ILS 17.11.1993 (sisältää Falkenbergs Varv AB:n tekemän kallistuskokeen pöytäkirjan ja ko. telakan vakavuuslaskelmat)

¹¹⁴ Merenkulkuhallituksen päätös hinaajien vakavuudesta. Merenkulkuhallituksen tiedotuslehti 17/85 9.12.1985

¹¹⁵ Pinta-aloiksi A_1 ja A_2 , jotka vastaavat vakavuusvarustusta (vastaavan kallistavan momentin k_1 ja k_2 ja GZ-käyrän väliin jäävä pinta-ala tiettyyn maksimikulmaan asti) saadaan $>0,01$ mrad. Vakavuusvaatimuksia on käsitelty tarkemmin liitteessä 2.

¹¹⁶ Tug Rauma III (Ex Björn -96), Stability, Kankare Engineering Oy 26.th July 1996

vaihteli 45 ja 83 cm välillä. Vakavuuden peruskäyrissä ei otettu huomioon kasvaneen viippauksen vaikutusta.



Kuva 26¹¹⁷. Ote vuonna 1993 tehtyjen, MKL:n vaatimien vakavuuden lisälaskelmien tuloksista. GZ-käyrät ovat rakentajatelakan vuonna 1968 laskemat. Insinööri-toimisto ILS laski kallistavat momenttivarret k_1 ja k_2 MKL:n määräysten kaa-vojen avulla. Kallistava varsi k_1 ja oikaisevaa työtä kuvaava pinta-ala A_1 vastaavat poikittaisvetotilannetta 2,5 m/s. Kallistava varsi k_2 ja pinta-ala A_2 vastaavat tilannetta, jossa osa potkurin työnnöstä suuntautuu sivulle. Tällä hinaajalla poikittaisvedosta johtuva kallistuma on huomattavasti suurempi kuin potkurin työnnöstä johtuva, ($A_2 > A_1$). Kallistava momentti k_1 vastaa hinauskaaren sädettä 4 m ja k_2 paaluvetoa 16,9 tonnia.

¹¹⁷ Ylemmässä kuvassa kallistavan varren k_1 arvon tulee olla 0,22 m kallistuskulmalla 0 astetta, virhe on alkuperäisissä laskelmissa.

Laskelmien mukaan vakavuus oli pysynyt suunnilleen ennallaan. Hinaustilanteen vakavuutta ei tarkistettu. Samassa yhteydessä nosturi vaihdettiin tehokkaampaan ja raskaampaan, mutta tätä vaikutusta ei yllämainituissa laskelmissa ole näkyvissä. Kaikesta päätellen mitään yhteydenottoa MKL:een ei otettu vaikka alukseen oli asennettu keulapotkuri¹¹⁸. Nämä signeeraamattomat laskelmat, jotka löytyivät keväällä 2005, eivät olleet tiedossa aluksella eivätkä myöskään nykyisellä operointivarustamalla.

Aluksella olevaa alkuperäistä vakavuusaineistoa korjaavia vakavuuslaskuja ei siis muutosten johdosta tehty. Aluksen päällikön käytännöstä riippuen aluksen lastitilanteiden peräviippaus todennäköisesti kasvoi vakavuusaineiston mukaisista 0,5–1,0 m. Vuosien mittaan PEGASOSilla oli useita päälliköitä. Tutkinnassa ei ole selvitetty, miten he mahdollisesti ottivat huomioon tiedossaan olleet muutokset tai miten he sovelsivat aluksessa olevaa vakavuusaineistoa arvioidessaan aluksen vakavuutta. Tutkinnassa ei ole myöskään saatu selville millaisissa lastitilanteissa hinaajaa on yleisimmin käytetty.¹¹⁹

Onnettomuushetkellä vakavuusaineistona olivat siis vuoden 1968 alkuperäiset seitsemän lastitapausta ja niistä hinaustilanteisiin vuonna 1993 lasketut kaksi tapausta. Lisäksi täytyi olla tiedossa, että aluksen paino oli jonkin verran kasvanut ja että keulapiikitankki oli jäänyt pois käytöstä. Aluksella ollut hydrostatiikka ja vakavuuden peruskäyrät antoivat mahdollisuuden laskea vakavuus muissakin lastitilanteissa viippauksen ollessa pieni. Tutkinnan yhteydessä varustamolta saatiin tutustumista varten Excel-ohjelmaan rakennettu hinaajille tarkoitettu **laskentapohja**¹²⁰. Siihen on syötettävä aluskohtaiset hydrostaattiset - ja vakavuuden perustiedot, tankkitiedot yms. Sen jälkeen voidaan laskea vallitseva GZ-käyrä ja hinauskriteeri. Tutkinnan käyttöön on saatu vain tyhjä pohja ilman alustietoja. Ei ole saatu selvitettyä millaiset alustiedot olivat ja miten tätä laskentapohjaa käytettiin.

Kriteeri A_1 (poikittaisveto) on PEGASOSin tapauksessa selvästi vaativampi, minkä vuoksi jatkossa kriteeri A_2 (sivuttaistyöntö) on jätetty käsittelemättä.

Poikittaisnopeus

MKL:n sääntöjen vaatima poikittaisnopeuden raja-arvo 2,5 m/s (4,9 solmua) on useissa mallikokeissa todettu järkeväksi rajaksi. Vanhalla hinaajalla MKL voi sallia käytettävän pienempää arvoa. Kallistava momentti on verrannollinen poikittaisnopeuden neliöön, joten nopeuden pienetkin muutokset ovat merkittäviä.

Erityisesti on huomattava, että poikittaisnopeus koostuu kahdesta osasta: avustettavan nopeudesta ja sen potkurin jättövirran nopeudesta hinaajan kohdalla. Hinauskriteerin laskennassa nopeus on 2,5 m/s, joka on selkeä arvo. Avustuksen aikana hinaajan kohtaaman nopeuden määrittäminen sisältää epätarkkuustekijöitä. Aluksen nopeus kyetään mittaamaan kohtalaisen tarkasti, esim. $\pm 0,2$ m/s. Sen sijaan mahdollisten virtauksien tai

¹¹⁸ MKL:n määräysten mukaan keulapotkurilla varustetun hinaajan vakavuus joutuu erityistarkasteluun. Vuonna 1997 oli tehty paaluvetokoe, jonka tulos (21 t) erosi vuonna 1993 tehdyissä hinaustilanteen vakavuuslaskuissa käytetystä (16,9 t). Tämän johdosta olisi kallistavan momentin varsi k_2 pitänyt korjata vastaamaan uutta paaluvetoarvoa.

¹¹⁹ Meriselityksen lisäkäsittelyssä POSEIDONin päällikkö kertoi peräviippauksen olleen silloin, kun hän oli aluksen päällikkönä "puoli metriä taikka yli".

¹²⁰ Lasten Häkans.xls

avustettavan potkurin jättövirran nopeuksia ei kyetä mittaamaan, vaan ne joudutaan arvioimaan. Raja 2,5 m/s on asetettava huomattavasti pienemmäksi, jos on odotettavissa, että hinaaja työskentelee virtaavassa vedessä tai joutuu avustettavan potkurin jättövirtaan.

Tutkinnassa on tarkasteltu kolmea tässä onnettomuudessa merkittävää potkurin jättövirran vaikutustapaa. 1) Potkurin jättövirran **kallistava vaikutus**. Tällöin selvitetään potkurin jättövirran hinaajaan osuvan nopeusjakautuman keskimääräinen suuruus koko pintalalle tasattuna. Tämä nopeus lisätään pohjanopeuteen. 2) Potkurin jättövirran **kääntävä vaikutus**. Potkurin jättövirta osui PEGASOSin perään, ensin sen peräsimeen ja hinaajan ajautuessa keskemmälle, sen peräosaan. Tällöin on kyseessä suurempi virtausnopeus kuin edellä. Nyt lasketaan osumisalan keskimääräinen nopeus. 3) Potkurin jättövirran **patoaaltovaikutus**. Potkurin jättövirran veden pinnan lähellä oleva nopeus aiheuttaa hinaajaan osuessaan patoaallon, joka voi tuoda vettä kannelle. Näitä on tarkasteltu lähemmin liitteessä 2.

Hinauskaaren säde

Vuonna 1993 tehdyissä hinaustilanteen¹²¹ laskelmissa oli käytetty hinauskaaren säteenä 4 m. Se oli mitattu yleispiirustuksesta¹²². Tutkinnan käyttöön ei ole saatu tällaista yleispiirustusta. Kuvan 25 yleispiirustuksessa hinauskaaren säde on noin 2,7 m. Koukun rakenne oli kuitenkin toisenlainen ja se on esitetty kuvissa 3a ja 3b. Varustamon nettisivulla oli aluksen yleiskuvan sivukuvanto, jossa hinauskoukku oli todellisuutta vastaava. Kuvasta mitattuna koukun koko pituus oli noin 4 m, ja niveleen noin 3 m. Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan hinauskaaren säteeksi tulee ottaa 2,9 m (kuva 3b).

Hinauskaaren säteellä 4,0 m saatiin kriteeriksi 0,026 mrad ja säteellä 2,9 m 0,018 mrad. Jälkimmäisellä säteellä kallistumista vastustava reservityö pienenee 30 %. Hinauskaaren säteellä on siten merkittävä vaikutus hinaajan turvallisuudelle, joten sekä varustamon, että MKL:n tulisi olla selvillä todellisesta säteen arvosta.

Tutkintalautakunnan laskelmissa on käytetty hinauskaaren säteenä pääasiassa 2,9 m ja paikoin vertailun vuoksi 4,0 m.

Muutosten vaikutus PEGASOSin vakavuusaineistoon

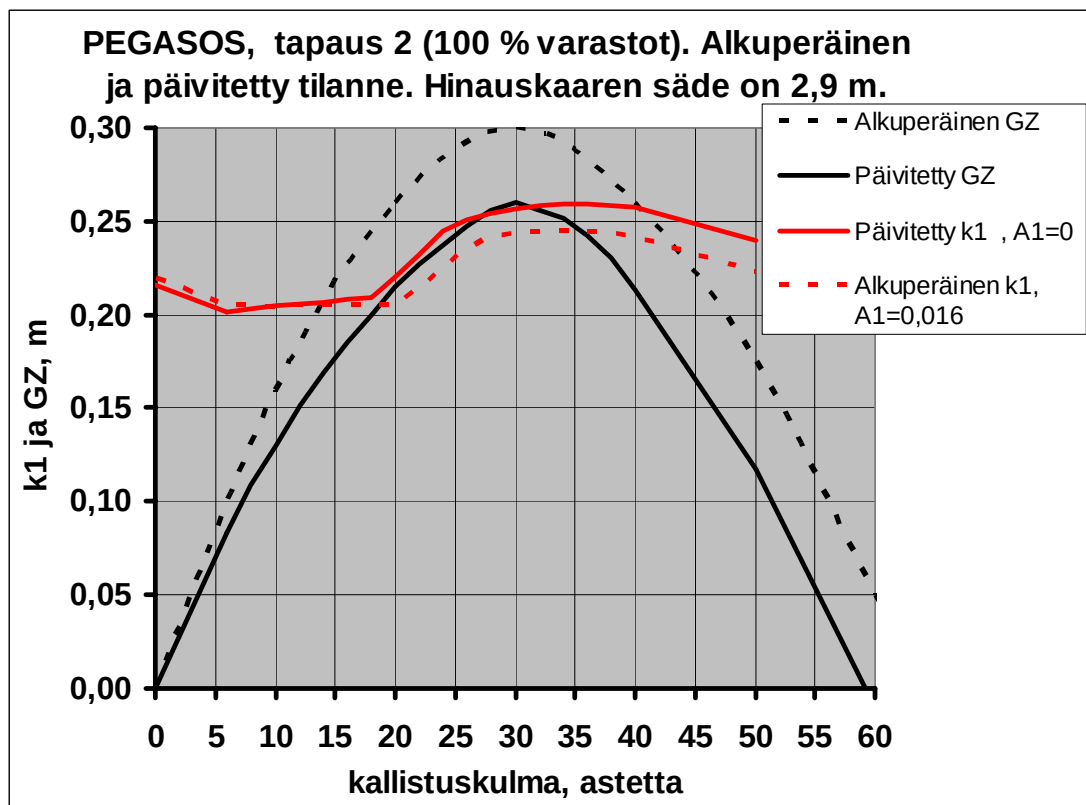
Onnettomuustilanteen vakavuutta on tarkasteltu kahdesta näkökulmasta. **Ensinnä**, miten aluksen alkuperäinen vakavuusaineisto täytti MKL:n hinaajille asetetut vaatimukset muuttuneilla alustiedoilla. **Toiseksi**, miten alus täytti MKL:n vaatimukset onnettomuushetkellä ja millainen aluksen vakavuus oli, kohta 1.5.5. Näiden kahden tarkastelutavan erona on se, että edellisessä tapauksessa kansirakennuksen ensimmäinen kerros ei ollut mukana muotovakavuutta laskettaessa. Jälkimmäisessä tapauksessa ensimmäinen kerros oli mukana, minkä johdosta aluksen tilanteesta sen kaatumisen aikana on voitu esittää todenmukaisempi käsitys. Mahdolliset uudet, korjatut laskelmat olisivat saattaneet perustua siihen, että ensimmäinen kerros on mukana.

¹²¹ Ks. kuva 26. Kriteeri A₁ lasketaan tilanteessa, jossa hinaajaa kohtaa sivuttain virtauksen, jonka nopeus on 2,5 m/s.

¹²² Maininta insinööritoimisto ILS:n laskelmissa 17.11.1993

Insinööritoimisto Ship Consulting Ltd oli tehnyt PEGASOSille kallistuskokeen 3.11.2003 Naantalissa aluksen ollessa telakoituna huoltokorjauksia varten. Kallistuskokeen tulokset valmistuivat 19.11.2003 eli kuusi päivää onnettomuuden jälkeen. Aluksen tyhjäpaino oli 318 t, painopisteen korkeus perusviivasta 3,56 m ja etäisyys 0-kaaresta 12,34 m. Alkuperäisistä vuoden 1968 tiedoista paino oli kasvanut 33,2 tonnia eli 11,8 %. Painopiste oli siirtynyt 32 cm keulaan päin ja noussut 11 cm eli 3,2 %. Kallistuskokeessa voiteluöljytankki (2,9 t) oli sisällytetty tyhjäpainoon mikä on vertailussa otettu huomioon. Uutta vakavuusaineistoa ei enää tehty, koska alus oli uponnut.

Nämä uudet tyhjän aluksen arvot olivat seurausta PEGASOSiin vuosien varrella tehdyistä muutoksista. Seuraavissa kuvissa 27a ja 27b on esitetty aluksen oikaiseva varsi (GZ) ja kallistava varsi (k_1) ennen ja jälkeen näitä muutoksia kahdessa lastitapauksessa. Niissä on käytetty hinauskoukun säteenä 2,9 m, joka tutkijoiden käsityksen mukaan on oikea arvo.

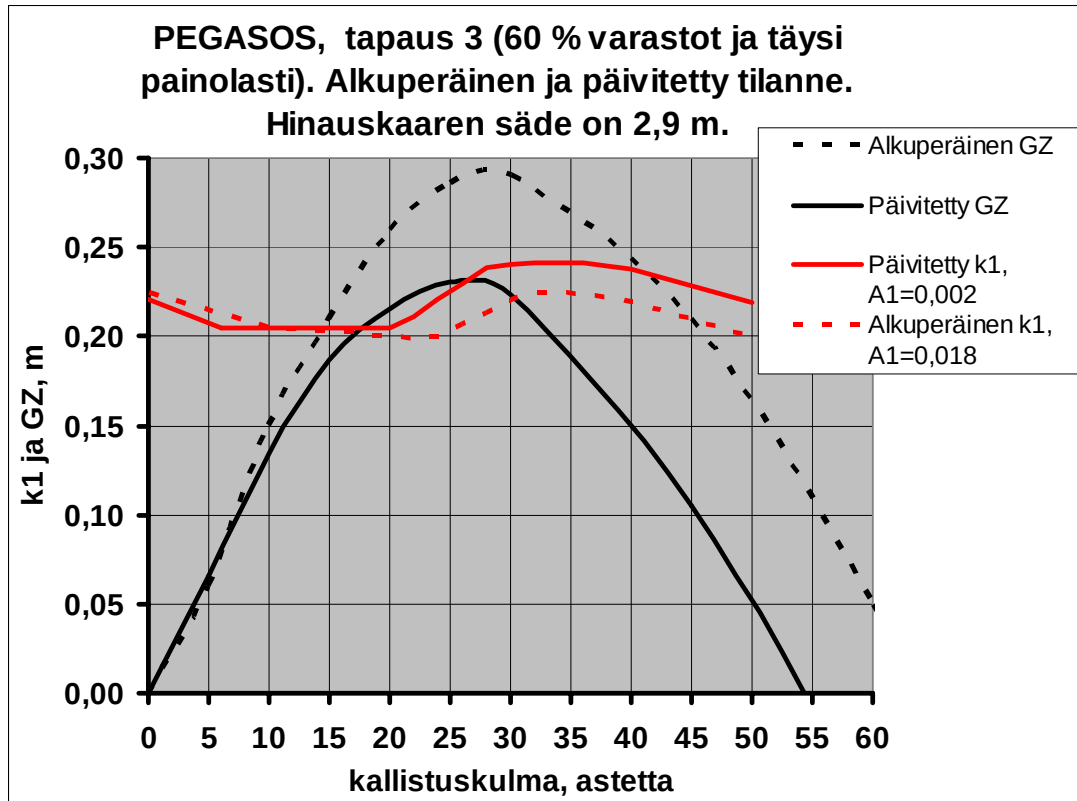


Kuva 27a. Lastitapaus 2, alkuperäiset ja muuttuneet GZ, k_1 ja A_1 .

Muutokset johtuvat tyhjän aluksen painopisteen noususta (11 cm) ja keulapiikkitankin poistumisesta (painopiste noin metrin aluksen painopisteen alapuolella). Lisäksi painon (uppoaman) kasvun johdosta kannen veteenmeno- ja vuotokulma olivat pienentyneet. Myös vakavuuden peruskäyrät olivat hieman huonontuneet (syväysliissä käyttöuppoamalla noin 20 cm). Peräviippaus kasvoi noin 20 cm, mutta sen muotovakavuutta huonontavaa vaikutusta ei ole otettu huomioon.

Nämä laskelmat olisi tehty, jos onnettomuutta ei olisi tapahtunut. Laskelmien tuloksena olisi ryhdytty vakavuutta korjaaviin toimenpiteisiin. Painon ja siten myös syväyden li-

säämisen rajan olisi määrittänyt minimivaralaita. Maksimiuppouma olisi ollut noin 448,5 tonnia, syväys 3,735 m.



Kuva 27b. Lastitapaus 3: alkuperäiset ja muuttuneet GZ, k_1 ja A_1 .

Kuvissa 27a ja 27b on esitetty alkuperäiset lastitapaukset 2 ja 3. Muutokset vaikuttavat heikentävästi GZ-käyrään. Aluksen uudelleen lasketut käyrät olisivat saattaneet olla esitettyäkin heikompia, sillä kasvaneen viippauksen vaikutusta ei ole otettu huomioon. Kun samalla kasvaneen syvyyksen johdosta kallistava varsi k_1 on kasvanut ja vuotokulma pienentynyt, heikkenee kriteeri A_1 voimakkaasti. Näissä lastitapauksissa osa vaatimuksista täyttyy, mutta hinauskriteeri A_1 , vakavuuslaajuus ja GZ-käyrän pinta-alavaatimus eivät täyty. Muita lastitapauksia ei ole tarkasteltu, mutta niissä oletetaan trendin olevan saman. Voidaan todeta, että aluksella ollut vakavuusaineisto ei vastannut aluksen tilaa, eikä se täyttänyt MKL:n hinaajille asettamia vaatimuksia.

1.5.5 PEGASOSin vakavuus onnettomuustilanteessa

Taulukossa 4. on esitetty miten alus täytti tutkinnassa tehdyissä laskelmissa MKL:n eri vakavuuskriteerit hinauskaaren säteillä 2,9 m ja 4,0 m vaihtoehtoisissa onnettomuustilannetta haarukoivissa lastitilanteissa (taulukko 3). Koska tarkastelun näkökulmana ovat aluksen selviämismahdollisuudet suurilla kallistuskulmilla, niin kansirakennuksen ensimmäinen kerros on otettu mukaan laskuissa suljettuna tilana.

Paksulla fontilla on merkitty arvot, jotka eivät täytä MKL:n vaatimuksia. Yhdessä mahdollisessa lastitapauksessa PEGASOS täytti staattisen vakavuuden kriteerit niiden ala-

rajalla. Hinauskriteerin arvo sen sijaan ei täytynyt missään lastitilanteessa. Näennäisesti rajanopeus ei ollut kaukana. Hinauskriteerin arvo on verrannollinen nopeuden toiseen potenssiin, joten pienikin nopeuden kasvu kasvattaa kallistavaa momenttia merkittävästi. Hinauskaaren säteen muutos 2,9 metristä 4,0 metriin nostaa rajanopeutta vain hieman.

PEGASOSin hinauskaaren säteeksi tulee laskelmissa ottaa 2,9 m. Lastitilanteessa, jossa staattiset vakavuusmääräykset juuri ja juuri täyttyvät, ei vakavuus ollut riittävä hinaus-tilanteessa.

Taulukko 4. MKL:n vakavuuskriteerien täyttyminen taulukon 3 eri lastitilanteissa ja hinauskaaren kahdella arvolla. (Tummennetut arvot eivät täytä vaatimuksia).

Vakavuuskriteeri	Vaatus	"kallistuskoe"		"tankkitiedot"		"syväystiedot"	
		r = 2,9	r = 4,0	r = 2,9	r = 4,0	r = 2,9	r = 4,0
Vakavuutta heikentävä tekijä		vapaa nestepinta		suuri peräviippaus		vapaa nestepinta	
GZ:n maksimiarvo	≥ 0,20 m	0,20 m		0,17 m		0,21 m	
GZ:n maksimin kulma	≥ 25°	30		22		30–50	
GZ, kun kulma ≥ 30°	≥ 0,20 m	0,20 m		0,16 m		0,21 m	
GM	≥ 0,15	0,34 m		0,60 m		0,55 m	
Vakavuuslaajuus*	≥ 60°	>60/42		65/40		>60/35	
Ala 0°–30° (mrad)	≥ 0,055	0,059		0,063		0,068	
Ala 30°–40° (tai vuoto-kulma)	≥ 0,030	0,031		0,022		0,018	
Ala 0°–40° tai vuotokulma)	≥ 0,090	0,090		0,085		0,086	
Hinauskriteeri A ₁ (mrad)	≥ 0,01	0,001	0,008	0	0	0	0,003
Rajanopeus (m/s)	2,5	2,25	2,45	2,02	2,16	2,20	2,35

* Vakavuuslaajuus on esitetty muodossa: kulma, jossa GZ>0 kaikkien aukkojen ollessa säätiiviisti suljettuna/vuotoaukon (kansirakennuksen ovi pääkannella) rajoittama kulma. Laskelmissa on mukana kansirakennuksen ensimmäinen kerros.

Tarkastellut lastitilanteet poikkeavat vakavuuteen vaikuttavien tekijöiden osalta toisistaan. Lastitilanteissa "kallistuskoe" ja "syväystiedot" vapaiden nestepintojen vakavuutta heikentävä vaikutus on merkittävä. Tilanteessa "tankkitiedot" vakavuutta heikentää suuri peräviippaus (1,7 m).

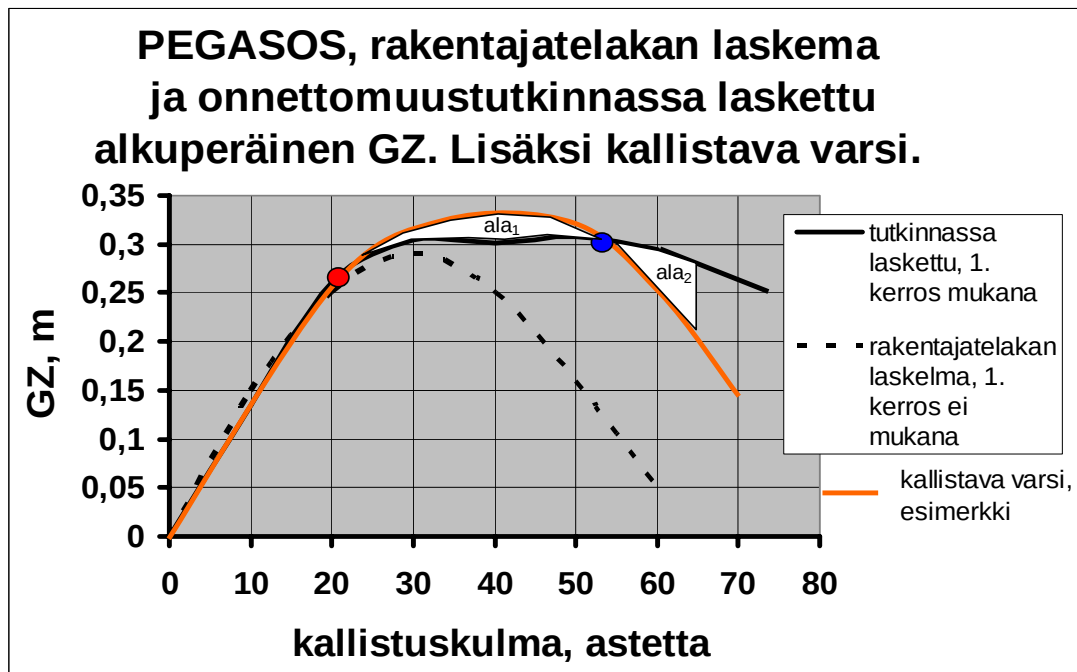
Tutkinnassa ei ole selvitetty, millaiset tulokset PEGASOSille olisi saatu MKL:n määräysten mukaisissa lastitilanteissa. Liitteessä 2 on laskettu esimerkki kiinteän painolastin vaikutuksesta vakavuuteen. Kallistuskokeen tulosten selvittyä varustamo olisi joutunut tekemään PEGASOSille vakavuutta korjaavat toimenpiteet ja teettämään nämä laskelmat ja hyväksyttämään vakavuusaineiston MKL:lla, mikäli onnettomuutta ei olisi tapahtunut.

Tutkinnassa tehtyjen ja alkuperäisten laskelmien eroavaisuudet johtuvat alukseen tehtyjen muutosten lisäksi toisaalta eroista suljettujen tilojen määrittelyissä ja painoposi-

tioiden erilaisesta sisällyttämisessä tyhjäpainoon sekä toisaalta laskentatekniikan kehitymisestä.

Miehistö ja muonavarasto on tutkinnassa teetetyissä laskelmissa sisällytetty tyhjäpainoon, koska ne ovat avustustilanteessa hyvin pienet. Voiteluöljy oli sisällytetty tyhjäpainoon kallistuskokeessa. Myös kansirakennuksen ensimmäinen kerros on mukana suljetuna tilana. Alkuperäisissä laskelmissa tämä kerros ei ollut mukana. Tällä seikalla on merkittävä vaikutus aluksen vakavuuteen yli 30 asteen kallistuskulmilla. Hinaaja saattaa joutua tilanteisiin, joissa sen kallistuma voi olla 60–70 astetta tai ylikin. Kansirakennuksesta johtuva vakavuusreservi selittää sen, että hinaajat ovat vaaratilanteissa oienneet koukun laukaisun jälkeen suuristakin kallistumista. Edellytyksenä on kuitenkin, että veden joutuvat aukot ovat säätiiviisti suljetut. Myös kallistumisen kestolla on suuri merkitys.

Kuvassa 28 on esitetty PEGASOSin ensimmäisen kerroksen vaikutus aluksen GZ-käyrään. PEGASOSilla oli siis todellisuudessa vakavuusreserviä verrattuna alkuperäisiin laskelmiin yli 30 asteen kallistuskulmilla, mikäli kansirakennuksen teräsovet olisivat olleet säätiiviisti¹²³ suljettu. Onnettomuustilanteessa vuotokulma oli noin 34–42 astetta riippuen haarukoivasta lastitilanteesta, koska teräsovi (kuva 25.) oli auki. Jos se olisi ollut kiinni, vuotokulman olisi määrittänyt konehuoneen ilmanottoaukko noin 65 asteen kallistuskulmalla. (Sääntöjen mukaisissa vakavuuskriteerien laskelmissa suurimpana vuotokulmana käytetään 40 astetta, vaikka se todellisuudessa olisi suurempikin.)



Kuva 28. Alkuperäinen lastitilanne 3. Laskettuna myös kun ensimmäinen kerros on säätiivis. Kuvaan on merkitty myös kallistavan momentin varsi, joka ensimmäisessä vaihtoehdossa kasvaa arvoon 0,26 m ja toisessa vaihtoehdossa arvoon 0,33 m.

¹²³ Varalaitasääntöjen mukaan ovi on säätiivis, jos se on varustettu tiivistein ja voidaan sulkea luotettavasti, esim. salvoin. Materiaalin tulee olla terästä tai vastaava. Sen tulee estää veden pääsy alukseen kaikissa meritilanteissa.

Tarkastellaan tilannetta ilman 40 asteen vuotokulmarajoitusta. Kuvaan on merkitty myös kallistavan varren kaksi periaatteessa erilaista kulkua. Jos varsi ei ylitä GZ:n maksimiarvoa, alus kallistuu noin 20 asteeseen (punainen piste, katso myös kuvaa 27b). Jos kallistava varsi ylittää GZ:n maksimiarvon, alus kallistuu hetkellisesti noin 65 asteeseen (dynaaminen kallistuma, laskettuna pinta-alojen avulla, $ala_1 = ala_2$) ja jää noin 52 asteen kallistumaan (sininen piste), jos alukseen ei pääse vettä. Alus kaatuu, jos GZ-käyrä on jonkin verran huonompi. Pienen tai suuren kallistuman aiheuttavan kallistavan varren erotus on melko pieni johtuen siitä, että kallistava varsi yleensä kasvaa kallistuskulman ylittäessä noin 25 astetta, vaikka nopeus ei kasvaisi. Lisäksi kallistava varsi on verrannollinen nopeuden neliöön, joten jo pienikin poikittaisnopeuden kasvu saattaa kasvattaa kallistuman alle 30 asteesta yli 60 asteeseen. Jos kallistava momentti vaikuttaa hyvin nopeasti, ensimmäisen kerroksen merkitys vakavuutta parantavana korostuu. Esimerkiksi (kuva 28), ilman ensimmäisen kerroksen vaikutusta alus kestää noin 0,19 m kallistavan varren mutta ensimmäinen kerros mukana vakavuudessa noin 0,24 m¹²⁴. Tarkemmin suuria kallistuskulmia on käsitelty liitteessä 2.

Kansirakenteen oikaiseva vaikutus lisää hinaajan turvallisuutta nopeissa suurissa kallistumissa, jos veden virtaaminen sisätiloihin estyy tai kestää vain lyhyen aikaa ja koukku saadaan laukaistua nopeasti. Päällikön tulee tietää vakavuuslaskelmien lähtökohdat ja huolehtia olosuhteiden mukaan mm. ovien ja muiden aukkojen asianmukaisesta sulkeamisesta.

Tutkimuslautakunnan teettämät laskelmat on tehty NAPA-ohjelmistolla, joka ottaa huomioon aluksen asennon muuttumisen (syväyksen pieneneminen ja peräviippauksen kasvu) kallistumisen aikana (hydrostaattinen tasapaino). Vuoden 1993 hinauslaskelmien tulokset perustuvat tasakölitilanteeseen ja geometriseen tarkasteluun kannen veteenmenokulman määrittämisessä. NAPA-ohjelmistolla laskettaessa aluksen eri kohtien veteen menokulmille saatetaan saada eri tuloksia kuin geometrisessa tarkastelussa.

Kriittisten kohtien veteenmenokulmat

Aluksen kallistuessa sen vakavuus huononee kannen reunan ja aukkojen joutuessa veteen. PEGASOSissa on tarkasteltu seuraavia vakavuuteen oleellisesti vaikuttavien kriittisten kohtien veteenmenokulmia: kannen reuna, klyysiaukko, partaan reuna, avoinna olleen kansirakenteen teräsoven kynnys ja konehuoneen ilmanottoaukon kulma.

PEGASOSin kannen reunan joutuessa veteen, alkoi kannelle tulla vettä partaan pienistä valumisaukoista. Kallistumisen lisääntyessä klyysiaukot joutuivat veteen ja veden tulo kannelle nopeutui. Vakavuus huononi kannen painuessa veteen, koska vesiviivapinta-ala pieneni. Nopean kallistumisen aikana alus käyttäytyi kuitenkin ikään kuin sen laita olisi ehjä klyysiaukkojen korkeudelle asti. Senkin jälkeen parras hidasti kallistumista, kunnes sen reuna joutui veteen. Jos alus kallistui hitaasti, se käyttäytyi ikään kuin sillä ei olisi parrasta. PEGASOSin kallistumista voidaan partaan vaikutuksen kannalta katsoen pitää nopeana klyysien jouduttua veteen. Partaan vaikutusta on käsitelty liitteessä 2.

¹²⁴ Nopean kääntymisen johdosta syntyy kallistavaa energiaa (kolmiomainen pinta-ala, jota rajoittavat GZ-akseli, GZ-käyrä ja kallistavan varren arvo), jota kompensoimaan tarvitaan GZ-käyrän alle jäävää pinta-alaa MKL:n vaatiman 0,01 mrad lisäksi.

Seuraavassa taulukossa on esitetty eri kohtien veteenmenokulmat. Ne perustuvat NAPA-ohjelmistolla tehtyihin laskelmiin. Suluissa olevat tulokset perustuvat tasakölitilanteessa geometriseen kallistamiseen. Kulmat on esitetty haarukkana, koska onnettomuustilanne oli kolmen lastitilanteen määrittämässä haarukassa. NAPA-laskelmilla suuri peräviippaus pienentää kannen, klyysien ja partaan veteenmenokulmia ja suurentaa oven, ilmanottoaukon ja ohjaamon siiven veteenmenokulmia. Aluksen ikkunat ja peräkannen luukut olivat säätiiviisti suljetut eikä niitä ole sen vuoksi tarkasteltu.

Taulukko 5.¹²⁵ PEGASOSin eräiden kohtien veteenmenokulmien haarukka onnettomuustilannetta haarukoivien lastitapausten perusteella määritettynä sekä NAPA-laskelmilla että geometrisellä tarkastelulla. Kansirakennuksen ovi (oven kynnyksen perimmäinen alakulma) määrittää vuotokulman, eli kulman, jolla aluksen sisätiloihin alkaa päästä vettä aluksen kallistuessa. Vakavuuslaskelmissa voidaan määräysten mukaan käyttää kuitenkin enintään 40 astetta.

Tarkasteltava kohta Korkeus perusviivasta [m] ja etäisyys keskiviivasta [m]*	Kallistuskulma, jolla menee veteen (suluissa geometrinen tulos)
Kannen reuna (4,6 ja 4,15)	8–16 astetta (13,3–17,4)
Klyysin alareuna (5,0 ja 4,0)	14–22 astetta (19,0–23,0)
Partaan reuna (5,7 ja 3,9)	20–28 astetta (28,1–31,6)
Kansirakennuksen ovi (5,3 ja 2,9)	34–42 astetta (30,1–34,6)
Ilmanottoaukko (7,4 ja 2,6)	63–68 astetta (55,5–57,6)
Ohjauspaikka ohjaamon siivellä (7,5 ja 2,0)	72–77 astetta (62,7–64,5)

**Mittoja on käytetty geometrisessä tarkastelussa. NAPA-laskelmilla vastaavat mitat riippuvat aluksen muodosta.*

Kannen veteenmenokulma vaikuttaa kallistavan momentin arvoon MKL:n laskentakaa-voissa. Esimerkiksi kulman pienetessä 14 asteesta 8 asteeseen, kallistava momentti kasvaa 50 %. Tarkemmin aihetta on käsitelty liitteessä 2.

Käännettävän keulapotkurin työnnon suunnan ja tehon muutoksia juuri ennen kaatumista ei ole tutkinnassa saatu selvitettyä. Kaatumisen aikana on keulapotkurin ohjausvipu osoittanut kellosuuntaan 9–10. Keulapotkurin avulla PEGASOSin päällikkö piti alustaan perä suunnattuna MSC HINAN perää kohti. Kun hinaajan perä osui MSC HINAN potkurin jättövirtaukseen, hinaaja kääntyi nopeasti poikittain. Keulapotkurin vaikutusta on teoreettisesti tarkasteltu liitteissä 1 ja 2. Joka tapauksessa keulapotkurin vaikutus heikkeni kallistuman ylitettyä noin 20 astetta, koska potkuri lähestyi veden pintaa ja suurilla kallistumilla tuli veden pinnan yläpuolelle.

1.5.6 Kaatumis- ja uppoamistapahtuman laskelmat

PEGASOSin ja MSC HINAN liikkeit.

Koneen käynnistyksen vaikutus. MSC HINAN kone käynnistettiin aluksen nopeuden ollessa noin yksi solmu. MSC HINA ja sen vetämänä PEGASOS alkoivat liikkua kasva-

¹²⁵ Geometrisessa tarkastelussa kulma on $\arctan((\text{korkeus perusviivasta-syväys})/\text{etäisyys aluksen keskiviivasta})$

valla nopeudella. PEGASOSin päällikkö piti alustaan keulapotkurin avulla perä kohti MSC HINAA. Tällöin PEGASOS aluksi jarrutti omilla potkureillaan MSC HINAN kiihdytystä. Kun nopeus oli noin kaksi solmua, ensin PEGASOSin peräsin, sitten sen peräosa osui MSC HINAN potkurin jättövirtaukseen. PEGASOS kääntyi nopeasti poikittain. Kallistava momentti kasvoi muutamassa sekunnissa moninkertaiseksi virtausnopeuden, pinta-alan ja vastuskertoimen lisäysten johdosta. Potkurin jättövirtauksen aiheuttama virtausnopeuden kasvu oli tutkijoiden arvion mukaan suurimmillaan 0,7–0,8 m/s (PEGASOSin ollessa poikittain suoraan MSC HINAN takana) koko PEGASOSin lateraalipinta-alalle tasoitettuna¹²⁶. Nopeuden kasvaessa työnnon ja vastuksen ero pieneni, joten suuremmilla nopeuksilla nopeuslisä oli pienempi.

Liitteen 2 laskelmien ja alusten nopeuksista saatujen VTS- ja GPS-paikannustietojen mukaan MSC HINAssa annetusta käskystä "dead slow ahead", joka annettiin yhden solmun vauhdissa, 3,0–3,5 solmun nopeuden saavuttamiseen kului PEGASOSin hinautuessa perässä noin 1½ minuuttia. Tämä vastaa hyvin liitteessä 2 tehtyjä kiihtyvyyss- ja kallistumisen etenemislaskelmia.

PEGASOSin heikon vakavuuden vaikutus. PEGASOSin kaatuminen alkoi heti sen kääntyttyä poikittain potkurin jättövirtaan. MSC HINAN nopeus oli tällöin noin 2,4 solmua (1,2 m/s). PEGASOSin kohtaama tehollinen nopeus 1,3 m/s kasvoi nopeasti noin nopeuteen 2,3 m/s. Tämä ja nopeassa kääntymisessä kallistavalle momentille kertynyt energia ylittivät PEGASOSin vakavuuden kestäkyvyn. PEGASOSin ollessa jo täysin kaatunut (90 asteen kallistuma), MSC HINAN nopeus oli noin 3,5 solmua eli 1,8 m/s. Tehollinen PEGASOSin kohtaama virtausnopeus oli tuolloin noin 4,7 solmua (2,4 m/s). Liitteen 2 laskelmien mukaan PEGASOSin vakavuus ei kestänyt yli 2–2,3 m/s staattista poikittaisnopeutta. Nopean kääntymisen johdosta tämä rajanopeus oli vain 1,7–2,0 m/s. Tällöin jäi sallituksi nopeudeksi pohjan suhteen, jolla avustettava sai vetää PEGASOSia poikittain, vain 1–1,3 m/s (2–2,6 solmua). Tutkinnassa on arvioitu, että PEGASOS olisi onnettomuustilannetta haarukoivissa lastitilanteissa kestänyt 60–80 tm staattisen kallistavan momentin. Toisaalta, MSC HINAN kiihtyvyyss-, potkuri- ja vastustietojen pohjalta saadaan liitteen 2 laskelmien mukaan kallistavan momentin maksimiarvoksi 75–85 tm ilman kääntymisestä johtuvaa dynaamista lisäystä, joka vastasi noin 15 tm.

Jos PEGASOSin vakavuus olisi ollut määräysten mukainen ja ensimmäisen kerroksen ovet säätiiviisti suljetut, kallistuminen olisi edennyt hitaammin ja ehkä pysähtynyt¹²⁷ viimeistään noin 60 asteeseen, jolloin koukun laukaisu oli ehditty tehdä ajoissa. Vastaavat staattiset ja dynaamiset tarkastelut on esitetty liitteessä 2.

PEGASOSin kaatuminen

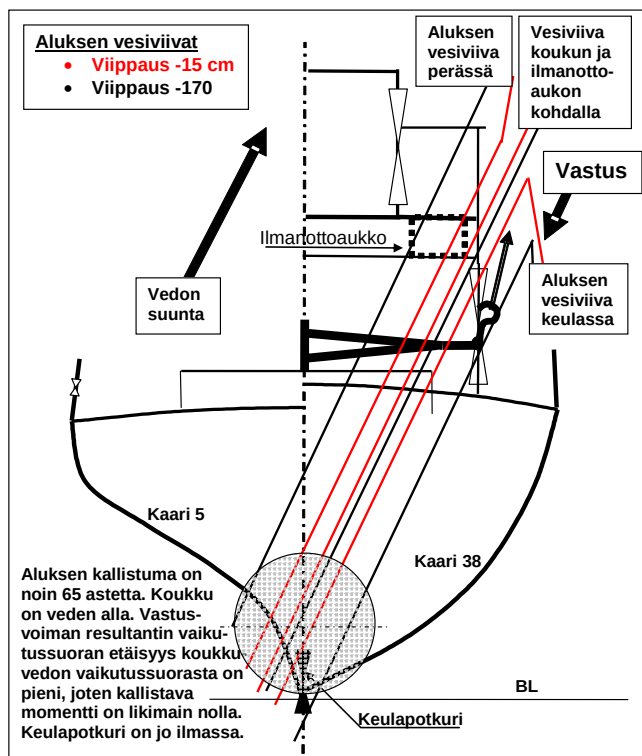
Staattinen tarkastelu. Kaatumistapahtumaa voidaan arvioida *GZ-käyrän avulla* vertaamalla kallistavia ja oikaisevia varsia ja erilaisia pinta-aloja. Jos kallistava varsi jää hieman pienemmäksi kuin oikaiseva varsi, PEGASOS ei kaadu, kuva 28, vaikka se ei täytä MKL:n vaatimuksia reservipinta-alasta 0,01 mrad. Noin kolmen solmun nopeudella MSC HINAN potkurivirrassa kallistavan momentin suuruudeksi on arvioitu noin 90 tm.

¹²⁶ Liitteessä 2 on esitetty potkurin jättövirran arviointi.

¹²⁷ Se onnettomuustilannetta haarukoivista lastitilanteista, jossa on paras vakavuus.

Tämä vastaa noin 22 cm vartta. Kun otetaan huomioon, että tarvitaan hieman reserviä kriteerin vaatimaa pinta-alaa varten, GZ:n tulisi tuossa tilanteessa olla noin 26 cm. Vastaavasti, jos PEGASOS ei olisi heti kaatunut ja sillä olisi ollut parempi vakavuus, nopeudella 4 solmua potkurivirrassa olisi tarvittu GZ:ksi 31 cm ja reservi mukaan lukien noin 35 cm. Onnettomuustilanteessa PEGASOSin GZ:n maksimiarvoksi on arvioitu 17–22 cm. Nopean kääntymisen synnyttämän potentiaalienergian purkautuminen edellyttää 3–4 cm lisäystä edellä mainittuihin GZ:n maksimiarvoihin.

Kallistumisen ajallinen kehittyminen. Kallistumisen alussa kallistava momentti kasvoi nopeammin kuin oikaiseva ja se keräsi potentiaalienergiaa, joka purkautui aluksen lisäkallistumisena. Aikariippuvuuden arvioimiseksi on kaatumista tarkasteltu keinumisen differentiaaliyhtälön avulla. Aikaan sidotut laskelmat on tehty yhdessä tilannetta kuvaavassa lastitilanteessa. Laskelmien alkuhetkeksi on otettu PEGASOSin osuminen MSC HINAN potkurin jättövirtaukseen. Laskelmat on tarkemmin esitetty liitteessä 2.



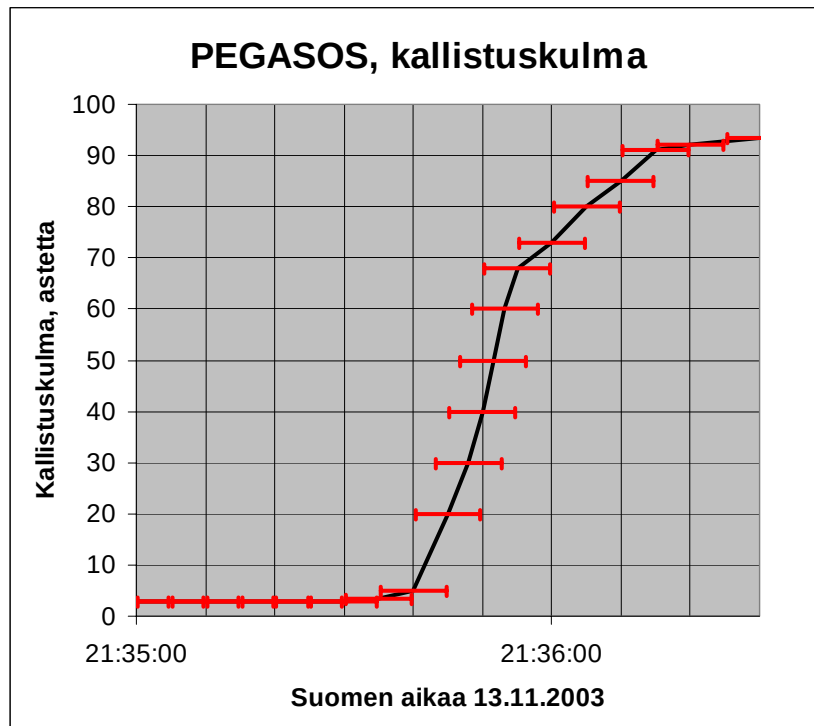
Kallistava momentti on verrannollinen poikittaisnopeuden neliöön ja vedenalaisen lateraalipinta-alan. Verrannollisuuskertoimen riippuu kallistuskulmasta. Kallistava momentti lähestyy nollaa kun kallistuskulma kasvaa 60–80 asteeseen, katso kuva 29. Jos koukkuja ei irroteta, vedosta johtuva kallistava momentti saattaa muuttua oikaisevaksi tämän kallistuskulman jälkeen. (Nettotos riippuu hinaajan GZ-käyrän arvoista suurilla kallistuskulmilla. Yleensä käyrä saa negatiivisia arvoja tuolloin. Mahdollinen vedentulo alukseen tekee kokonaisarviosta epävarman).

Kuva 29. PEGASOSin vesiviivojen kulku, kun kallistuma on noin 65 astetta¹²⁸.

Kaatumisesta tehtyjen laskelmien tulokset aikaan sidottuina ovat: MSC HINAN potkurin jättövirtauksen osuttua PEGASOSiin se kallistui 50 asteeseen 11–12 sekunnissa. Tästä eteenpäin aluksen vakavuus ja kallistava momentti ovat sen verran epämääräisiä, ettei ole tarkoituksenmukaista laskea kallistavan varren aikariippuvuutta suuremmilla kallistuskulmilla. Oletettavasti kallistuminen hieman hidastui PEGASOSin ylempien rakenteiden osuessa veteen ja kallistavan momentin pienentyessä. Kansirakennuksen

¹²⁸ Tällä kallistuskulmalla vastusvoiman ja hinausvoiman liikkeen suuntaisten komponenttien vaikutussuorien välinen etäisyys eli voimaparin varsi on pieni.

oven aukeamisen ajankohta ei ole tiedossa ja muutoinkin veden tulo alukseen tekivät oikaisevan momentin laskennan mahdolltomaksi. Kuvassa 30 on esitetty tutkijoiden käsitys PEGASOSin kaatumisen ajallisesta etenemisestä.



Kuva 30. Kuvassa on esitetty tutkijoiden käsitys PEGASOSin kallistumisen etenemisen todennäköisimmästä ajankohtahaarukasta.

Koukun laukaisu olisi pitänyt tehdä kaatumisen nopeudesta ja laukaisujärjestelmän viiveestä johtuen jo ennen PEGASOSin perän osumista potkurin jättövirtaukseen. Tällöin kallistuma ei ollut vaaran indikaattori, mutta mahdollisuus ajautumisesta jättövirtaukseen olisi voinut olla syynä koukun laukaisuun. Myös koukun laukaisua on käsitelty liitteessä 2. Laskelmat osoittavat myös, että säännöt täyttävä vakavuus ja ovien säätiivis sulkeminen olisivat hidastaneet kaatumista niin paljon, että koukun laukaisu olisi ollut mahdollista.

Laskelmien tulokset ovat likimääräisiä, koska monia tekijöitä ei ole mahdollista ottaa huomioon: mm. potkuripyörteiden aallokko ja paikalliset nopeusvaihtelut, laidalle muodostuva patoaalto, veden syöksyminen partaan yli, hinaajan todennäköinen pieni keinunta, hinaajan keulapotkurin todellinen työnnön suunta, hinausköyden jousivaikutus. Suurin merkitys on kuitenkin tapahtuman dynamiikalla: potkurin jättövirran osuessa PEGASOSiin ja sen kääntyessä nopeasti sivuttain, kallistava momentti kasvoi nopeasti moninkertaiseksi eikä PEGASOSilla ollut mitään mahdollisuuksia olla kaatumatta heikosta vakavuudesta johtuen, koska koukkua ei laukaistu ennen potkurin jättövirtaukseen joutumista.

PEGASOSin uppoaminen.

PEGASOS kaaduttua SB-puoli aluksesta joutui veden alle mukaan lukien ovet pääkannella ja ohjaamossa sekä savupiipun torvet ja konehuoneen ilmanottoaukko, jotka olivat auki. Kannella asuintiloihin johtava teräsovi oli auki. Kaatumisesta johtuva vesi-isku ja veden paine avasivat kiinni olleen puisen sisäoven. Oven pinta-ala oli noin $1,1 \text{ m}^2$, ilmanottoaukon noin $0,8 \text{ m}^2$ ja savupiipun noin $0,2 \text{ m}^2$.

PEGASOSin uppouma oli onnettomuushetkellä 370–430 t, vastaten syvyyttä tasakölillä 3,3–3,6 m. Yhden cm syväyslisä kasvatti uppoumaa noin 1,7 t. Uppouman reservi pääkanteen ja kansirakennus mukaan lukien oli 440–500 tonnia.

Uppoamiseen tarvittiin siis 440–500 t täyttyvä tilavuus. Täyttyviä tiloja oli noin 590 m^3 . Kun niistä oli täyttynyt 75–85 %, alus upposi. Aluksen uppoaminen kesti noin 5 minuuttia, joten tarvittavaksi tilavuusvirraksi saadaan $1,5\text{--}1,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Aluksen konetilat ja asuintilat olivat toisistaan erillään, koska asuintilojen käytävällä pääkannella konehuoneeseen yhteydessä olevaan koneverstaaseen johtava ovi oli kiinni.

Välittömästi aluksen kaaduttua, sen ollessa noin 90 astetta kallellaan, sen uppouma oli kasvanut ehkä 30 tonnia, joten se oli noin keskilinjaansa myöten vedessä.

Konehuoneeseen virtasi aluksi vettä toisen ilmanottoluukun ja savupiipun kautta. Aluksen vajotessa ja kallistuessa lisää, vettä alkoi virrata myös toisen ilmanottoaukon ja savupiipun kautta. Ilma pääsi pois ainakin koneverstaastaan kautta. Asuintiloihin vesi syöksyi kannella olevan auenneen sisäoven sekä ohjaamosta portaikkojen kautta. Ilma poistui esim. tuuletuskanavia pitkin. Paikka paikoin alukseen saattoi jäädä ilmataskuja. Aluksen konetilat ovat hieman keskilaivasta perään päin, asuintilat ja ohjaamo jonkin verran keskilaivasta keulaan päin. Konetilat pääsivät täyttymään nopeammin ja niiden tilavuus oli hieman suurempi. Aukkoja oli yhteensä noin 3 m^2 , joten vastaava sisään virtausnopeus on ollut noin $0,5\text{--}0,6 \text{ m/s}$, jakaantuen lähes tasan asuintilojen ja konehuoneen täyttymiseen. Alus upposi kuvausten mukaan hieman perä edellä, mikä vastaa täyttyvien tilojen painopisteitä ja täyttymismahdollisuuksia.

Taulukko 6. Ta- pahtumien yh- teenveto		MSC HINA			POSEIDON	PEGASOS
Klo		Luotsit	Tapahtuma	V [kn]		
20.30		Luotsit nousevat alukseen		n. 5,0		
20.35–21.15		MSC HINAn päällikkö tutustuttaa luotsit alukseen. Luotsit kokeilevat aluksen ohjattavuutta pysäyttäen välillä koneet. He huomaavat, että tuuli alkaa painaa MSC HINAA alle 5–6 solmun nopeudella, ja alus menettää ohjailtavuutensa. Alla olevat konekäskyt ovat luotsin antamia.		5–9	Lähtee matkaan 20.35	Lähtee matkaan 20.35
konepäivä- kirja	oikea aika					
21.21	21.22		STOP	8,0–5,0		
21.25	21.27			n. 5,0		Kiinni MSC HINAn perässä. (Keulasuunta 180°)
21.26	21.27		Dead Slow Ahead	n. 6,0	Kiinni MSC HINAn keulassa	Ajaa MSC HINAn rinnalla
21.28¾	21.30	PEGASOSille pyyntö siirtyä hinausasemaan	STOP	7–6		Ajaa MSC HINAn rinnalla
21.30½	21.30,5	Aluksen nopeuden pudottaminen alkaa	Dead Slow Astern	6–3		Ajaa MSC HINAn rinnalla
21.32	21.33		STOP	3–1		Alkaa siirtyä MSC HINAn oikealle puolelle ja kiristää köyttä.
21.32½	21.34 (alkaen)	Ilmoittavat hinaajille, että joutuvat ottamaan eteenpäin. Hinaajien mukaan ilmoitusta ei tullut	Dead Slow Ahead	1–3,5		Alkaa oikaista MSC HINAn perää. 210°. Alkaa ajautua MSC HINAn taakse, kääntyy potkurin jättövirtaan 21.35,5 ja kaatuu (270°). Laukaisee köyden n. 21.36
21.36½	21.37	Ilmoittivat kaatumisesta POSEIDONille, ja VTS:ään ja pyysivät uusia hinaajia avustamaan	STOP		Irtautuu köydestä 21.37, hälyttää Helsinki VTS:n ja lähtee kohti PEGASOSia	Miehistö pääsee ohjaamosta aluksen laidalle
21.38	21.39		Dead Slow Ahead			Miehistö siirtyy aluksen kallistuessa sen pohjan päälle
21.38½	21.40		Slow Ahead		PEGASOSin luona	
21.40	21.41		STOP		Kaksi henkilöä saadaan ylös	PEGASOS uppoo. Miehistö joutuu veteen.
21.41	21.42		Dead Slow Ahead			
21.41¾ STOP - 21.54 STOP ja ankkurointi, useita manöövereitä tällä välillä						
21.50 PEGASOSin päällikkö alkaa vettä valuen avustaa POSEIDONilla kadonneen etsintää						
22.05		Helsinki VTS tilaa Sköldvikistä AHTI ja ESKO nimiset hinaajat avustamaan MSC HINA laituriin				
22.23		POSEIDON jatkoi kadonneen etsintöjä, koska pelastetut olivat kohtuullisessa kunnossa				
23.30		POSEIDON vapautetaan pelastustehtävästä sähköongelmien vuoksi. Se vie pelastetut Hietalahteen, jonne on tilattu ambulanssi viemään heidät sairaalaan.				
02.15–02.17		ESKO kiinnittyy perään ja AHTI keulaan				
02.18–03.24		Ankkurit ylös, hinaajat avustavat MSC HINAn laituriin, hinaajat poistuvat, "all fast" klo 03.24				

Taulukko 6.

Tapahtumien yhteenveto

2 ANALYYSI

Analyysissä on aluksi koottu yhteen onnettomuuteen vaikuttaneet välittömät ja välilliset syyt. Erityisesti on tutkittu keskinäisen viestinnän ja hinaajan vakavuuden merkitystä onnettomuuden kulussa. Tapahtumaan liittyvien organisaatioiden operatiivista toimintaa ja organisaatioiden välistä yhteistoimintaa analysoidaan myös. Lopuksi on arvioitu pelastustoimia.

2.1 Analyysi tapahtumien kulusta

Hinaajat PEGASOS ja POSEIDON oli tilattu avustamaan konttialus MSC HINAA Helsingin Länsisatamaan 13.11.2003. Valmistelut tapahtuivat normaalirutiinien mukaan. MSC HINA oli suurin siihen mennessä Helsingin satamaan tullut konttialus. Sen vuoksi luotsi ja tuli alukselle kaksi. Luotsit ja hinaajien päälliköt keskustelivat puhelimitse tulevasta avustustehtävästä ja sopivat hinaajien paikat ja alueen, jossa kohtaavat MSC HINAN. Hinaajien päälliköt arvioivat kokemuksen perusteella hinaajat kapasiteetiltaan riittäviksi. PEGASOSin katsastus oli umpeutunut neljä päivää aiemmin.

Sääolosuhteet olivat tavanomaiset tuuli 10 m/s, oli pimeää. Luotsien noustessa MSC HINAan¹²⁹ he saivat tietää, että siinä on ns. yliheittokone ja sen vuoksi pienin jatkuva nopeus on noin 9,5 solmua¹²⁹. Tämä oli yllätys luotsille ja he harjoittelivat alkumatkalla väljällä väyläalueella aluksen ohjailua pienillä nopeuksilla¹³⁰ pysäyttäen ja käynnistäen pääkonetta. MSC HINAN päällikkö puolestaan yllättyi hinaajien toimintaohjeista, jotka eivät vastanneet hänen käsitystään avustuksessa käytettävistä nopeuksista. Hinaajien kiinnittyminen sujui normaalisti¹³¹. PEGASOS asettui perään suojanpuolelle ja POSEIDON keulaan.

Avustuksen kuluessa avustava luotsi pyysi PEGASOSia aloittamaan jarrutuksen. Jotta se olisi mahdollista, hinaajan piti siirtyä MSC HINAN perän ohi, sen tuulenpuolelle. Tätä varten MSC HINAN nopeutta pudotettiin alle kolmeen solmuun ja se oli minimissään noin yksi solmu¹³². Näin pienellä nopeudella MSC HINA ei ollut ohjailtavissa omalla peräsimellä kone pysäytettynä ja alus alkoi kääntyä väylässä tuulen vaikutuksesta. Luotsi pyysi PEGASOSia ja POSEIDONia oikaisemaan MSC HINAA väylän suuntaiseksi. Kun näytti siltä, että alus ei ala oieta ja se oli hänen käsityksensä mukaan ajautunut tuulen mukana kohti väylän oikeaa reunaa, luotsi antoi komennon Dead Slow Ahead. MSC HINAN päällikkö vahvisti komennon, välitti sen eteenpäin ja aluksen kone käynnistettiin. Avustava luotsi ilmoitti annetusta nopeuskomennosta VHF:llä hinaajille, jotka eivät saaneet tätä ilmoitusta. Avustavan luotsin mukaan se, että hän ei saanut kuittausta hinaajilta, ei ollut epätavallista.

¹²⁹ Klo 20.30 VTS rekisteröinnin mukaan. MSC HINAN nopeus painolastissa 9,5 solmua ja lastissa 9,2 solmua, ks taulukko 1, sivu 12 ja kuva 8 sekä liitteet 3 ja 10.

¹³⁰ Pienimmät nopeudet olivat 5–6 solmua VTS rekisteröinnin mukaan.

¹³¹ PEGASOS kiinnittynyt perään klo 21.25 ja POSEIDON kiinnittynyt keulaan klo 21.27 MSC HINAN kansipäiväkirjan mukaan.

¹³² Nopeus oli noin yksi solmu klo 21.34.00–21.34.30.

Koneen käynnistämisen seurauksena MSC HINAN nopeus alkoi kiihtyä¹³³. PEGASOS oli siirtynyt MSC HINAN perässä sen tuulenpuolelle ja oli alkanut vetää täydellä koneteholla perää tuuleen päin. Nopeuden kasvaessa MSC HINA alkoi samalla vetää PEGASOSia perä edellä. Hinaajan päällikkö havaitsi avustettavan aloittaman kiihdytyksen vasta viiveen jälkeen potkurivirran kuohusta, ja kun hänen aluksensa alkoi siirtyä lähemmäs MSC HINAN keskilinjaa eli hinausköyden vetokulman suoristumisesta.

PEGASOSin päällikkö pystyi aluksi pitämään aluksensa perän kohti MSC HINAN perää (Kuva 31). Hän käytti keulapotkuria koko ajan suurella teholla. Aluksen koko ajan kiihtyvän liike taaksepäin vaikeutti asennon hallintaa, jota piti tehdä useaa säätövipua käyttäen.

Kun hinaajan perä osui avustettavan potkurin jättövirtaan, käytetyt keulapotkurin ja peräsimen ohjausvoimat eivät enää riittäneet pitämään alusta suunnassa ja alus kääntyi äkillisesti poikittain. PEGASOSin kääntyessä perä painui, alus kallistui ja patoaalto ylitti partaan. Aluksen joutuessa noin kahden ja puolen solmun nopeudella poikittain, poikittaisvirtauksien synnyttämä kallistava momentti ylitti PEGASOSin oikaisevan momentin¹³⁴. PEGASOS kallistui noin 10–15 sekunnissa 70–80 asteen kallistumaan. Tilanne eteni niin nopeasti, että koukun laukaisu onnistui vasta kun alus oli tässä asennossa. Hinausköyden irrottua alus kallistui lisää noin 90 asteeseen.

Kuvassa 31 on esitetty tutkintalautakunnan analyysiin perustuvat PEGASOSin ja MSC HINAN keskinäiset asemat.

PEGASOSin päällikön viiveellä tapahtuneeseen MSC HINAN kiihdytyksen havaitsemiseen ja koukun laukaisun myöhästymiseen on saattanut vaikuttaa hänen samanaikaisesti hoitamat useat tehtävät. Aluksen asennon hallinnan lisäksi hän hoiti samanaikaiset VHF-puhelimella käydyt lyhyet keskustelut luotsin kanssa.

PEGASOSin miehistön onnistui pelastautua veden puoliksi täyttämästä ohjaamosta aluksen kyljelle. MSC HINAN keulassa kiinni ollut hinaaja POSEIDON irrottautui ja tuli PEGASOSin luo. PEGASOS alkoi upota ja sen miehistö joutui veteen. POSEIDONiin onnistui pääsemään kaksi veden varaan joutunutta, kolmas vajosi pinnan alle eikä häntä enää onnistuttu pelastamaan. Kellään ei ollut päällään pelastusliivejä.

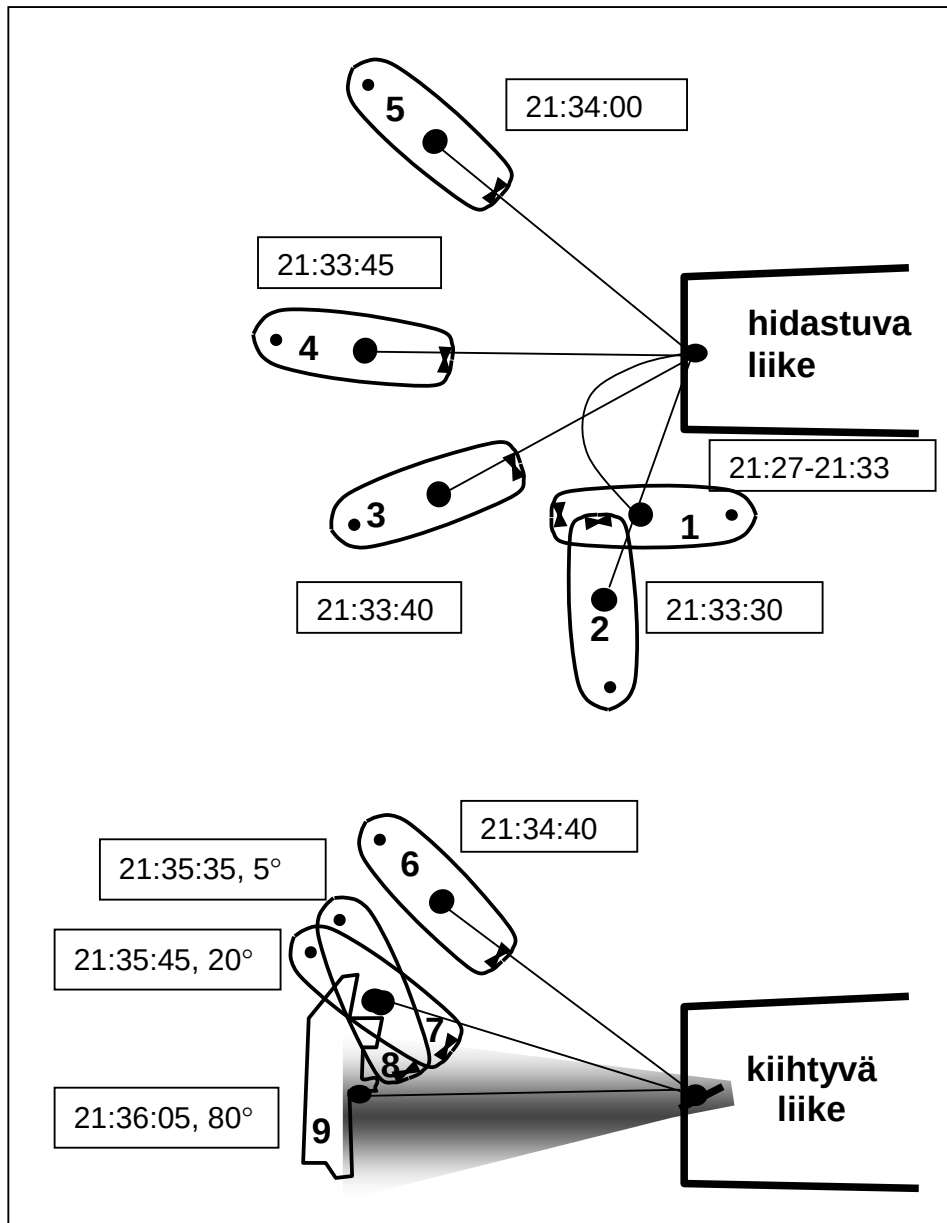
2.2 Onnettomuuden välittömät syyt ja myötävaikuttaneita tekijöitä

2.2.1 Vaaratilanteen perussyyt

Onnettomuuteen johtaneen vaaratilanteen perussyinä tutkintalautakunta pitää osapuolten puutteellista valmistautumista avustustehtävään ja viestinnän puutteita. Avustuksen päävastuu oli avustettavan aluksen päälliköllä, joka kuitenkin antoi toiminnan johdon käytännössä luotsille. Hinaajat saivat toiminnan aikana puutteellisesti tietoja. Luotsi ei riittävästi tuntenut hinaajien toimintarajoituksia.

¹³³ Klo 21.34.30

¹³⁴ Katso kohta 1.5.6 ja liitteet 2 ja 8.



Kuva 31. PEGASOSin ja MSC HINAN keskinäiset asemat.

PEGASOSin siirtyminen perän ohi vasemmalle (ylempi kuva): Saatuaan käskyn siirtymään vasemmalle puolelle, PEGASOSin päällikkö ohjasi aluksensa hinausköysi kireällä MSC HINAN perän ohi kohti sen vasenta puolta, asemat 2–4. MSC HINAN koneet olivat pysähdyksissä ja sen nopeus oli 1–2 solmua. Kone käynnistettiin PEGASOSin ollessa asemassa 5. Tässä asemassa se oli ehtinyt aloittaa MSC HINAN oikaisun.

MSC HINAN kiihdytys ja PEGASOSin kaatuminen (alempi kuva): Asemassa 6 MSC HINAN kone oli käynnissä. PEGASOSin perä osui asemassa 7 MSC HINAN potkurin jätövirtaan, kääntyi poikittain, asema 8, ja kaatui asemassa 9. Avustettavan peräsin ohjasi osan potkurivirrasta sivuun.

Yhteistä avustussuunnitelmaa ei tehty. Organisaatioiden normaali toimintatapa ei johtanut yhteisen suunnitelman tekoon huolimatta tehtävän vaikeudesta ennen luotsausta ja sen aikana saaduista viitteistä: ennätysasuuri avustettava, luotsien käsitys, että PEGASOS on liian pieni aiottuun tehtävään ja niukat tiedot avustettavasta aluksesta¹³⁵. Luotsien tapana ei ole kieltäytyä avustuksesta eikä pyytää aluksilta lisätietoja. MSC HINAN päällikkö ei myöskään esittänyt vaatimuksia koskien hinaajien kokoa, lukumäärää ja tyyppiä. Hinaajien päälliköt eivät keskustelleet suoraan MSC HINAN päällikön kanssa. Varustamoiden ohjeiden mukaan alusten päälliköt määrittävät tarvittavan hinaajakapasiteetin. Ohjeet eivät edellytä tietojen ja tuloksien vertaamista keskenään. Heidän käyttämänsä menettelyt johtivat pitämään avustusta tavanomaisena. Käsitykset ”tavanomaisesta” operaatiosta olivat eri tahoilla toisistaan poikkeavat – esimerkkinä ”jarrutus”¹³⁶.

Viestintä yhteiseen avustussuunnitelmaan eli yhteisen käsityksen muodostamiseen kuuluvista asioista oli puutteellista. MSC HINA tai sen varustamo olisi voinut toimittaa luotsitilauksen yhteydessä tiedot aluksen päämitoista, pääkoneen tyypistä, alhaisimmasta nopeudesta, tuulipinta-alasta ja keulapotkurin toimimattomuudesta. Luotsit olisivat voineet ottaa yhteyttä hinaajien päälliköihin saatuaan tietää MSC HINAN tekniset ominaisuudet ja päällikön käsityksen hinausavustuksesta. Hinaajien päälliköt olisivat voineet korostaa luotsille toimintaansa liittyviä nopeusrajoituksia, koska niiden merkitys korostui avustettavan suuren konetehon vuoksi.

Tutkijoiden käsityksen mukaan yhteinen avustussuunnitelma voisi minimissään tarkoittaa osapuolten yhteisesti sopiman tarkistuslistan läpikäymistä ennen avustusta ja sen tarkistamista avustuksen edetessä. Tarkistuslistan otsikot ovat pääosin olemassa jo nyt varustamoiden ohjeissa. Yhteisen käsittelyn avulla voidaan kehittää yleispätevä tarkistuslista¹³⁷. Käytännössä luotsien tulisi käydä tarkistuslista läpi hinaajien päälliköiden kanssa ennen avustusta. Noustuaan avustettavaan alukseen heidän tulisi vuorostaan käydä tarkistuslista läpi yhdessä avustettavan aluksen päällikön kanssa. Mahdolliset tarkennukset ja muutokset tulisi vielä uudestaan käsitellä hinaajien päälliköiden kanssa.

Avustustehtävään tilattiin **kooltaan ja siten myös paaluvedoltaan liian pienet** hinaajat, mikä osaltaan aiheutti epävarmuutta luotsien toiminassa. Lisäksi paaluvedoltaan heikommat hinaajat tarvitsevat enemmän aikaa suoritettaviin aluksen oikaisuihin ja siirtoihin. Suurempi hinaaja on myös turvallisempi varsinkin, jos alus joutuu poikittaisvetotilanteeseen¹³⁸. Ammattikirjallisuuden mukaan turvallista reserviä varten olisi tarvittu lähes kaksinkertainen paaluveto. Mahdollisuutta saada käyttöön suurempi hinaaja ei selvitetty riittävästi. Suuremmat hinaajat avustivat kuitenkin MSC HINAN lopulta laituriiin. Onnettomuuden jälkeen luotsit ovat vaatineet tehokkaammat hinaajat vastaavankokoisten alusten avustukseen.

¹³⁵ Luotsausliikelaitoksen lausunnon mukaan hinaajan käyttöön liittyvät asiat täytyy perustaa pääosin ennalta sovittuihin pelisääntöihin. Olosuhteiden ja poikkeavien seikkojen läpikäynti kuuluu normaali käytäntöihin ennen avustusta. Tutkintalautakunnan mielestä mainittujen pelisääntöjen ja niiden poikkeamakäytäntöjen tulee olla kirjallisina ohjeina.

¹³⁶ MSC HINAN päällikön mukaan jarrutus tarkoitti nopeuden pudotusta hinaajan avulla 9 solmista 7 solmuun (saattohinaaja-tyyppinen toiminta). MSC HINAN meriselitys.

Hinaajien päälliköt katsoivat jarrutuksen tarkoittavan hinaajan sijaintia valmiina oikaisemaan avustettavan asentoa tarvittaessa alhaisessa nopeudessa. Luotsit katsoivat jarrutuksen tarkoittavan nopeuden pudotusta vetämällä taaksepäin.

¹³⁷ OCIMF (Oil Companies International Marine Forum) vaatimusten mukaan säiliöaluksen tulee lähettää aluksen ”Safety Check List” luotsille 24 tuntia ennen luotsauksen aloitusta. Lista sisältää tiedot aluksen laiteista, niiden toimintakunnosta sekä aluksen lastista. Tämän tyyppinen lista voidaan täydentää luotsauksen tarkistuslistaksi.

¹³⁸ Liite 2 kohta 2.5

Hinaajien sijoituksessa oli niiden ominaisuudet otettu huomioon, koska keulapotkurilla varustettu ja siten ketterämmin operoitava PEGASOS oli MSC HINAN perässä. Kuitenkin alan käytäntö on osoittanut, että tämän tyyppisen hinaajan operointi avustettavan perässä on turvallista enintään 3 solmun nopeudella. Suositus suurimmasta nopeudesta on 1–2 solmua, **eikä avustettavan potkuria saa käyttää**. Tämä rajoitus olisi käynyt selväksi yhteisen suunnittelun yhteydessä, jolloin myös muut ”itsestään selvät seikat” olisi käsitelty. PEGASOS asettui MSC HINAN tuulen suojanpuolelle, minkä johdosta syntyi tarve siirtää hinaaja MSC HINAN perän ohi. Avustusoperaation yhteinen suunnittelu olisi ehkä johtanut siihen, että PEGASOS olisi ollut alun perin tuulenpuolella.

Yhteisen suunnitelman puuttuminen johti siihen, että osapuolet eivät tienneet toistensa erikoisuuksia ja rajoituksia. Tietoisuus niistä olisi nostanut valppaustasoa ja uusien tietojen tullessa ilmi suunnitelmia olisi operatiivisesti tarkennettu.

Tutkijoiden käsitys on, että yhteisestä avustussuunnitelmasta päätettäessä tulisi keskustella hinaajien kiinnittymispaikan lisäksi siitä, missä ja miten itse avustus aloitetaan¹³⁹. Länsisatamaan tultaessa yksi vaihtoehto on avustuksen aloittaminen vasta Pihlajasaa-ren ohittamisen jälkeen, mikä itse asiassa toteutui onnettomuuden tapahduttua¹⁴⁰.

Operatiivisen viestinnän epäonnistumista tutkintalautakunta pitää onnettomuuteen johtaneen vaaratilanteen **toisena perussyynä**. Suunnitelma sinänsä ei takaa tehtävän onnistunutta suoritusta. Tarvitaan tilanteen muutokset huomioonottavaa viestintää. Kun suunnitelmaa ei ollut, osapuolten välisen viestinnän joustava toteutus tuli entistä merkityksellisemmäksi. Kun sitten viestintä epäonnistui, tehtiin virheellisiä operointipäätöksiä. **Osapuolten käsitystä avustusmenettelystä olisi pitänyt muuttaa** heille yllättävien tietojen tultua ilmi. Aluksen yliheittokonetta ja pienintä nopeutta koskevat tiedot saatiin luotsien noustua MSC HINAan. Hinaajien kiinnittymisen yhteydessä tuli lisäksi ilmi MSC HINAN päällikön oletus perässä olleen hinaajan toimimisesta jarruna saattohinaajan tavoin 7–9 solmun nopeudella¹⁴¹. MSC HINAN päällystöllä oli väärä käsitys hinaajan kiinnittymistavasta. Avustusmenettelyn kriittisten seikkojen yhteistä uudelleenarviointia ei tehty. MSC HINAN päällikkö ja luotsit eivät olleet riittävästi sisäistäneet sitä, että avustettavan koneen käynnistäminen voidaan tehdä vain, jos hinaajalta saadaan siihen nimenomainen lupa.

Päävastuu avustustoiminnan sujumisesta ja turvallisuudesta oli MSC HINAN päälliköllä¹⁴². Hän oli tarjoutunut ottamaan mukaan vielä kolmannen hinaajan. Tätä tarjousta ei tuotu hinaajien päälliköiden tietoon. **Kommunikointi** MSC HINAN ja hinaajien välillä oli puutteellista. MSC HINAN päällikkö ei voinut täysin hallita tilannetta, koska luotsien ja hinaajien päälliköiden välinen keskustelu käytiin suomeksi. Hänen olisi pitänyt vaatia

¹³⁹ PEGASOSin avustusta suunniteltaessa käsiteltiin hinaajien lukumäärää ja kokoa sekä sitä missä hinaajat kiinnittyvät HINAan.

¹⁴⁰ Avustavan luotsin mukaan kyseisiltä aluksilta saatujen kokemusten perusteella kyseinen toimenpide ei ole turvallinen johtuen aluksen suuresta ”Dead Slow” nopeudesta ja väylän kapeudesta. Hänen mielestään on myös huomioitava että, onnettomuusiltaan alus hätäankkuroitiin, jonka jälkeen hinaajat avustivat aluksen laituriin ankkurista, joka on erilainen toimenpide kuin normaali avustus.

¹⁴¹ MSC HINAN päällikön lausuntojen perusteella tutkintalautakunnan käsitys on, että hän odotti saattohinaustyyppistä avustusta, koska oli ilmeisesti tottunut tähän käytäntöön. Tutkijalautakunta pitää saattohinausta turvallisimpana mahdollisuutena kyseisessä avustustilanteessa.

¹⁴² UNIVAN SHIP MANAGEMENT fax 23.8.2004, Circular to master ”T-64”.

muita käyttämään englantia. Perusedellytys onnistuneelle yhteistoiminnalle on, että kaikki käyttävät samaa kieltä ja samoja standardikomentoja.

Luotsauksessa on muodostunut yleiseksi käytännöksi, että luotsattavan/avustettavan aluksen päällikkö luovuttaa operaation johdon luotsille. MSC HINAN päällikkö noudatti tätä tapaa luotsauksen aikana antaen luotsille suuren toimintavapauden.

2.2.2 Vaaratilanteen välitön syy

Vaaratilanteelle loi edellytyksen tarve siirtää hinaaja MSC HINAN perän ohi. Luotsi halusi siirtää PEGASOSin tuulen puolelle mahdollista ”jarrutusta” varten. Siirtymistarve johtui PEGASOSin sijoittumisesta MSC HINAN tuulen suojan puolelle. MSC HINAN vauhtia jouduttiin hiljentämään operaatiota varten ja samalla sen keula alkoi kääntyä väylän keskilinjalta vasemmalle tuulen vaikutuksesta. Luotsi pyysi hinaajia oikaisemaan MSC HINAN takaisin väylän suuntaiseksi.

Välittömänä syynä, joka synnytti vaaratilanteen, tutkintalautakunta pitää **MSC HINAN koneen käynnistämistä.** Käynnistäminen tehtiin luotsin antamasta käskystä PEGASOSin ollessa MSC HINAN takana aloittamassa pyydettyä oikaisua. Alusten nopeudet olivat tällöin alimmillaan noin 1 solmu. Jos tätä käskyä ei olisi annettu, vaaratilanne ja onnettomuus olisi vältetty¹⁴³. Avustustapahtumasta muodostui eräänlainen noidankehätilanne: jotta PEGASOS saattoi operoida MSC HINAN perässä, nopeutta piti alentaa, mikä taas johti MSC HINAN ohjailuvaikeuksiin ja asennon muutokseen, pyyntöön siirtää PEGASOS oikaisemaan ja kun tämä ei luotsin käsityksen mukaan onnistunut tarpeeksi nopeasti, MSC HINAN kone käynnistettiin onnettomin seurauksin.

MSC HINAN päällikkö ja ohjaamossa olleet muut henkilöt eivät puuttuneet luotsin toimintaan. Luotsien yhteistyö ei toiminut: luotsi seurasi ikkunasta näkyvää pimeää maisemaa, jossa aluksen valot ja linjavalot loivat kiintopisteitä. Avustava luotsi seurasi tutkaa, mutta se ei päässyt vaikuttamaan päätöksiin. Pelkästään näköhavaintoon luottaminen johti liian nopeaan reagointiin keskustelematta MSC HINAN päällikön ja PEGASOSin päällikön kanssa¹⁴⁴. Luotsia saattoi painaa huoli avustuksen mahdollisista vaikeuksista, mistä hän oli maininnut MSC HINAN päällikölle noustuaan alukseen. MSC HINAN päällikkö ei avustuksesta vastuullisena puuttunut tilanteeseen esimerkiksi varmistamalla, että hinaaja on valmiina MSC HINAN koneen käynnistykseen.

Tästä perän ohi siirtymisen vaarallisuudesta varoitetaan alan ammattikirjallisuudessa samoin kuin koneen käynnistämisestä kesken siirtymisen. Hinaajan avustaessa omalla kulkukoneistolla varustettua alusta on mahdollista, että avustettava joutuu yllättävän vaaratilanteen vuoksi käynnistämään koneensa varoittamatta hinaajia. Normaalin toiminnan aikana hinaajien kanssa on sovittava koneen käynnistämisestä. Tutkijoiden mie-

¹⁴³ Jos MSC HINAN koneen käynnistyskäsky olisi annettu PEGASOSin kuittauksen jälkeen, olisi PEGASOSille jäänyt aikaa varautua tulevaan tilanteeseen. MSC HINA olisi voinut myös odottaa hinaajien oikaisutoimenpiteiden vaikutusta. Aluksen sijainti väylällä olisi voitu tarkastaa MSC HINAN päällikön kanssa, ja näin varmentua tehtävistä toimenpiteistä. Tutkijoiden käsityksen mukaan MSC HINA ei ollut ajautumassa pois väylältä, aluksen nopeus oli pieni ja oikaisutoimenpiteet oli aloitettu. PEGASOS olisi alun perin voitu sijoittaa MSC HINAN tuulen puolelle, jolloin se olisi ollut valmiina nostamaan aluksen perää tuuleen.

¹⁴⁴ Nopean päätöksentekotilanteen psyykkistä kuormittavuutta on tarkasteltu laajalti HERAKLES/BULK -tutkintaraportissa B 2/2004 M.

lestä tässä tapauksessa ei ollut kyse kriittisestä tilanteesta. Todella kriittisen tilanteen saattavat hinaajien päälliköt huomata itsekin ja toimia sen mukaan.

2.2.3 Kaatumisen välittömät syyt

Kaatuminen tapahtui **kahdessa vaiheessa**: 1) Ajautuminen ja kääntyminen poikittain MSC HINAN potkurin jättövirtaan ja 2) kaatuminen. Etukäteissuunnittelu ja ridarin käyttö olisivat estäneet PEGASOSin ajautumisen poikittain MSC HINAN potkurin jättövirtaan. Koukun laukaisu ennen MSC HINAN potkurin jättövirtaan joutumista olisi myös estänyt kaatumisen.

Ajautuminen potkurin jättövirtaan ja kääntyminen poikittain

Avustussuunnitelma ja ridari. Koska yhteistä avustussuunnitelmaa ei ollut, kaikki osapuolet toimivat omien käsityksiensä mukaisesti, mikä johti onnettomuuteen. Yhteinen avustussuunnitelma, joka olisi tuonut esiin MSC HINAN päällikön käsityksen avustustavasta, olisi ottanut esille ridarin käytön vaihtoehdon ja oletetun saattohinauksen sekä avustettavan koneen käytön rajoitukset. Myös ridaria käytettäessä voi syntyä vaaratilanne, kun aluksen perä sukeltaa yhä syvemmälle (katso myös sivu 54).

Koukun laukaisu. Laukaisu olisi onnettomuustilanteessa pitänyt tehdä jo niin pienellä kallistuskulmalla, että se ei hinaajan työn luonteen huomioonottaen ollut tavanomaista. Koukun laukaisun myöhästymiseen on saattanut vaikuttaa päällikön samanaikaisesti hoitamat useat tehtävät; aluksen koko ajan kiihtyvän liikkeen vuoksi vaikeutunut asennon hallinta useaa säätövipua käyttäen ja samanaikaiset VHF-puhelimella käydyt lyhyet keskustelut luotsin kanssa.

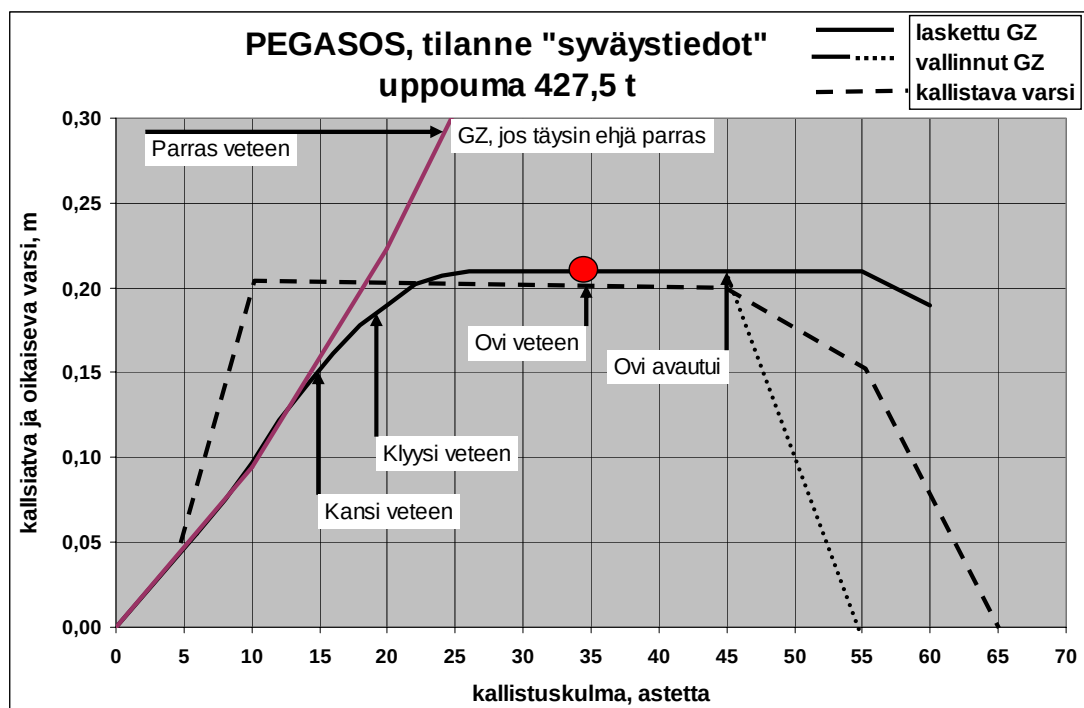
Kaatuminen

Vakavuus. PEGASOSin kaatumisen nopeaan etenemiseen myötävaikutti syntyneessä vaaratilanteessa poikittaishinaukseen joutumisen jälkeen sääntöjen vaatimukset alittava vakavuus. PEGASOSin vakavuus ei täyttänyt MKL:n hinaajille asetettuja määräyksiä varsinkaan poikittaishinaustilanteessa. Suomalaiset operoijat eivät olleet huolehtineet alukseen tehtyjen muutosten vaikutusten sisällyttämisestä vakavuusaineistoon. Vanhentuneet, virheelliset vakavuustiedot olivat antaneet liian hyvän käsityksen PEGASOSin vakavuudesta, koska uskottiin MKL:n 10 vuotta aiemmin hyväksymiin vakavuusaineistoihin. Käytännössä oli esiintynyt lastitilanteita, jotka eivät vastanneet vakavuusaineistoa – mm. peräviippaukset olivat olleet selvästi yli 0,47 m. Tutkinnassa on saatu käsitys, että MKL:n hinaajakriteerin merkitystä ei hinaajaoperaattori ollut sisäistänyt, eikä hinauskäärren säteen pituutta tiedetty. Mikäli aluksella oli onnettomuustilanteessa tai muulloin ollut huomattavan suuri peräviippaus, sen vakavuutta heikentävää vaikutusta ei ollut otettu huomioon. Kansirakennuksen ovien auki- ja kiinniolon merkitys ei ilmennyt kyseisestä aineistosta. PEGASOSin vakavuutta ei tarkistettu, vaikka se oli äskettäin tullut telakalta, jossa alukselle oli tehty kallistuskoe.

Aukkojen säätiiveys. Aluksen vakavuutta heikensi edelleen se, että kansirakennuksen ensimmäisen kerroksen ovia ei ollut suljettu säätiiviisti. PEGASOSin ensimmäisen ker-

roksen säätiviitit teräsovet¹⁴⁵ olivat auki, minkä johdosta vuotokulma oli noin 40 astetta¹⁴⁶. Jos ovet olisivat olleet säätiviisti suljetut, aluksen vakavuus olisi ollut onnettomuudessa vallinnutta tilannetta parempi yli 60 asteen kallistumaan saakka. Ovien kiinnipito säätiviisti ei sisälly vakavuusvaatimukseen, jos vastaavia tiloja ei ole sisällytetty muoto- ja vakavuudessa mukaan otettuihin tiloihin. Alkuperäinen, aluksella ollut vakavuusaineisto ei edellyttänyt ovien kiinnipitoa¹⁴⁷. Ovien oli kerrottu olleen säätiviisti suljetut, vaikka näin ei ollut. PEGASOSin päällikön virheellisen käsityksen mukaan lukittavat puuovet olivat säätiviitit. Riippumatta vakavuuslaskujen oletuksista, kaikkien aukkojen ja ovien säätiviis sulkeminen parantaa hinaajan turvallisuutta. Joka tapauksessa päällikön tulee olla tietoinen vakavuusaineiston edellyttämästä aukkojen ja ovien säätiviisti sulkemisen vaikutuksesta aluksen vakavuuslaajuuteen. Säätiviiden ovien hallittu kiinnipitäminen antaa mahdollisuuden kasvattaa vuotokulmaa eli vakavuuslaajuutta.

Onnettomuustilannetta haarukoivien lastitilanteiden todennäköiset vakavuuskäyrät on esitetty liitteessä 2. Kuvassa 32 on näytetty haarukoivista lastitilanteista parhaan vakavuuden omaava. Kuvan oikeisessa varressa (musta ehjä viiva) on mukana kansirakennuksen ensimmäinen kerros ja kuvassa näkyy pisteviivana oikeisvan varren oletettu heikkeneminen veden päästessä virtaamaan sisään avautuneesta ovesta.



Kuva 32. PEGASOSin oikeisva ja kallistava varsi yhdessä mahdollisessa onnettomuuden aikaisessa lastitilanteessa (vakavuus on eri vaihtoehdosta paras). Kansirakennuksen ensimmäinen kerros on mukana laskelmissa¹⁴⁸.

¹⁴⁵ Sääntöjen mukaan salvoilla lukittavat teräsovet ovat säätiviitä, sen sijaan puuovet eivät säätiviiden vaatimusta täytä.

¹⁴⁶ Vuotokulma vaihteli tutkimuksessa lasketuissa lastitilanteissa välillä 34–42 astetta.

¹⁴⁷ Russian Maritime Register of Shipping ei salli ovien olevan kiinni vakavuuslaskelmissa.

¹⁴⁸ Kallistavan momentin arviointi perustuu osittain MKL:n menettelyyn. Lisäksi on otettu huomioon mm. seuraavat tekijät: Pohjanopeuden kasvu, PEGASOSin nopea kääntyminen poikittain ja sen perän ajautuminen vähitellen MSC HINAn potkurin jätövirtaan, kallistavan voimaparin varren pieneneminen yli 40 asteen kallistuskulmilla sekä vastuskertoimen muutokset. Näin monen tekijän vaikutus on approksimoitu yksinkertaistamalla varren k1 kulku kuvassa 32.

Kuvan perusteella voidaan päätellä, että säännöt täyttävä vakavuus ja säätiiviiden ovien pitäminen kiinni olisivat parhaassa onnettomuustilannetta haarukoivassa lastitilanteessa mahdollisesti estäneet kaatumisen. GZ-käyrä olisi ollut ylempänä, minkä johdosta kallistava varsi olisi tullut vaarallisen suureksi vasta suuremmalla nopeudella. Oven kiinniolo olisi synnyttänyt oikaisevaa pinta-alaa (oikaisevaa työtä) ainakin 65 asteen kallistuskulmaan¹⁴⁹ saakka. Joka tapauksessa kaatuminen olisi kestänyt kauemmin, mikä olisi antanut enemmän aikaa koukun laukaisulle. Vallinneellakin vakavuudella kansirakennuksen ensimmäisen kerroksen ovien kiinniolo olisi hidastanut hinaajan kallistumista ja uppoamiseen olisi kulunut noin kaksinkertainen aika, mikä olisi parantanut pelastautumismahdollisuuksia.

MSC HINAn päällikkö, luotsit ja hinaajien päälliköt olivat tietämättömiä PEGASOSin heikosta vakavuudesta.

Suuri avustettava alus kykenee vetämään konventionaalisen ja kombi-tyyppisen hinaajan lopulta kumoon, jollei koukkuja saada laukaistua; mikään käytännössä järkevä vakavuus ei tätä estä. Hyvän vakavuuden omaavan hinaajan kaatamiseen kuluu kuitenkin enemmän aikaa, mikä antaa paremmat mahdollisuudet onnistua koukun laukaisussa. On useita esimerkkejä tilanteista, joissa hinaaja on ollut 50–60 astetta ja jopa enemmän kallistuneena avustettavan vedon vuoksi. Koukun laukaisun jälkeen hinaaja on kuitenkin oiennut. Tällöin kansirakennuksen ensimmäinen kerros on ollut säätiivis.

2.2.4 Organisaatioiden sisäinen toiminta myötävaikuttavana tekijänä

Alfons Håkans Ab

Varustamon kansainvälisen sopimuksen mukainen **turvallisuusjohtamisjärjestelmä** oli onnettomuutta edeltäneiden viiden vuoden aikana saatu kehitettyä, dokumentoitua ja auditoitua. Se oli varsin kattava, mutta tutkijoiden käsitys on, että todellinen turvallisuuskulttuuri oli vasta muodostumassa. Uuden turvallisuusjohtamisjärjestelmän toimintatavan omaksuminen samanaikaisesti normaalin toiminnan kanssa on vaativaa. Näiden rinnalla järjestelmää on jatkuvasti parannettava ja tehtäväkokonaisuus saattoi vaativuudessaan ylittää organisaation resurssit.

Turvallisuusjohtamisjärjestelmässä laivaisäntä on määritelly vastaamaan turvallisuusjohtamisjärjestelmän toteuttamisesta ja ylläpidosta. Aluksen päällikkö on vastuussa turvallisuusjohtamisjärjestelmän ylläpitämisestä ja toiminnasta aluksella – ”alusta koskevien kansainvälisten ja kansallisten asetusten noudattamisesta”.

Tutkinnassa selvitettyjen seikkojen pohjalta on todettu, että käytännössä varustamon ja alusten henkilöstön toimintakulttuuri ei vielä vastannut kirjattuja tavoitteita. Turvallisuusjohtamisjärjestelmän sisäistämisen tasosta kertoo se, että poikkeamaraporttien määrä oli ollut hyvin vähäinen.

¹⁴⁹ Kuvassa 32 GZ-käyrä päättyy 60 asteeseen, koska sitä pidemmälle ei sitä ole laskettu. Voidaan olettaa, että se pysyy positiivisena ainakin 65 asteeseen asti.

PEGASOS lähetettiin avustukseen, vaikka sen **katsastuksen voimassaoloaika** oli mennyt umpeen. Alus ei ollut muodollisesti merikelpoinen, eikä sen olisi missään tapauksessa pitänyt lähteä merelle. Vaikka katsastus olisi ollut voimassa, onnettomuus olisi tapahtunut samalla tavalla. Katsastamattomuus kertoo kuitenkin varustamon turvallisuuskäytännöissä olevista puutteista. Alus ei ollut myöskään faktisesti merikelpoinen, koska sen vakavuus ei täyttänyt MKL:n vaatimuksia. Tätä päällikkö ei tiennyt.

Alushankinnat. Varustamo on vuosien varrella ostanut useita käytettyjä hinaajia ja hinaajayhtiöitä. Yhtiöön oli näiden hankintojen myötä tullut myös erilaisia toimintatapoja. Laatujärjestelmien kehittämisen yhteydessä on yleisesti tiedostettu, että erilaisia käytäntöjä ja erilaista osaamista on vaikea sovittaa yhteen. Näitä hankintoja ei ollut välttämättä hallinnoitu laatujärjestelmän kriteerien mukaan. Esimerkiksi PEGASOSin mukana oli tulut vanhoja ja osin puutteellisia alusdokumentteja. Turvallisuusjohtamisjärjestelmän kehittämisen ja käyttöönoton yhteydessä ei ollut kiinnitetty huomiota vanhojen dokumenttien kriittiseen tarkistamiseen ja päivittämiseen; järjestelmän ohjeet eivät tällaisia dokumentteja mainitse.

Vakavuus. Turvallisuusjohtamisjärjestelmä sisälsi suoran maininnan vakavuudesta vain osassa B, kohta 14, karilleajo, pohjakosketus tai yhteentörmäys. Nämä ovat poikkeustilanteita, joiden yhteydessä vakavuus täytyy nopeasti tarkistaa. Vakavuus on kuitenkin niin merkittävä ja erikoislaatuinen hinaajan turvallisuustekijä, että siitä olisi syytä olla erikseen ohjeet turvallisuusjohtamisjärjestelmän sopivissa kohdissa.

PEGASOSin vakavuus oli heikentynyt vuosien varrella tehtyjen muutosten johdosta. Varustamo tai MKL:n katsastajat eivät olleet havainneet tätä, joten korjaaviin toimenpiteisiin ei ollut ryhdytty. PEGASOSin vakavuuden tarkistaminen alukseen tehtyjen muutosten johdosta olisi siis pitänyt tehdä jo ennen turvallisuusjohtamisjärjestelmän käyttöönottoa. Järjestelmän kehittäminenkin ei johtanut vakavuuden tarkistamiseen.

PEGASOSin vakavuusaineiston sisältämät lastitilanteet saattoivat ainakin vuoden 1994 jälkeen poiketa operatiivisista lastitilanteista eikä järjestelmän käyttöönottoon missään vaiheessa käynnistänyt tämän puutteen korjaamista. MKL:n säädösteksti, joka koskee keulapotkurilla varustettujen hinaajien vakavuuden tarkistamista hinaustilanteessa, oli jäänyt huomiotta. Aihe ei noussut esille turvallisuusjohtamisjärjestelmäkään kautta.

Tutkinnassa on käynyt ilmi, että hinaajien päälliköt eivät tienneet PEGASOSille tehdystä kallistuskokeesta. Sisäinen tiedonkulku ei ollut tältä osin toiminut. Kallistuskokeen käynnistäjän olisi pitänyt vaikuttaa siihen, että PEGASOS ei olisi saanut lähteä merelle ennen kuin kokeen tulokset olivat selvillä. Lisäksi katsastuksen voimassaolo oli päättymässä ja uusi katsastuspäivä oli sovittu. Varustamon olisi tullut kiirehtiä kallistuskokeen tulosten saamista, sillä tulosten vaikutus olisi ollut järkevää käsitellä yhtenä katsastusaiheena.

Painopisteen muutokset olisi ollut mahdollista arvioida ja niiden vaikutukset vakavuuteen laskea likimäärin, samoin pienen peräviippauslisän vaikutus. Tällainen, tosin piiloon jäänyt ja vajavainen tarkistus oli tehty edellisen omistajan aikana vuonna 1996. Hinauskriteerin tarkistusta ei missään vaiheessa tehty. Suuren viippausmuutoksen vaikutusta oli

mahdotonta laskea käyttäen aluksen hydrostaattisia taulukoita ja vakavuuden peruskäyriä. Hinauskaaren säteen väärästä pituudesta johtuvan virheen löytäminen vakavuuslaskelmissa olisi vaatinut jonkin syyn laukaisemaan tarkistuksen. Varustamalla ja aluksen päälliköllä ei ole yleensä perusteltua syytä epäillä MKL:n hyväksynnällä varustettuja papereita. Oli kuitenkin tiedossa, että painoissa oli tapahtunut muutoksia, mikä ilmeisesti oli laukaissut tarpeen uuteen kallistuskokeeseen.

Toimenpiteet vakavuuden tarkistamiseksi muutostöiden yhteydessä ja ennen merelle lähtöä voidaan katsoa sisältyvän laajempina kokonaisuuksina esitettyihin päällikön velvollisuuksiin. Yhtiön turvallisuusjohtamisjärjestelmän kohdassa *Meriklaari* sallitaan, että merikelpoisuutta ei tarkisteta usein toistuvissa rutiinilähdöissä. Nyt alus oli kuitenkin juuri tullut telakalta Naantalista. Tutkijoiden käsitys on, että ennen merelle lähtöä tällaisen tilanteen jälkeen olisi ollut syytä tarkistaa aluksen merikelpoisuus, ml. vakavuus ja kirjata muistiin lastitilanne. Näiden toimenpiteiden tulisi sisältyä rutiininomaisesti varustamon jokaisen aluksen päällikön työhön ilman ohjeistustakin.

Hinaajien päälliköiden koulutus. Hinaajien päälliköiden koulutustasossa ja kokemuksessa on eroja. Aluksen alkuperäisen vakavuusaineiston mukaan vakavuudessa oli reserviä, minkä vuoksi päälliköt saattoivat ajatella, että muutosten vakavuutta heikentävä vaikutus mahtuisi reserviin. Hinaustilanteeseen liittyvät vakavuuden erikoiskysymykset edellyttävät erillistä lisäkoulutusta tai omakohtaista perehtymistä, sillä peruskoulutuksessa näitä ei käsitellä.

Varustamon **paaluvetotarpeen** määrittelymenetelmä avustustehtävää varten oli puutteellinen, koska se johti tarvittavan paaluviedon aliarviointiin. Siinä ei ole otettu huomioon operoinnin vaatimaa reserviä. Kirjallisuudesta olisi helposti ollut saatavilla sopiva menetelmä.

PEGASOSin miehistöllä ei ollut yllään **pelastusliivejä** heidän työskennellessään kannella hinausköyden kiinnittämisen aikana, vaikka varustamon turvallisuusohjeet niin vaativat. Yhdellä miehistön jäsenellä ei ollut liivejä edes mukanaan. Pelastusliivien käyttö riippuu ilmeisesti henkilökohtaisista ja yhtiökohtaisista asenteista ja käytännöistä riippumatta siitä, mitä ohjeissa on sanottu. Liivien käyttämättömyys ohjaamossa ei ollut vastoin ohjeita. Jos liivit olisivat olleet päällä tuolloin, pelastautuminen ohjaamosta olisi tapahtunut toisin¹⁵⁰. Toisaalta, avustustehtävän aikana saattaa olla tarpeen nopeasti mennä kannelle, joten liivit olisi syytä pitää koko ajan yllä. Nykyaikaiset ns. paukkuliivit eivät haittaa työskentelyä. Pelastusliivien käyttämättömyys osoittautui kohtalokkaaksi.

Mediterranean Shipping Company

Varustamon ISM-koodin mukainen **turvallisuusjohtamisjärjestelmä** sisältää hyvin perusteelliset ohjeet hinaaja-avustuksen käytöstä. Ohjeen mukaan hinaajien käytöstä sovi-taan luotsien kanssa. Luotseilla on siten oletettu olevan tarvittava osaaminen hinaaja-avustuksessa. Avustettavan aluksen päällikön katsotaan kuitenkin olevan vastuussa koko operaatiosta, joten hänen riittävä tietämyksensä hinaajista ja hinauksesta on tärkeää.

¹⁵⁰ Ohjaamon täytyttyä vedellä liivit olisivat lauenneet ja ne olisivat saattaneet haitata pelastautumista ulos ohjamaamosta.

MSC HINAn päällikkö, joka oli ollut toimessaan runsaat kolme viikkoa, ei ottanut avustustoimintaa komentoonsa, vaan luotti luotsiin. Tämä oli aluksen ja päällikön ensimmäinen matka Helsinkiin. Päällikkö oletti hinaajan sallitun avustusnopeuden liian suureksi. Tutkijoille esitetyissä laskelmissa hinaajien paaluveto oli arvioitu liian suureksi ja avustuksen vaatima paaluvetotarve liian pieneksi. Tietämys hinaajien vakavuudesta ja ope-
rointirajoituksista oli myös riittämätön. Päällikkö ja perämiehet pitivät hinausköyden vetoa peräkannella olevien suojakaarien alta turvallisempana kiinnitystapana kuin suoraan koukkuun. Tämä virheellinen käsitys osaltaan osoittaa, että tietämys hinaajien toiminnasta oli puutteellinen.

Aluksen SMS-järjestelmä ei ohjaa antamaan tarvittavaa tietoa aluksen ominaisuuksista hinaajaoperaattoreille ja luotseille etukäteissuunnittelua varten.

Merenkululaitos

PEGASOSin turvallisuusjohtamisjärjestelmän **hyväksyntä ja auditointi** oli tehty varustamon pyynnöstä erityisjärjestelyin¹⁵¹. Kaikki alukset, joille viranomainen myöntää turvallisuusjohtamistodistuksen tulisi auditoinnissa käydä läpi yhtä perusteellisesti, vaikka ne hyväksytäänkin osana satamaorganisaatiota.

Merenkululaitoksen **katsastusprosessi** ei havainnut PEGASOSin vakavuuden puutteita.

MKL:n vuonna 1985 julkaisemaan hinaajien **vakavuusmääräysten** mukaan PEGASOS olisi vaatinut vakavuuden erikoistarkastelun sen jälkeen, kun siihen oli asennettu atsimuuttityyppinen alaslaskettava keulapotkuri. MKL:n katsastajat eivät ole voineet olla tietämättömiä keulapotkurin asentamisesta. Vakavuuden tarkistusta ei kuitenkaan ole vaadittu. Tähän tapaukseen MKL:lla ei ole kuitenkaan esittää mitään konkreettista vakavuuden laskentamenettelyä, vaan edellytetään hinaajan omistajan ehdotusta.

Hinaustilanteen vakavuuskriteerien määräykset on laadittu 1970-luvulla, jolloin aluksen vakavuuden laskenta oli työlästä ja kallista. Nykyiset laskentamenetelmät antavat tarkempia lähtötietoja erälle MKL:n hinauskriteerin kaavan muuttujille. On tulkinnanvaraista pitäisikö kaavan lähtöarvot laskea tarkasti vai entiseen tapaan likimääräisesti. Lopputulokset eroavat jonkin verran, millä saattaa rajatapauksissa olla hinaajan turvallisuuden kannalta merkitystä.

Vakavuusmääräysten säädöstekstiin on jäänyt epäselvyyksiä, jotka voivat niitä sovellettaessa heikentää hinaajien turvallisuutta. Poikittaisnopeus koostuu kahdesta osasta: hinaajan poikittaisnopeudesta ja avustettavan potkurivirran nopeudesta hinaajan kohdalla. Tätä seikkaa ei säädöstekstissä ole mainittu.

Avustuksen aikana hinaajan kohtaaman nopeuden määrittäminen sisältää epätarkkuustekijöitä, vaikka hinauskriteerin laskennassa nopeus on 2,5 m/s on tarkka arvo. Aluksen nopeus kyetään mittaamaan kohtalaisen tarkasti, esim. $\pm 0,2$ m/s. Sen sijaan mahdollisten virtauksien tai avustettavan potkurin jättövirran nopeuksia ei kyetä mittaamaan, vaan

¹⁵¹ Ks. kohta 1.4.4 Eri osapuolten operointimääräykset, laatuja järjestelmät ja koulutus/ Hinaajavarustamo

ne joudutaan arvioimaan. Arvioinnin pohjaksi voitaneen laatia erityyppisiä avustettavia aluksia koskevia ohje-arvoja. Käytännössä hinaajan turvallinen poikittaisnopeus pohjan suhteen on korkeintaan noin 1 m/s.

MKL:n poikittaishinausta koskeva osa ei käsittele sellaista dynaamista mahdollisuutta, että hinaaja joutuu poikittaisvirtaukseen tai kohtaa potkurin jättövirtauksen erittäin nopeasti. Tästä voisi säännöissä olla maininta.

Säädöstekstin maininta "epäedullisimmassa lastitilanteessa" on tulkinnanvarainen. Käytännössä epäedullisin lastitilanne saadaan selville laskemalla kaikki lastitilanteet.

PEGASOSin vakavuusaineistosta ei käynyt selkeästi ilmi, oliko kansirakennus otettu huomioon vakavuuslaskelmissa suljettuna tilana. Kansirakennuksen ja sen aukkojen merkitys on hinaajan vakavuudelle ja siten turvallisuudelle erittäin merkittävä. Sen vuoksi vakavuuslaskelmia koskeviin määräyksiin tulisi lisätä vaatimus tiedosta, mitkä tilat on otettu huomioon suljettuina muotovakavuutta laskettaessa. Tämä seikka tulee ottaa huomioon myös vakavuusaineistoja tarkistettaessa. Vastaavasti aineistoon tulee sisällyttää vaatimus tarvittavien aukkojen säätiiviistä sulkemisesta aluksen käytön yhteydessä.

MKL:lle esitettävien hinaajien hinaustilanteen **vakavuuslaskelmien tarkistusmenetelystä** puuttuu vaatimus näyttää toteen oleellisten parametrien lukuarvot. Kaikissa kolmessa onnettomuustutkinnan viime aikoina läpikäymässä hinaajien laskelmassa on löytynyt tästä puutteesta johtuvia virheitä. PEGASOSin ja POSEIDONin vakavuusaineistojen sisältämät virheet eivät löytyneet aineistojen hyväksynnän ja katsastusten yhteydessä. Paperitarkistuksen lisäksi on syytä tehdä konkreettisia tarkistusmittauksia itse aluksella. On pelättävissä, että monissa Suomessa toimivien hinaajien vakavuuslaskelmissa on virheitä.

Hinaajien turvallisuutta parantavana toimenpiteenä tutkintalautakunta pitää dokumentaation tarkastamisen ja sen yhteydessä löytyneiden puutteiden korjaamista. Tämän voivat hinaajavarustamot tehdä oma-aloitteisesti. MKL voisi ryhtyä vaatimaan tätä katsastusten yhteydessä.

Luotsauksen valvonta. Luotsausta valvovana viranomaisena MKL:n liikenteenohjaus ei edellytä luotseilta erillistä hinaajaoperoinnin koulutusta. Yhteisen luotsaussuunnitelman tekemistä ei myöskään edellytetä.

Luotsausliikelaite¹⁵²

Luotsien **tilausprosessi** ei tuota tarvittavaa tietoa luotsattavan aluksen teknisistä tiedoista ja ohjailuominaisuuksista luotsauksen suunnittelua varten. Toisaalta on mahdollista pyytää lisätietoja suoraan alukselta. MSC HINA oli luotseille outo alus ja ensikertaa tulossa Helsinkiin, joten olisi ollut syytä hankkia siitä riittävästi tietoja eri keinoin. Aikaa oli runsaasti, koska MSC HINAN tulo siirtyi.

¹⁵² Luotsausta oltiin PEGASOSin onnettomuuden aikaan organisoimassa MKL:sta erillään toimivaksi Luotsausliikelaitekeskiksi, joka aloitti toimintansa 1.1.2004. Koska luotsaus oli 13.11.2003 jo erotettu omaksi kokonaisuudeksi, käsitellään tutkinnan analyysissä tämän hetkistä toimivaltaista organisaatiota.

Mikään järjestelmä ei tuottanut tarpeellista ja todellista tietoa muille osapuolille MSC HINAN keulapotkurin epäkuntoisuudesta tai koneistojen käytettävyydestä.

Luotsauskäytäntö. Perinteisesti luotsit yrittävät luotsata aluksen kuin aluksen satamaan kaikissa olosuhteissa. PEGASOSin onnettomuusluotsauksessa luotsit hyväksyivät mielestään riittämättömän kaluston. Kirjallista luotsaussuunnitelmaa ei ollut tapana tehdä¹⁵³.

Luotsien koulutus. Luotsien tietämys hinaajien ominaisuuksista osoittautui riittämättömäksi. Heillä oli käsitys avustettavan suurimmasta sallitusta nopeudesta, kun hinaaja toimii avustettavan perässä, mutta ei käsitystä siitä että potkurivirran nopeus tulee ottaa huomioon. Heitä ei oltu koulutettu luotsaukseen hinaaja-avustuksen yhteydessä. IMOn julkaisu, jossa on suositukset luotsien koulutuksesta ilmestyi vasta onnettomuuden jälkeen¹⁵³.

Helsingin satama

Helsingin satama ei ole satamajärjestyksessään määrittänyt **hinaajastrategiaa** eikä rajoituksia tai ohjeita hinaajien käyttövaatimuksista. Tutkinnassa tarkasteltujen satamien hinaajamääräysten perusteella on mahdollista, että hinaajamääräykset olisivat ohjanneet suurempien hinaajien käyttöön, parempaan tapauskohtaiseen suunnitteluun ja yhteistyöhön avustettavan aluksen, luotsien ja hinaajien kesken sekä sitä kautta turvallisempaan yhteiseen operointitapaan.

Yksityiskohtaiset hinaajamääräykset puuttuvat kahta lukuun ottamatta kaikista Suomen satamista. Tämä saattaa johtua siitä, että avustustoiminta satamiin koskettaa useaa toimijaa, mutta kukaan ei tunne aiheita kokonaan omakseen. Kyseisten kahden sataman hinaaja-avustusta koskevat määräykset sisältävät myös sisääntuloväylät. Näin on tavoiteltu liikenteen häiriötöntä kulkua ja hyvää tehokkuutta sekä sitä kautta myös parempaa turvallisuutta. Aikaisemmin julkaistuissa onnettomuustutkinnan raporteissa on kiinnitetty huomiota satamien pakollisen hinaaja-avustuksen kriteereihin ja tuulirajoihin¹⁵⁴.

Suomen Satamaliiton mukaan Suomen satamilla on yhteinen satamajärjestyspohja, jonka mukaan satamaviranomainen voi myös määrittää aluksen käyttämään hinaaja-apua¹⁵⁵.

2.3 Osapuolten välinen yhteistyö – tärkein taustatekijä

Osapuolten välisen yhteistyön heikkoudet sekä itse operoinnissa että sen suunnittelussa ja yhteisten intressien kehittämisessä ovat onnettomuuden tärkein taustatekijä. Tähän liittyvät myös hinaajan vakavuuden ongelmat.

¹⁵³ Luotsauksen reittisuunnitelma on otettu käyttöön pysyvänä käytäntönä Luotsausliikelaitoksessa vuoden 2006 keväällä. Recommendations on training and certification and on operational procedures for maritime pilots other than deep-sea pilots, IMO Resolution A.960(23), 5.12.2003.

¹⁵⁴ Tutkintaselostukset C 16/1997 M (Chrystal Amethyst), C 2/2002 M (City of Sunderland) ja B 7/2004 M (Superfast VII).

¹⁵⁵ Suomen Satamaliiton lausunto 13.11.2006, liitteenä

PEGASOSin **onnettomuuden välittöminä osapuolina** olivat hinaajien PEGASOS ja POSEIDON päälliköt, avustettavan aluksen MSC HINAn päällikkö sekä avustettavalla aluksella työskennelleet kaksi luotsia. Heidän myötänsä osapuoliksi tulivat itse alukset, niiden miehistöt ja niiden varustamot sekä Luotsausliikelaitos ja kaikkien näiden toimintatavat.

Taustalla vaikuttavat eri tahojen määräykset ja ohjeet sekä niiden ja lakien noudattamista valvovina viranomaisina merenkulkulaitoksen meriliikenteen ohjaustoiminto ja meriturvallisuustoiminto. Suomen merilainsäädäntö sisältää Suomen ratifioimat kansainväliset merialan sopimukset, joista tässä tapauksessa tulevat kyseeseen IMon piirissä laaditut. Taustatekijänä olivat myös Helsingin ja yleisemmin Suomen satamien puuttuvat hinaajamääräykset koskien alusten avustamista satamiin johtavilla väylillä.

Osapuolten yhteistoiminta. Avustustehtävää ei suunniteltu eikä toteutettu riittävässä määrin hinaajien, luotsien ja avustettavan aluksen yhteistoimin. Todelliseen yhdessä toimimiseen tarvittava tietämys toisten osapuolten toimintatavoista ja rajoituksista oli puutteellista. Toimintakulttuuritkaan eivät ohjanneet kaikkien osapuolten yhteistoimintaan. Tilannetta voisi parantaa eri osapuolten, myös sataman ja merenkulkuviranomaisten, yhdessä suunnittelemat koulutustilaisuudet.

Yhteinen avustussuunnitelma voi konkreettisessa tilanteessa olla kaikkien osapuolten läpikäymä tarkistuslista. Vaikka kyseessä olisivat saman asiasisällön omaavat, eri organisaatioiden omat tarkistuslistat, niiden sisällön yhteneväisyys pitää tarkistaa. Tarkistuslistojen asiasisältöä koskevassa yhteydenpidossa luotsit ovat avainasemassa. Lisäksi luotsien tehtäviin (tarkistuslistaan) kuuluu varmistaa, että avustettavalla aluksella ja hinaajilla on ajantasaiset tiedot sekä toisistaan että avustustehtävästä. Kaikkien osapuolien tulee tarkistuslistojen kehittämisessä ottaa huomioon muut toimijat.

Tutkinnassa tehtyjen havaintojen mukaan molempien varustamoiden avustustoimintaa koskevat ohjeet ovat melko kattavat, mutta ne on kehitetty itsenäisesti. Niissä ei ole otettu riittävästi huomioon toisten osapuolten toimintatapoja ja -rajoituksia.

Hinaajaoperointiin liittyvä koulutus. Mitkään säännöt eivät riitä takaamaan turvallisuutta tilanteissa, joissa operoidaan virheellisesti. Hinaajan ollessa avustettavan aluksen perässä, sen koneita ei saa käynnistää sopimatta siitä hinaajan päällikön kanssa. Tässä kohdin merkittävin tekijä on eri osapuolten tietämys sääntöjen sisällöstä, rajoituksista ja taustoista. Hinaajan päällikkö on avainasemassa. Hänen tulee selkeästi ilmoittaa muille osapuolille (luotsit ja avustettavan päällikkö), mihin hänen hinaajansa pystyy ja mitkä toimenpiteet ovat ehdottomasti kiellettyjä. Luotsien tulee olla tietoisia hinaajien toiminnallisista rajoituksista, myös hinaustilanteen vakavuuskriteereistä sekä potkurivirran osuudesta hinaajan kohtaamassa virtausnopeudessa. Luonnollisesti avustettavan päällikön, joka on päävastuussa koko operaatiosta, tulee tuntea hinaajien käyttäytyminen. Jotta tämä tavoite saavutetaan, on osapuolten koulutussisältöihin kuuluttava hinaajien ominaisuudet ja operointi avustustilanteessa, erityisesti vakavuuteen liittyvät kysymykset.

Avustustoiminnan turvallisuus perustuu eri osapuolten hyvään yhteistyöhön sekä rajoitusten ja mahdollisuuksien tuntemiseen. Koulutusta, jonka aiheina ovat yhteinen avustussuunnitelma, yhteiset proseduurit ja yhteinen englanninkielinen fraseologia, tulisi antaa kaikille toimintaan osallistuville. Ammattiin johtavan koulutuksen lisäksi tarvitaan eri osapuolille suunnattua toistuvaa jatko- ja täsmäkoulutusta. Koulutus voidaan toteuttaa teoriajaksoin, käytännön harjoituksin ja simuloinneilla. Monipuolisesti avustustoimintaan liittyvää koulutusta suunnattuna hinaajien päälliköille ja luotseille on käsitelty kirjassa *Tug Use in Port*.

Yhteenveto

Onnettomuudelle on vaikea todeta yhtä yksittäistä syytä. Onnettomuus johtui vaaratilanteesta, joka päättyi hinaajan kaatumiseen ja uppoamiseen.

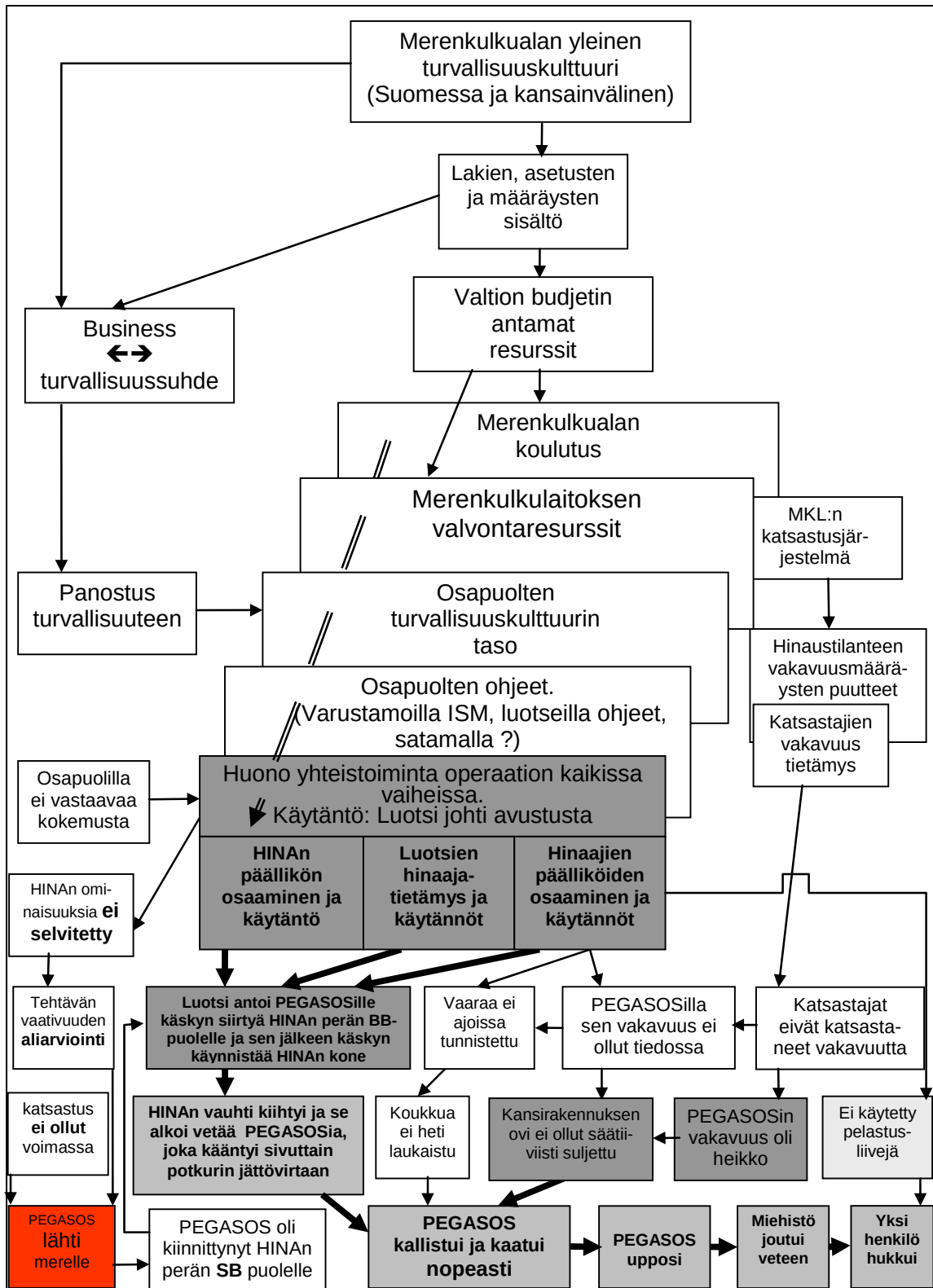
Puutteellisuudet avustuksen yhteisessä suunnittelussa ja kommunikoinnissa operaation kaikissa vaiheissa loivat edellytykset vaaratilanteen syntymiselle. Avustuksen kannalta tärkeät tiedot mm. avustettavan aluksen ja hinaajien ominaisuuksista sekä erilaiset näkemykset avustustavasta tarkentuivat eri osapuolille vähitellen sekä ennen luotsausta että sen alettua. Uudet tiedot eivät kuitenkaan johtaneet keskusteluun, jossa osapuolten eriävät näkemykset avustuksen toteutuksesta olisivat tulleet esiin ja käsitelty yhteiseksi avustussuunnitelmaksi. Vaaratilanne syntyi, kun viestintä epäonnistui operoinnin aikana käynnistettäessä avustettavan pääkone. Vaaratilanteen kehittymiseen onnettomuudeksi myötävaikutti hinausköyden normaali kiinnitystapa hinaajaan. Kaatumisen aiheutti lopulta hinaajan heikko vakavuus ja se, että tapahtuman nopeuden vuoksi päällikkö ei ehtinyt laukaista hinauskoukkua ennen hinaajan kaatumista.

Lisäksi tutkinnassa on löydetty varustamon ja viranomaisten toiminnassa onnettomuuteen taustalla myötävaikuttaneita tekijöitä. Alukseen tehtyjen muutosten vaikutukset vakavuuteen olivat jääneet piileviksi. Yhteisenä tekijänä on turvallisuuskulttuurin kehittymättömyys.

Onnettomuuteen vaikuttaneet tärkeimmät syyt on koottu kuvaan 33. Harmaalla on erotettu välittömät syyt. Tummempi harmaa näyttää varsinaisen kaatumisen syyketjun ja vaaleampi tapahtuman nopeuteen ja hukkumiseen vaikuttaneet välittömät syyt. Punaisella värillä näytetty on rikkomus.

2.4 Pelastustoiminta

MRSC Helsinki hälytti nopeasti kadonneen etsintöihin useita aluksia ja helikopterin. Alueella olleen merivoimien sotaharjoituksen vuoksi saatiin etsintöihin hälytetyksi runsaasti viranomaisyksiköitä. Pelastusyksiköiden suuri määrä mahdollisti etsintäalueen nopean läpikäynnin, vaikka kolme yksikköä jouduttiin vapauttamaan teknisten ja operatiivisten syiden vuoksi.



Kuva 33. Onnettomuuteen vaikuttaneet syyketjut.

3 JOHTOPÄÄTÖKSET

Hinaaja PEGASOS joutui vaaratilanteeseen avustettavan MSC HINAn kiihdytettyä nopeuttaan. Vaaratilanne syntyi, kun viestintä epäonnistui. Avustettava veti nopeuden kasvassa PEGASOSin keskemälle peränsä taakse, jolloin hinaajan päällikkö pystyi ohjailutoimenpiteillään viivästyttämään PEGASOSin kääntymistä poikittain. Kun hinaajan perä noin kahden ja puolen solmun nopeudessa osui MSC HINAn potkurin jättövirtaan, PEGASOS kuitenkin kääntyi nopeasti poikittain ja kaatui välittömästi sen jälkeen.

Vaaratilanteen syntymiselle loi edellytykset avustuksen yhteisen suunnittelun puutteellisuus. Avustuksen kannalta tärkeitä uusia tietoja vaihdettiin muutaman kerran eri osapuolten kesken sekä ennen luotsausta että sen alettua, mutta ne eivät johtaneet avustuksen toteutustavan uudelleenarviointiin.

Vaaratilanteen kehittymiseen onnettomuudeksi myötävaikutti hinausköyden kiinnitystapa. Kaatumisen aiheutti lopulta hinaajan heikko vakavuus¹⁵⁶ ja se, että päällikkö ei ehtinyt laukaista hinauskoukkua ennen kaatumista.

3.1 Avustustoiminnan kulku

Kaatumisen välitön syy – PEGASOSin heikko vakavuus ja myöhäinen koukun laukaisu

PEGASOS kääntyi poikittain potkurin jättövirtaan. Tuloksena oli poikittaisnopeus, joka johti PEGASOSin nopeaan kaatumiseen. Kaatumista nopeutti se, että hinaajan vakavuus alitti MKL:n sääntöjen vaatimukset. Nyt koukun laukaisu ei onnistunut ajoissa tahtuman nopeuden vuoksi.

Koukku olisi pitänyt laukaista heti, kun MSC HINAn potkurivirta havaittiin. Ensimmäisen kansikerroksen oven säätiivis sulkeminen olisi viivästyttänyt vallinneellakin vakavuudella kaatumista ja uppoamista, minkä johdosta mahdollisuudet estää kaatuminen koukun laukaisulla olisivat parantuneet. Ridarin käyttö olisi estänyt kääntymisen poikittain. Ridarin käyttö ei sisältynyt hinaajavarustamossa tavanomaisiin toimintatapoihin.

PEGASOSin vakavuus onnettomuustilanteessa oli selvästi heikompi kuin aluksella ollut vakavuusaineisto antoi ymmärtää. Vakavuusaineiston mukaan vakavuus oli sääntöjen vaatimukset täyttävä. Hieman ennen onnettomuutta varustamo oli ryhtynyt tarkistamaan PEGASOSin vakavuutta teettämällä alukselle kallistuskokeen. Alus päästettiin merelle, vaikka kokeen tulokset eivät olleet selvillä. Aluksen katsastus oli umpeutunut. Päälliköllä ei ollut tietoa aluksen todellisesta vakavuudesta eikä kallistuskokeesta. Varustamo ei ollut saattanut vakavuustietoja ajan tasalle. MKL:n katsastustoiminta oli epäonnistunut tuomaan esille puutteet vakavuudessa.

¹⁵⁶ Hinaajien kaatumisonnettomuudet ja vaaratilanteet ovat melko yleisiä. Hinaaja VOIMAlle sattunut onnettomuus on raportoitu tutkintaselostuksessa C 14/2001 M. Siinä on myös kuvauksia useista muista hinaajaonnettomuuksista.

Vaaratilanteen välitön syy – MSC HINAN kiihdytys

MSC HINAN koneen käynnistäminen johtui luotsin arviosta, että hinaajien aloittamat oikaisutoimenpiteet eivät vaikuta riittävän nopeasti ja alus olisi kääntymässä liikaa pois väylän suunnasta sekä ajautumassa pois väylältä. Luotsi ei tuntenut PEGASOSin toimintarajoituksia, eikä hän nähnyt hinaajaa. Luotsien ja MSC HINAN päällikön käsitysten mukaan nopeus oli niin pieni, että se ei ollut vaarallinen. Potkurin jättövirran vaikutusta he eivät ilmeisesti osanneet ottaa huomioon. Kesken hinaajien aloittamaa MSC HINAN oikaisua väylän suuntaiseksi luotsi antoi käskyn käynnistää MSC HINAN kone ilman ennakkoaroitusta tai antamalla käynnistyskäskyn ja varoituksen lähes samanaikaisesti. Hän ei jäänyt odottamaan kuittausta. Luotsia saattoivat MSC HINAN kääntymisen lisäksi huolestuttaa avustuksessa aiemmin paljastuneet aluksen ohjailuvaikeudet.

Vaaratilanteen välilliset syyt – suunnittelun ja kommunikoinnin puutteellisuudet

Luotsit ja hinaajien päälliköt eivät suunnitelleet avustustehtävää yhteisesti riittävässä laajuudessa. Suunnittelussa ei käytetty apuna tarkistuslistoja eikä avustettavaan alukseen otettu yhteyttä. Avustettava alus ei ollut toimittanut riittävästi tietoja ominaisuuksistaan avustustilauksen yhteydessä. Eri osapuolilla oli toisistaan poikkeava käsitys hinaajien tehtävästä. Luotsauksen aikana saadut lisätiedot eivät kuitenkaan johtaneet keskusteluun, jossa osapuolten eriävät näkemykset avustuksen toteutuksesta olisivat tulleet esiin ja käsitelty yhteiseksi avustussuunnitelmaksi..

Hinaajien yhteinen teho (paaluveto) oli avustettavan kokoon ja olosuhteisiin nähden riittämätön. Hinaajien ja MSC HINAN päälliköillä käytössä olleet menetelmät tarvittavan paaluveton määrittämiseksi olivat puutteelliset.

Avustettavan aluksen päälliköllä ei ollut oikeata kuvaa eikä kokemusta Helsingin sataman hinaajien toimintatavasta ja toimintarajoituksista. Hänen arvionsa hinaajakapasiteetin tarpeesta oli liian pieni ja arvio tarjottujen hinaajien paaluvetosta liian suuri. Päällikkö ei osallistunut avustustoiminnan suunnitteluun tai sen kulkuun aktiivisesti. Hän hyväksyi luotsien aktiivisen roolin, joka on normaali käytäntö.

Osapuolten ohjeet eivät ohjanneet suunnittelemaan avustusta riittävässä laajuudessa yhteisvoimin. Osapuolten arvioita ei verrattu keskenään.

Hukkumisonnettomuus

Hukkuneella konepäälliköllä ei ollut pelastusliivejä. Aluksella olleiden, kevyiden, ns. paukkuliivien käyttö olisi todennäköisesti estänyt hukkumisen. Tällaisten pelastusliivien käyttö tulisi ohjeissa tehdä pakolliseksi.

3.2 Hinaajien operoinnin turvallisuuskulttuurin merkitys

PEGASOSin onnettomuuden taustalla vaikutti vallitseva turvallisuuskulttuuri. PEGASOSin ja hinaajavarustamon turvallisuusjohtamisjärjestelmä ei vielä toiminut ISM-koodin tavoitteiden mukaisesti, koska todellinen turvallisuuskulttuuri oli vasta muodostumassa.

PEGASOSin onnettomuus on esimerkki tilanteesta, jossa moni tärkeä toimintaan vaikuttava seikka toteutettiin puutteellisesti tai toimittiin virheellisin tiedoin.

Tutkijoiden mielestä osapuolten avustustoimintaa koskeissa ohjeissa tulisi paremmin ottaa huomioon muiden osapuolten toimintatavat ja – rajoitukset. Tämä voitaisiin tehdä kehittämällä ohjeita yhteistyössä ja ohjeistamalla avustustoiminnan prosessit mm. englanninkielinen radiopuhelinliikenne.

Avustusoperaatio on suunniteltava yhdessä ennakkoon. Avustusoperaatiota ei suunniteltu yhteisvoimin riittävästi, jolloin toiminta perustui puutteellisiin tietoihin toisten osapuolien mahdollisuuksista ja rajoituksista. Vajavainen kokemukseen oudon ja suuren aluksen avustamisesta ei johtanut riittäviin selvityksiin.

Satamien olemassa olevat laatujärjestelmät kohdistuvat maa-alueilla tapahtuvaan toimintaan. Vain kahdessa Suomen satamassa on yksityiskohtaiset ohjeet/määräykset hinaajien käytöstä. Satamien hinaajamääräykset voivat edistää turvallisemman yhteisen operointitavan kehittymistä. Satamat eivät ole olleet mukana hinaajaoperoinnin määräysten ja ohjeiden suunnittelussa sekä sen turvallisuuskulttuurin kehittämisessä. Kaikkien satamien tulisi kehittää yhteistyössä alan toimijoiden kanssa omaan profiiliin soveltuvat määräykset.

PEGASOS lähti avustukseen, vaikka sen olisi pitänyt olla laiturissa odottamassa uutta katsastusta. Turvallisuusjohtamisjärjestelmä ei sisältänyt sellaista suojausta, joka olisi estänyt merelle lähdön. Kallistuskokeen tulos olisi pitänyt saada selville ja uudet vakavuuslaskelmat olisi pitänyt tehdä ennen merelle lähtöä. Varustamon ja hinaajien päälliköiden välinen tiedonkulku oli vajavaista.

Suomen hinaajakanta on valtaosin iäkästä. Tavallista on, että hinaajien ja niiden varustamoiden omistajat ovat vaihtuneet useaan otteeseen. Näistä syistä **hinaajien dokumentit ovat vanhoja ja usein puutteellisia**. Muutoksia ei ole viety piirustuksiin, eikä vakavuusaineistoon. Aluksen omistajan tulee huolehtia tästä. Vaikka hinaajavarustamolla oli turvallisuusjohtamisjärjestelmä, niin tältä osin sitä ei ole noudatettu. Aluksen käytöttilanteet ovat saattaneet muuttua vuosien kuluessa niin, että vanhat lastitilanteet eivät enää kuvasta todellisuutta. Tällöin koko vakavuusdokumentaatio on epärelevantti, kuten oli tilanne myös hinaaja VOIMAn onnettomuudessa (tutkintaraportti C14/2001 M).

Operoivien yhtiöiden tulisi kehittää turvallisuusjohtamisjärjestelmiänsä niin, että ne pakottavat saattamaan vanhat dokumentit ajan tasalle ja pitämään kaikki asiakirjat ajan tasalla. Lisäksi on huolehdittava siitä, että tällöin ilmi tulevat katsastustarpeet ilmoitetaan viranomaisille.

Hinaajaoperointiin liittyvä koulutus. Tietämys hinaajien operointirajoituksista ja vakavuudesta on puutteellista. Tutustuminen hinaajien vakavuuskriteereihin tai hinaajaoperointiin käytännön harjoituksilla on sattumanvaraista. Osapuolten nykyisissä koulutusohjelmissa on hinaajia käsitelty varsin pintapuolisesti. Nykytilanteessa kouluttautuminen opiskelun jälkeen on liikaa oman aktiviteetin varassa. On syytä yhteistoimin kehittää koulutusohjelmat oppilaitoksille, hinaajayhtiöille ja luotseille.

3.3 MKL:n katsastustoiminta ja vakavuusmääräykset

MKL:n **katsastusjärjestelmä** ei ole kyennyt pakottamaan omistajaa päivittämään tärkeimpiä dokumentteja eikä katsastuksissa paljastunut tutkinnassa löydettyjä puutteita. Teoreettiset kysymykset, kuten vakavuus, ovat jääneet vähemmälle huomiolle. Ne vaativat perusteellista perehtymistä aluksen dokumentaatioon ja alukseen tehtyihin muutoksiin. Rakenteelliset ja operatiiviset muutokset vaikuttavat aluksen painoon (ja edelleen syvyykseen) ja painopisteeseen, hinausjärjestelyyn, paaluvetoon; ts. aluksen vakavuuteen ja sitä kautta turvallisuuteen.

Hyvän käytännön mukainen hinaajan vakavuusaineisto sisältää selvitykset tärkeimmistä aluksen vakavuuteen vaikuttavista perustiedoista (mittauspöytäkirjat, piirustukset ja tarvittaessa erilliset laskelmat, erimerkkeinä hinauskaaren säde, hinauspisteen paikka, paaluveto, painotiedot ja vesitiiviit tilat). Kun katsastusten yhteydessä tarkistetaan nämä tiedot, pysytään ajan tasalla samalla kun syntyy dokumentoitu katsastushistoria. On mahdollista asettaa tärkeimmille muuttujille sallitut toleranssit. Jos tarkistuksissa todetaan muuttujan olevan toleranssialueen ulkopuolella, on tehtävä selvitys muutoksen vaikutuksesta vakavuuteen.

Tämä ja aiemmat vastaavat onnettomuudet antavat aiheen olettaa, että liikenteessä on hinaajia, joiden todellinen tilanne ei vastaa käytössä olevia dokumentteja. Tilanteesta saadaan selko vain tarkastamalla kaikki hinaajat.

MKL:n hinaustilanteen **vakavuusmääräyksissä** on löydetty täsmennystarpeita. Hinaajan käyttäjää ei varoiteta poikittaisvirtaustilanteesta mahdollisesta avustettavan aluksen synnyttämästä potkurin jättövirtauksesta ja sen aiheuttamasta sallitun poikittaisnopeuden 2,5 m/s oleellisesta alenemisesta. Lisäksi ei ole selvästi esitetty, mitä tarkoittaa "epäedullisimmassa lastitilanteessa". Ohjauspotkurilla varustetulle periteisen tyyppiselle hinaajalle ei ole vakavuuden laskentaohjetta. Näiden seikkojen johdosta hinaajan vakavuudesta saadaan yleensä todellisuutta parempi käsitys. Tässä onnettomuudessa näiden tekijöiden vaikutus onnettomuuden syntyyn oli vähäinen, koska vakavuus oli heikko jo muutenkin.

Vakavuuden laskentamenetelmät ovat kehittyneet vakavuusmääräysten voimaantulon jälkeen. Tästä on seurannut tarve määritellä uudelleen eräiden hinaustilanteen vakavuuskriteerien parametrien laskentatavat. Perinteisten hinaajien vakavuusmääräysten kehittäminen näyttää pysähtyneen¹⁵⁷. Hinaajien turvallisuuden ml. vakavuuden tutkiminen on viime vuosina keskittynyt saattohinaajiin ja niille on kehitetty tarkat säännöt. Kuitenkin perinteiset hinaajat muodostavat edelleen valtaosan käytössä olevista hinaajista ja hinaajakanta on iäkästä.

¹⁵⁷ Merenkululaitos on lausunossaan selvittänyt tulevia muutoksiaan hinaajien vakavuusvaatimuksiin ja IMO:n mahdollisia tulevia vaatimuksia hinaajien vakavuustarkastelulle. Merenkululaitoksen lausunto 26.01.2007 ks Liite

4 TURVALLISUUSSUOSITUKSET

Tutkintalautakunta on katsonut tarkoituksenmukaiseksi jakaa suositukset kahteen ryhmään: lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä hinaajien turvallisuutta parantavat toimenpiteet.

4.1 Lyhyen tähtäimen turvallisuutta parantavat toimenpiteet

Hinaajien vakavuusaineistojen tarkastaminen

Suomen hinaajakanta on suurelta osin iäkästä. Useat hinaajat on hankittu käytettyinä. Alusten dokumentit ovat usein puutteellisia eivätkä vastaa aluksen nykytilaa. Avustus-toimintaan liittyy erityispiirteenä hinaajan vakavuuden hallinta. Hinaajien vakavuusaineistot saattavat olla vuosikymmeniä vanhoja, eikä ole varmuutta siitä, pitävätkö alkupe-
räiset tiedot enää paikkansa. Merenkululaitos ei ole katsastuksissa vaatinut vanhojen hinaajien piirustuksia saatettaviksi ajan tasalle. Asiakirjoissa esitettyjen tietojen luotetta-
vuutta ei Merenkululaitoksessa ole tarkastettu eikä ole vaadittu todisteita turvallisu-
uteen vaikuttaville mitoille. Vanhoille hinaajille on perusteltua harkita kallistuskokeen ja
uusien nyky menetelmiin perustuvien laivateoreettisten laskelmien tekemistä.

Tutkijat suosittavat, että

1. *Merenkululaitoksen tulee vaatia ja valvoa, että:*

- *varustamot tarkastavat sovittavassa aikataulussa vanhojen ja tarvittaessa muidenkin hinaajien tärkeimmät piirustukset ja vakavuusaineistot,*
- *laskelmien lähtötietoina olevien tärkeiden tietojen paikkansapitävyys osoite-
taan mm. mittauksin, laskelmin ja kokein sekä*
- *alusta katsastettaessa vakavuusasiakirjojen oikeellisuuteen kiinnitetään tar-
peellinen huomio.*

Hinaajien vakavuusmääräysten kehittäminen

Hinaajille on Suomessa ainutlaatuiset ja ilmeisen toimivat vakavuussäännöt. Niissä on
tutkinnassa löydetty täsmennystarpeita. Hinaajan säännönmukaisen poikittaisnopeuden
määrittelyssä ei ole mainittu, että nopeus sisältää esim. mahdollisen avustettavan aluk-
sen potkurivirran. Vaatimus laskelmien tekemisestä pahimmassa lastitapauksessa ei ole
yksikäsitteinen. Ohjailupotkurilaitteilla varustettujen perinteisen tyyppisen hinaajan tulee
joutua Merenkululaitoksen erityistarkasteluun. Nykyisten laskentamenetelmien käytöstä
johtuen on täsmennettävä, miten aluksen asennon vaikutus otetaan hinauskriteerin
määrittämisessä huomioon. Vakavuuden laskennassa suljettuina pidetyt tilat tulee vaatia
selkeästi näkyviin vakavuusaineistossa. Yksistään sääntöjen iän vuoksi on syytä selvit-
tää uusimpien tutkimusten tulokset ja ottaa ne huomioon sääntöjen päivityksessä.

Tutkijat suosittavat, että

2. *Merenkulkulaitos täsmentää hinaajien vakavuusmääräyksiä tutkinnassa esiin tulneiden seikkojen osalta. Erityisesti määräyksiin on syytä lisätä varoitus yli 1 m/s poikittaisnopeuksista pohjan suhteen hinaajan ollessa virtaavassa vedessä.*

Merenkulkulaitos on osin aloittanut turvallisuussuosituksiin 1 ja 2 liittyvien muutosten toteuttamisen¹⁵⁸.

MKL:n vakavuuskriteerin kehittämisestä on kulunut jo yli 20 vuotta. Sääntöjen täsmennyksen yhteydessä olisi aiheutta selvittää hinaajien vakavuustietämyksen ja sääntöjen nykytilanne laajemmin kuin tässä raportissa. Eräs tapa olisi antaa se tehtäväksi diplomitai liseniaattityönä.

Tutkijat suosittavat, että

3. *Varustamot ja Merenkulkulaitos yhdessä merenkulkualan oppilaitosten kanssa kehittäisivät opiskelijoille opintojen päättötöitä hinaajaoperoinnin riskitekijöistä ja sääntöjen ajanmukaistamiseen liittyvistä kysymyksistä.*

4.2 Pitkän tähtäimen toimenpiteet

Nämä toimenpiteet vaikuttavat hitaasti, mutta ne on silti syytä käynnistää nopeasti.

Turvallisuusjohtamisjärjestelmien kehittäminen

Avustustoiminnan turvallisuuskulttuuri koostuu osapuolten sisäisistä toimintatavoista ja kyvystä toimia yhteistyössä muiden organisaatioiden kanssa. Toimivan turvallisuuskulttuurin edellytys on oikeudenmukainen poikkeamien raportointijärjestelmä. Virheet tutkitaan ja niiden analyysin perusteella suunnitellaan toimintatapoihin parannukset, lisätään suojauksia ja tehostetaan valppaana pysymistä mm. riskianalyysien. Erityisen tärkeää on saada organisaatio ymmärtämään poikkeamaraportoinnin edut. Toiminta muuttuu jatkuvaksi parantamiseksi ja aktiiviseksi oppimiseksi.

Tutkijat suosittavat, että

4. *Hinaajavarustamo kehittää turvallisuusjohtamisjärjestelmän poikkeamaraportointiprosessia siten, että se kannustaa raportointiin. Myös vakavuuden käsittelyä järjestelmän ohjeissa tulee lisätä.*
5. *Merenkulkulaitos turvallisuusjohtamisjärjestelmän audittoijana kiinnittää tarkastuksissaan erityisesti huomiota siihen, miten varustamoiden poikkeamaraportit analysoidaan ja niiden perusteella toimitaan.*

¹⁵⁸ Merenkulkulaitoksen lausunto 26.01.2007 ks Liite

Yhteistoiminnan ja koulutuksen kehittäminen

Avustustoiminta edellyttää hyvää yhteistyötä hinaajan päällikön, avustettavan aluksen päällikön ja luotsien kesken. Tätä varten on paremmin tunnettava toisten osapuolten toiminnan periaatteet ja rajoitukset. Konkreettisessa tilanteessa on kaikkien osapuolten oltava yhteydessä keskenään. Käytännössä tämä voisi tapahtua saman asiasisällön omaavien, eri organisaatioiden omien tarkistuslistojen avulla. Tarkistuslistojen asiasisältöä koskevassa yhteydenpidossa luotsit ovat avainasemassa. Lisäksi luotsien tehtäviin (tarkistuslistaan) kuuluu varmistaa, että avustettavalla aluksella ja hinaajilla on ajantasaiset tiedot sekä toisistaan että avustustehtävästä. Kaikkien osapuolien tulee tarkistuslistojen kehittämisessä ottaa huomioon muut toimijat. Myös satamien tulee osallistua kehitystyöhön.

Saattohinaajien ja saattohinauksen yleistymisen ulkomailla on johtanut siihen, että Suomeen tulevat alukset saattavat olettaa tämän tyyppisen avustustavan olevan käytössä. Tästä syystä suomalaisten hinaajaoperoijien ja luotsien tulee ajoissa ennen avustuksen alkua tarkistaa saapuvalta alukselta sen oletama avustustapa ja olla valmiudessa tarvittaessa mm. ridarin käyttöön.

Alan peruskoulutuksen lisäksi tarvitaan hinaajien operointiin ja vakavuuteen liittyvää koulutusta osapuolille sekä erikseen, että yhteisesti, esim. avustussuunnitelmien laatimista.

Tutkijat suosittavat, että

6. *Varustamot lisäävät ohjeisiinsa vaatimuksen, että avustustehtävä on käytävä läpi tarkistuslistojen avulla muiden osapuolten kanssa. Varustamoiden tulee myös ohjeistaa prosessi, jolla omien ohjeiden kehittämisessä ollaan yhteistyössä toisten osapuolien kanssa. Hinaajien avustustoiminnan erityispiirteisiin liittyvää koulutusta on lisättävä.*
7. *Luotsausliikelaitos lisää ohjeisiinsa vaatimuksen, että avustustehtävä on käytävä läpi tarkistuslistan avulla muiden osapuolten kanssa. Luotsien tietämystä hinaajien kanssa toimimisesta mm. erikoislaatuista vakavuusominaisuuksista on parannettava koulutuksella. Luotsausohjeita tulee täydentää avustustoimintaan ja hinaajien vakavuuteen liittyvillä ohjeilla¹⁵⁹.*
8. *Opetushallituksen merenkulun koulutusyksikön koordinoimana merenkulkualan oppilaitokset kehittävät opetussuunnitelmiaan hinaajien operointiin liittyvissä aiheissa. Oppilaitosten tulee olla mukana kehittämässä täsmäkoulutusta¹⁶⁰.*

¹⁵⁹ Luotsausliikelaitos esittelee lausunnossaan 30.11.2006 luotsien koulutuksen tilannetta. Lisäksi luotsausliikelaitos katsoo lausunnossaan, että tarkistuslistan käyttö haittaa luotsien työskentelyä erityisesti, jos se lisätään luotsauksen aloituksen yhteyteen. Liite. (Tutkijat ovat kuitenkin sitä mieltä, että hyvä tarkistuslista ja sen harjoiteltu käyttäminen (esimerkiksi) yhteydenpidossa ennen luotsauksen alkua helpottaisi luotsien työskentelyä):

¹⁶⁰ Opetushallitus yhtyy lausunnossaan 28.11.2006 koulutusta koskeviin suosituksiin ja "voi tukea suosituksen toteuttamista koulutuksen järjestäjille suunnattavalla informaatio-ohjauksella, jotta ne käsittelisivät aihetta mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi navigaatioon sekä merimiestaitoon ja johtamiseen liittyvissä opinnoissa, joskin vastuu opetussuunnittelutyöstä on koulutuksen järjestäjillä". Opetushallitus toteaa myös, että merenkulkualan opetussuunnitelmia aletaan päivittää keväällä 2008, jolloin tutkintaselostuksen esiin nostamat kysymykset tulevat käsitellyyn. Liite.

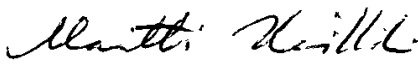
Satamien hinaajamääräysten kehittäminen

Satamissa sisääntuloväylät varusteineen, laiturit, varastot, muut laitteet ja ympäristö ovat vaatineet suuria investointeja. Avustuksen yhteydessä tapahtuva onnettomuus saattaa myös ne vaaralle alttiiksi. Sataman edun mukaista on laatia vaatimukset hinaaja-avustukselle.

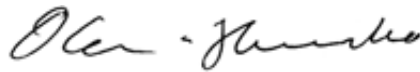
Tutkijat suosittavat, että

9. *Suomen Satamaliitto ryhtyy toimiin, jotta satamille laaditaan yhteistyössä alan toimijoiden kanssa hinaajien käytölle määräykset ja ohjeet, jotka sisältävät käytettävien hinaajien lukumäärän, koon ja operointirajat. Lähtökohtana voivat olla eräillä satamilla jo käytössä olevat määräykset.¹⁶¹*

Helsingissä 9.5.2007



Martti Heikkilä



Olavi Huuska



Sakari Häyrinen

¹⁶¹ Suomen satamaliitto katsoo lausunnossaan, että paras tapa turvallisuuden lisäämiseen on satamakohtainen lähestymistapa kunkin sataman ominaisuuksien ja liikenteen lähtökohdista. Liite.
Luotsausliikelaitos yhtyy lausunnossaan annettuun turvallisuussuositukseen. Liite.

LÄHDELUETTELO

Seuraavat lähteet on taltioitu Onnettomuustutkintakeskukseen:

1. Poseidonin vakavuuslaskelmat ja kallistuskoepöytäkirja, Rauma-Repola, Uudenkaupungin Telakka, heinä-elokuu 1978
2. Pegasoksen vakavuuslaskelmat: ILS 17.11.1993, Merenkulkuhallituksen hyväksyntä 24.11.1993
3. Pegasoksen kallistuskoepöytäkirja: Ship Consulting, 23.2.2004
4. M/V MSC HINAn meriselityspöytäkirja 14.11.2003, Helsingin käräjäoikeus, 03/26686
5. M/S PEGASOS, meriselityspöytäkirja 11.12.2003, Turun käräjäoikeus, 03/9416 ja 27.4 sekä 12.5.2005, 05/3474
6. Poliisin kuulustelupöytäkirjat: Pegasos, Poseidon, luotsit
7. Pegasoksen vakavuuslaskelmia, Ship Consulting Ltd
8. Alusten piirustuksia
9. Valokuvia
10. Ilmatieteen laitoksen tuuliarvot 13.11.2003

Seuraavaa kirjallisuutta on käytetty apuna tutkinnassa

1. Seuraavien luokituslaitosten ja viranomaisten säännöt koskien hinaajia, lähinnä vakavuus: International Association of Classification Societies, Det Norske Veritas, Lloyds Register of Shipping, Bureau Veritas, Germanischer Lloyd, American Bureau of Shipping, Russian Maritime Register of Shipping, Italian Register of Shipping, Department of Transport, UK, US Coast Guard, Suomen Merenkululaitos, Svenska Sjöfartstyrelsen
2. Artikkeleita seuraavista konferensseista: Work Boat World Asia 2001, International Tug & Salvage Convention and Exhibition 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2002, RINA International Conference on Escort Tugs Defining the Technology, Oct. 1993 sekä RINA International Conference on Escort Tugs, Design, Construction and Handling - the Way Ahead, Feb. 1993, SNAME 1995, 1999, 2000, ATSM 1998
3. H. Hensen, Tug Use in Port, A Practical Guide, The nautical Institute, 1997
4. R.W.Rowe, The Shiphandler's Guide, The Nautical Institute, 2000
5. M.J.Gaston, The Tug Book, Patrick Stephens Limited, 2002
6. George H. Reid, Shiphandling with Tugs, Cornell Maritime Press, 1994
7. Jerzy Matusiak, Laivan kelluvuus ja vakavuus, Otatieto 557, 1995
8. Hinaaja VOIMA, uppoaminen, Onnettomuustutkintakeskuksen raportti C14/2001 M

9. Matkustaja-autolautta ISABELLA, pohjakosketus Staholmin luona Ahvenanmaalla 20.12.2001
Onnettomuustutkintakeskuksen raportti B1/2001 M
10. SNAME Transactions:
 - C.D. Roach: Tugboat Design, vol. 62, 1954
 - J.R. Amy, R.E. Johnson, E.R. Miller: Development of Intact Stability Criteria for Towing and Fishing vessels, vol. 84, 1976
 - R.G. Allan: The Evolution of Escort Tug Technology...Fulfilling a Promise, vol. 108, 2000
 - P. Waclawek, D. Molyneux: Predicting the Performance of a Tug and Tanker During Escort Operations Using Computer Simulations and Model Tests, vol. 108, 2000
11. H. Bird and A. Yücel Odabaşı: State of Art: Past, Present and Future, International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, Glasgow, 1975
12. R. Birmingham, D. Molyneux, J. Smith: Modelling the Stability Behaviour of Escort Tugs in Transient Conditions, 7th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, Tasmania, 2000
13. Merenkululaitokselta saatua materiaalia 70- ja 80-luvuilta, jolloin suomalaiset hinaajien vakavuusmääräykset kehitettiin.
14. Jan R. Getz and Ernst Bakke: Stability of Tugs, The Effect of Athwartship Towrope Pull, Skipsteknisk Forskningsinstitut, meddelelse nr. 25, February 1959
15. Edward V. Lewis (editor), Principles of Naval Architecture (PNA), Second Revision, SNAME 1988
16. Tekniikan käsikirja, osa VI, osio laivatekniikka, Gummerus 1960

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

SISÄLLYSLUETTELO

1. Avustustoiminta satamissa	2
2. Avustustehtävän asettamat vaatimukset hinaajille.....	3
2.1 Avustettavan koko ja muut ominaisuudet.....	3
2.2 Ympäristöolosuhteet	4
2.3 Avustustapa	6
3 Hinaajien ominaisuuksia	8
3.1 Hinaajien luokittelu.....	8
3.2 Satamahinaajien teknisiä ominaisuuksia	11
3.2.1 Paaluveto ja työntö.....	11
3.2.2 Ohjailtavuus	16
3.2.3 Hinausvarustus	16
4 PEGASOSiin vaikuttavat voimat	18
4.1 Sivuttaiset voimat hinauksessa	18
4.2 Viippaavat voimat hinauksessa.....	22
4.3 Kääntävät voimat hinauksessa	23

1. AVUSTUSTOIMINTA SATAMISSA¹⁶²

Sataman hinaajatarpeeseen vaikuttavat satamassa käyvien alusten määrä ja ominaisuudet, ympäristö- ja sääolosuhteet, satamaan johtavien väylien ja sataman laituriin ominaisuudet sekä tavoitettavan palvelun taso. Satamalla voi olla omia hinaajia tai se voi olla tehnyt sopimuksen hinaajavarustamon kanssa.

Satamaa lähestyvän aluksen tarve tilata hinaaja-avustus voi perustua aluksen päällikön tai luotsin arvioon tai myös sataman määräyksiin. Avustustarpeet satamaan tullessa voivat johtua seuraavista syistä:

1. varallaolo, avustettavan vaikeuksiin joutumisen varalta
2. avustettava tarvitsee ohjailuapua käännöksissä
3. tuulen, aallokon ja virtausten vaikutusten kompensointi
4. laituriin kiinnittyminen

Monet laivatyytit kuten linjaliikenteessä olevat matkustaja- ja tavaralautat eivät normaaleissa sääolosuhteissa tarvitse avustushinaajaa. Laituripaikka on aina sama ja alukset on varustettu ohjailupotkurein laituriin tuloa ja satama-altaassa kääntymistä sekä ohjailua varten. Jääolosuhteissa ja voimakkaan tuulen takia saattaa hinaajan käyttö tulla tarpeelliseksi myös näille aluksille. Sen sijaan suuret lastialukset tarvitsevat usein hinaaja-apua suuren tuulipinta-alansa, väylän ahtauden tai vaikeiden sääolosuhteiden vuoksi. Eräät alustyytit kuten tankkerit, kuljettavat ympäristölle haitallista lastia. Tällaisia aluksia varten on erityisiä satamakohtaisia avustusvaatimuksia, kuten Porvoon Kilpilahdessa.

Satamat ovat hyvin erilaisia ja satamaan johtava väylä saattaa jo vaatia hinaajan käyttöä ohjailun varmistamiseksi. Isojen alusten ollessa kysymyksessä tarvitaan usein monta hinaajaa avustamaan ja hinaajien yhteiselle työntövoimalle, jota arvioidaan paaluvedon perusteella, asetetaan minimivaatimus. Hinaajan siirtomatkan avustettavan luokse maksaa usein satama, mutta itse avustuksen avustettava. Ulkomaiset laivat haluavat usein hinaajan satamaan tullessa, kun päällikkö tunnistaa paikalliset olosuhteet vaikeiksi tai kuulee olosuhteista luotsilta. Kustannusten vuoksi hinaajan käyttökynnys on melko korkea. Päälliköt eivät aina halua tilata hinaajaa etukäteen luotsin tilauksen yhteydessä, koska hinaajan käyttö on kustannuserä, jolta halutaan välttyä. Hinaajakustannukset voivat vaikuttaa myös päällikön omiin tuloihin. Yleinen käytäntö rahtausso-
pimuksissa takaa päällikölle bonuksen, mikäli hän ei käytä hinaajaa laituroidessaan. Pienissä satamissa sopivan hinaajan saaminen avustustehtävään voi kestää useita tunteja.

Avustustehtävään liittyy useita osapuolia: avustettavan aluksen päällikkö ja sen miehistö, hinaajien päälliköt miehistöineen sekä luotsit. Lisäksi eri vaiheissa ovat mukana avustettavan edustajamaissa, satamaorganisaatio, liikenteen ohjaajat sekä mahdolliset lähellä liikkuvat muut alukset. Avainasemassa ovat avustettavan aluksen päällikkö, hinaajien päälliköt sekä avustettavaan nousevat luotsit. Onnistuneen avustuksen edellytys on osapuolten saumaton yhteistyö ja toistensa toimenpiteiden perusteiden tunteminen.

Jokainen avustustehtävä on erilainen johtuen suuresta muuttujien lukumäärästä. Sen vuoksi on tarpeen laatia (kirjallinen) avustussuunnitelma. Sen tekevät toisaalta hinaajan päällikkö yhdessä

¹⁶² Liitteessä on käytetty monin paikoin hyväksi teosta H.Hensen, Tug Use in Port, A Practical Guide, The Nautical Institute, 1997

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

luotsin kanssa saatuaan tietää avustettavan aluksen ominaisuudet ja toisaalta avustettavan aluksen päällikkö. Avustettavaan alukseen tulee olla etukäteen yhteydessä jolloin varmistetaan puolin ja toisin olosuhteiden, väylän, hinaajien ja avustettavan perustiedot. Avustussuunnitelmasta ilmenee, mitkä hinaajat valitaan tehtävään, missä avustettava kohdataan ja millainen työnjako on hinaajien kesken. Kun luotsit ovat nousseet avustettavaan alukseen, viimeistään siinä vaiheessa he täsmentävät suunnitelman sen päällikön kanssa. Lopulta avustettavan aluksen päällikkö on vastuussa koko operaatiosta. Osapuolten vakiintuneista toimintatavoista riippuu, kuinka edellä mainittuja menettelyjä käytännössä noudatetaan.

Suunnittelu sisältää mm. hinaajan päällikön ja luotsien laskelman tarvittavasta hinaajien paaluvetosta perustuen avustettavan ominaisuuksiin ja olosuhteisiin. Samanlaisen arvion tekee avustettavan aluksen päällikkö. Käytössä on useita erilaisia laskenta- tai arviointimenetelmiä, joita tarkastellaan kohdassa 3.2.1. Suunnitelman tavoitteena on taata avustuksen turvallinen sujuminen.

Merkittävimmät hinaaja-avustuksen turvallisuuteen vaikuttavat tekijät ovat hinaajan/hinaajien riittävä kapasiteetti eli avustettavan käsittelyyn käytettävissä oleva siirtovoima, hinaajan vakavuusominaisuudet (liite 2) sekä avustusmenettely.

Tarvittavan siirtovoiman määrittäminen PEGASOSin ja POSEIDONin tyyppisillä perinteisillä hinaajilla perustuu niiden paaluvetoon. Tarvittavaa paaluvetoa määritettäessä on selkeästi erotettava ensinnä paaluvetoon eri käsitteet ja toiseksi, että paaluveto on eri asia kuin käytettävissä oleva työntövoima. Näitä on tarkasteltu kohdassa 3.2.1.

Tarvittavaan hinaajakapasiteettiin vaikuttavat mm. seuraavat tekijät:

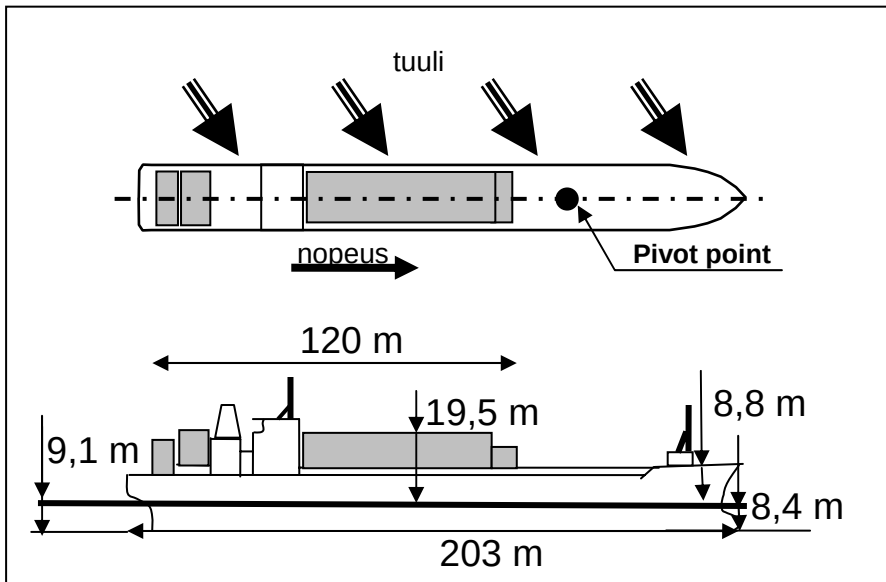
1. Avustettavan ominaisuudet
2. Ympäristöolosuhteet
3. Väylän ja sataman ominaisuudet ja sataman määräykset
4. Avustustapa
5. Hinaajan tyyppi ja ominaisuudet

2. AVUSTUSTEHTÄVÄN ASETTAMAT VAATIMUKSET HINAAJILLE

2.1 Avustettavan koko ja muut ominaisuudet

MSC HINAN tuulipinta-ala on merkittävin alusominaisuus. Tuuli pyrkii siirtämään ja kääntämään alusta. Tuulipinta-alaksi saadaan saapumistilanteessa Helsinkiin noin 3050 m², ks. kuva 1. MSC HINAN tuulipinnan painopiste oli keskilaivasta 20 m perään päin, joten aluksen perä lähti herkästi kääntymään tuulen suuntaan. Tarvittavaa paaluvetoa arvioitaessa on tämä tuulipinnan mahdollinen ominaisuus otettava huomioon. Kuvaan merkitty "pivot point" on piste, jonka ympäri alus kääntyy ohjailun tai tuulen vaikutuksesta. Sen paikka riippuu aluksen ominaisuuksista ja nopeudesta. Kuvaan merkitty paikka vastaa tilannetta pienillä nopeuksilla.

MSC HINAN vesiviivan pituus, noin 200 m vaikuttaa aaltovoimien suuruuteen. MSC HINAN uppouma oli noin 27000 tonnia, joka yhdessä mukana liikkuvan vesimassan kanssa oli pituussuuntaan noin 30000 tonnia, poikittaissuuntaan noin 50000 tonnia ja kääntymisessä noin 40000 tonnia. Tämä yhteismassa vaikuttaa hinaajilla aikaansaataviin kiihtyvyyksiin, siirtonopeuksiin ja tietyn siirtomatkan tarvitsemaan aikaan.



Kuva 1. MSC HINAn tuulipinta-ala ja syväykset. Konttilasti on näytetty harmaalla.

2.2 Ympäristöolosuhteet

Väylän syvyys suhteessa avustettavan aluksen ja hinaajien syväyksiin, tuulen, virran ja aallokon voimakkuus ja suunta avustettavaan ja hinaajiin nähden vaikuttavat tarvittavaan hinaajakapasiteettiin ja hinaajien toimintaan. Merkittävin vaikutus on tuulella.

Tuulen nopeus riippuu korkeudesta vedenpinnasta likimäärin kaavan $V = v_{10} \cdot (h/10)^{1/7}$ mukaisesti (h = korkeus veden pinnasta, v_{10} = tuulen nopeus 10 m korkeudella veden pinnasta). Säätiötojen tuuli ilmoitetaan 10 m korkeudella ja se on keskimääräinen tuulen nopeus 10 minuutin aikana mittaushetkellä. MSC HINAn korkeusmitoilla 10 m korkeudella ilmoitettua tuulen nopeutta tulisi pienentää 7 %. Toisaalta tuulen korkeussuuntainen profiili on yleensä otettu huomioon alusten tuulivastuskertoimien mittauksissa. Tämän johdosta on laskelmissa käytetty korjaamatonta tuulen nopeutta 10 m korkeudessa. Mittaushetkien välillä suurin tuulen voimakkuus 10 minuutin aikana on noin 10–20 % enemmän. Minuutin kestävät puuskat ylittävät tasaisen tuulen nopeuden noin 20 %. Lisäksi lyhytaikaiset puuskat saattavat ylittää ilmoitetun arvon 40–60 % (10 s ja 3 s^{163}).

Tuulen painevoima ja sen aiheuttama kääntävä momentti riippuvat tuulen suhteellisesta nopeudesta alukseen nähden, tuulipinnan profiilin kulmasta suhteelliseen tuuleen nähden ja aluksen veden yläpuolisten rakenteiden ja lastin sijainnista. Eri laivatyypeille on tehty mittauksia, joiden konttialuksille ominaiset tulokset on esitetty kuvassa 2¹⁶⁴. Tuulipinnan vastuskerroin on suurimmillaan, kun tuulen kulma β tuulipintaan nähden on 60–110 astetta.

Avustettavaan vaikuttava sivuttainen tuulivoima saadaan kaavasta

$$Y_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_A^2 \cdot A_{LA} \cdot C_Y$$

sekä kääntävä momentti kaavasta

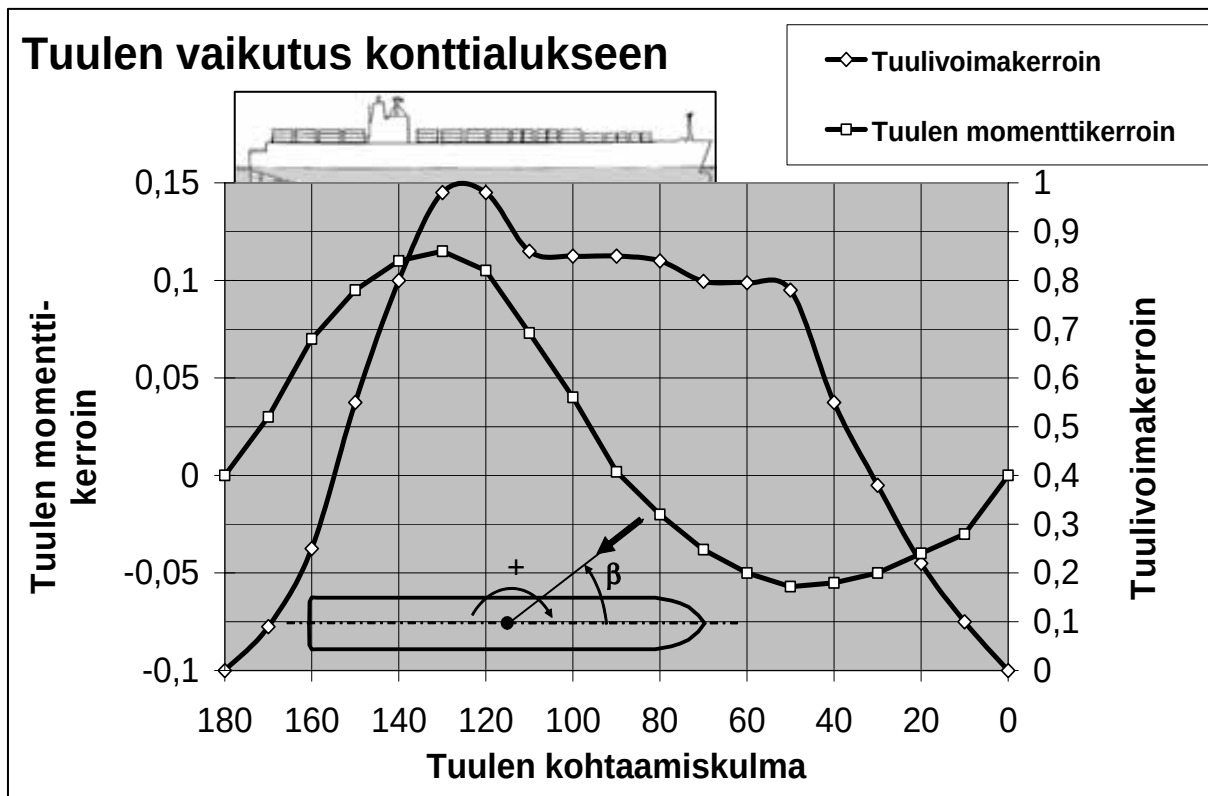
$$N_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_A^2 \cdot A_{LA} \cdot L_{OA} \cdot C_N$$

¹⁶³ Sää ja meritiö, vesilläliikkujan käsikirja, Ilmatieteen laitos ja Merentutkimuslaitos 2004

¹⁶⁴ N.H.Norrbín, Vindbelastningar på typfartyg i svenska farleder, SSPA, allmän rapport nr 62, 1984

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

ρ = ilman tiheys = 1,23 kg/m³
 V_A = tuulen suhteellinen nopeus
 A_{LA} = vesiviivan yläpuolinen lateraalipinta-ala
 L_{OA} = avustettavan suurin pituus
 C_Y = tuulivoimakerroin, kuvasta
 C_N = tuulen momenttikerroin, kuvasta



Kuva 2. Konttialukseen vaikuttavat tuulivoima- ja tuulimomenttikertoimet tuulen kohtaamiskulman funktiona.

PEGASOSin onnettomuustilanteessa avustettava alus liikkui suunnilleen pohjoiseen ja tuuli tuli suunnasta 240 astetta. Jos halutaan laskea vallinnut tuulen sivuttaisvoima, joka kohdistui MSC HINAAn, on otettava huomioon sen nopeus, joka tässä tapauksessa hieman pienentää kohtaamiskulmaa ja tuulen nopeutta. Hinaajien valinnassa ei näin voida menetellä, sillä avustuksen aikana alusten ja tuulen suunnat saattavat muuttua. Lisäksi puuskat tulevat vaihtelevilta suunnilta. Käytännössä on siis käytettävä suurimpia tuuli- ja momenttikertoimia sekä varauduttava tuulenpuuskiin. Lisäksi, jos sääennusteen mukaan tuuli on voimistumassa, sekin tulee ottaa huomioon.

Veden syvyyden metreissä tulee olla suurempi kuin $13,5(P/1000)^{1/4}$, jotta hinaajan työntövoima ei heikkenisi veden mataluuden vuoksi¹⁶⁵. P on konetehto kilowateissa. **PEGASOSin tapauksessa** saadaan 14,25 m < 20 m; ts. veden syvyys onnettomuuspaikalla oli tarpeeksi suuri. Kuitenkin väylällä on alle 14 m syvyisiä osuuksia, joten oli varauduttava siihen, että PEGASOS ei tuota maksimityöntöä.

Alukset vetävät kiihtyvässä liikkeessä mukanaan vesimassaa, jonka suuruus riippuu liikkeen suunnasta. Pitkittäisessä liikkeessä lisäys on noin 10 % uppoumasta. Poikittaisessa liikkeessä

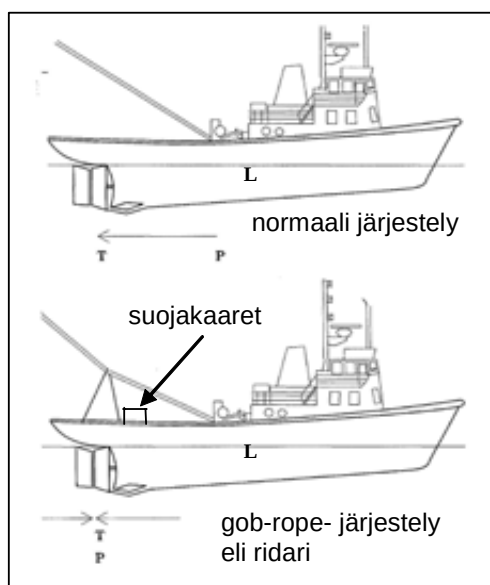
¹⁶⁵ Hannu Jukola and Anders Skogman, Bollard Pull, International Tug & Salvage Convention and Exhibition, 2002

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

tämä lisäys on jopa 100 % uppoumasta ja kääntymisessä noin 50 %. Matalassa vedessä, kun syvyys/syväys-suhde on alle 4, tämä lisäys kasvaa. **PEGASOSin tapauksessa** väylän syvyys on nettomuuskohdassa oli 2,3 kertaa MSC HINAN syväys. Tästä johtuva lisäys on pieni, koska avustustilanteen kiihtyvyydet ja nopeudet olivat pieniä (Frouden syvyytluku¹⁶⁶ oli alle 0,14). Väylän matalimmilla osuuksilla veden mataluus aiheuttaa kuitenkin MSC HINAN liikuttamiseen vastuslisää, mikä oli otettava huomioon työntövoimatarvetta arvioitaessa (Frouden syvyytluku noin 0,2). Suuntaa antavasti matalan veden vaikutusta voi arvioida kirjan *Tug Use in Port* kuvan 5.4 avulla.

2.3 Avustustapa

Ammattikirjallisuudessa¹⁶⁷ on esitetty turvallisesti avustettavan nopeudeksi 1–2 solmua, kun POSEIDONin tyyppinen hinaaja on perä edellä kiinni avustettavan perässä. Siirtyminen avustettavan perän ohi voi tapahtua enintään 3 solmun nopeudessa.¹⁶⁸ PEGASOS oli ”kombi”-tyyppiä¹⁶⁹, jolle turvallisena avustettavan nopeutena pidetään kolmea solmua. Tätä suuremmalla nopeudella hinaaja ei saa joutua poikittain virtaukseen. Avustettavan potkuria ei saa käyttää ilman ajoissa annettua varoitusta. POSEIDON ja PEGASOS kiinnittivät hinausköyden suoraan koukkuun aluksilla vallinneen käytännön mukaisesti. Vaihtoehtoinen, myös yli 3 solmun nopeuksilla turvallisempi tapa on kuvan 3a gob-rope¹⁷⁰ eli ridari -järjestely. Järjestelyllä hinauspiste siirretään aluksen perään, jolloin hinaaja ei pääse kääntymään poikittain. Tämä johtuu siitä, että vedenalaisen lateraalipinnan painopisteen L ja hinauspisteen P välinen etäisyys kasvaa. Toisaalta hinaajan ohjailumahdollisuudet heikkenevät, koska hinauspisteen ja propulsio-vaikutuspisteen T välinen etäisyys pienenee, kuva 3a.



Kuva 3a. Gob-rope eli ridari-järjestely, joka on turvallisempi hinaajan operoidessa avustettavan perässä yli 3 solmun nopeudella¹⁷¹.

Perinteisellä hinaajalla gob-rope -järjestely ei ole tarkoituksenmukainen, mutta keulapotkurilla varustetulla kombi-tyyppisellä hinaajalla on sen käyttämiseen riittävä ohjailukyky. Tällöin jotkut hinaajat voivat toimia lähes saattohinaajan tavoin jopa 7–8 solmuun asti. Operointia avustettavan perässä on selostettu kirjan *Tug Use in Port* sivulla 27. Sieltä on otettu seuraava kuva 3b. Asemassa 1 hinaaja lähestyy avustettavaa perä edellä hinausköyden kiinnittämiseksi. Asemissa 2 ja 3 hinaaja auttaa avustettavan ohjailua käyttäen hyväksi runkonsa antamaa sivuttaisvoimaa.

¹⁶⁶ Frouden syvyytluku on $v/\sqrt{gh}$, jossa v on nopeus [m/s], $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ja h on veden syvyys [m]

¹⁶⁷ *Tug Use in Port*, sivut 27, 59, 60 ja 95

¹⁶⁸ *Tug Use in Port*, s. 25

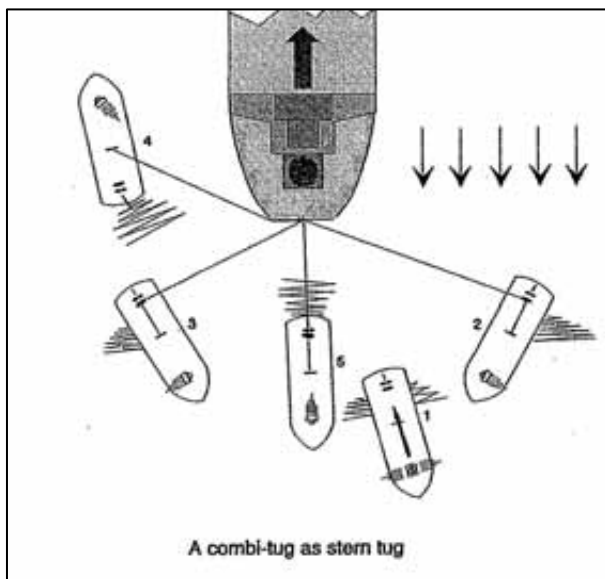
¹⁶⁹ PEGASOSia ei ole alun perin suunniteltu kombi-tyyppiseksi hinaajaksi. Keulapotkuri on asennettu jälkeenpäin. Esim. perän linjojen tulisi kombi-hinaajalla olla kantavammat kuin PEGASOSin tyyppisellä tavanomaisella hinaajalla.

¹⁷⁰ käytetään myös nimitystä martingale backrope, backrope, gob line, gaub line, gog-rope, ridari

¹⁷¹ Kuvan lähde: *The Shiphandler's Guide*, s. 130. Katso myös *Tug Use in Port*, kuva 7.2

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

Asemassa 5 se voi toimia jarruna. Jos nopeus putoaa pieneksi, jolloin asemat 2 ja 3 eivät enää ole tehokkaita, hinaaja irrottaa ridarin ja siirtyy perinteisellä tavalla avustamaan ohjailua asemaan 4.



Vaikka kirjallisuudessa ridari on esitetty yleisenä menettelynä, sen käyttö on Suomessa harvinaista. Saksan satamissa sen käyttö on pakollista perinteisille hinaajille¹⁷². Hinaajan operointi ridarin kanssa on erilaista kuin onnettomuustilanteessa käytetty menettely, jossa hinausköysi on kiinnitetty suoraan koukkuun. Ridari voi olla matkaa varten kiinteästi asennettu tai operoinnin aikana säädettävä, mikäli hinaaja on varustettu tarpeellisella laitteistolla. Hinaaja ei ridaria käytettäessä saa olla suuressa peräviippauksessa.

Kuva 3b. Operointi ridarin avulla

Varustamo voi varautua mahdolliseen ridarin käyttöön etukäteen. Erilaisille avustustilanteille on mahdollista määritellä hinaajakohtaiset operointitavat ja niihin liittyvät turvalliset nopeudet ja menettelyt. Hinaajan ominaisuuksia voidaan parhaiten hyödyntää silloin, kun alus on varustettu operoinnin aikana säädettävällä ridari-laitteistolla. Miehistön on harjoiteltava ridarin käyttöä näitä tilanteita vastaavissa olosuhteissa.

Hinaajan peräkannella oleva suojakaari muistuttaa ridaria. Suojakaaren tehtävänä on kuitenkin estää hinausköyttä takertumasta kannella oleviin laitteisiin, PEGASOSilla mm. vintturiin, eikä ohjata hinausköyttä.

Oikein toteutettuna hinausköysi kiinnitettynä suoraan koukkuun tai vedettynä ridarin alta ovat turvallisia. Jos yhteisesti päädytään yli kolmen solmun nopeuteen, ridaria on syytä käyttää. Avustustapa sinänsä ei ole ratkaisevaa, vaan se, että toteutuksesta selkeästi sovitaan yhteisesti.

Käytettäessä ridaria hinaaja ei voi joutua poikittain virtaukseen, mutta se voi ajautua perä edellä avustettavan vetäessä. Tällöin liian suuri peräviippaus voi aiheuttaa vaaratilanteen, jos patoaalto ja avustettavan mahdolliset potkurin pyörteet nostavat vettä partaan yli. Kun hinaajan peräkansi joutuu veden alle ja peräviippaus kasvaa, vakavuus heikkenee. (Ks. kohta 4.2 ja liitteen 2 kohta 3.2, kuva 16). Voi syntyä vaaratilanne, kun aluksen perä sukeltaa yhä syvemmälle. Kuvatun tilanteen estämiseksi alun perin kombi-hinaajiksi suunniteltujen alusten perän linjat muotoillaan kantaviksi.

Runkomuodoltaan PEGASOSin kaltainen hinaaja on vaikeasti ohjailtavissa avustettavan vetäessä sitä perä edeltä taaksepäin.

Hinaaja voi joutua vinohinaukseen myös ridaria käytettäessä, mutta se ei käänny poikittain virtaukseen. Vinohinauksessa löytyvässä tasapainotilassa hinaaja kuitenkin kallistuu ja samalla li-

¹⁷² Tug Use in Port 1997, sivu 100.

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

sääntyy peräviippaus, joka on suhteessa hinaajan käyttämään konetehoon. Hinaajassa voidaan vaikuttaa tilanteeseen säätämällä konetehoa ja ohjailuvoimia.

Ilman ridaria tämä ohjailutilanne on erittäin vaikea yli- tai aliohjausvaaran vuoksi. Virtauksessa on jatkuvasti epätasaisuutta, aallokko aiheuttaa häiriöitä, samoin avustettavan liiketilan muutokset. Ohjailutoimenpiteillä on melko mahdotonta estää hinaaja kääntymästä poikittain, jos ilman ridaria olevan hinaajan peräsin osuu yllättäen potkurin jättövirtaukseen.

Avustuksen tapahtuessa köyden välityksellä, köyden pituus on merkittävä tekijä. Jos hinaaja toimii avustettavan lähellä, virtauskentät (hinaajat ja avustettava) heikentävät saavutettavaa työntövoimaa. Hinaajan tarvitsema aika siirtymiseen aluksen suhteen kasvaa, kun köyden pituus kasvaa. Toisaalta, jos hinaaja on liian lähellä, sen potkurivirtaus saattaa lisätä avustettavan vastusta. Köyden pituudesta on ristiriitaista tietoa (MSC HINAN 3. perämiehen kertoman mukaan 15–20 m todennäköisesti alusten peräosien välillä ja 40–50 m PEGASOSin päällikön mukaan). Oletettavasti köyden pituus oli MSC HINAN perästä PEGASOSin koukkuun noin 40 m, mikä voidaan katsoa normaaliksi.

3 HINAAJIEN OMINAISUUKSIA

Hinaajien toiminnan tehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä ovat tärkeimmät: miehistön ammattitaito, hinaajan reagointiaika, operointitilan tarve, työntövoima, rungon muoto, vakavuus, hinausvarustus sekä ohjaamon järjestely. Hinaajien kehittyminen on seurannut avustettavien alusten kehitystä sekä laivatekniikan kehitystä. Seuraavassa tarkastellaan sellaisia hinaajien ominaisuuksia, joilla on merkitystä tämän onnettomuuden kannalta.

3.1 Hinaajien luokittelu

Satamahinaajat ja niiden toimintatavat satamissa ja niihin johtavilla väylillä voidaan luokitella eri perusteilla. Ensiksi: **hinaajatyypin** pohjalta. Merkittävin tyypin luokitteluperuste on propulsio- ja ohjailulaitteisto. Toinen tärkeä peruste on hinauspisteen paikka, joka riippuu hinauskoukun paikasta sekä hinausköyden kulusta. Näistä ratkaisuista seuraa propulsio- ja ohjailuvoimien ja toisaalta hinausvoimien resultantin paikka, joka yhdistettynä aluksen liikettä vastustavien voimien resultantin paikkaan vaikuttaa aluksen ohjaamisen ja asennon stabiilisuuteen ja siten turvallisuuteen. Seuraavien tyyppien periaateluonnokset on esitetty kuvassa 4.

- **Konventionaaliseksi** (conventional tug) kutsutaan hinaajaa, jossa on yksi tai kaksi potkuria aluksen perässä. Potkuri voi olla kiinteäsiipinen tai säätösiipinen. Lisäksi potkuri voi olla suulakkeessa. Ohjailu toteutetaan peräsimellä tai kääntyvällä suulakkeella. Näillä hinaajilla hinauspiste on hieman keskilaivalta peräänpäin. Ne soveltuvat parhaiten normaaliin hinaukseen. **Hinaaja POSEIDON kuului tähän tyyppiin.**
- **Kombityypiseksi** (combi-tug) kutsutaan hinaajaa, jossa on edellä mainittujen vaihtoehtojen lisäksi keulassa ohjauspotkuri. Se voi olla tunnelityyppiä tai alaslas-kettava atsimuuttityyppinen, 360 astetta kääntyvä. Hinauspiste on samassa paikassa kuin konventionaalisella tyyppillä. Ne soveltuvat normaalin hinauksen lisäksi avustamaan alle 2–3 solmun nopeudella kulkevia aluksia joko puskemalla tai aluksen sivulla tai perässä köyden avulla. Hinauspiste voi olla lisäksi aivan hinaajan perässä (esim. ns. gob-rope eli ridari), jolloin se voi toimia traktorityyppisenä tai ns. käännettynä traktorityyppisenä hinaajana. Monet vanhat hinaajat on saatu tehokkaammiksi

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

lisäämällä niihin alaslaskettava atsimuuttipotkurilaite. Vanhalla hinaajalla rungon muoto jää ennalleen, eikä ole erityisesti suunniteltu kombityypille. **Hinaaja PE-GASOS kuului tähän tyyppiin.**

- **Traktorityypiseksi** (tractor-tug) kutsutaan hinaajaa, jossa propulsio- ja ohjailulaitteisto on keskilaivan ja keulan puolivälissä. Hinauspiste on aivan aluksen perässä. Propulsio- ja ohjailulaitteistona on joko kaksi Voith-Schneider tyyppistä potkuria tai kaksi atsimuuttipotkuria. Atsimuuttipotkurit voivat olla kiinteä- tai säätösiipisiä ja usein suulakkeessa. Tämä tyyppi soveltuu kaikenlaisiin avustustehtäviin lukuun ottamatta varsinaista saattohinausta.
- **Käännetyksi traktorityypiseksi** (reverse tractor-tug) kutsutaan hinaajaa, jossa on kaksi atsimuuttipotkuria perässä, kiinteä- tai säätösiipisiä, suulakkeessa tai ilman. Varsinainen hinauspiste on keulassa ja apuhinauspiste aivan perässä. Ne toimivat puskijoina tai hinatessaan keula päin avustettavaa.
- **Multi-tyypiseksi** (multi-tug) kutsutaan hinaajaa, jossa on kaksi atsimuuttipotkuria perässä. Se vastaa käännettyä traktorityyppiä, mutta rungon muoto, propulsioteho ja laitteiden sijainti mahdollistavat toiminnan sekä käänteisenä traktorityypinä että perinteisenä tyyppinä. Hinauspiste on hieman perempänä kuin perinteisessä tyyppissä. Keulassa on hinausvintturi.

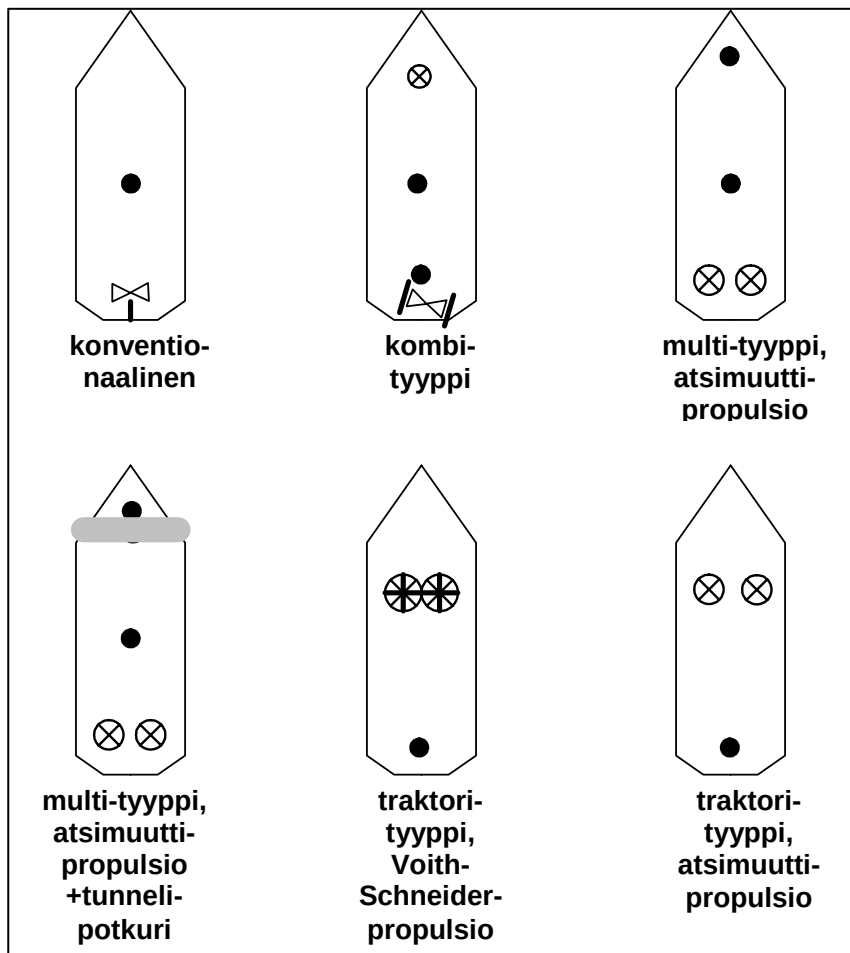
Voith – Schneider – propulsio ei sovellu jääolosuhteisiin. Myös traktorityyppi ja kombityyppi soveltuvat heikosti jääolosuhteisiin.

- **Saattohinaajaksi** (escort-tug) kutsutaan hinaajaa, jonka ohjailukyky perustuu rungon hydrodynaamiseen nosteeseen. Avustettava liikkuu suuremmilla nopeuksilla ja hinaaja on suhteessa leveämpi kuin edellä mainitut tyypit. Näissä hinaajissa on kaksi atsimuuttipotkuria perässä tai Voith-Schneider potkurit. Hinauspisteet ovat keulassa, perässä ja keskilaivalla. Avustustapa on suora tai epäsuora hinaus. Tällainen hinaaja saa aikaan hinausvoiman, joka on 2–2½ - kertaa paaluveto.

Toisena luokitteluperusteena voidaan pitää **avustustehtävää**.

- avustus satamassa lyhyillä matkoilla ja alle 5 solmun, usein alle 2–3 solmun nopeudella. **Tämä oli PEGASOSin onnettomuustilanne.**
- avustus satamassa ja satamaan tulossa ja lähdössä pitkillä matkoilla ja yli 5 solmun nopeudella aina 12 solmuun saakka. Tällöin on kyseessä saattohinaus, jossa hinaaja seuraa köysi löysänä avustettavaa ollen valmiina auttamaan sen ohjailua. MSC HINAn päälliköllä on saattanut olla tämä tapa yhdistettynä epäsuoraan avustustapaan (katso seuraava sivu) mielessään.

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT



Kuva 4. Eri hinaajatyyppejä perustuen propulsio- ja ohjailuratkaisuihin. Pääasiallinen hinauspiste on näytetty isolla pisteellä. Konventionaalisen tyypin ohjailu on kuvan tapauksessa toteutettu peräsimellä, kombi-tyypin kääntyvällä suulakkeella.

Kolmantena luokitteluperusteena voidaan pitää **avustuksen toteutustapaa**.

- Hinaaja on kiinni avustettavassa köydellä
- Suora avustus: avustettavaan vaikuttava voima syntyy hinaajan potkurilaitteiden avulla ja välittyy hinausköyden kautta. **Tämä oli PEGASOSin onnettomuustilanne.**
- Epäsuora avustus: Tämä on saattohinaajien (Escort tugs) avustustapa, mutta muutkin hinaajat voivat toteuttaa sitä tai joutua vastaavaan tilanteeseen. Tosin tilanne on vaarallinen muille kuin saattohinaajille. Tässä avustustavassa hinaajan propulsiolaitteilla hinaaja pidetään sivuttain jarruttamassa avustettavan liikettä. Nyt saadaan suurempi voima köyteen kuin pelkillä propulsiolaitteilla. Hinaaja voi myös helposti vaihtaa avustettavan puolelta toiselle.
- Hinaaja puskee avustettavaa

3.2 Satamahinaajien teknisiä ominaisuuksia

3.2.1 Paaluveto ja työntö

Hinaajan tärkein markkinointisuure nykyisin¹⁷³ on sen paaluveto. Se on vakioidussa mittaustilanteessa¹⁷⁴ riittävän syvässä vedessä mitattu hinaajan työntövoima eteenpäin 0-nopeudella pääkoneiston 100 % teholla. Paaluveto voidaan myös rekisteröidä pääkoneen suurimmalla sallitulla yhden tunnin ylikuormitusteholla. Paaluvetokokeessa hinaaja on kiinnitetty vahvalla hinausköydellä tukevaan pollariin, jota hinaaja alkaa "vetää". Köydessä on dynamometri. Eri hinaajille eri aikoina eri mittaajien ilmoittamat paaluvetoarvot eivät välttämättä ole vertailukelpoiset, sillä vasta viime vuosina on paaluveton mittausten menetelmä alettu riittävästi yhtenäistää. Paaluveto ilmoitetaan yleisimmin tonneina. Paaluveton mittauksen valvojana toimii yleisimmin luokituslaitos, joka antaa saavutetusta paaluvetosta todistuksen.

PEGASOSin tyyppisen hinaajan työntövoima on yhtä suuri kuin paaluveto vain paaluveton mittausolosuhteita vastaavissa olosuhteissa. Siirtohinauksessa hinaaja toimii lähes vakio-olosuhteissa, lähellä paaluvetotilannetta, jolloin työntövoima putoaa pienillä nopeuksilla noin 5 % yhden solmun nopeuslisää kohti^{175,176}. Pitkillä hinausmatkoilla voidaan hakea paras mahdollinen pääkone/potkuri-yhteensopivuus työntövoiman ja/tai polttoaineenkulutuksen kannalta. Ohjailemalla hinaajaa sopivasti sillä voidaan saada aikaan suurempi työntövoima kuin nimellinen paaluveto käyttämällä hyväksi rungon nostevoimaa. Pienillä nopeuksilla saavutettava lisä on vähäinen ja suurilla nopeuksilla hinaajan on oltava saattohinaajatyypin, jotta menettely olisi turvallista. Käytännön avustustoiminnassa PEGASOSin tyyppisellä hinaajalla työntövoima jää selvästi alle paaluvetoarvon, koska hinaaja liikkuu hyvin vaihtelevissa olosuhteissa, suunnissa ja eri nopeuksilla veteen ja avustettavaan nähden.

Ohjeelliset paaluvetoarvot tonneina pääkoneen 100 kW tehoa kohti ovat¹⁷⁷: Voith-Schneider 1,4; avopotkuri 1,8; atsimuuttipotkuri suulakkeessa 1,9 ja kiinteä tai säätösiipipotkuri suulakkeessa 2,0. Työntö muussa kuin eteenpäin ajossa on pienempi, peruutettaessa 45–95% eteenpäin ajon arvosta, ollen korkein Voith-Schneider- ja atsimuuttipropulsiolla. Kun liikutaan näistä poikkeavissa tilanteissa, kuten jarruttaen hinaajan liikkua avustettavan vetämänä taaksepäin, työntö saattaa pienetä huomattavasti.

Jos keulapotkurin työntö suunnaksi saadaan pääpotkurin työntö suunta, saattaa paaluveto kasvaa 20–40 % riippuen keulapotkurin tehosta.

Paaluveton ja työntö käsitteet

Paaluveto kuvaa hinaajan työntövoimaa, mutta se ei ole sama kuin eri käyttötilanteissa aikaansaama työntövoima. Useista eri syistä johtuen hinaajan aikaansaama työntö avustustilanteessa on pienempi kuin paaluveto. Jo paaluveto voidaan käsittää monella tavalla. Lisäksi avustettavaan vaikuttavat voimat muuttuvat avustuksen aikana. Tarvitaan myös turvallisuusreservi.

¹⁷³ Hinaajan koneistoteho on ollut aiemmin paljon käytetty hinaajan toimintakyvyn mittari, ja sitä käytetään vieläkin jonkin verran.

¹⁷⁴ esim. Det Norske Veritas, Rules for Ships. Part 5, Chapter 7, Section 2, Appendix A, Bollard Pull Testing Procedure.

¹⁷⁵ Hannu Jukola and Anders Skogman, Bollard Pull, International Tug & Salvage Convention and Exhibition, 2002

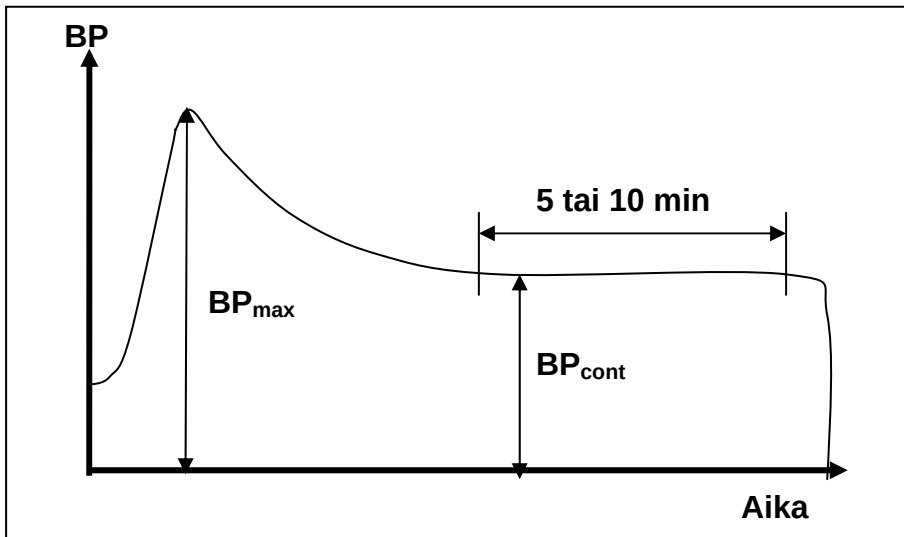
¹⁷⁶ Riippuen potkurin suunnittelupisteestä, voidaan pääkoneen säätöjä muuttamalla saavuttaa siirtohinauksessa parempia työntö arvoja.

¹⁷⁷ Tug Use in Port, taulukko 2.28

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

Virallisesti mitattu nimellinen paaluveto, josta on todistus. On huomattava mahdolliset erot mittaustavoissa. Paaluveton hetkellinen maksimi on erotettava jatkuvasta paaluvedosta. Lisäksi on huomioitava mittaustilanteessa käytetty pääkoneen kuormitusaste. Mittaustavasta ja säädöistä riippuen voidaan saada samalle alukselle jopa 50 % lisää nimellistä paaluvetoa. Varustamot saattavat käyttää markkinoinnissaan erilaisin perustein määritettyä paaluvetoa. Tähän käsitteeseen liittyvät seuraavat paaluveton versiot¹⁷⁸:

1. **Sustained Bollard Pull**, jatkuva paaluveto. Se on mittauksen keskiarvo 5–10 minuutin aikana. Hinaajan virallisen paaluveton tulisi olla kuvan 5 arvo BP_{cont} . PEGASOSin ja POSEIDONin paaluveton vastaavat lähinnä tätä.



Kuva 5. Esimerkki paaluvetomittauksen tuloksesta

2. **Maximum Static Bollard Pull**, maksimaalinen staattinen paaluveto. Se on kahden korkeimman 30 s mittauksen keskiarvo.
3. **Maximum Bollard Pull**, maksimaalinen paaluveto, joka on suurin mitattu yksittäinen arvo. Se voi olla merkittävästi jatkuvaa paaluvetoa suurempi, eikä sitä tule ilmoittaa paaluvetoksi.
4. **Brazilian Bollard Pull**, brasilialainen paaluveto, joka on tunnin kestävässä kokeessa saatu paaluveto. Se on huomattavasti pienempi kuin jatkuva paaluveto.
5. **Marketing Bollard Pull** on markkinoinnissa käytetty paaluveto. Hinaajayhtiön politiikasta riippuu, kuinka markkinoinnissa ilmoitettava paaluveto on määritetty. Kaupallisessa mielessä on edullista pystyä ilmoittamaan mahdollisimman suuri paaluveto. Usein paaluveto on mitattu ainoastaan hinaajan vastaanottokokeissa, jotka saattavat olla kymmeniä vuosia vanhoja. Nykyiset arvot saattavat olla huomattavasti pienemmät.

PEGASOSin paaluveto oli mitattu pääkoneen 110 % teholla, joten nimellinen paaluveto oli pienempi. Ylisiuuren tehon johdosta se pienenee mitatusta 22,2 tonnista noin 20,8 tonniin. Mittauksessa veden syvyys oli 12 m vaaditun 14,6 m sijaan. Köyden pituus oli 130 m vaaditun 172 m sijaan. Näistä johtuva korjauskerroin on $1,01^{178}$, joten korjattu paaluveto on 21,0 tonnia. Lisäksi tuulta oli 14 m/s. Mittauspöytäkirjasta ei myöskään ilmene, vastaako tulos yllä olevaa kuvaa. PEGASOSin tämä paaluvetotulos on siten epäluotettava. Saattaa olla, että on käytettävä jo vuonna 1993 arvioitua tulosta 16,9 tonnia.

¹⁷⁸ Hannu Jukola and Anders Skogman, Bollard Pull, International Tug & Salvage Convention and Exhibition, 2002

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

POSEIDONin paaluveto on mitattu pääkoneen 100 % teholla ja se vastaa yllä olevaa kuvaa. Voidaan siten käyttää saatua arvoa 20,7 tonnia.

Onnettomuustilanteessa saadaan hinaajien yhteiseksi paaluvedoksi siten 37,6–41,7 tonnia. Mitastulokset ovat 5–6 vuoden takaa, joten ikääntymisen vaikutus on otettava huomioon.

Jatkuvasti käytettävissä oleva työntö vastaa lastitilannetta, jossa hinaaja liikkuu ja sen potkuri-koneisto toimii normaalisti eikä viritettynä viralliseen paaluvedon mittaukseen. Tällöin osa koneiston tehosta saattaa kulua erilaisten apulaitteiden käyttöön. Paaluvedon mittauksesta on saattanut kulua useita vuosia, jolloin potkuri, akselijohto ja pääkone eivät esim. kulumisen, likaantumisen ja eroosion johdosta tuota nimellistä paaluvetoa edes paaluvetotilanteessa. Hinaajaa saatetaan käyttää paaluvedosta poikkeavassa lastitilanteessa. Näiden syiden johdosta hinaajan työntövoima putoaa mitatusta paaluvedosta noin 5 %.

Lisäksi potkuri ei kohtaa vettä nollanopeudella eikä välttämättä virtauksen suuntaisesti. Tällöin saavutettavissa oleva työntövoima putoaa paaluvetotilanteeseen verrattuna 10–50 %. Hinaaja saattaa liikkua sivuttain eri kulmissa virtaukseen nähden, peruuttaa tai jopa edetä PEGASOSin tavoin taaksepäin avustettavan mukana samalla kun sen potkuri työntää hinaajaa eteenpäin. Hinaajan oma potkurivirta saattaa osua avustettavaan ja synnyttää lisävastusta. Avustusmatkan aikana väylä saattaa tulla niin matalaksi, että hinaajan työntö pienenee. Hinaajan toimiessa merenkäynnissä sen työntö vähenee. Näiden syiden johdosta hinaajan työntövoima muuttuu jatkuvasti avustuksen aikana. Avustuksen aikana on varauduttava siihen, että kriittisellä hetkelläkään käyttöön ei saada paaluvedon suuruista työntöä.

Laskennallinen työntö vastaa tilannetta, jossa hinaajan työntö on yhtä suuri kuin avustettavaan alukseen kohdistuva tuulivoima ja avustettavaa alusta pystytään pitämään paikallaan tasaisessa tuulessa. Laskennallista työntöä verrataan Suomessa yleensä hinaajan nimelliseen paaluvetoon arvioitaessa hinaajan toimintamahdollisuuksia avustustilanteessa. Nimellinen paaluveto lisättynä esim. 25 % turvamarginaalilla on usein riittävä avustettaessa satamassa, jossa ollaan suojassa aallokolta. Virtauksia saattaa kuitenkin esiintyä sekä matalaa vettä. Tällainen vertailu saattaa aliarvioida tarvittavaa työntöä avustettaessa alusta kauempaa mereltä satamaan.

Avustustoiminnassa tarvittava **toiminnallinen työntö** on suurempi kuin laskennallinen työntö. Työnnön tarpeeseen vaikuttavat paitsi tasainen tuuli, veden syvyys (syvyys-syväys-suhde), tuulen puuskaisuus, virta ja aallokko sekä hinaajan asento hinausköyteen nähden ja asento, liikkeet ja sijainti avustettavaan nähden. Se kuinka paljon hinaajan asento vaikuttaa, riippuu myös hinaajan tyypistä.

Avustustoiminnan turvallinen työntö sisältää toiminnalliseen työntöön lisätyn turvamarginaalin yllätysten, esim. sään muutoksen varalta. Käytännön kokemuksen mukaan toiminnallisen työntönsä turvamarginaalin tulee olla 20–25 %¹⁷⁹.

Turvallisen työnnön takaavan paaluvedon määrittäminen

Turvallinen työntö voidaan tutkijoiden käsityksen mukaan yllä olevan perusteella määrittää seuraavalla kaavalla:

$$K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot BP = 1,20 \cdot \sum F_i, \text{ jossa}$$

¹⁷⁹ Tug Use in Port, Chapter five

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

BP = virallinen, nimellinen paaluveto

K_1 = ikääntymiskerroin, joka on noin 0,95

K_2 = toiminnasta virtauksessa johtuva kerroin, 0,8–0,9, voi olla sopivissa olosuhteissa >1, esim. saattohinaaja tai toimittaessa saattohinaajan tavoin esim. ridarin avulla.

K_3 = työnnon suuntakerroin, mukaan lukien ns. huuhtelu (hinaajan potkurivirta osuu liian aikaisin ja epäedullisessa kulmassa avustettavaan, Coanda-efekti), 0,7–0,8

K_4 = hinaajien työnnon maksimin samanaikaisuuskerroin, arviolta 0,7–1,0

1,20 = turvallisuusmarginaalikerroin

F_1 = avustettavaan kohdistuva tuulivoima, mukaan lukien puuskan mahdollisuus. Yhden minuutin kestävään puuskaan on syytä varautua, koska se kykenee saattamaan avustettavan liikkeelle. Tasaisen tuulen nopeutta on lisättävä silloin 20 %¹⁸⁰.

F_2 = avustettavaan kohdistuva aallokon voima

F_3 = avustettavaan kohdistuva virtausvoima, johon on tarvittaessa lisättävä matalan veden vaikutus

F_4 = avustettavan siirtelystä johtuva hitausvoima

Voidaan olettaa, että kaikki tekijät eivät toteudu pahimmillaan yhtä aikaa, jolloin voidaan valita yllä olevista kerroinhaarukoista ylärajan lähellä oleva arvo. Toisaalta, hinaajien toimiessa yhdessä, saattaa syntyä tilanteita, jolloin toisen joutuessa siirtymään, sen aikaansaama voima pienenee, minkä toisen on pystyttävä kompensoimaan. Saadaan käyttämällä haarukan ylärajan lähellä olevia arvoja turvallisen nimellisen paaluveton ehdoksi:

$$BP \text{ on noin } 2 \cdot \sum F_i$$

Avustettavan aluksen ominaisuuksista eniten tarvittavaan hinaajien yhteiseen työntövoimaan vaikuttavat sen ohjailukyky (esim. mahdollinen ohjauspotkuri), uppouma, tuulipinta-ala, vedenalainen pinta-ala sekä väylän syvyyden suhde aluksen syvyyteen. Pinta-aloihin vaikuttavat voimat perustuvat kaavaan $0,5 \cdot \rho \cdot C \cdot A \cdot v^2$, jossa ρ on väliaineen tiheys, C on vastuskerroin, A on pinta-ala ja v on nopeus. Aaltovoimakaavoissa (aallot lyhyitä avustettavan pituuteen verrattuna) nopeus korvataan aallon amplitudilla (= 0,5 x aallon merkitsevä korkeus) ja pinta-ala aluksen pituudella sekä kerroin 0,5 kertoimella 0,35g, jossa g on maan vetovoiman kiihtyvyys. Kun väylän syvyys on alle 4 kertaa aluksen syväys, veden syvyyden vaikutus alkaa näkyä lisääntyvänä vastuksena.

Tässä tapauksessa saadaan tuulivoimaksi 27 tonnia (tasainen tuuli 10 m/s + 20 % puuska, MSC HINAn tuulipinta-ala 3050 m², $C = 1$, ilman tiheys 1,23 kg/m³) ja aallokon aiheuttamaksi voimaksi noin 10 tonnia (merkitsevä aallon korkeus 0,8 m, MSC HINAn pituus 193 m). Virtaukset voidaan olettaa niin pieniksi, että niitä ei tarvitse ottaa huomioon. Hitausvoimien voittamiseen on syytä varata noin 5 tonnia, jolloin MSC HINAA kyetään esim. siirtämään 2½ minuutin aikana sivuttain 11 m¹⁸¹ (noin puoli aluksen leveyttä). Saadaan yhteensä 42 tonnia, joka on kerrottava noin kahdella, mikä johtaa noin 80 tonnin paaluvetotarpeeseen.

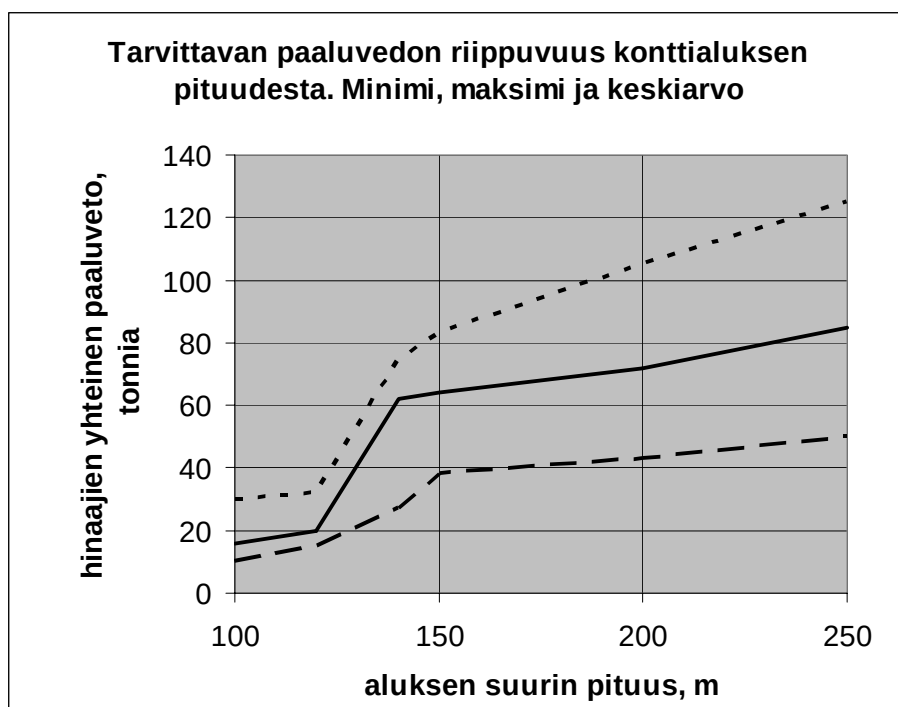
¹⁸⁰ Sää ja meritiieto, vesilläliikkujan käsikirja, Ilmatieteen laitos ja Merentutkimuslaitos 2004

¹⁸¹ Siirtomatka = $\frac{1}{2}at^2 = 0,5 \cdot 50000 \cdot 150^2 / 50000000 = 11,25$ m. Kiihtyvyys $a = F/m$, jossa F on voima ja m on massa

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

Lähteessä *The Shiphandler's Guide* on laskentaesimerkki, jossa aluksen pituus on 280 m ja tuulipinta-ala 7000 m². Laskennan lähtökohdaksi on esimerkissä otettu aluksen sivuttainen tuulipinta-ala ja tuulen nopeus 15 m/s. Tilanne on esitetty laituriin tultaessa, jolloin aaltovoimat on jätetty huomiotta. Tarvittava minimipaaluveto tonneina on $A \cdot V^2 / 18000 = 88$ t, jossa A = tuulipinta-ala, V on tuulen nopeus. Edellisen kohdan tuulivoimakaaava antaa tässä tapauksessa alukseen kohdistuvaksi tuulivoimaksi noin 97 tonnia. Jakajan 18000 tilalla tulisi siten olla luku 16260. Tämä paaluveto riittää juuri ja juuri estämään avustettavan siirtymisen tuulella, mutta ei riitä sen hallittuun siirtelyyn. Tuulen nopeudessa on vielä otettava huomioon puuskien tuoma lisä.

Paaluveto voidaan määrittää käyttämällä teoksessa *Tug Use in Port* esitettyjä tuloksia. Likimääräinen, eri satamien käytäntöön perustuva käyrästä on kuvassa 6, joka on tarkoitettu kontti- ja kuivarautialuksille. **Tässä tapauksessa saadaan** käyrän avulla nimelliseksi tarvittavaksi paaluvetoksi noin 72 tonnia.



Kuva 6. Tarvittava paaluveto avustettaessa konttialusta. Eri satamien käytäntö lähteen *Tug Use in Port* mukaan. Alaraja vastaa helppoja olosuhteita, yläraja vaikeita. Vaikka alkuperäislähteessä ei eri olosuhteille ole annettu numeroarvoja, ne voidaan tulkita tutkinnan käsityksen mukaan seuraavasti (tällöin saavutetaan riittävä työntö avustustilanteissa, jos valitaan nimelliseksi paaluvetoksi käyrän arvo vastaavalla tasaisella tuulella). Vastaavan aallokon vaikutus sisältyy.

- maksimi arvo (tuuli 13 m/s)
- keskiarvo (tuuli 10 m/s)
- minimiarvo (6 m/s)

PEGASOSin varustamolla on käytössään käyrä, joka näyttää tuulen aiheuttaman voiman tuulen nopeuden funktiona tuulipinnan ollessa 3000 m². Käyrän käytöstä tarvittavan paaluveton määrittämiseen ei tutkinnassa ole ilmennyt ohjetta. Tutkinnassa saatiin tieto, että varustamo oli arvioinut tarvittavaksi paaluvetoksi 43,7 tonnia. Tulos vastaa kyseistä käyrää tuulen nopeudella 15,3 m/s, jolloin reserviä ei ole yhtään tai pienempää tuulen nopeutta jolloin jää reserviä (esim. tuulen no-

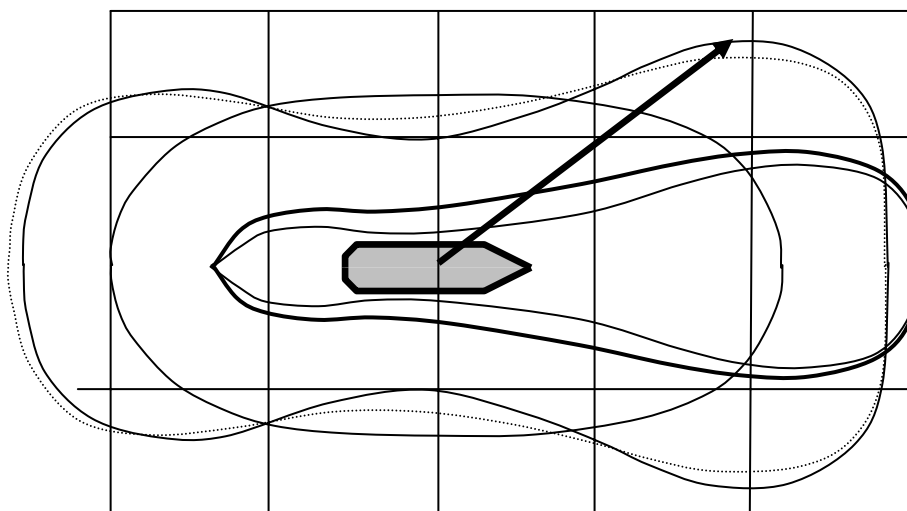
LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

peudella 10 m/s + 20 % jää reserviä 43,7–27,0=16,7 t). Tämä reservi ei ole riittävä, sillä se ei ota huomioon aaltovoimia, siirtelyä eikä turvallisuusmarginaalia.

3.2.2 Ohjailtavuus

Ohjailtavuus riippuu eri suuntiin saavutettavasta työntövoimasta. Tämä ilmoitetaan esim. työntövoimapiirroksen avulla, kuva 7, joka perustuu kirjan *Tug Use in Port* kuvaan 2.29. Ohjailtavuusratkaisut ovat merkittävä hinaajien tyyppiluokitteluperuste, ks. edellä 3.1.

Paras tehokkuus saavutetaan ns. traktorityyppisellä hinaajalla, jolla on joko Voith-Schneider- tai atzimuuttipropulsio. Traktorityyppisellä hinaajalla on propulsio laite noin 1/4 aluksen pituuden verran keskilaivasta keulaan päin, kuva 4. Käytännössä saman tehoinen on hinaaja, jolla on atzimuuttipotkuri suulakkeessa aluksen perässä. Huomattavasti heikompi ohjailudiagrammi on konventionaalisella hinaajalla, jolla on kaksi kääntösiipipotkuria suulakkeissa aluksen perässä ja keulapotkuri. Tätä huonompi on edelleen samantyyppinen hinaaja ilman keulapotkuria. Hieman heikompi ovat tyypit, joissa on vain yksi kääntösiipipotkuri perässä. Vielä on käytössä vanhoja hinaajia, joissa on vain kiinteäsiipinen potkuri ja peräsin aluksen perässä.



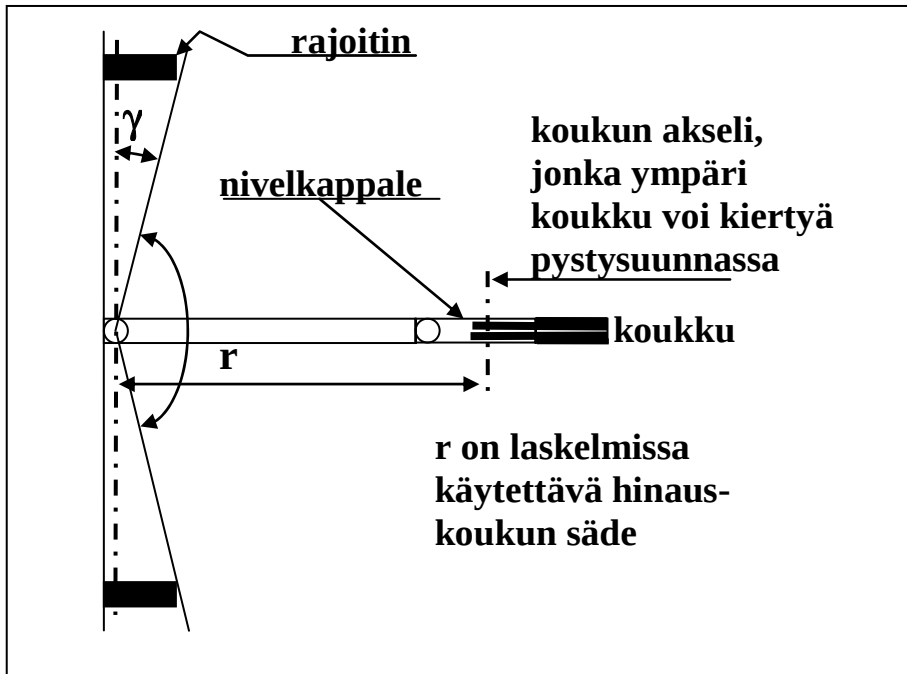
Kuva 7. Vektoridiagrammi. Erilaisilla samantehoisilla propulsiojärjestelmillä saavutettava työntövoima paaluvetotilanteessa (siis nopeus = 0). Nuoli osoittaa paaluvedon suunnan ja suuruuden. Sisin on konventionaalinen hinaaja, jossa kaksi säätösiipipotkuria suulakkeessa. Seuraava on sama kuin edellinen, mutta keulapotkuri lisätty. Ovaali on Voith-Schneider-traktorityyppinen hinaaja, uloin ehjä käyrä vastaa traktorityyppistä hinaajaa, jossa atzimuuttipotkurit ovat suulakkeissa. Uloin pisteviiva vastaa hinaajaa, jossa atzimuuttipotkurit ovat suulakkeissa aluksen perässä. **PEGASOSin** käyrä sijaitsee toiseksi sisimmän käyrän sisäpuolella ja **POSEIDONin** sisimmän sisäpuolella.

3.2.3 Hinausvarustus

Hinausta varten hinaajissa on hinauskoukku. Se on sijoitettu konventionaalisissa hinaajissa aluksen keskiosaan ja se on saranoitu ja tuettu niin, että hinaajan kiertymisliike on esteetön. Hinauksessa syntyvien suurten voimien johdosta hinauskoukku ja siihen liittyvät rakenteet ovat massiivisia. Hinaustehtävissä syntyy usein yllättäviä tilanteita, joiden johdosta hinaaja on vaarassa kaatua. Tämän estämiseksi hinauskoukku varustetaan mahdollisuudella irrottaa hinausköysi kauko-

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

laukaisun avulla. Kaukolaukaisuun on kehitetty erilaisia ratkaisuja. Yksinkertaisin on vaijerien avulla toteutettu järjestelmä. Kehittyneempi on hydraulinen järjestelmä, jossa lukitus aukeaa hydraulisesti työsylinterin avulla vivuston välityksellä tai sylinterin kiristäessä vaijeria, joka korvaa vivuston. Tällöin on tärkeää, että laukaisun viive olisi mahdollisimman lyhyt. Myös automaattisia järjestelmiä on olemassa. Äärimmäisenä keinona hinaajissa on kirveet yleensä molemmiin puolin koukun etupuolella siltä varalta, että on yritettävä katkaista hinausköysi.



Kuva 8. Kaaviokuva hinauskoukusta. **PEGASOS**Silla r oli 2,9 m, γ oli noin 5 astetta.

PEGASOSin hinauskoukku oli kiinni kiinteässä, kiertymisen sallivassa pystysuorassa akselissa. Pystysuorasta akselista alkoi hinauskoukun vain vaakatasossa kiertyvä osa, joka päättyi kaksois-nivelkappaleeseen. Siihen oli kiinnitetty koukku, joka pääsi kiertymään pystysuorassa suunnassa. Koukun rakenteesta määrittyi hinauskoukun säde r , joka on eräs hinauskriteerin (Liite 2, kohta 5.2) laskennassa esiintyvistä muuttujista. Sen arvoksi on otettava etäisyys kiertymisakselista niveleen, kuten kuvassa 8 on esitetty. Näin kallistava momenttivarsi oli saatu pienemmäksi, kuvat 8 ja 9. PEGASOSissa oli lisäksi rajoittimena puskuri, joka esti koukun kiertymisen aivan sivulle. Tällöin säde tuli kertoa luvulla $\cos\gamma$, jossa γ on kulma, jonka verran kiertymiskulma jää alle 90 asteen, kuva 8.

Hinausvarustukseen kuuluvat lisäksi hinausvintturi, jota käytetään hinaustyön niin vaatiessa sekä erilaiset pollarit, klyysit ja hinausköysi. Hinausköyden kulku ohjataan usein hinaajasta ulos apuköysien, kaarien tai klyysien kautta, jotta hinauspiste siirtyisi vähemmän vaaralliseen paikkaan esim. ridari.

Hinauskoukun ja hinausköyden joustavuusominaisuudet vaikuttavat äkkinäisten nykäisyjen seurauksiin. Hinauskoukku on toisinaan varustettu vaimentavalla jousella. Tasaisessa liikkeessä tai tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä köysi ja jousi venyvät. Niiden yhteinen jousto lieventää äkillisten nykäisyjen vaikutuksia. Toisaalta ne muodostavat dynaamisen värähtelyjärjestelmän, joka yhdessä ulkoisten voimien kanssa välillä kasvattaa, välillä pienentää hinaajaa kallistavaa momenttia. PEGASOSin koukku oli ilman joustoa. Hinausköysi saattoi aiheuttaa kallistavan momentin heilahdelluista MSC HINAN potkurin jättövirran pyönteilyn vuoksi.

4 PEGASOSIIN VAIKUTTAVAT VOIMAT

Konventionaaliset hinaajat ovat toimintatavoistaan johtuen aluksia, joissa on suuri koneteho pienessä rungossa suuren paaluvedon aikaansaamiseksi. Lisäksi peräkansi on avoin ja se on lähellä veden pintaa. Hinaajan ja avustettavan aluksen kokoero on varsin suuri. Näistä tekijöistä johtuen hinaajaan saattaa sen avustustehtävän aikana vaikuttaa vaarallisen suuria voimia, jotka kallistavat, viippaavat ja kääntävät sitä. Peräkansi ja mahdolliset aukot saattavat joutua veteen; seurauksena saattaa olla hinaajan vakavuuden merkittävä heikkeneminen, kaatuminen ja uppoaminen.

Tarkastellaan hinauksen yhteydessä syntyviä voimia. Tärkeimmät ovat kallistavat, viippaavat ja pystysuoran akselin ympäri tapahtuvaa kiertymistä aiheuttavat voimat, joita on aluksi tarkasteltu erillisinä. Hitausvoimat on paikoin jätetty tarkastelusta pois. Lopuksi on arvioitu tilannetta, jossa ne vaikuttavat yhtä aikaa. Kallistava momentti hinaajan ollessa poikittain virtaukseen on yhtenä perustana hinaajien vakavuustarkastelulle, ns. *tow-tripping-kriteeri*. Se on nykyisin käytössä Suomessa ja Venäjällä.

Yleisimmin, myös Suomessa, on käytössä ns. *self-tripping-kriteeri*, joka perustuu potkuri- ja ohjailulaitteiden aiheuttamaan kallistavaan momenttiin. Se on mallikoetilanteessa¹⁸² määritelty seuraavasti: hinaaja vetää täydellä teholla, mutta se on vielä paikallaan, esim. hinaukseen lähdön tilanne. Sitten peräsin käännetään nopeasti suureen kulmaan. Tällöin hinaaja lähtee liikkeelle samalla kun hinausköyden ja hinaajan pituusakselin välinen kulma alkaa kasvaa. Mallikokeiden mukaan tilanteessa vaikuttava osuus paaluvedosta on noin 70 % ja se saavutetaan kun hinaajan ja köyden välinen kulma on noin 55 astetta. Tämä tilanne vastaa lähinnä kiertymistä pystyakselin ympäri.

Nämä kriteerit sopivat perinteisen tyyppisille hinaajille, joilla ei ole ohjailupotkureita.

Piirrosten yksinkertaistamiseksi niistä on jätetty pois pystysuorat voimat: hinaajan massasta johutuva voima ja uppouman nostevoima (on arvioitu vain kallistavat, viippaavat ja kääntävät voimat ja momentit). Samoin peräsin ja sen synnyttämät voimat on piirroksista yleensä jätetty pois. Ensimmäisessä tapauksessa T_1 on itse asiassa peräsimen aiheuttama voima. Lisäksi tässä tarkastellaan tilannetta, jossa alus liikkuu takaperin, jolloin peräsimeen vaikuttaa potkurin työntövoiman lisäksi vastakkainen virtaus.

PEGASOS oli aluksi perä edellä kohti virtausta, jolloin viippaavat voimat vaikuttivat. Sitten se alkoi kiertyä, jolloin *self-tripping* -tyyppinen tilanne saattoi vallita lyhyen aikaa riippuen peräsimen asennosta. Lopuksi se joutui sivuttaisiin virtaukseen, jolloin tilanne oli *tow-tripping*.

4.1 Sivuttaiset voimat hinauksessa

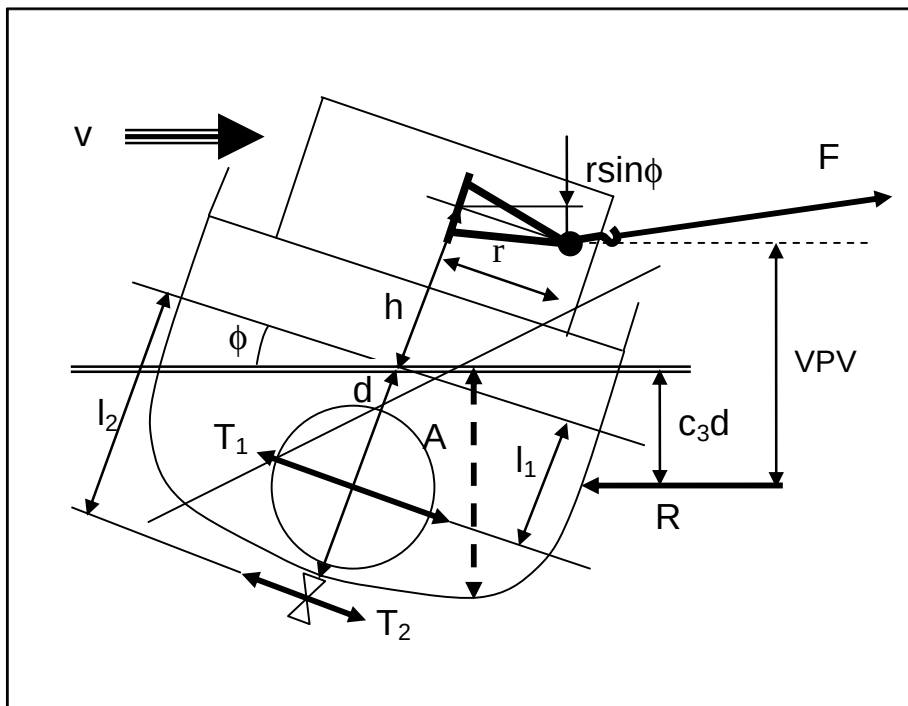
Oletetaan aluksi, että hinaaja liikkuu avustettavan aluksen vetämänä sivuttaisiin, tasaisella nopeudella v (tai nopeus kasvaa hitaasti). Muuttuvaa nopeutta on käsitelty liitteessä 2. Tilanne on esitetty kuvassa 9. Hinaajaa kallistaa itse asiassa voimapari, jossa voima on hinausköyteen vaikuttava voima (= vastusvoima) ja voimaparin varsi vastusvoiman vaikutussuoran ja hinausvoiman

¹⁸² J.R. Army, R.E. Johnson, E.R. Miller: Development of Intact Stability Criteria for Towing and Fishing Vessels, SNAME, vol. 84. 1976

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

vaikutussuoran välinen etäisyys. MKL:n kaavalla¹⁸³ lasketaan suoraan hinaajaa kallistava varsi k_1 , jota voidaan verrata oikeasevaan varteeseen GZ. Erotetaan nämä varret tässä tarkastelussa toisistaan seuraavasti: k_1 on kallistava varsi, jota verrataan GZ:aan ja VPV on voimaparin varsi. Varsi k_1 on tyypillisesti 0,2–0,3 m, VPV sen sijaan pienillä kallistuskulmilla useita metrejä ja pienentyen nopeasti yli 50 asteen kallistuskulmilla.

$$\text{Kallistava momentti} = k_1 \times \Delta = \text{VPV} \times F$$



Kuva 9. Hinaajaa vedetään sivuttain, nopeudella v . Kallistava momentti lasketaan veden pintaan nähden. Voimaan F jätetään oleellista virhettä aiheuttamatta pieni kosinikorjaus tekemättä. Vastusvoima R vaikuttaa lateraalipinnan A painopisteeseen, jonka paikka riippuu kallistuskulmasta. Kallistumisen kannalta merkittävin on lateraalipinnan painopisteen korkeussuuntainen paikka, jonka riippuvuus kallistuskulmasta otetaan huomioon kertoimella c_3 . Hinauspisteen korkeus veden pinnasta on h , hinauskaaren säde on r ja hinaajan syväys on d . Sivuttaisia voimia ja niistä syntyviä kallistavia momentteja voi myös syntyä propulsiolaitteiden käytöstä, kuvassa esimerkkinä pääpotkurin työntö T_1 peräsimen kautta ja alaslaskettavan atsimuuttilaitteen työntö T_2 . Vastaavasti voidaan ottaa huomioon tunnelipotkuri.

MKL:n kaava on voimassa 40–50 asteen kallistumaan asti. Siten noin 50 asteen kallistumaan asti vastusvoima voidaan likimain laskea MKL:n kaavan avulla (MKL:n kaava perustuu suppean mallikoesarjan tuloksiin, eikä sen avulla saada välttämättä vastusvoimaa selville). Kaavaa on syytä käyttää vain hinauskriteerin laskentaan. Hinauskriteerin laskentaa varten riittää tarkastella tilannetta 40 asteen kallistumaan saakka. Tässä onnettomuustapauksessa on kuitenkin syytä tarkastella tilannetta hinaajan nurinmenoon asti, kallistuma 90 astetta. Vastusvoimia ja kallistavan voimaparin vartta on sen vuoksi seuraavassa arvioitu sekä pienillä (jolloin on verrattu MKL:n kaavalla saataviin tuloksiin), että suurilla kallistuskulmilla. Hinaajan vastusta poikittaisvedossa suurilla kallistuskulmilla tarvitaan myös arvioitaessa hinaajan ja avustettavan yhteistä vastusta avustettavan nopeuden ja potkurin jättövirtauksen funktiona.

¹⁸³ Merenkulkuhallituksen päätös hinaajien vakavuudesta. Merenkulkuhallituksen tiedotuslehti 17/85 9.12.1985

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

Hinaajan kallistuma alle 50 astetta

Tarkastellaan aluksi tapausta, jossa hinaajaa **vedetään poikittain** ja T_1 ja T_2 ovat hyvin pieniä. Tasapainotilanteessa, ilman kiihtyvyyksiä, $F \approx R$ ja $R = \text{vakio} \cdot A \cdot v^2$. Kallistava momentti ilmaistaan tulona kallistava varsi k_1 kertaa uppouma. Kallistavaksi momentiksi saadaan

$$M_{\text{kall}} = \text{vakio} \cdot A \cdot v^2 \cdot (h \cdot \cos\phi - r \cdot \sin\phi + c_3 \cdot d) = k_1 \cdot \Delta$$

jossa Δ on uppouma. Ainoastaan Suomen Merenkululaitos käyttää tähän tarkasteluun pohjautuvaa vakavuuden arviointimenetelmää, katso liite 2. Termi $r \cdot \sin\phi$ pitäisi kertoa termillä $\cos\gamma$. Kulma γ on noin 5 astetta ja sen vuoksi on otettu $\cos\gamma = 1$. Vakio ja c_3 riippuvat kallistuskulmasta ja ne ottavat huomioon voimaparin kallistavan varren ja lateraalipinnan muutokset aluksen kallistuessa, mm. partaan ja kansirakennuksen veteen joutumisesta johtuvan vastuskertoimen kasvun. Sulklauseke on itse asiassa voimaparin varsi VPV.

Tarkastellaan seuraavaksi **potkurilaitteiden** aiheuttamia kallistavia momentteja ilman sivuttaisnopeutta. Pääpotkurin vaikutus voidaan arvioida seuraavasti: Pahin tilanne syntyy, kun hinausköysi on sivulle päin ja potkurilla yritetään kääntää hinaajaa tai hinausköysi ei ole hinaajan suuntainen kun hinaaja lähtee liikkeelle täydellä teholla. Saadaan pääpotkurin aiheuttamaksi kallistavaksi momentiksi

$$M_{\text{kall}} = \text{vakio} \cdot T_1 \cdot (h \cdot \cos\phi - r \cdot \sin\phi + l_1) = k_2 \cdot \Delta$$

jossa T_1 on pääpotkurin paaluveto. Konventionaalisella peräpotkurilla vain osa työnnöstä on mahdollista suuntautua peräsimen tai kääntyvän suolakkeen kautta sivulle. Luokituslaitoksilla ja viranomaisilla on tähän tarkasteluun perustuvia menetelmiä.

Vastaavasti alaslaskettavalle ohjailupotkurille saadaan

$$M_{\text{kall}} = \text{vakio} \cdot T_2 \cdot (h \cdot \cos\phi - r \cdot \sin\phi + l_2) = k_3 \cdot \Delta$$

Ohjailupotkurien suhteen luokituslaitoksilla ja viranomaisilla on ohjeita vain saattohinaajille.

Nämä voimat saattavat pahimmillaan vaikuttaa samanaikaisesti, mutta tuskin maksimiarvoillaan. Potkurilaitteen ja peräsimen momentit lisätään yllä oleviin kaavoihin joko oikaisevina tai kallistavina tilanteesta riippuen. Vakavuuslaskelmissa ne on otettava huomioon kallistavina maksimiarvoillaan. PEGASOSin onnettomuuden analysoinnissa on yritetty arvioida todellisuudessa syntyneet kallistavat tai oikaisevat momentit. Potkurilaitteen työntö ei suuntautunut sivulle, eikä peräsin synnyttänyt maksimityöntöään sivulle. Peräsin toimi MSC HINAN potkurin jättövirrassa, minkä vuoksi sen sivuttaisvoima oli pieni. Lisäksi PEGASOSin kallistuessa potkurilaitte ja peräsin lähestyivät veden pintaa, minkä johdosta niiden synnyttämät työntövoimat pienenevät. Veden pinnassa niiden sivuttaisvoimat hävisivät täysin.

Hinaajan kallistuma yli 50 astetta, poikittaisveto

Suuremmilla kallistuskulmilla vastusvoiman ja hinausvoiman vaikutussuorat lähestyvät toisiaan, jolloin poikittaisvedon aiheuttama kallistava momentti tulee pieneksi tai saattaa muuttua oikaisevaksi, ks. liitteen 2 kuva 7. Seuraavaan taulukkoon 1 on koottu lasketut ja arvioidut eri suureiden

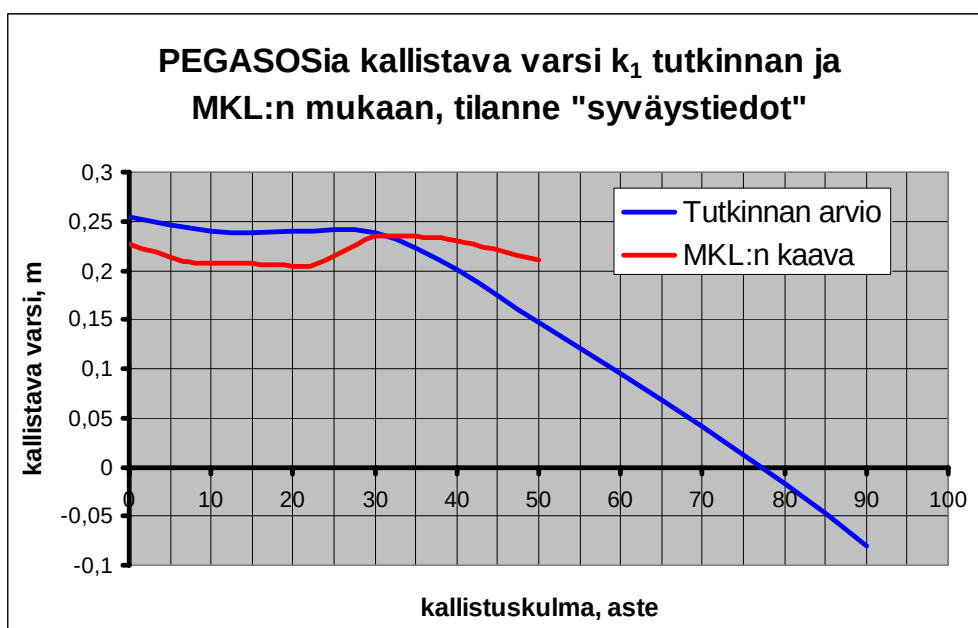
LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

arvot kallistuskulmaan 90 astetta saakka. Arviot ovat hyvin likimääräisiä, mutta voidaan pitää suuntaa antavina. PEGASOSin onnettomuustilannetta haarukoivaksi lastitapaukseksi on valittu ”syväystiedot”, uppouma 427,5 tonnia. VPV sarakkeessa ”MKL” on hinaus kiteerin kaavan sulkulausekkeen arvo. Sarake ”arvio” perustuu likimääräiseen mittaukseen kaariruudusta ja yleiskuvasta, samoin virtausta vastaan kohtisuora pinta-ala. Vastuskerroin C_D on arvioitu kirjallisuuden perusteella; se tulee melko suureksi, kun parras menee veteen. Arvion mukaan PEGASOSin vastus kasvoi selvästi sen kaaduttua, mikä hidasti HINAN nopeuden kasvua. Vastus saadaan kaavasta $R = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$ ja kallistava momentti kertomalla tulos kallistavan voimaparin varrella. Veden tiheys ρ on 1000 kg/m^3 .

Taulukko 1. PEGASOSin kallistavan voimaparin ja poikittaisvastuksen arviointi.

Kulma	voimaparin varsi VPV, m		PEGASOSin poikittaisvastus, $v=2,5 \text{ m/s}$		
	MKL	arvio	ala, m^2	C_D	vastus, kN
0	4,4	4,4	86,5	0,9	243
10	4,0	4,0	89,0	0,9	250
20	4,0	3,6	89,0	1	278
30	3,9	3,3	88,0	1,1	303
40	3,2	2,6	86,0	1,2	323
50	2,5	2,0	82,0	1,2	308
60	1,9	1,2	82,0	1,3	333
70	1,2	0,5	84,0	1,3	341
80	0,7	-0,2	86,0	1,3	349
90	0,2	-0,9	100,0	1,2	375

Kuvassa 10 on kallistavan varren k_1 arvo laskettuna MKL:n määräysten mukaan sekä tutkinnassa tehdyn likimääräisen laskelman mukaan. Tulosten ei välttämättä pidäkään olla aivan samat (vaikka voimaparin varsi olisi sama), sillä MKL:n menettely ei suoraan määritä kallistavan voimaparin vartta eikä vastuskertoimen suuruus ei ole tiedossa



Kuva 10. PEGASOSia kallistava varsi k_1 MKL:n ja tutkinnan mukaan.

4.2 Viippaavat voimat hinauksessa

Hinaajilla on yleensä avoin peräkansi, jonka etäisyys veden pinnasta on suhteellisen pieni. Tällöin kasvava peräviippaus helpottaa veden kannelle tuloa, mikä puolestaan heikentää vakavuutta, koska vesiviivan pinta-ala pienenee. Lisääntyvä peräviippaus pienentää myös varalaitaa, kun ketkan antama varalaitaisä on ylitetty, minkä seurauksena hinaajan kallistuessa kannen reuna menee veteen pienemmällä kallistuskulmalla.

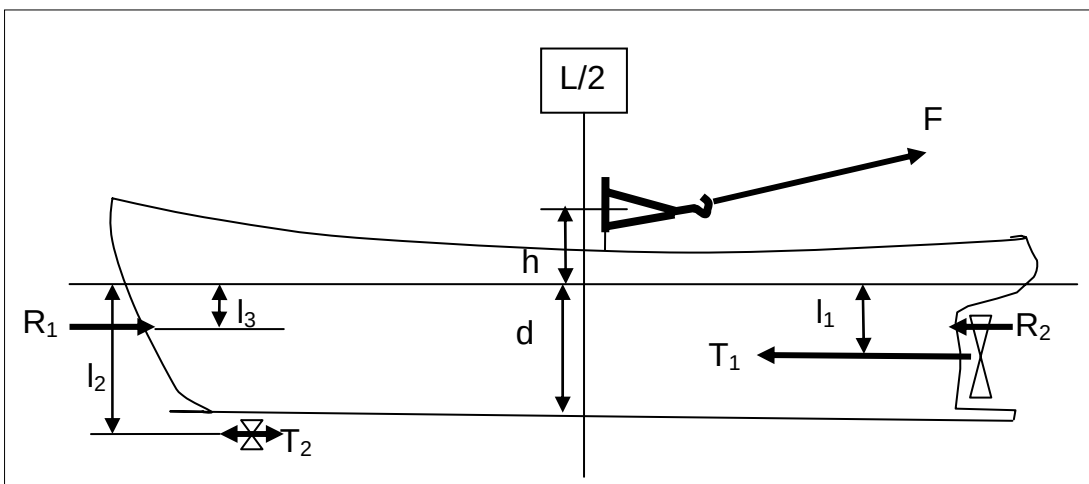
Tarkastellaan hinauksessa syntyviä viippaavia voimia, jotka on esitetty kuvassa 11a. Jätetään tekemättä pieni kosinikorjaus hinausvoimaan. Jos hinaaja kulkee eteenpäin, on vastus R_1 ja jos se on jarruttamassa, on vastus R_2 . ja vastusvoimien etäisyys l_3 veden pinnasta on oletettu samaksi riippumatta suunnasta. Vastusvoimat joudutaan arvioimaan erikseen. Oletetaan tasainen nopeus. Saadaan viippaavaksi momentiksi:

$$M_{\text{viipp}} = \text{vakio} \cdot T_1 \cdot (h + l_1) - R_1 \cdot (h + l_3) \text{ eteenpäin kuljettaessa ja}$$

$$M_{\text{viipp}} = \text{vakio} \cdot T_1 \cdot (h + l_1) + R_2 \cdot (h + l_3) \text{ taaksepäin kuljettaessa}$$

Yllä olevaan vakioon sisältyy työnönvähennyskertoimen vaikutus. Molempiin voi keulapotkuria käytettäessä tulla lisää termi $\pm(0...1) \cdot T_2 \cdot l_2$ riippuen sen asennosta.

Viippaava momentti on siis suurempi kuljettaessa jarruttaen taaksepäin. PEGASOS oli hetken aikaa juuri tällaisessa tilanteessa. Viippauksen muutos voidaan arvioida kun tunnetaan aluksen hydrostaattisista tiedoista yhden cm:n viippausmuutoksen synnyttävä momentti. Viranomaiset ja luokituslaitokset eivät määrittele vaatimuksissaan yllä olevan tapaista muuttuvaa viippaustilannetta. Tietyn suuruusena säilyvä viippaus sisältyy vaatimukseen, että vakavuus on laskettava kaikissa mahdollisissa lastitilanteissa.

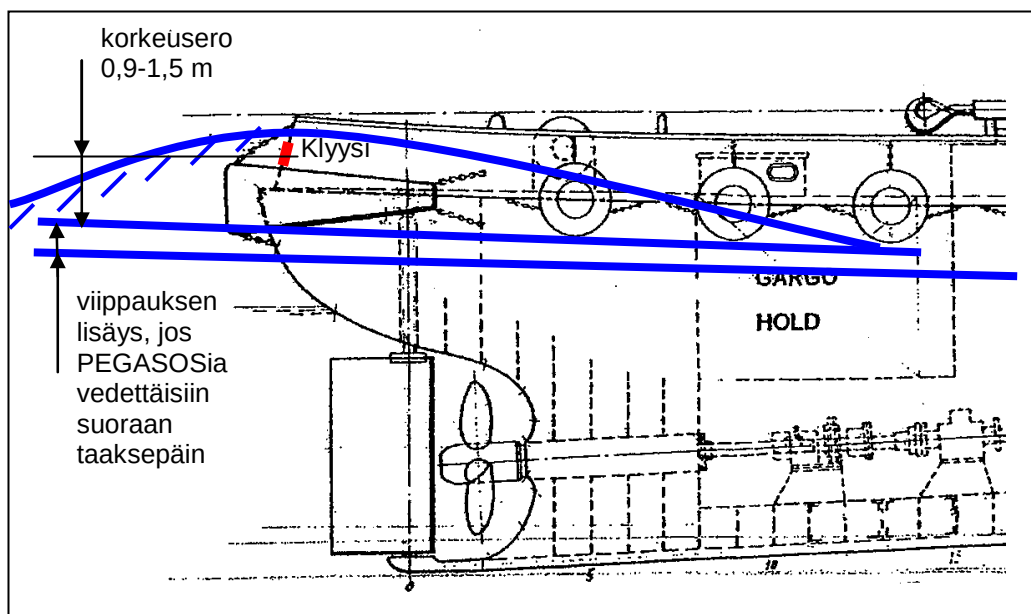


Kuva 11a. Hinaajaan vaikuttavat viippaavat voimat tasaisella nopeudella taaksepäin sen potkurin työntäessä eteenpäin.

Kuvassa 11b on esitetty PEGASOSin perä tapauksessa, jossa MSC HINA vetää sitä perä edellä potkurivirtauksessa. Tähän tilanteeseen saatetaan joutua ridaria (gob-rope) käytettäessä. Viippaava momentti on noin 100 tm, mistä aiheutuu noin 15 cm syväyslisä perässä. Staattinen korkeusero vedenpinnasta peräklyysiin on 0,9–1,5 m haarukoivasta lastitilanteesta riippuen. PEGASOSin liike vasten virtausta ja potkuripyörteitä synnyttää patoaallon, joka voi ajoittain pienten

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

nykäysten ja hinaajan jyskintäliikkeen myötävaikutuksesta nousta klyysin ja partaan reunan tasalle tai yli. Kun vettä kertyy kannelle, viippaus kasvaa edelleen ja vakavuus heikkenee, katso liite 2, kuva 16. Alus voi sukeltaa perä edellä, mikä voidaan estää vähentämällä konetehoa tai laukaisemalla köysi irti.



Kuva 11b. PEGASOS perä edellä potkurivirtauksessa avustettavan vetämänä, suurella peräviippauksella ja koneteholla.

4.3 Kääntävät voimat hinauksessa

Pystysuora kiertymisakseli, eli pivot point on hinauskoukun kiertymisakselilla. Useimmilla perinteisillä hinaajilla kuten myös PEGASOSilla se sijoitetaan hieman aluksen pituuden puolivälin peräpuolelle. Näennäisen kiertymisakselin eli pivot point'in paikka riippuu aluksen kulkusuunnasta ja nopeudesta.

Tarkastellaan seuraavassa tilannetta, jossa hinaaja on perä edellä jarruttamassa avustettavaa PEGASOSin tavoin, kuva 12a. Hinaajan veden alainen pinta toimii siipiprofiilina, jolloin syntyvät nostevoima L ja vastusvoima D. Voimat L ja D vaikuttavat vedenalaisen pinnan painopisteeseen, joka on määritettävissä. Näiden voimien suuruudet riippuvat kulmista (viippaus, kallistuma ja kiertyminen), joilla virtaus kohtaa aluksen, aluksen muodosta ja aluksen nopeudesta. Tilanne vastaa esim. peräsimen noste- ja vastuskertoimien määrittämistä. Peräsimille on erilaisille profiileille mallikokeiden pohjalta laaditut käyrästöt. Vastaavien tietojen aikaansaamiseksi hinaajan mallille olisi tehtävä mallikokeet. Itse asiassa näin tehdäänkin, kun kysymyksessä on saattohinaaja. Tällöin nostevoiman tilalla on sivuttaisvoima, jota mitataan poikittaisvoimakertoimella (sway coefficient) C_q . Vastusvoiman tilalla on pitkittäisvoima, jota mitataan pitkittäisvoimakertoimella (surge coefficient) C_l . Myös hinaajaa kääntävä momenttikerroin C_N tai lateraalivoiman paikan määrittävä kerroin C_{LCR} määritetään¹⁸⁴. Voima saadaan kertomalla vastaavalla kertoimella termi $\frac{1}{2}\rho A v^2$, jossa A on lateraalipinta-ala, v on nopeus ja ρ on veden tiheys ja momentti kertomalla vielä aluksen pituudella. Näiden voimien ja momenttien lisäksi on otettava huomioon peräsimen aiheuttamat voimat ja momentit.

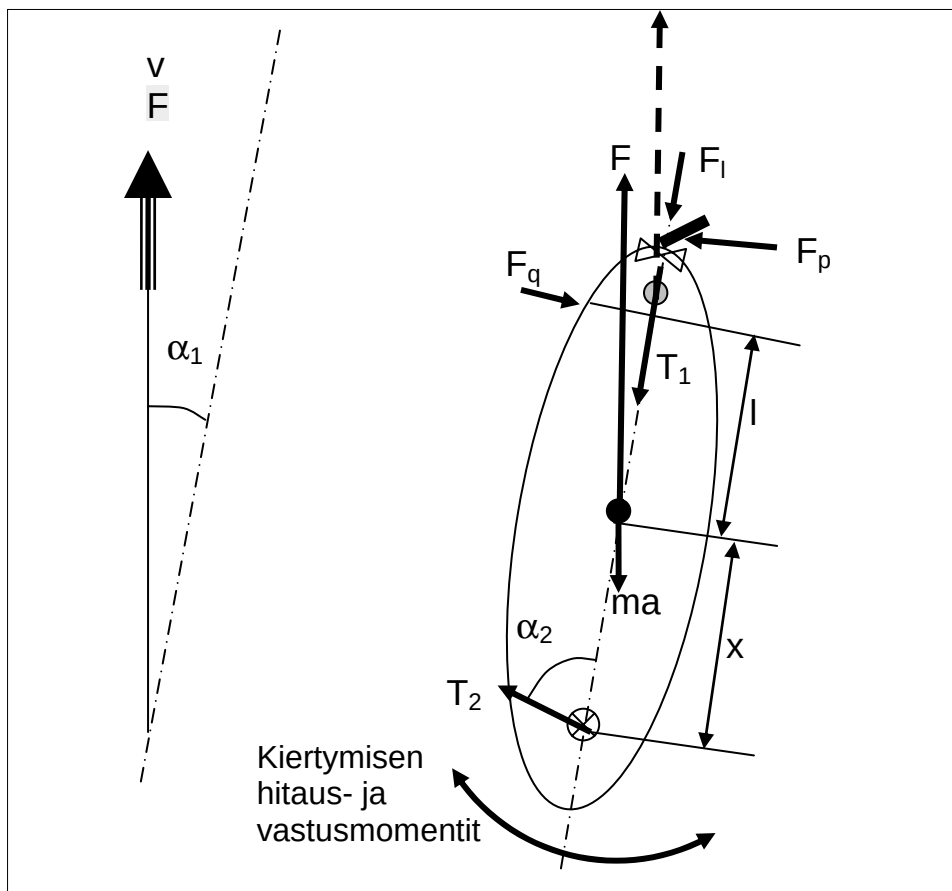
¹⁸⁴ CLR on Centre of Lateral Resistance

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

Jos hinaaja liikkuu avustettavan vetämänä takaperin, ja avustettava käyttää potkuriaan, alusten potkurivirrat voivat kohdata ja hinaajan peräsimen ohjailuvaikutus heikkenee oleellisesti. Myös hinaajan potkurin työntö heikkenee.

Kuvan tilanteessa keulapotkurilla voidaan hinaaja pitää vinossa asennossa kulkusuuntaan nähden tietyin rajoituksin. Konventionaalisella hinaajalla, jolla rungon muoto ei ole suunniteltu sivuttaisasennossa kulkuun, kuten saattohinaajalla, asennon ylläpito on erittäin vaikeaa. Varsinkin, jos avustettavan nopeus muuttuu, keulapotkurilla tulisi reagoida, jolloin helposti tulee yli- tai aliohjausta. Ilman keulapotkuria hinaaja kääntyisi nopeasti poikittain kulkusuuntaan. Keulapotkurin avulla tilannetta voidaan yrittää hallita, mutta väärälle puolelle suunnattu työntö nopeuttaa poikittaiskulkuun joutumista ja lisää kallistavaa vartta. Jos hinauspiste olisi lähellä hinaajan perää, harmaassa pisteessä, hinaajan kääntymisen sivuttain kulkusuuntaan olisi estetty. Tämä saadaan aikaan esim. ridarilla (gob-rope- järjestely), kuva 3a.

Viranomaiset ja luokituslaitokset määrittelevät tämän tilanteen kriteerit vain saattohinaajille. PEGASOSin kääntyessä sivuttaisvirtaukseen siihen vaikuttava köyden sivuttaisvoima oli $F \cdot \sin \alpha_1$ (α_1 kasvoi poikittain kääntymisen aikana 90 asteeseen). Sivusuunnassa vaikuttivat lisäksi peräsimen ja keulapotkurin lateraali-pinta-alaa vasten kohtisuorat komponentit sekä voima F_q . PEGASOSin kiertymisliikkeen aikana siihen vaikuttivat lisäksi kiertymistä vastustavat virtauksesta johtuva vastusmomentti ja hitausmomentti (pystysuoran kiertymisakselin ympäri). MSC HINAn nopeuden kasvaessa kiihtyvyydellä a PEGASOSiin vaikutti lisäksi hitausvoima ma , jossa m on hinaajan uppouma plus mukana liikkuvan veden massa.



Kuva 12a. Hinaajaan vaikuttavat kääntävät voimat PEGASOSin ollessa MSC HINAn perässä ja sen alkaessa kiihdyttää.

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

Voimat F , F_l ja T_1 vaikuttavat pivot pointin kautta, joten niistä ei synny kääntäviä momentteja. Voimat F_q ja F_l riippuvat kulmasta α_1 (ja viipaus- sekä kallistuskulmasta), rungon muodosta ja nopeudesta v. Voiman F_q momentti lasketaan suoraan momenttikertoimen C_N avulla tai arvioimalla etäisyys l. Voidaan olettaa PEGASOSilla (sen runko ei ole saattohinaajan tyyppinen) kertoimeksi C_q 90 asteen kohtaamiskulmalla 1,0 ja sen muuttuvan sinimuotoisesti välillä 0-180 astetta. Kertoimen C_l voidaan olettaa olevan nolla kohtaamiskulmalla 90 astetta ja olevan pitkittäinen vastuskerroin kulmilla 0 ja 180 sekä noudattavan muualla paraabelia. Kertoimen C_N oletetaan riippuvan kohtaamiskulmasta myös sinimuotoisesti, mutta olevan maksimissaan 45 ja 135 asteen kulmilla ja nolla kulmilla 0, 90 ja 180 astetta. Suurimmaksi arvoksi on oletettu 0,1 soveltaen seuraavaa viitettä¹⁸⁵. Keulapotkurin synnyttämä momentti saadaan lausekkeesta $x \cdot T_2 \cdot \sin \alpha_2$. Peräsinvoiman momentti on likimain $F_p \cdot L/2$.

Etäisyys l muuttuu kulman α_1 muuttuessa. Hinaajan sivuttaisliike saadaan aikaan keulapotkurin ja peräsimen kohdistuvan potkurivirran voiman F_p yhteisvaikutuksella. Muut peräsimen vaikuttavat voimat on kuvion yksinkertaistamiseksi jätetty pois.

Uponneessa aluksessa peräsin oli keskiasennossa. Nostetussa aluksessa keulapotkurin vipu osoitti kellosuuntaan 9–10. On ilmeistä, että PEGASOSin päällikön onnistui pitää keulapotkurilla alustaan jonkin aikaa hieman vinossa asennossa virtaukseen nähden perä kohti MSC HINAA. Tuolloin kääntävät ja kääntymistä vastustavat ohjailumomentit olivat tasapainossa. PEGASOSin vähitellen ajautuessa keskemälle, aluksi sen peräsin ja sitten sen peräosa kohtasi MSC HINAN potkurin jättövirtaukseen. Kun sitten MSC HINAN potkurin jättövirtaukseen osuminen synnytti äkillisen kääntävän momentin, momenttien tasapaino muuttui niin nopeasti alusta kääntävien hyväksi, että PEGASOSin päälliköllä ei ollut enää mahdollisuutta ohjailutoimenpiteillä estää kääntymistä poikittain. Lisäksi kääntymisen aikana kääntävä momentti kasvoi nopeasti aluksen kääntymistä poikittain ja yhä suuremman osan aluksen perästä joutuessa potkurin jättövirtaukseen¹⁸⁶. Kun alus kallistui yli 30–40 astetta, keulapotkuri lähestyi veden pintaa ja sen työntö heikkeni ja lopulta hävisi, kuva 10.

Seuraavassa kuvassa 12b on tilanne PEGASOSin potkurivirtaan ajautumisen aikana. Tällöin hinausköysi ei ollut MSC HINAN liikkeen suuntainen ja tilanne oli monimutkaisempi. PEGASOSin ollessa jo poikittain virtaukseen kulma β oli hyvin pieni ja α noin 90 astetta.

Tätä tilannetta on tarkasteltu likimääräisesti seuraavalla tavalla. Oletetaan MSC HINAN nopeudeksi 2,5 solmua PEGASOSin kääntymisen alkaessa. PEGASOSin painopisteeseen vaikuttavan hitausvoiman kallistava ja kääntävä vaikutus on hyvin pieni. Työnnön T on arvioitu tässä tilanteessa olevan noin 15 tonnia ja keulapotkurin työnnön T_2 enintään noin 6 tonnia. Kulma α on 20 astetta, β 10 astetta ja α_2 60 astetta. Peräsimen vaikuttava sivuttaisvoima F_p lasketaan peruuttavan peräsinprofiilin nostekertoimen C_L ja vastuskertoimen C_D avulla. Ne on arvioitu tällä kohtaamiskulmalla (juuri ennen sakkausta)¹⁸⁷: $C_L = 0,5$ ja $C_D = 0,25$. Voiman F_p kertoimeksi saadaan $C_L \cos(\alpha+\beta) + C_D \sin(\alpha+\beta) = 0,56$. Potkurivirtauksen reunalla nopeudeksi, joka keskimäärin kohtaa peräsimen (pinta-ala 4 m²) on arvioitu 2,8 m/s (2,5 solmua+ 1,5 m/s)¹⁸⁸. Voimaksi F_p saadaan sitten noin 1 tonni¹⁸⁹, kun potkurivirtaus osui peräsimen. Ennen potkurivirtaukseen osumista F_p oli

¹⁸⁵ A.Ishibashi, H.Kobayashi, A Study of Ship Maneuvering Characteristics Of Ship with Twin-propellers and Twin-rudders in Shallow Water-On the Harbor Maneuvering at Low Speed Range, MARSIM 2000.

¹⁸⁶ Tutkinnassa on arvioitu, että kääntävä momentti kasvoi maksimiarvoonsa nopeasti, 5-10 sekunnissa.

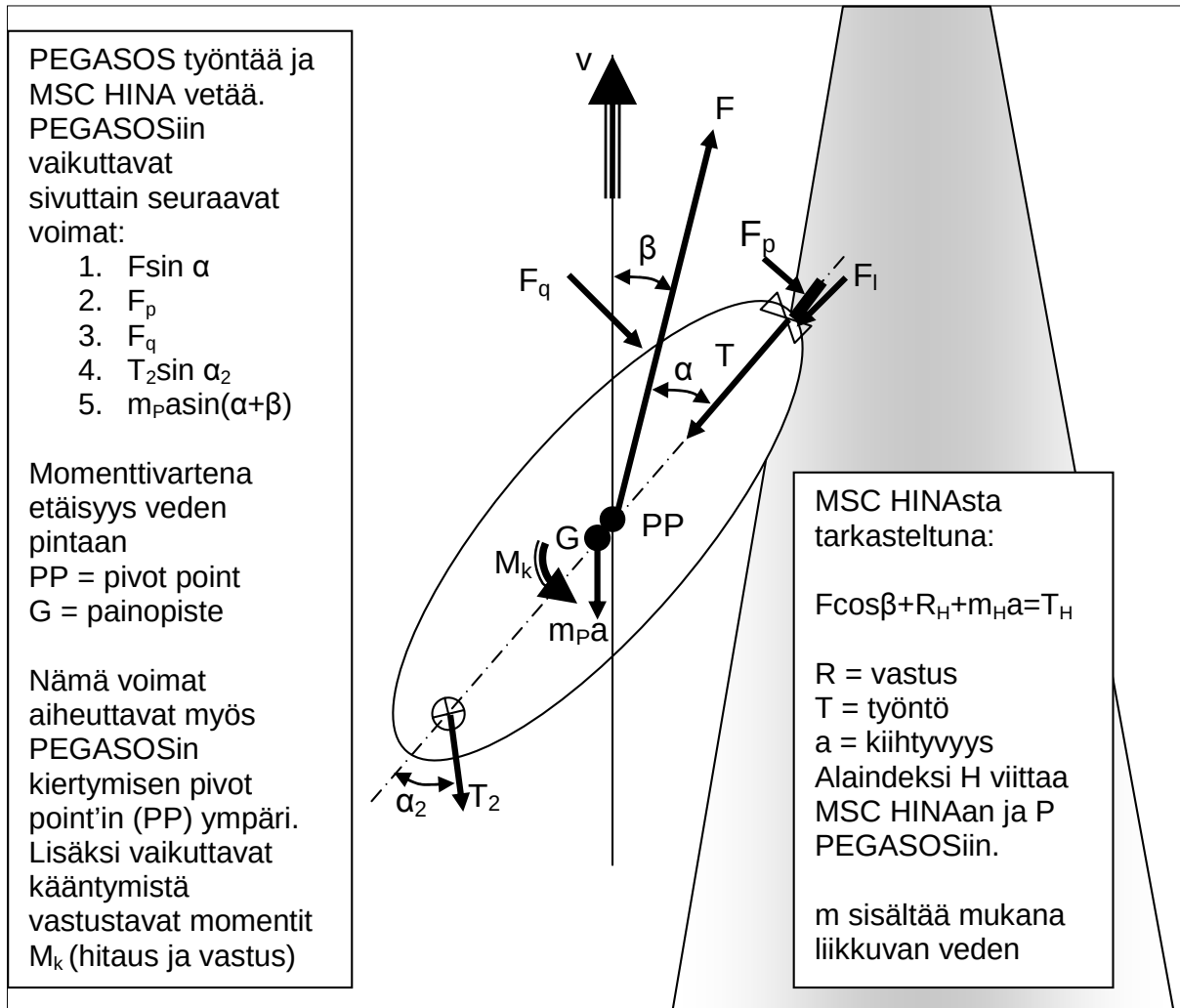
¹⁸⁷ PNA, osa III, Fig. 133, sivua 298 soveltaen

¹⁸⁸ PEGASOSin perä oli noin 8 m lähempänä MSC HINAA tässä asennossa kuin poikittain kääntyneenä, minkä johdosta nopeudeksi on arvioitu suurempi kuin liitteen 2 kohdassa 2.4 arvioitu 2,5 m/s.

¹⁸⁹ $0,5 \times 0,56 \times 4 \times 2,8^2 / 9,81 = 0,9$ t

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

noin 0,2 t. PEGASOSiin vaikuttavaksi sivuttaisvoimaksi ilman peräsintä saadaan noin 3,5 tonnia¹⁹⁰ ja sen kääntäväksi momentiksi noin 10 tm¹⁹¹



Kuva 12b. PEGASOS MSC HINAN perässä potkurivirtaan ajautumisen aikana.

Maksimissaan keulapotkurilla oli tuossa tilanteessa mahdollista saada aikaan noin $6 \times 12 = 72$ tm ohjailumomentti. Tasapainotilassa ennen potkurin jättövirtauksen kohtaamista tarvittiin vain noin 12 tm ja alkuvaiheessa vieläkin vähemmän (peräsin $0,2 \times 10 = 2$ tm ja runko 10 tm). Tämän johdosta keulapotkurista ei otettu täyttä tehoa eikä se ollut suunnattuna täysin sivulle. Kun PEGASOSin peräsin osui MSC HINAN potkurin jättövirtaukseen, kääntävä momentti kasvoi äkkiä noin kaksinkertaiseksi ($1 \times 10 = 10$ tm + 10 tm), minkä johdosta hinaaja kääntyi nopeasti poikittain. Poikittain kääntymisen jälkeen kääntävä momentti oli jo suuruusluokkaa 100 tm¹⁹². Ohjailutoimenpitein kääntymistä ei siten sen alkuun pääsyn jälkeen enää voinut estää.

Kun kulma $\alpha + \beta$ oli noin 90 astetta, PEGASOS oli poikittain virtauksessa. Niin kauan kun sen potkuri toimi, kulma β oli suurempi kuin 0 astetta. PEGASOSin potkuri toimi sivuttain MSC HINAN potkurin jättövirtauksessa, minkä johdosta hinaajan työntö todennäköisesti oli pieni, ehkä 5–10 tonnia. PEGASOSin vastus oli virtausnopeudella 2,2–2,5 m/s noin 25–35 tonnia. Tällöin kulmaksi

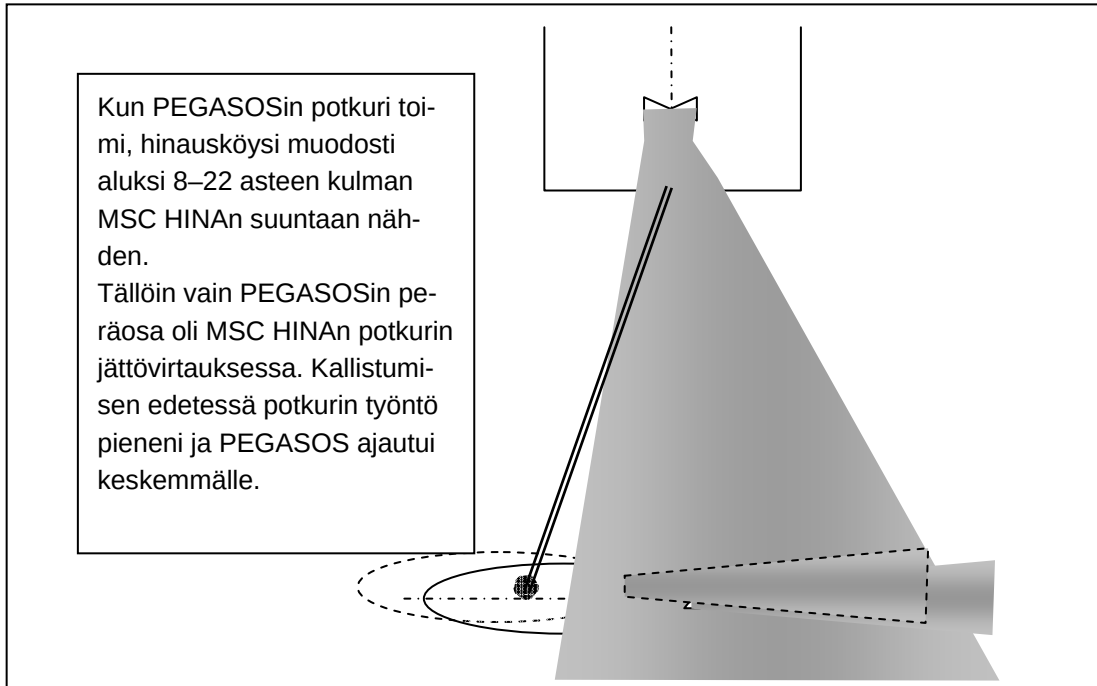
¹⁹⁰ $0,5 \times 1 \times 80 \times 1,3^2 \times 1 \times \sin 30 / 9,81 = 3,5$ t

¹⁹¹ $0,5 \times 0,1 \times 80 \times 28 \times 1,3^2 \times \sin(2 \times 30) / 9,81 = 16,7$ tm. Tämä momentti on on PEGASOSin keskilaivan suhteen. Kiertmisakselin suhteen (siirto noin 2 m) saadaan 9,8 tm.

¹⁹² $0,5 \times 1 \times (30 \times 9 \times 3,0^2 - 50 \times 4 \times 1,4^2) / 9,81 = 101,5$ tm

LIITE 1. SATAMAHINAAJAT JA AVUSTUSTOIMINTA – HINAAJAAN VAIKUTTAVAT VOIMAT

β saadaan 8–22 astetta. Kuvassa 13 on esitetty PEGASOSin rungon sijainti MSC HINAN potkurin jättövirtaukseen nähden kulman β vaihdellessa tällä välillä. Vain PEGASOSin perä kohtasi MSC HINAN potkurin jättövirtauksen. PEGASOSin kallistuessa sen potkuri lähestyi veden pintaa ja työntö pieneni. Aluksen ollessa jo melkein nurin, sen pääkone pysähtyi. Näistä syistä kulma β pieneni kallistumisen edetessä, mikä omalta osaltaan lisäsi MSC HINAN potkurivirran vaikutusta kaatumisen loppuvaiheessa.



Kuva 13. PEGASOSin potkurin työnnon vaikutus sen asemaan MSC HINAN takana.

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

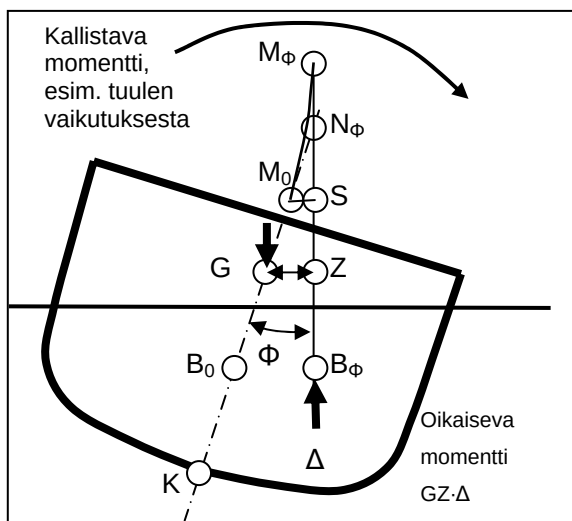
1. Vakavuus	2
1.1 Peruskäsitteet	2
1.2 Hinaajan vakavuus.....	6
2. Hinaajia kallistavat momentit hinaustilanteessa.....	9
2.1 Kallistavien momenttien syntyvät	9
2.1.1 Staattinen tarkastelu.....	9
2.1.2 Dynaaminen, aikaan sidottu tarkastelu.....	11
2.2 Kallistavien momenttien varret	13
2.3 Kallistavien voimien suuruuteen vaikuttavia tekijöitä.....	14
2.4 MSC HINAN potkurin jättövirtauksen vaikutus PEGASOSiin	18
2.5 Muita tekijöitä	24
3. Hinaajia oikaisevat momentit hinaustilanteessa.....	26
3.1 Muotovakavuus	26
3.2 Painovakavuus.....	31
4 PEGASOSin kaatuminen	33
4.1 Kaatumislaskelman lähtökohdat	33
4.2 Kaatumisen staattinen analyysi.....	33
4.3 Aikaan sidottu dynaaminen analyysi.	35
4.4 Säännöt täyttävä vakavuus	39
4.5 Yhteenveto kaatumisesta.....	40
5. Viranomaisten ja luokituslaitosten vakavuusmääräykset	41
5.1 Ulkomaiset määräykset.....	41
5.2 Suomen Merenkululaitoksen vakavuusmääräykset (ST ja TT)	46
5.3 PEGASOSin vakavuus MKL:n määräysten mukaan.....	48
6. Eri vaatimusten vertailua.....	52
7. Hinaaja POSEIDON.....	58
8. MKL:n hinauskriteerien epäselvyyksiä.....	59

1. VAKAVUUS

1.1 Peruskäsitteet

Aluksen vakavuus tarkoittaa aluksen kykyä olla kaatumatta kelluessaan, liikkuessaan ja työkennellessään. Näissä tilanteissa syntyy hitaasti tai nopeasti vaikuttavia kallistavia, osittain satunnaisia momentteja, joiden vaikutusta aluksen ominaisuuksista johtuvat tai ulkoiset oikaisevat momentit vastustavat. Kallistelevala alus muodostaa hydrodynaamisen järjestelmän, jonka täydellistä matemaattista mallinnusta ja ratkaisua ei ole kyetty luomaan. Ei myöskään ole kyetty kehittämään kaiken kattavaa vakavuuden määrittelyä. Käytännön tarpeita varten on tehty huomattavia yksinkertaistuksia, joiden pohjalta on luotu laivanrakennustekniikassa yleisesti käytetty vakavuuslaskennan menettely, jota tässäkin tutkinnassa on käytetty.

Staattinen vakavuus. Vakavuuden tarkastelu aloitetaan yleensä **tyyntä vettä** vastaavassa staattisessa tilanteessa, jolloin alusta kallistaa vakiona pysyvä tai hitaasti muuttuva momentti (voima x varsi). Aluksen oikaiseva momentti kallistuskulman funktiona esitetään oikaisevan varren muodossa, jolloin oikaiseva momentti saadaan kertomalla varsi uppoumalla. Hitaasti kasvavat kallistavat momentit lisäävät aluksen kallistumaa tasapainossa oikaisevan momentin kanssa (kunnes kallistava momentti saavuttaa maksimiarvonsa tai jos se tulee suuremmaksi kuin oikaiseva momentti alus kaatuu). Tätä tilannetta tarkastellaan staattisena, jolloin puhutaan **staattisesta vakavuudesta**. Seuraavassa kuvassa on esitetty kallistunut alus sekä kallistava momentti ja oikaisevan momentin varret.



Kuvassa merkinnät tarkoittavat:

Φ = kallistuskulma

K = kölipiste, joka on usein peruspiste

B_0 = uppouman painopiste kulmalla 0

B_Φ = uppouman painopiste kulmalla Φ

G = aluksen painopiste (oletettu keskelle)

M_0 = alkuvaihtokeskus ($\Phi < 10^\circ$)

M_Φ = vaihtokeskus kallistuskulmalla Φ

N_Φ = näennäinen vaihtokeskus, vaihtokeskuksesta vesiviivaa vastaan kohtisuora suora leikkaa aluksen keskiviivan tässä, $\Phi > 10^\circ$

Δ = uppouman noste

GZ = oikaiseva varsi

Kuva 1a. Aluksen vakavuuden perusmuuttujat

Oikaiseva varsi GZ saadaan kaavoista:

$KN_\Phi \cdot \sin\Phi - KG \cdot \sin\Phi$ tai $B_0N_\Phi \cdot \sin\Phi - B_0G \cdot \sin\Phi$ ($\Phi > 10$ astetta) ja $KM_0 \cdot \sin\Phi - KG \cdot \sin\Phi$ tai $B_0M_0 \cdot \sin\Phi - B_0G \cdot \sin\Phi$ ($\Phi < 10$ astetta). Alle 10 asteen kallistumalla puhutaan alkuvakavuudesta. Janat GZ ja M_0S mitataan vedenpinnan suunnassa. $M_0S = (KN_\Phi - KM_0) \cdot \sin\Phi$.

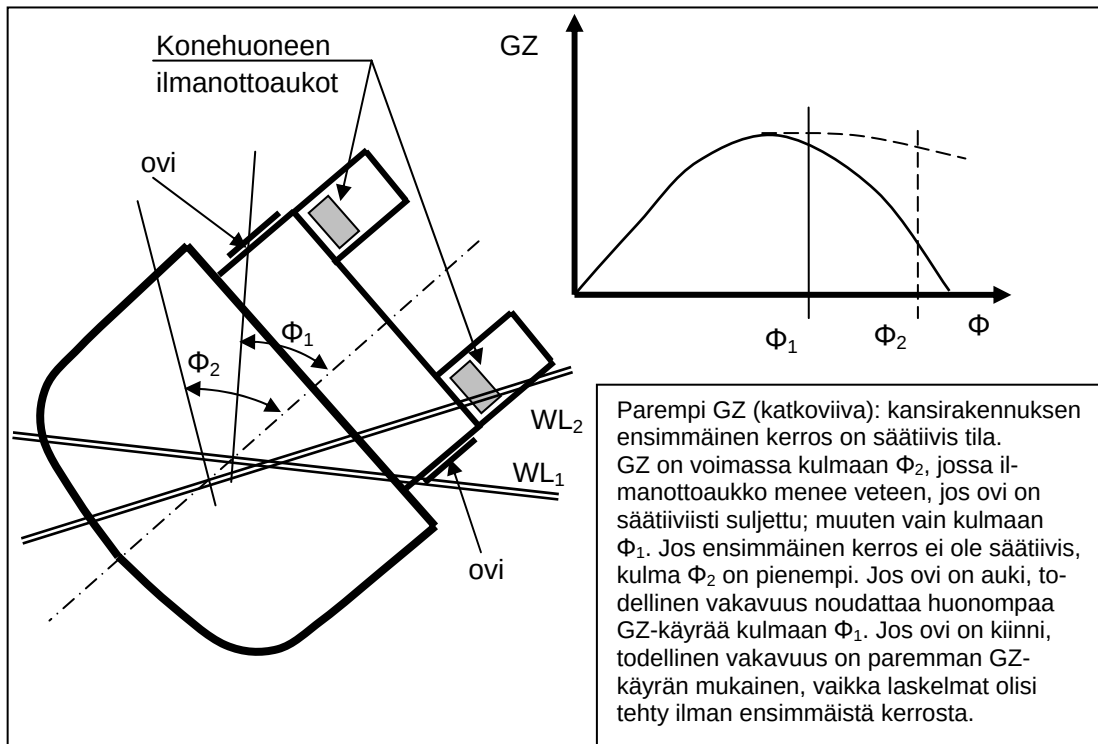
Näissä erotuksissa edellinen termi on **muotovakavuusvarsi**, koska se riippuu aluksen rungon muodosta ja kallistuskulmasta. Jälkimmäinen termi riippuu vain aluksen painopisteen paikasta ja

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

sitä kutsutaan **painovakavuusvarreksi**. Toinen yleisesti käytetty GZ:n laskenta perustuu kaa-vaan: $GZ = GM_0 \cdot \sin\Phi + M_0 S$. Tässä yhtälön oikealla puolella edellinen termi riippuu painopisteen paikasta ja alkuvaihtokeskuskorkeudesta, joka puolestaan riippuu aluksen päämitoista. Jälkimäinen termi riippuu aluksen rungon muodosta ja kallistuskulmasta. Nykyisin tietokoneella laske-taan joko termit $KN_\Phi \cdot \sin\Phi$ (tai $B_0 N_\Phi \cdot \sin\Phi$) eli vakavuuden poikkikäyrät (pantokareenit) tai $M_0 S$ eli **jäännösvakavuus** ja ne annetaan taulukkona, käyrästöinä tai tiedostoina alukselle. Lisäksi ny-kyisin aluksilla on aluskohtaisesti viritetty tietokoneohjelmisto, jolla voidaan laskea vakavuus eri lastilanteissa. Aluksen kallistuessa uppouman painopiste B saattaa siirtyä myös pituussuunnas-sa, minkä johdosta viippaus muuttuu. Vanhoissa vakavuuslaskelmissa on viippaus pidetty yleen-sä vakiona. Tästä ei tule suurta virhettä, jos aluksen lastitilanteissa viippauksen muutokset pysy-vät suhteellisen pieninä. Nykyisin käytettäessä kehittyneitä ohjelmistoja alus asettuu kallistues-saan hydrostaattisen tasapainon mukaiseen asentoon, jolloin yleensä sen syväys ja viippaus muuttuvat.

Aluksen painopisteen nousu vaikuttaa kasvattavasti termeihin $KG \cdot \sin\Phi$, $B_0 G \cdot \sin\Phi$ ja pienentävästi termiin $GM_0 \cdot \sin\Phi$. Seurauksena vakavuusvarsi GZ pienenee. Jos painopiste nousee määrällä d, niin vakavuusvarsi GZ pienenee lausekkeen $d \cdot \sin\Phi$ verran. Painopisteen muutoksen vaikutus siis kasvaa kallistuskulman kasvaessa. Alkuvaihtokeskuskorkeus pienenee painopisteen nousun verran.

Kuvan 1a avulla esitetään tavallisesti vakavuuden perusmuuttujat. Todellisuudessa tilanne vastaa seuraavaa kuvaa 1b, jossa on PEGASOSin poikkileikkaus savupiippujen kohdalta.



Kuva 1b. PEGASOS kallistuneena niin paljon, että aukot ja kansirakennus ovat vedessä.

Aluksen kallistuessa muotovakavuuteen voidaan ottaa laskelmissa mukaan myös varalaitakan-nen yläpuoliset suljetuina (säätiiviinä) pysyvät tilat. Laskelmien lähtökohdista riippumatta nämä tilat tulevat vaikuttamaan aluksen vakavuuteen sen kallistuessa riittävästi. Jos kansirakennus on pieni ja/tai sen sivulaipiot ovat selvästi aluksen laidasta sisäänpäin, sitä ei aina oteta huomioon

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

vakavuuslaskelmissa; ts. lasketaan vain pääkanteen saakka. Rakentajatelakan tekemisissä PEGASOSin vakavuuslaskuissa oli tilat on otettu mukaan vain pääkanteen asti. Nykyisin ensimmäinen kerros otetaan yleensä mukaan; näin on tehty tutkintalautakunnan teettämässä laskelmissa.

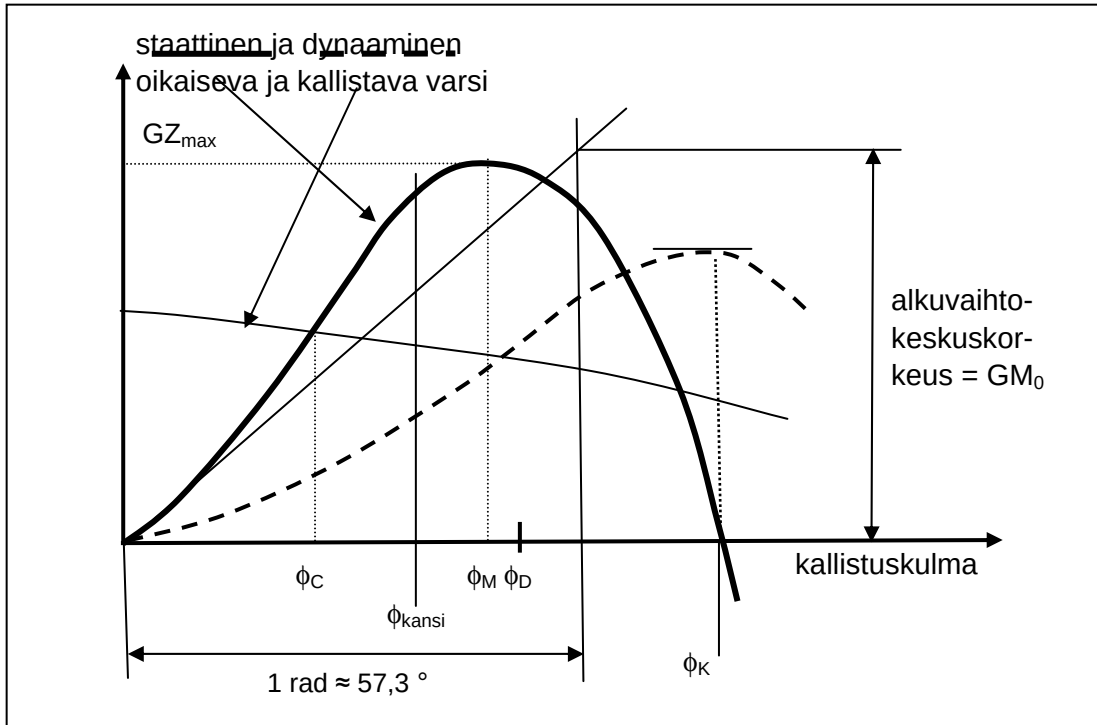
PEGASOSin kansirakennuksen joutuessa veteen, GZ-käyrään tulevat vaikuttamaan kannen yläpuoliset tilat noin 30 astetta suuremmilla kallistumilla. Jos ensimmäinen kerros otetaan mukaan, edellytetään, että siinä olevat aukot on säätiiviisti suljettu, kuvan esimerkissä ovi. Kun alus kallistuu edelleen, korkeammalla olevat aukot joutuvat veteen. Hinaajilla kyseeseen tulevat mm. konehuoneen ilmanottoaukot. Niiden sijoittelussa tulee ottaa huomioon aluksen kallistuminen suuriin kulmiin. Vaikka ensimmäisen kerroksen yläpuoliset tilat eivät olekaan vakavuuslaskelmissa mukana, ne ovat mukana todellisessa tilanteessa niin suureen kallistumaan asti, kunnes joku aukko menee veteen. Kuvan esimerkissä PEGASOSin turvallisuus paranisi, jos konehuoneen ilmanottoaukot olisivat korkeammalla tai savupiipun keskilaivan puolella.

GZ-käyrän kulkuun suurilla kallistuskulmilla on käytännössä suhtauduttava varovaisesti, koska laskelmien perusteet eivät tuolloin välttämättä vastaa todellisuutta. Jos aukot ovat kiinni, käyrä sisältää hieman reserviä. Laskettaessa sääntöjen mukaisia tilanteita, joissa alus on kallellaan, (esim. MKL:n hinaus kiteeri), GZ-käyrä voidaan ottaa huomioon vain pienempään kulmista vuotokulma tai 40 astetta asti. Lyhyen keinahduksen aikana vuotoaukko voi käydä vedessä, ilman että aluksen vakavuus merkittävästi huononee, ks. dynaaminen vakavuus, alla.

Lyhyt tai pitkä kallistuneena oleminen on miehistölle vaaratekijä ja aluksen laitteet saattavat vaurioitua tai toiminta pysähtyä. Hinaajat on kuitenkin yleensä onnistuttu suunnittelemaan siten, että ne voivat kallistua hetkellisesti suurinkin kulmiin ilman, että alus menetetään.

Dynaaminen vakavuus. Äkilliset kallistavat momentit ehtivät tehdä työtä ennen kuin alus kallistuu vastaavaan oikeasevan momentin arvoon. Tällöin kallistava momentti on kerännyt potentiaalienergiaa, jonka tasapainottamiseksi alus keinahtaa yli staattisen tasapainokulman, kunnes oikeaseva momentti on tehnyt tätä energiaa vastaavan työn. Tämän vuoksi GZ-käyrän tulee olla positiivinen keinahduskulmaan asti. Pysyvän kallistuman kulma ei saa ylittää vuotokulmaa. Tällöin puhutaan dynaamisesta vakavuudesta. Sitä voidaan arvioida staattisen vakavuuskäyrän avulla, määrittämällä pinta-aloja. Toinen tapa on määrittää vakavuusvarren integraali, jolloin saadaan dynaaminen vakavuusvarsi, jonka yksikkö on metri x radiaani.

Kuvassa 2 on esitetty tavallinen staattinen ja sen pohjalta laskettu dynaaminen vakavuusvarsi ja eräitä vakavuuden arvioinnin yhteydessä käytettyjä suureita. Esimerkiksi dynaaminen varsi kallistuskulmalla ϕ_C esittää GZ-käyrän alle jäävää pinta-alaa välillä $0-\phi_C$.



Kuva 2. Laivan staattinen ja dynaaminen vakavuuskäyrä ja niiden suureita.

Kuvan 2 suureet ovat:

GZ tai h , staattinen vakavuusvarsi, metriä

e , dynaaminen vakavuusvarsi, metriradiaania

GM_0 , alkuvaihtokeskuskorkeus, metriä. Kuvaa aluksen vakavuutta pienillä kallistuskulmilla. Se on staattisen oikeasevan vakavuusvarren origoon piirretyn tangentin korkeus kallistuskulmalla yksi radiaani = 57,3 astetta.

ϕ_C on kallistavan ja oikeasevan momentin staattinen tasapainokulma

ϕ_{kansi} on kannen veteen menokulma; se on hieman pienempi kuin ϕ_M

ϕ_D on vuotokulma, eli kallistuskulma, jolla aukko, josta alukseen voi tulla vettä, painuu veteen. Rajoittaa vakavuuslaskelmissa maksimikulmaa, johon saakka oikeaseva varsi voidaan ottaa huomioon

ϕ_M on kulma, jolla staattinen oikeaseva vakavuusvarsi saavuttaa maksiminsa. Tällä kulmalla dynaamisella vakavuusvarrella on käännepiste.

GZ_{max} on staattisen oikeasevan vakavuusvarren maksimiarvo, metriä

ϕ_K on vakavuuslaajuus, eli suurin kulma, jolla oikeaseva staattinen vakavuusvarsi on positiivinen. Tällä kulmalla dynaaminen vakavuusvarsi saavuttaa maksiminsa.

Hinaajan ollessa muissa kuin hinaustehtävissä, esim. siirtymässä avustustehtävään, sen tulee täyttää laivoille asetetut staattisen vakavuuden perusvaatimukset:

$$GM_0 \geq 0,15 \text{ m}$$

$$GZ \geq 0,20 \text{ m vielä kallistuskulmalla vähintään 30 astetta}$$

$$\phi_M \geq 25 \text{ astetta}$$

GZ :n alle jäävä pinta-alan tulee olla vähintään 0,055 mrad välillä 0-30 astetta, vähintään 0,030 mrad välillä 30-40 astetta ja vähintään 0,090 mrad välillä 0-40 astetta (tai välillä 0 - ϕ_D , jos ϕ_D on < 40 astetta).

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

1.2 Hinaajan vakavuus

Hinaajan vakavuustarkastelussa on otettava huomioon hinaajan työn luonne. Merkittävin vaikutus on hinausköyden välittämällä hinaajaan vaikuttavilla voimilla. Myös hinaajan propulsio – ja ohjailulaitteet voivat aiheuttaa suuria kallistavia voimia.

Eräissä hinaustilanteissa hinaaja on kallistuneena koko ajan samalle puolelle, jolloin verrataan kallistavia ja oikaisevia momentteja. Hinaaja voi myös joutua keinuvaan liikkeeseen, jolloin voidaan käyttää tilanteen tarkasteluun keinunnan differentiaaliyhtälöä tai sen pohjalta johdettuja vakiintuneita menettelyjä. Kolmas kallistumistyyppi syntyy esim. hinausköyden irrotessa, jolloin hinaaja keinahtaa vastakkaiselle kyljelleen. Tätä tilannetta voidaan tarkastella samoin kuin edellistä.

Kallistavien momenttien seuraukset riippuvat GZ-käyrän kulusta. Oletetaan seuraavassa tarkastelussa aluksi, että **kallistavat momentit kasvavat hitaasti**. Poikittaisvetotapauksessa hinaajaa vedetään poikittain hitaasti kasvavalla nopeudella ja sivuttaist yönön tapauksessa hinaajan tehoa nostetaan hitaasti peräsimen ollessa käännettynä sivulle. Kallistava momentti ilmoitetaan vakavuuslaskuissa muodossa k -uppouma, jossa k on kallistavan momentin varsi, jota voidaan verrata oikaisevaan varteen (GZ).

Kallistavat momentit voidaan jakaa kahteen pääryhmään: toisaalta kallistuskulman kasvaessa kasvava (noin 50 asteen kallistumaan asti)¹⁹³ ja toisaalta kallistuskulman kasvaessa kallistuskulman kosinin mukaan pienenevä momentti. Edellinen syntyy hinaajan joutuessa avustettavan vetämänä poikittain virtaukseen ja jälkimmäinen hinaajan oman potkurin ja peräsimen yhteisvaikutuksesta. Hinaajan ominaisuuksista riippuen yleensä toinen näistä synnyttää suuremman kallistavan momentin (sääntöjen mukaan laskettuna). Todellisuudessa poikittaisvedosta aiheutuvaa kallistavaa momenttia rajoittaa vain tilanteeseen liittyvä virtauksen maksiminopeus, esim. avustettavan aluksen käyttämästä konetehosta riippuen. Kallistava momentti on lisäksi verrannollinen nopeuden neliöön, mikä tekee poikittaisvetotilanteesta erittäin vaarallisen. MKL:n sääntöjen rajanopeus 2,5 m/s voi ylittyä huomattavasti (tässä tilannetta on tarkasteltu ilman MKL:n vaatimaa reserviä). Sen sijaan hinaajan oma työntövoima on maksimissaan paaluvedon suuruinen, joten siitä johtuvalla kallistavalla momentilla on selkeä maksimiarvo.

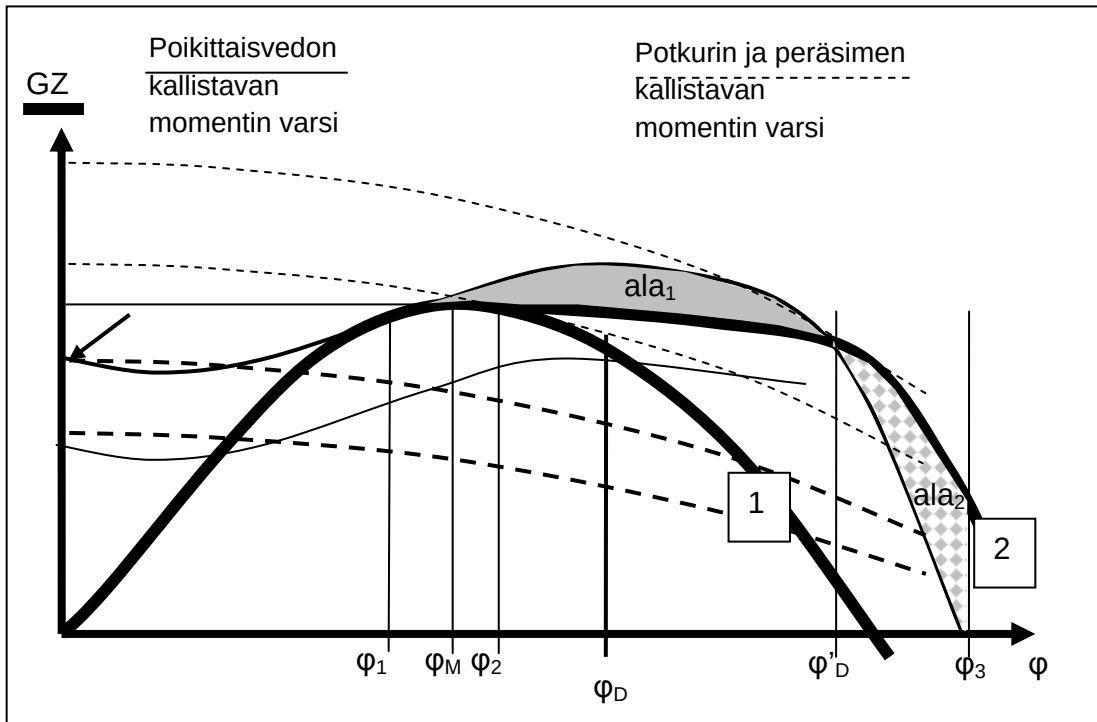
Tarkastellaan **ensin** tilannetta, jossa GZ-käyrä menee nolnaan **hieman yli 60** asteessa, ts. se täyttää vakavuuslaajuudelle asetetun minimivaatimuksen, käyrä 1 kuvassa 3. Hinaaja kestää erilailla hitaasti kasvavan poikittaisvedon ja sivuttaist yönön synnyttämän kallistavan momentin. Äärimmäiset rajatilanteet on esitetty kuvassa 3. Poikittaisveto on rajoittavista tilanteista vaarallisempi, koska staattinen rajakulma on pienempi (φ_1 ja sivuttaist yönöllä φ_2). Jos nämä momentit kasvavat vielä vähän, alus kaatuu. Kaatavat momentit näillä kulmilla ovat likimain yhtä suuret, vaikka ilman kallistumaa (lähtötilanne) sivuttaist yönön aiheuttama kallistava varsi (toiseksi ylin katkoviiva) on selvästi suurempi kuin poikittaisvedon kallistava varsi (nuolen kohta). Poikittaisvetotilanne on myös vaarallisempi kuin tilanne, jossa kallistava momentti on vakio, mitä käytetään usein likimääräistarkasteluissa (vaakasuora viiva, kulma φ_M).

Vaikka GZ-käyrä olisi edellistä tapausta **parempi suurilla kallistuskulmilla**, käyrä 2, poikittaisvedosta johtuva sallittu kallistava momentti (= sallittu poikittaisvetonopeus) ei kasva. Sen sijaan alus näyttäisi kestävän suuremman potkurin ja peräsimen vaikutuksesta johtuvan kallistavan momentin (ylin pilkkuviiva). Jos kallistuminen etenee hitaasti, potkurin ja peräsimen aiheuttaman

¹⁹³ Poikittaisvedossa kallistava momentti pienenee aluksi suunnilleen cos-funktion mukaisesti, mutta alkaa sitten kasvaa kansirakennuksen mennessä veteen. Yli noin 50 asteen kallistumilla momenttivarsi alkaa pienentyä. Poikittaisvedon "kallistava" momentti saattaa muuttua oikaisevaksi suurilla kallistuskulmilla

kaatavan momentin raja-arvo ei kuitenkaan kasva, koska kallistava momentti muuttuu tasapainossa oikaisevan momentin kanssa. Hitaasta kallistavan momentin kasvusta ei aiheudu myöskään dynaamista heilahdusta. Aluksen kallistuskulma riippuu paaluvedon suuruudesta, esimerkiksi ylimmän pisteviivan suuruinen sivuttaistyönnön kallistava momentti johtaisi kallistuskulmaan φ'_D . Poikittaisvedon aiheuttama kallistava momentti sen sijaan saattaa tulla hetkellisesti suuremmaksi kuin oikaiseva momentti sen jälkeen kun kulma φ_1 on ylitetty. Tällöin syntyy dynaaminen tilanne missä alus kallistuu nopeasti kulmaan φ_3 tai kaatuu. Kulma φ_3 on kulma, jossa $ala_1 = ala_2$, lisäksi oikaisevan varren tulee olla positiivinen tällä kulmalla.

Yleensä tätä tarkastelua ei tehdä, koska varaudutaan **nopeasti** vaikuttaviin kallistaviin momentteihin, jolloin tarkastellaan pinta-aloja. Tilanne on monimutkaisempi pinta-alojen suhteen: siirtämällä poikittaisvedon ja potkurin aiheuttamat kallistavat momenttikäyrät alaspäin (alin ehjä viiva ja katkoviiva), todetaan, että molemmissa tapauksissa alkaa oikaisevaa työtä kertyä likimain yhtäsuurella kulmalla, mutta poikittaisvedossa kertyminen päättyy pienemmällä kulmalla. Kallistava nettotyö on puolestaan pystysuoran GZ-akselin, GZ-käyrän ja kallistavan varren rajoittama likimain kolmionmuotoinen ala. Poikittaisvedon kannalta tarkasteltuna suuri alkuvaihtokeskuskorkeus on hinaajilla turvallisuutta parantava ominaisuus. Vuotokulma (φ_D) saattaa rajoittaa pinta-alan kertymistä sivuttaistyöntötilanteessa enemmän kuin poikittaisvetotilanteessa.



Kuva 3. Erityyppisten hitaasti kasvavien kallistavien momenttien vaikutus hinaajan kallistumis/kaatumiskulmaan. **GZ-käyrä 1:** φ_1 on staattinen kaatumiskulma poikittaisvedon aiheuttamalla momentilla, φ_2 on staattinen kaatumiskulma potkurin aiheuttamalla momentilla. φ_M on maksimaalisen vakiomomentin aiheuttama kaatumiskulma ja φ_D on vuotokulma. Poikittaisvetotilanne aiheuttaa kaatumisen pienimmällä kulmalla. **GZ-käyrä 2:** Poikittaisvedon kallistava momentti, joka ylittää hieman GZ-käyrän salliman rajan (merkitty nuolella), kallistaa aluksen yleensä yli 60 asteeseen. Kallistava momentti kerää energiaa, minkä vuoksi alus keinahtaa kulmaan φ_3 ($ala_1 = ala_2$). Tällöin vuotokulman tulisi olla vähintään φ'_D . Potkurin työnnön kallistava vaikutus riippuu siitä, kuinka nopeasti siitä johtuva momentti syntyy.

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

PEGASOSilla potkurista aiheutuva kallistava momentti (alin katkoviiva) oli noin puolet poikittaisvedon nopeudella 2,5 m/s synnyttämästä momentista. Jos ne olisivat yhtä suuret pienillä kallistuskulmilla (kuvassa nuolella merkitty kohta), nähdään, että kallistavan momentin kasvaessa hitaasti propulsiolaitteet kallistaisivat alle φ_1 asteeseen ja poikittaisveto keinauttaisi sen φ_3 asteeseen, minkä jälkeen alus jäisi kallistuskulmaan φ'_D .

Aluksen ollessa jo tasapainoasemassaan kallellaan, voi siihen vielä vaikuttaa hitaita tai äkillisiä kallistavia momentteja. Hinaajan työn luonteeseen kuuluu, että se voi joutua olemaan pitkään kallellaan. Tällöin on mahdollista, että syntyy äkillisiä, esim. aallokosta, avustettavan aluksen liikkeen muutoksista tai hinaajan omista ohjailutoimenpiteistä aiheutuvia kallistavia momentteja. Tilannetta esittää kuva 4 kohdassa 2.2.1.

Hinaajalla suuri kallistuma. Hinaajat saattavat olla lyhyemmän tai pidemmän aikaa kallistuneena yli 60 astetta tai enemmänkin. Tilanne on vaarallinen, mutta hyvän vakavuuden omaava hinaaja oikenee, kun kallistava momentti häviää, esim. koukun laukaisun johdosta. Tämän vaaratilanteen varalta hinaajilta vaaditaan vähintään 60 asteen vakavuuslaajuus. Edellä näytetyt GZ-käyrät ovat vain esimerkkejä ja periaatteellisia. Käyrän kulku voi suurestikin vaihdella hinaajan eri lastitilanteissa johtuen mm. eroista painopisteen paikassa, uppoumassa, syväyksessä, viippauksessa ja vapaissa nestepinnoissa.

Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO on asettanut alusten staattisille ja dynaamisille **vakavuusominaisuuksille minimivaatimukset**, joiden pohjalta luokituslaitokset ja eri maiden kansalliset viranomaiset ovat laatineet vakavuussäännöstit. Erikoisaluksille kuten hinaajille on lisäksi niiden työn luonteeseen pohjautuen annettu lisämääräyksiä. Nämä vaatimukset perustuvat onnettomuuksien analysointiin ja niitä täsmennetään aika ajoin. Vaatimukset on esitetty yksinkertaisina vakavuuskriteereinä, jotta ne olisivat käytännössä helppo laskea. Sen vuoksi niissä on teoreettiseen tilanteeseen verrattuna yksinkertaistuksia ja niistä johtuvia epätarkkuuksia, eivätkä ne kata kuin idealisoituja tilanteita. Tästä syystä likimääräistyksiä on pyritty tekemään turvallisempaan suuntaan. Kriteerit eivät kuitenkaan kata kaikkia mahdollisia käyttötilanteita. Esimerkkinä on PEGASOSin onnettomuus, jossa merkittävää oli nopea kääntyminen poikittaisvirtaukseen.

Merenkäynnissä tyynen veden vakavuuskäyrät eivät sovellu käytettäväksi, koska alus voi kohdata aallot missä tahansa kulmissa ja aallokko on satunnaista. Seurauksena tästä myös aluksen vakavuus muuttuu satunnaisesti. Merenkäynnissä on tapana ottaa yksinkertaistuksena tarkasteluun tilanne, jossa alus keinuu säännöllisessä sivuaallokossa. Tilannetta kuvataan matemaattisesti keinunnan differentiaaliyhtälöllä. Sen pohjalta on kehitetty ns. sääkriteerimenetelmä. Siinä otetaan tilastoihin perustuen huomioon kallistavien momenttien satunnaisuusluonne. Sääkriteeritarkasteluja ei yleensä tehdä satamahinaajille. Niille staattinen ja dynaaminen tarkastelu hinaustilanteessa tehdään hinausköyteen vaikuttavaan voimaan ja potkurilaitteiden työntövoimiin perustuen.

Silloin kun hinaaja toimii merenkäynnissä, sen tulee täyttää myös sääkriteerit. Satama- ja rannikkohinaajille pidetään yleensä riittävinä staattiselle vakavuuskäyrälle asetettuja kriteerejä.

2. HINAAJIA KALLISTAVAT MOMENTIT HINAUSTILANTEESSA

2.1 Kallistavien momenttien syntytavat

Tarkastellaan seuraavassa pääasiassa konventionaalisia hinaajia. POSEIDON on tätä tyyppiä. PEGASOSia on myös tarkasteltu konventionaalisenä siten, että keulapotkurin vaikutus on otettu tarpeellisissa kohdissa erikseen huomioon.

Hinaajien vakavuuden arvioinnissa on otettava huomioon niiden työn luonne. Hinaustilanteessa on tutkittava avustavien hinaajien, avustettavan aluksen ja niiden välillä olevan köyden lukuisia ominaisuuksia sekä otettava huomioon näillä aluksilla olevien operoijien tekemiset. Seuraavassa tarkastellaan tilanteita, jotka voivat syntyä perinteisen tyyppisen hinaajan avustaessa aluksia satamaan jättömissä olosuhteissa suomalaisessa satamassa. Hinaaja voi kallistua mm. seuraavissa tilanteissa:

1. avustettava vetää sitä poikittain tasaisella tai kiihtyvällä nopeudella
2. hinaaja tekee peräsimellä tai ohjailupotkurilla ohjailuliikkeitä
3. hinaaja kohtaa poikittaisvirtauksen hyvin nopeasti
4. hinaajan koneet pysähtyvät yllättäen
5. hinaaja irrottautuu tai irtoaa hinausköydestä äkillisesti
6. avustettava tekee yllättäviä ohjailuliikkeitä tai käynnistää koneet
7. avustettava pysähtyy yllättäen
8. painojen siirtyminen

Nämä tilanteet käsitellään erillisinä, mutta ne voivat osittain vaikuttaa yhtä aikaa. Lisäksi sääolosuhteista riippuen voivat tuuli ja merenkäynti sekä avustettavan aiheuttamat aallot synnyttää kallistumia. Ensimmäinen on ns. *tow-tripping* -tilanne, toinen ja osittain kuudes ns. *self-tripping* -tilanne, (ks. Liite 1). PEGASOSiin vaikuttivat nämä molemmat perustilanteet hetkellisesti yhtä aikaa aluksen ajautuessa kohti MSC HINAN potkurivirtaa ja kääntyessä sivuttain.

Ensimmäinen ja toinen tilanne esiintyvät normaalin työn aikana hallitusti eivätkä liian rajuina. Tilanteet 3–8 johtuvat vioista tai virheellisestä operoinnista, samoin tilanteet 1 ja 2 rajuissa muodoissa. Vakavuuslaskelmat perustuvat tilanteisiin 1 ja 2, joiden fyysikaalisen tarkastelun ja onnettomuuksien analyysin pohjalta on kehitetty tietyille kriteereille maksimi tai minimiarvot. Niiden avulla voidaan myös arvioida, millaisia tilanteita 3–8 hinaaja kestää kaatumatta. Poikittaisvetotilannetta voidaan myös arvioida kallistumisen differentiaaliyhtälön avulla, jolloin saadaan näkyviin ajallinen riippuvuus. Sen selvittäminen on tärkeää kaatumisen analysoinnissa, koska tapahtuma etenee nopeasti, eikä staattisen käyrän tarkastelu anna tietoa kallistumisen ajallisesta kehityksestä. Seuraavassa keskitytään pääasiassa poikittaisvetotilanteeseen. Liitteessä 1 on käsitelty laajemmin hinaustilanteen voimia.

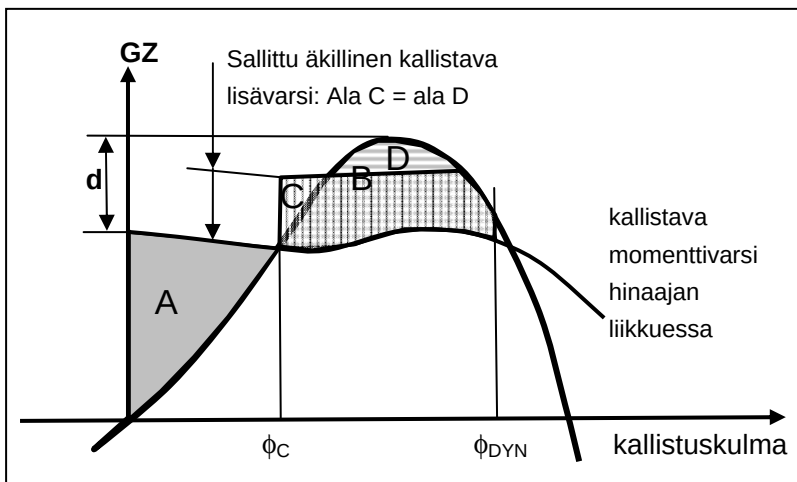
2.1.1 Staattinen tarkastelu

Yksinkertaisinta on asettaa **a) staattisen vakavuuskäyrän eräille suureille** raja-arvot. Voidaan myös asettaa raja-arvoja **b) staattisesta vakavuuskäyrästä lasketuille pinta-aloille**. Kolmanneksi, tilanteissa 1 ja 2 määritetään kallistavat momenttivarret, piirretään ne samaan kuvaan oikeasevan momenttivarren kanssa ja lasketaan **c) oikeasevan ja kallistavan varren väliin jääviä pinta-aloja**. Itse asiassa pinta-alojen tarkastelu on dynaamisen vakavuuden arviointia ilman aika-riippuvuutta. Luokituslaitokset ja viranomaiset käyttävät näitä kaikkia (katso kohta 5). Hinaajan suunnittelijan ja käyttäjän on pidettävä huoli siitä, että GZ-käyrän kulku johtaa vaatimusten täyttymiseen kaikissa realistisissa ja sääntöjen edellyttämässä lastitilanteissa.

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

Kuvassa 4 on esitetty tilanteet 1 ja 2 tyynessä vedessä. Oletetaan aluksi hinaajan olevan ilman kallistumaa. Sitten siihen vaikuttaa äkillinen kallistava momentti esim. hinausköyden kiristytessä. Tällöin suurin sallittu kallistava momentti määräytyy siten, että pinta-alat A ja B ovat yhtä suuret¹⁹⁴. Hinaaja kallistuu kulmaan ϕ_{DYN} . Momentin pysyessä ennallaan, hinaaja jää muutaman kei-
nahduksen jälkeen kulmaan ϕ_C . Tässä tilanteessa hinaajalla on kuvassa näytetty reservi uudelle äkilliselle kallistavalle momentille siten, että pinta-alat C ja D ovat yhtä suuret tai hitaasti kasvavalle lisämomentille, jonka varsi on likimain enintään kuvassa esitetyn korkeuden d suuruinen (ks. kuva 4). Tähän tilanteeseen voidaan ajatella varauduttavan siten, että asetetaan GZ-käyrän alle jäävälle pinta-alalle kulmasta 0 astetta sopivaan rajakulmaan minimivaatimus. Lisäksi esitetään minimivaatimuksia pinta-alalle välillä rajakulma–vuotokulma.

Voidaan myös ajatella, että ilman kallistumaa olevaa hinaajaa alkaa kallistaa hitaasti kasvava momentti, joka voidaan ilmoittaa muodossa $k_1 \cdot \Delta$ (kallistava varsi kertaa uppouma). Tällöin kallistava ja oikaiseva momentti ovat koko ajan tasapainossa. Tällöin ei verrata aloja A ja B, vaan asetetaan alalle B minimivaatimus. Tällöin jää reserviä kuten edellisessä kohdassa. Kun reservipinta-ala on annettu, voidaan konstruoida pinta-ala C, jonka avulla saadaan selville vastaava sallittu kallistava lisävarsi.



Kuva 4. Hinaajan vakavuuskriteeri poikittaisliikkeessä. Vain pinta-alalle B on asetettu vaatimuksia.

Tavallisesti kallistavan varren oletetaan riippuvan kallistuskulmasta funktion $\cos\phi$ mukaan. Hinaajilla näin voidaan olettaa, kun lasketaan työntövoimien aiheuttamaa kallistavaa momenttia, tilanne 2. Kun tarkastellaan tapausta, jossa hinaaja on joutunut poikittaiseen liikkeeseen avustettavan vetämänä, tilanne 1, kallistava momentti riippuu vastusvoimasta eri kallistuskulmilla. Kun hinaajan kansi ja parras menevät veteen tulevat mukaan kansirakennus ja kannella olevat rakenteet, mikä yleensä lisää vastuskerrointa. Myös virtausta vastaan kohtisuora pinta-ala riippuu kallistuskulmasta (liite 1). Näin ollen kallistava momentti pienenee aluksi funktion $\cos\phi$ mukaisesti, mutta alkaa sitten kasvaa, kun kansi menee veteen. Kallistuskulman ylittäessä noin 50 astetta kallistava momentti alkaa jälleen pienentyä, koska vastusvoiman resultantin ja hinausvoiman välinen etäisyys pienenee. Suurilla kallistuskulmilla momentti saattaa muuttua oikaisevaksi. Kulmalle ϕ_{DYN} on asetettu rajoitukset. Se voi sääntöjen mukaan olla enintään pienin kulmista 40 astetta, ϕ_D tai joillakin luokituslaitoksilla myös ϕ_M .

¹⁹⁴ Todellisuudessa systeemi hinaaja – köysi – avustettava alus on jonkin verran joustava, minkä johdosta pinta-alan A muodostuminen ei ole niin äkillinen kuin kuvassa on esitetty. Kun tilanne lasketaan kuvan esittämällä tavalla, laskenta saattaa sisältää turvallisuusmarginaalia.

PEGASOS oli aluksi ilman kallistumaa tai muutaman asteen kallistuneena. Se alkoi MSC HINAN vetämänä hinautua perä edellä, kohtasi hetken kuluttua MSC HINAN potkurin jättövirtauksen ja kääntyi sen vaikutuksesta poikittain. Seurauksena oli voimakas äkillinen kallistavan momentin kasvu. Tämä vastaa kuvaa 4 siten, että pinta-ala A alkoi muodostua melko pienellä kulmalla. Poikittaisvirtauksen nopeuden lisäksi tällöin oli merkittävää poikittaisvirtauksen aiheuttama nopea kääntyminen ja kallistavalle momentille syntynyt energia.

Poikittaisliikkeen (tilanne 1) kallistava momentti syntyy avustettavan aluksen vedosta ja hinaajan vastuksesta tähän suuntaan ja se on suoraan verrannollinen mm. poikittaisnopeuden neliöön ja hinaajan pitkittäiseen vedenalaiseen poikkipinta-alaan (lateraalipinta-alaan). Ohjailun (tilanne 2) kallistava momentti syntyy hinaajan työntönnön ja peräsimen aiheuttamana. Mitoitusta ja vakavuuskriteerien laskentaa varten on säännöissä ja määräyksissä annettu kallistavien momenttien laskentakaavat, mm. poikittaisnopeus ja osuus työntövoimasta, joka kallistaa hinaajaa.

Tilanteiden 1 ja 2 kallistavien momenttien keskinäinen suuruus riippuu sallitusta poikittaisnopeudesta ja hinaajan työntövoimasta. Vanhemmilla konventionaalisilla hinaajilla poikittaisliike on MKL:n sääntöjen mukaan laskettuna ratkaiseva kriteeri. Uudemmissa hinaajilla on suhde työntö (paaluveto) jaettuna uppoumalla suurempi, jolloin tilanne 2 voi tulla ratkaisevaksi. Tätä kysymystä on käsitelty tarkemmin kohdassa 4, merenkulkulaitoksen kriteerin tarkastelun yhteydessä. Tilanteiden 1–7 huomioonottamista säännöissä ja määräyksissä on käsitelty tarkemmin kohdassa 4. Seuraavassa on eräitä tarkennuksia.

Tilanne 1: Säännöissä asetetaan kriteeri perustuen tasaiselle poikittaisnopeudelle. Nopeuden määrittämisessä on otettava huomioon mahdollinen avustettavan aluksen potkurin jättövirran nopeus, jos hinaaja toimii avustettavan perässä. Säännöissä ei ole erikseen otettu huomioon kiihdytystilannetta, jolloin kallistava voima kasvaa määrällä kiihtyvyys kertaa hinaajan ja sen mukana liikkuvan veden massa. Säännöissä ei myöskään ole erikseen otettu huomioon hinaajan sivuprofiilin nostevoiman vaikutusta, joka syntyy kun hinaaja etenee sivuttain alle 90 asteen kulmassa sen potkurien toimiessa, katso liite 1, kuva 10. Hinausköydessä voi eri syistä syntyä nykäisyjä. Sääntöjen antaman reservin oletetaan sisältävän kaikki mahdolliset kallistavan voiman kasvumahdollisuudet. Äkillistä joutumista poikittain ja samanaikaista potkurivirran vaikutusta MKL:n kuiten muidenkaan tahojen säännöt eivät ota huomioon.

Tilanne 2: Suoraan taaksepäin vettä työntävän potkurin aiheuttama sivuttaisvoima syntyy hinaajan peräsimen avulla. Peräsimen ja potkurin mitoista ja niiden keskinäisestä sijainnista riippuu kuinka suuri osa potkurin työntöstä voi suuntautua sivulle. Luokituslaitoksilla on yleensä täksi osuudeksi otettu 60–70 %. Joissakin tapauksissa lasketaan tarkemmin geometrisen tarkastelun avulla kuinka suuri osa peräsimestä osuu potkurivirran muodostamaan sylinteriin.

Tilanne 3: Tutkinnassa tarkastelluista luokituslaitoksista vain Venäjän Merirekisteri lähtee oletuksesta, että hinaaja kohtaa poikittaisvirtauksen hyvin nopeasti.

2.1.2 Dynaaminen, aikaan sidottu tarkastelu

Dynaaminen, aikaan sidottu tarkastelu perustuu keinumisen differentiaaliyhtälöön, joka on¹⁹⁵:

$$I_{xx}\varphi''(t) + N_{xx}\varphi'(t) + \Delta \cdot GZ(\varphi(t)) = M_{kall}(t)$$

¹⁹⁵ Jerzy Matusiak, laivan kelluvuus ja vakavuus, Otatieto 557, 1995. Tarkasteltu tilanne ei ole puhdas keinuminen ja lisäksi PEGASOS on kiihtyvässä liikkeessä poikittain. Tarkastelu antaa kuitenkin mahdollisuuden vertailla laskelmia ja raportoitua kaatumisen nopeutta.

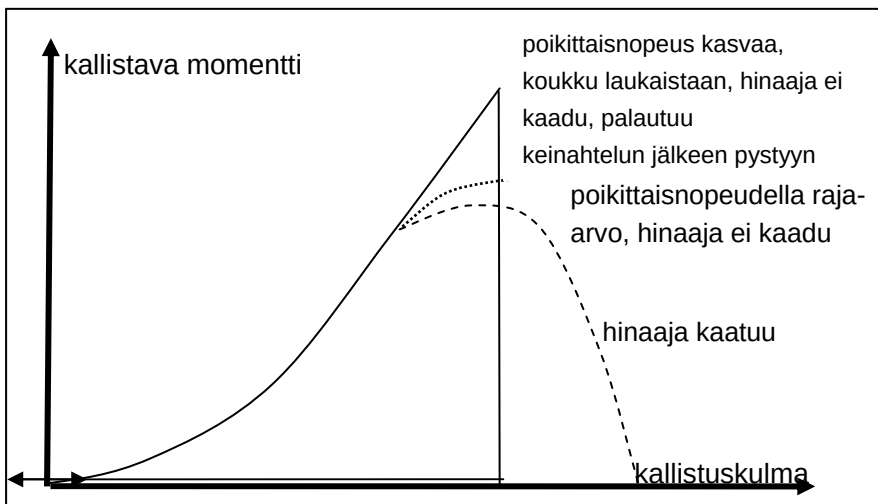
LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

I_{xx} on massahitausmomentti, joka sisältää mukana liikkuvan veden. Se voidaan arvioida likimääräisesti, ottamalla hitaussäteeksi 30–40 % aluksen leveydestä ja lisäämällä siihen 10–20 % mukana liikkuvan veden vaikutuksesta. N_{xx} on kallistumisen vaimennusmomentin kerroin, joka voidaan määrittää kaavasta

$$N_{xx} = 2 \cdot \xi \cdot \omega_{\phi} I_{xx}$$

jossa ξ on kriittisen vaimennuksen suhde ja ω_{ϕ} on laivan keinunnan ominaistajuuus. Ominaistajuuus saadaan kaavasta neliöjuuri ($\Delta \cdot GM/I_{xx}$) ja ξ valitaan väliltä 0,03–0,2. Laskennassa on rajoitettu hitausmomentin ja vaimennuksen suhteen yhteen lastitapaukseen. Laskennan herkkyyksanalyysin perusteella näin voidaan tehdä. Näiden muuttujien mahdollisten muutosten vaikutukset näkyvät lopputuloksissa vain muutaman sekunnin eroina.

Funktio $\phi(t)$ on ajasta riippuva kallistuskulma, joka on ratkaistava. Sen derivaatta $\phi'(t)$ on kallistumisen kulmanopeus ja toinen derivaatta $\phi''(t)$ on kallistumisen kulmakiikkyvyys. Kulmat ilmoitetaan radiaaneissa. Termi $\Delta \cdot GZ(\phi(t))$ on vakavuusvarresta johtuva oikaiseva momentti. Termi $M_{kall}(t)$ on poikittaishinauksesta syntyvä kallistava momentti. Sille on differentiaaliyhtälön ratkaisemiseksi määritettävä ajallinen riippuvuus.



Kuva 5. Kasvavan kallistavan momentin mahdollisia vaikutustapoja hinaajan ollessa sivuttain tai kääntyessä sivuttain. Kaatuessa koukku ei ole laukaistu. PEGASOSin tapauksessa hinaaja kaatui ja koukku laukaistiin aluksen ollessa jo nurin. MSC HINAn potkurikoneistosta johtui, että jokaista konekäskyä vastasi eräs maksiminopeus, jolla se kykeni hinaamaan PEGASOSia poikittain. Lopputulos, kaatuuko hinaaja vai ei, riippuu rajanopeudesta ja hinaajan vakavuudesta.

Kallistava momentti voi kehittyä PEGASOSin onnettomuustilanteessa eri tavoin, kuva 5. On mahdollista, että avustettava alus ei kykene vetämään hinaajaa yli sen nopeuden, joka kaataisi hinaajan. Tällöin kallistavalla momentilla ja kallistuskulmalla on raja-arvo. Jos hinaaja kallistuu suureen kulmaan tai kaatuu, niin yli noin 50 asteen kallistumalla kallistava momentti alkaa pienetä ja sen voidaan olettaa olevan nolla 60–80 asteen kallistumalla. MKL:n hinaajakriteerin laskenta-kaava pätee vain 50 asteen kallistumaan asti.

Mainittu differentiaaliyhtälö on ratkaistu vaiheittain. Ratkaisun yksinkertaistamiseksi oikaiseva ja kallistava momentti (varsi) on esitetty linearisoituina tai paraabelina, jolloin differentiaaliyhtälö on ratkaistu eksaktisti, kohta 3.3.

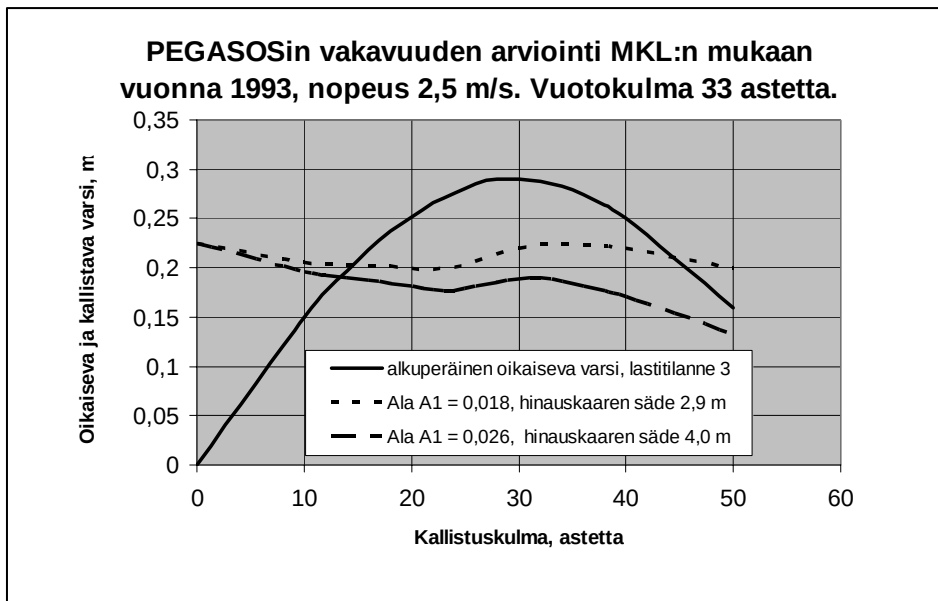
Kallistava momentti riippuu voimasta ja vastaavasta varresta. Seuraavassa on tarkasteltu näitä erikseen pääasiassa poikittaisvetotilanteessa. Hinaustilanteen voimia ja momentteja on tarkasteltu tarkemmin liitteessä 1.

2.2 Kallistavien momenttien varret

Kallistavien momenttien momenttipisteenä pidetään yleensä vesiviivaa aluksen keskiviivalla. Tällöin kallistava varsi koostuu summasta hinauspisteen korkeus vesiviivasta + vastusvoiman resultantin etäisyys vesiviivasta (poikittaishinaus) tai summasta hinauspisteen korkeus vesiviivasta + potkurien akselien etäisyydet vesiviivasta (potkurien aiheuttama sivuttaisvoima). Kallistavien momenttien minimoimiseksi nämä etäisyydet pyritään suunnittelemaan mahdollisimman pieniksi. Konventionaalisen hinaajan potkurin paikkaa ei merkittävästi kyetä siirtämään. Sen halkaisija ja paikka riippuvat enemmän muista tekijöistä. Vastusvoiman vaikutuspisteen etäisyys vesiviivasta määräytyy aluksen rungon muodon ja asennon perusteella. Hinausköydessä vaikuttava voima ja hinaajan vastus vaikuttavat vastakkaisiin suuntiin ja ne ovat likimain yhtä suuret, joten poikittaishinauksessa alusta kallistaa itse asiassa voimapari (ks. liite 1). Tätä vartta on merkitty kirjaimilla VPV. Tällöin

$$k_1 = R \cdot VPV / \Delta = F \cdot VPV / \Delta$$

Hinauspiste pyritään sijoittamaan mahdollisimman alas. Toisaalta hinauskoukun kiertymispisteen tulee olla riittävän korkealla hinausköyden viemiseksi yli partaan hinaajan keinuessa. Hinauspiste saadaan alemmaksi hinauskoukun kiinteällä varren osalla, hinauskaarella, joka ei liiku pystysuunnassa, mutta voi kiertyä vapaasti. (Ks. liitteen 1 kuva 7). Järjestelyllä on merkittävä vaikutus kallistavaan momenttiin, kuten kuvasta 6 käy ilmi.

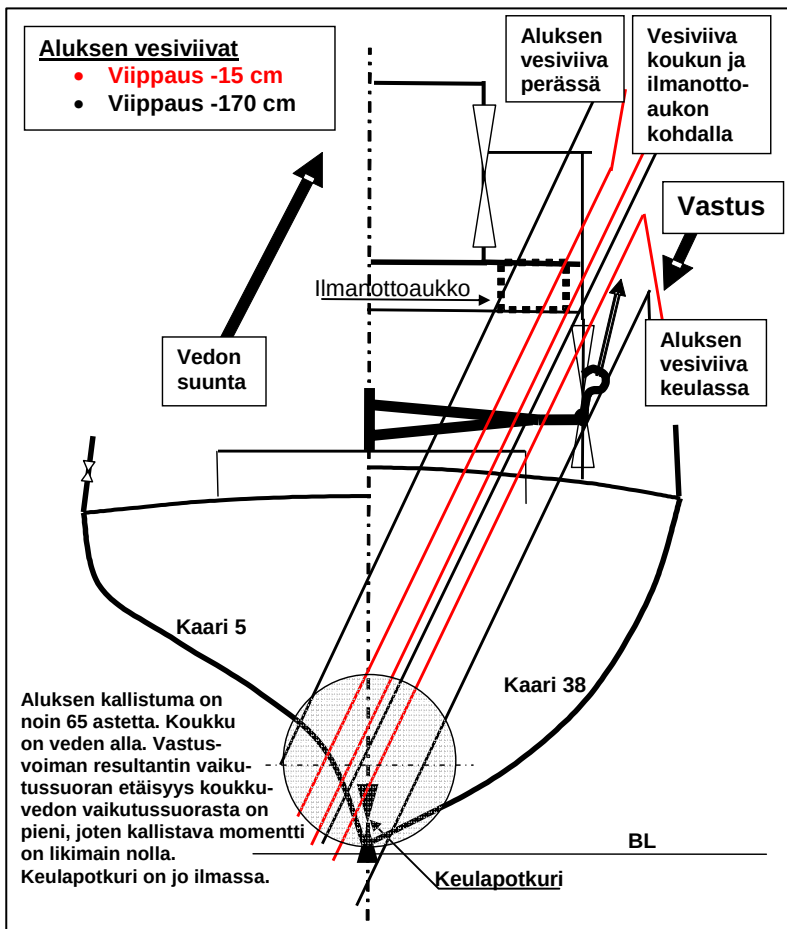


Kuva 6. Hinauskaaren säteen vaikutus **PEGASOSia** kallistavaan momenttiin MKL:n kaavassa kun poikittaisnopeus on 2,5 m/s. Rajoittava kallistuskulma on 33 astetta. Alkuperäinen lastitilanne 3. Pinta-alan tulee olla suurempi kuin 0,01 mrad.

Kuva 6 pohjautuu **PEGASOSin** alkuperäisiin vakavuuslaskelmiin, jotka eivät vastanneet onnettomuustilannetta. Laskelmissa vuonna 1993 hinauskaaren säde oli 4,0 m, perustuen ajatukseen, että koko koukun pituus voidaan ottaa säteeksi. Todellisuudessa säde oli 2,9 m johtuen koukun nivelestä, joka sallii kiertymisen ylöspäin. Kun hinauskaaren säde pienenee, kallistava momentti-

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

varsi kasvaa. Kaikissa muissa vakavuustarkasteluissa paitsi tämän kuvan esittämässä hinauskaaren säde on 2,9 m.



Kuva 7. PEGASOSin vesiviivat kahdessa mahdollisessa onnettomuushetken lastitilanteessa noin 65 asteen kallistumalla. Punainen on tilanne "syvästiedot" ja musta "tankkitiedot".

Aluksen kallistuessa kallistavan momentin varsi (VPV) pienenee aluksi funktion $\cos(\text{kallistuskulma})$ mukaisesti. Kun kansi menee veteen, vastus kasvaa, ja kallistava momentti samoin. Aluksen edelleen kallistuessa, kallistava momentti alkaa jyrkästi pienentyä, koska kallistava varsi (VPV) pienenee. Esimerkki tästä on kuvassa 7. Siinä hinausköyden vedosta johtuva kallistava momentti on arvioitu noin nolaksi kun kallistuma on noin 65–75 astetta lastitilanteesta riippuen.

2.3 Kallistavien voimien suuruuteen vaikuttavia tekijöitä

Tarkastellaan aluksi poikittaisvetotilannetta, koska se oli tässä tapauksessa ratkaiseva.

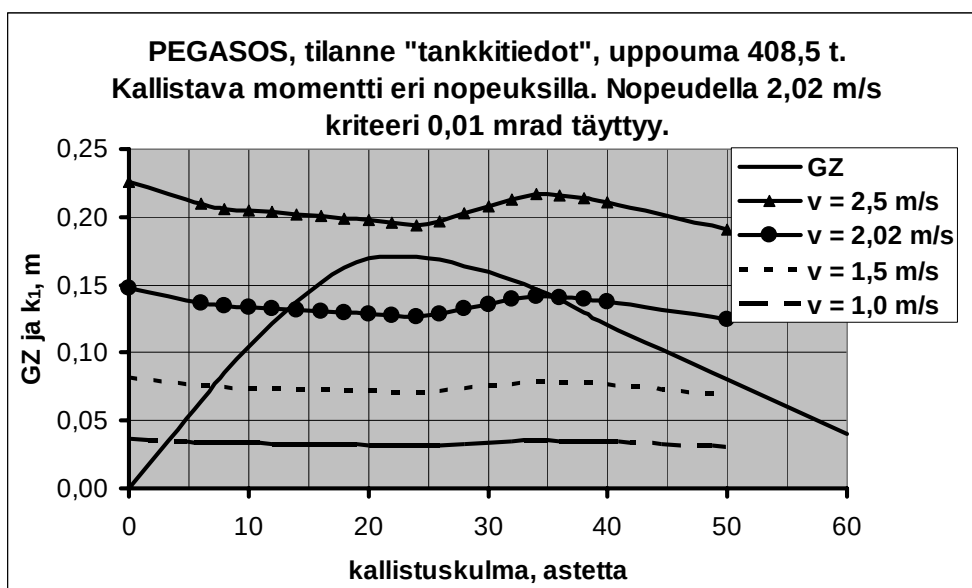
Poikittaisnopeus

Vastusvoima on verrannollinen poikittaisnopeuden neliöön, joten nopeus on merkittävin kallistumiseen vaikuttava tekijä. Suomessa MKL valitsi kriteerinopeudeksi 2,5 m/s perustuen eri tahoilla tehtyihin mallikokeisiin. Tällä nopeudella hinaajan kansi meni useissa tapauksissa veteen. Aika ajoin on syytä tarkastella, onko tämä rajanopeus järkevä. Erityisesti on huomattava, että tämä

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

nopeus tarkoittaa nopeutta veden suhteen, ei meren pohjan suhteen. Aluksen nopeuteen on siten lisättävä mahdollinen avustettavan aluksen potkurivirran nopeus ja vähennettävä vanaveden nopeus. Näiden huomioonottaminen tuo epätarkkuutta poikittaisnopeuden arvioimiseen todellisessa avustustilanteessa. Vanavesikorjausta ei tutkinnassa ole tehty, koska sen vaikutus potkurin jättövirtausta lukuun ottamatta hinaajan luona on vähäinen. Nopeus tarkoittaa tasaista nopeutta aluksen ollessa poikittain (poikittaiseen asentoon kääntymisen vaikutus on arvioitava erikseen). Kiihdytystilanteessa on tehtävä vastaavia korjauksia.

Kuvasta 8 näkyy nopeuden vaikutus kallistavaan momenttiin.



Kuva 8. PEGASOSiin vaikuttavan kallistavan momentin riippuvuus poikittaisnopeudesta eräässä mahdollisessa onnettomuustilanteen lastitilanteessa.

Erityisesti on huomattava, että esitetyt käyrät vastaavat staattista tilannetta, jossa kallistava momentti kasvaa hitaasti. Kun syntyy äkillisiä kallistavia momentteja, on tilannetta tarkasteltava kuvan 4 mukaisesti.

Kallistava momentti on verrannollinen nopeuden neliöön. Tällöin on merkitystä, kuinka tarkasti nopeus pystytään käytännön tilanteessa arvioimaan. Aluksen nopeus saataneen melko tarkasti esim. GPS:n avulla, mutta potkurivirran nopeuden arviointi on epätarkka. Tämän johdosta hinaajan hinauskriteerin laskelmissa ei tulisi yrittää saavuttaa MKL:n kriteerin alarajaa 0,01 mrad.

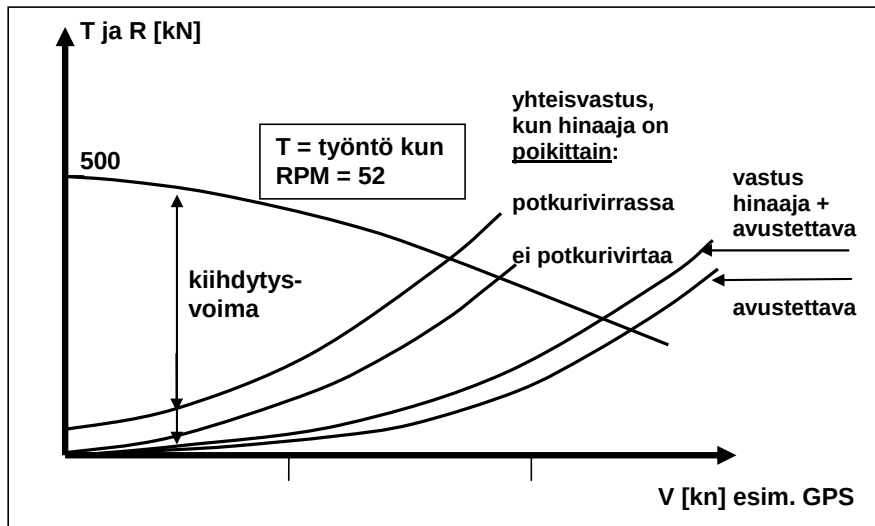
PEGASOSin veto kiihtyvällä nopeudella

PEGASOSin onnettomuuden yhtenä osatekijänä oli MSC HINAN pääkoneen käynnistäminen. Sen seurauksena PEGASOS alkoi hinautua avustettavan perässä kiihtyvällä nopeudella. Tilanteen kiihdytysvoima riippui MSC HINAN vastuksesta, sen potkurin ja koneiston ominaisuuksista sekä PEGASOSin vastuksesta tapahtuman kuluessa. Avustettavassa oli hidaskierroksiseen dieselmoottoriin suoraan kytketty kiinteäsiipinen potkuri. Dieselmoottorin pienimmällä kierrosluvulla MSC HINAN nopeus oli 9,2 solmua. Kiihdytykseen jäävä työntö selviää kuvan 9 tarkastelulla. Kiihdytys lähti liikkeelle noin yhden solmun nopeudesta. On arvioitu, että paaluvetotilanteessa MSC HINAN työntö oli lähes 500 kN. Vastustava voima muodostui hinaajan ja avustettavan vastuksesta ja niiden plus mukana liikkuvien vesimassojen hitausvoimasta. Lisäksi oli vaikuttamassa

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

PEGASOSin työntö, jonka jarruttava vaikutus riippui hinaajan asennosta köyteen nähden sekä köyden ja MSC HINAN kulkusuunnan välisestä kulmasta (Liite 1). Kiihtyvyys saadaan jakamalla kiihdyttävä voima kiihdytettävällä massalla. Likimäärin laskenta voidaan tehdä kahdessa osassa: ensin kiihdytys yhdestä kahteen solmuun ja sitten kahdesta kolmeen solmuun. Työnnön arvioinnissa on otettava työnnönvähennyskerroin, jonka suuruudeksi pienillä nopeuksilla on oletettu 0,10.

Seuraavassa kuvassa 9 on esitetty tilanteen voimien periaatteellinen muoto. Kuvasta on jätetty pois vaihe, jossa PEGASOS omilla koneillaan jarrutti MSC HINAA.



Kuva 9. **PEGASOSin onnettomuustilanteen kiihdytysvaihe.** Kiihdyttävä voima pienenee nopeuden kasvaessa. Kiihtyvyys saadaan jakamalla voima massojen summalla. Edelleen voidaan laskea aika, joka kuluu tiettyyn nopeuden kasvuun.

Kiihdyttävän voiman määrittämiseksi nopeuden funktiona arvioitiin ensin työntö T nopeuden funktiona potkurin K_T -käyrän avulla¹⁹⁶. Avustettavan vastus on näin pienillä nopeuksilla riittävällä tarkkuudella vain kitkavastusta, joka saadaan laivatekniikassa yleisesti käytössä olevan kaavan avulla kun tunnetaan aluksen pituus ja märkä pinta¹⁹⁷. PEGASOSin vastus poikittaisskuluksa saadaan kaavasta $0,5 \cdot C_D \cdot \rho \cdot A \cdot V^2$, jossa C_D on vastuserroin (on aluksi ≈ 1 , mutta kallistumisen lisääntyessä kasvaa, ks. liite 1), A on hinaajan vedenalainen lateraalipinta-ala, V on nopeus ja ρ on veden tiheys. Hinaajan ja avustettavan yhteinen massa oli noin 27000 tonnia ja mukana liikkuvan veden kanssa noin 30000 tonnia. Aluksi hinaaja oli perä edellä virtauksessa ja alkoi sitten kääntyä sivuttaisen samalla kun se kohtasi potkurivirran. Kiihdyttävä voima nopeuden kasvaessa 1 $\rightarrow$ 2 solmuun oli keskimäärin noin 340 kN. Saadaan nopeuden kasvuun kuluva aika ajaksi $0,5 \cdot 30000 / 340 = 44$ s. Vastaavasti nopeuden kasvaessa 2 $\rightarrow$ 3 solmuun kiihdyttävä voima oli keskimäärin noin 250 kN. Nyt saadaan $0,5 \cdot 30000 / 250 = 60$ s. Yhteensä 104 s, mikä vastaa suuruusluokaltaan kerättyjä tietoja. Pelkästään PEGASOSin kiihdyttäminen vaati 4–5 kN voiman. Kallistavan voimaparin momenttivarsi oli alkuvaiheessa noin 4 m, joten kallistavaksi momentiksi tuli 16–20 kNm, joka vastasi noin 0,5 cm kallistavaa vartta. Tätä korjausta ei ole otettu huomioon kallistavan momentin käyrässä, sillä MKL:n säännöt eivät sitä edellytä. Vaikutuksen voidaan katsoa sisältyvän reservipinta-alaan 0,01 mrad.

¹⁹⁶ Halkaisijaltaan 6 m kiinteäksi nelisiipiseksi potkuriksi on laskelmissa otettu Wageningenin ns. B – sarjan malli 4-55, jonka noususuhteeksi on arvioitu 1,05. Todellisen potkurin arvoja ei ole selvitetty.

¹⁹⁷ E.W.Lewis,(toim.), Principles of Naval Architecture, Second Revision, Volume II, p.12, SNAME 1988

Lateraalipinta-ala

Vastus on suoraan verrannollinen lateraalipinta-alaan. Periaatteessa sen määrittäminen on selkeää. On kuitenkin eräitä tulkintamahdollisuuksia, joista MKL:n tulisi antaa täsmentävät ohjeet. Jos PEGASOSin tapaisella hinaajalla on lastitilanne, jossa on suuri peräviippaus, saadaan lateraalipinta-alaksi toisistaan poikkeavia tuloksia eri laskentatavoilla:

1. lasketaan tasakölillä uppoumaa vastaavalla syväyksellä
2. lasketaan tasakölillä viipanneen aluksen keskimääräisellä syväyksellä
3. lasketaan viipanneen aluksen todellinen lateraalipinta-ala

Suuria eroja ei näillä eri tavoilla synny. Pinta-alat saattavat poiketa toisistaan 3–4 m², mikä johtaa PEGASOSin tapauksessa 4–5 % eroon kallistavan momentin arvossa. Rajatapauksissa tällä saattaa kuitenkin olla merkitystä. Peräsin (4 m²) on sisällytetty lateraalipinta-alaan.

Kannen veteenmenokulma

Kannen veteenmenokulmalla on MKL:n hinausskriteerin laskentamenetelmässä lateraalipinta-alaa merkittävämpi vaikutus kallistavaan momenttiin. Kahden asteen muutos muuttaa 10–15 % kallistavaa momenttia. Kaksi astetta on 15–20 % muutos kannen veteenmenokulmassa. Kahden asteen (ja suurempikin) eroavaisuus syntyy tämän kulman määritystapojen eroista. Kulma voidaan määrittää seuraavilla tavoilla:

1. alus on uppoumaa vastaavalla syväyksellä tasakölillä. Veteenmenokulma määritetään geometrisesti ottamatta huomioon aluksen hydrostaattista tasapainoa
2. otetaan huomioon aluksen lastitilanteen alkuviippaus, mutta määritetään kulma geometrisesti kuten edellä
3. lasketaan esim. NAPA-ohjelmistolla tarkasti kannen veteenmenokulma.

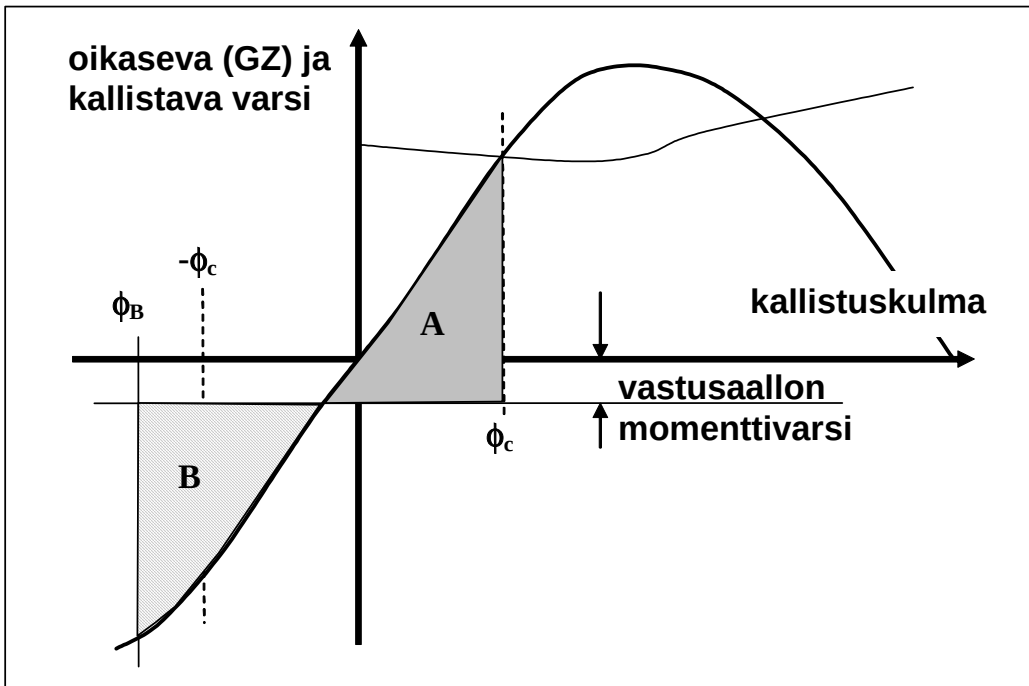
Kannen veteenmenokulma vaikuttaa MKL:n kaavassa vastuskertoimeen. Aluksen muotovastus kasvaa merkittävästi kannen ja kansirakennuksen joutuessa veteen. Vaikutus on suurimmillaan 30–40 asteen kallistumilla (katso kuva 39). MKL:n määräyksen kehittämisen aikoina tapa 1 oli vallitseva. Laskentamenetelmien kehittyminen on tuonut mukanaan uusia mahdollisuuksia, joiden johdosta on syytä täsmentää määräyksiä.

PEGASOS siipiprofiilina

PEGASOSin ollessa lyhyen aikaa vinottain virtaukseen nähden se toimi kuten siipiprofiili. Lisäksi se oli oikaisemassa MSC HINAA täydellä teholla. Siihen vaikutti jonkin aikaa sekä poikittaisvoima (tow-tripping-tilanne), että työnnon kallistava voima (self-tripping-tilanne). Tarkastelu on esitetty liitteessä1.

Köyden irrotus

Hinausköysi voi irrota, katketa tai hätätilanteessa se laukaistaan irti. Tällöin hinaaja keinahtaa toiselle kyljelleen. Tarkastellaan poikittaisvetotilannetta seuraavan kuvan 10 avulla.



Kuva 10. Esimerkki hinaajan keinahduksen arvioinnista köyden katketessa tai irrotessa poikittaisliikkeessä. Köyden irrotessa poikittaisvedon aikana, hinaaja saattaa kallistua vastakkaiselle puolelle yli kulman ϕ_c . Jos hinaajaa ei vedetä poikittain, vastakkaiselle puolelle syntyvä vastusaalto ja hinaajan sekä sen mukana liikkuvan vesimassan hitaus johtavat siihen, että keinahduskulma jää alle kulman ϕ_c .

Köyden vetämänä hinaaja on kallistunut kulmaan ϕ_c . Köysi irrotetaan, jolloin kallistumiseen varastoitunut potentiaalienergia vapautuu. Lisäksi vaikuttaa liikkeen puolelle syntynyt aalto. Hinaaja keinahtaa toiselle puolelle kulmaan ϕ_B , siten, että pinta-alat A ja B ovat yhtä suuret. Hinaaja saattaa siis keinahtaa toiselle puolelle suurempaan kallistumaan, tosin vaimentavat voimat saattavat jarruttaa keinahdusta. Samaan aikaan voi olla vaikuttamassa tuulta ja merenkäynnin aallokkoa, joten sääntöjen vaatima vakavuusreservi on tarpeen. PEGASOS oli kallistunut jo yli kaatumiskulman, ennen kuin hinausköysi saatiin irrotettua, joten tätä tilannetta ei syntynyt.

2.4 MSC HINAN potkurin jättövirtauksen vaikutus PEGASOSiin

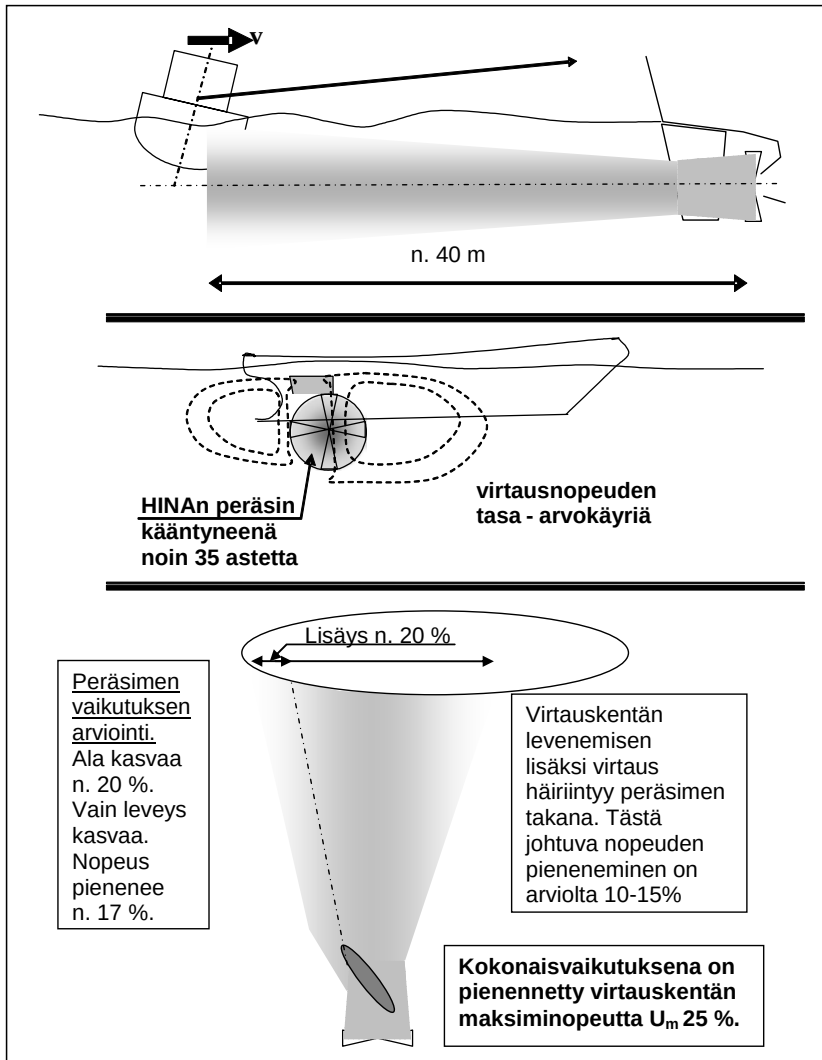
Avustettavan aluksen potkuri synnyttää potkurin jättövirtauksen, joka likimääräisesti tarkasteltuna muodostaa aluksi kapenevan kartion ja kauempana potkurista levenevän kartion, kuva 11a. Kartion levetessä virtausnopeus pienenee. Avustettavan aluksen peräsimen asennosta riippuu, kuinka paljon virtaus häiriintyy. Tuloksena syntyy pyörteinen virtauskenttä, jonka avustettavan perässä liikkuva hinaaja kohtaa. Tässä yhteydessä tarkastellaan vain nopeuskentän pituussuuntaista nopeuskomponenttia.

Tutkinnassa on tarkasteltu kolmea tässä onnettomuudessa merkittävää potkurin jättövirtauksen vaikutustapaa. 1) **Kallistava vaikutus**. Tällöin selvitetään virtauksen hinaajaan osuvan nopeusjakautuman keskimääräinen suuruus koko pinta-alalle tasattuna. Tämä nopeus lisätään pohjanopeuteen. Momenttivarsi on sama kuin MKL:n kaavassa. 2) **Kääntävä vaikutus**. Potkurivirtaus osui PEGASOSin perään, ensin sen peräsiimeen ja hinaajan ajautuessa keskemmälle, sen peräosaan. Tällöin on kyseessä suurempi virtausnopeus kuin edellä. Nyt lasketaan osumisalan keskimääräinen nopeus. Hinaajan muuhun osaan osuu virtaus MSC HINAN nopeudella. Momentti-

varsina ovat etäisyydet näiden pinta-alojen painopisteistä kiertymisakselille (pivot point). Tämän virtauksen vaikutus PEGASOSin kääntymiseen poikittain on esitetty liitteessä 1. 3) **Patoaaltovaikutus**. Potkurivirtauksen veden pinnan lähellä oleva nopeus aiheuttaa hinaajaan osuessaan patoaallon, joka voi tuoda vettä kannelle. Myös tämän vaikutusta PEGASOSiin on tarkasteltu lähemmin liitteessä 1. Tässä liitteessä on esitetty miten nämä kolme eri nopeutta on määritetty.

Potkurin jättövirtauksen kallistava vaikutus

Hinaajan kohtaama veden nopeus on hinausnopeus (virtaamattomassa vedessä ilman mahdollista pientä vanavesikorjausta) plus potkurin jättövirtauksen pituussuuntainen nopeus hinaajan kohdalla. Jättövirtauksen nopeuslisä vaihtelee hinaajan eri kohdissa. Kokonaisvaikutus saadaan lasquemalla yhteen eri kohdissa vaikuttava painevoima yli koko hinaajan lateraalipinnan. Kokonaisvaikutuksen ajasta riippuvassa arvioinnissa on otettava huomioon, että PEGASOSin peräsimen osuttua MSC HINAN potkurin jättövirtaukseen, hinaaja kääntyi poikittain hyvin nopeasti ja se ajautui vähitellen yhä enemmän oikealle, yhä syvemmälle jättövirtaukseen. Yksinkertaistettu tilanne ilman pyönteilyä on näytetty kuvassa 11.



Kuva 11. MSC HINAN potkurin jättövirtauksen muodostama nopeuskenttä PEGASOSin kohdalla ja peräsimen vaikutuksen arviointi.

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

Nopeuden kasvu voi olla niin merkittävä, että poikittain virtaukseen joutunut hinaaja kaatuu tai ainakin kallistuu vaarallisesti. Perä edellä virtaukseen joutuneen hinaajan peräkansi saattaa joutua veden alle, mikä voi myös johtaa aluksen kaatumiseen. Normaalisti avustettavan potkuria ei tästä syystä tule käyttää hinaajan ollessa avustettavan perässä. PEGASOSin onnettomuuden yhtenä tekijänä oli juuri tämä; ts. MSC HINAN koneet käynnistettiin ja PEGASOS joutui lopulta potkurin jättövirtaukseen.

Potkurin jättövirtauksen laskennan lähtökohdaksi voidaan ottaa joko potkurin kehittämä **työntö** tai potkurin ottama **konetehto**. Kun jompikumpi on selvillä, voidaan arvioida tai laskea vastaava potkurivirtauksen alkunopeus ja siitä edelleen syntyvä virtauskenttä, joka kohtasi PEGASOSin. MSC HINAN koneen pienin kierrosluku oli 52 1/min, joka vastasi aluksen nopeutta noin 9 solmua. Onnettomuustapahtumassa MSC HINAN nopeus oli aluksi noin yksi solmu, kun sen kone käynnistettiin. Sen vuoksi on tutkinnassa käytetty lähtökohtana potkurin K_T -ja K_Q -käyriä. Vaikeutena on tällöin tarkkojen potkuritietojen puute. Jos käytetään tehoa lähtökohtana, kuten tutkintalautakunnan saamissa kahdessa lausunnossa, voidaan arvioida teho kierrosluvulla 52 1/min, kun tiedetään täyttä tehoa vastaava kierrosluku ns. kolmannen potenssin säännön avulla. Tällöin vaikeutena on se, että vaikka saadaan selvitettyä teho, joka vastaa nopeutta 9,2 solmua, niin 1–2–3 solmua vastaavat tehot on määritettävä erikseen.

Potkurin jättövirtauksen kallistusvaikutuksen arviointi sisältää kaksi osatehtävää: 1) virtauksen nopeuskentän arviointi ja 2) miten PEGASOS osui siihen MSC HINAN kiihdytyksen aikana.

Likimääräinen menettely. Työntö T voidaan arvioida seuraavan yhtälön (Bernoullin laki) avulla. Pienellä nopeudella pätee likimain $p \cdot A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A = T$, josta saadaan potkurivirran nopeus V kun arvioidaan T . Potkuritietojen perusteella on K_T -käyrän avulla arvioitu, että T avovesiolosuhteissa on noin 500 kN.

$$V \approx (2 \cdot T / \rho \cdot A)^{1/2} \approx 6 \text{ m/s}$$

MSC HINAN perässä työntö on noin 400 kN ja vastaava potkurivirran nopeus 5,4 m/s. Potkurin halkaisija on 6 m, potkuriympyrän ala on A , p on paine, ρ on veden tiheys. Potkurivirta oli kulkenut PEGASOSiin osuessaan noin 40 m. Oletetaan, että potkurivirran nopeus oli pienentynyt PEGASOSin kohdalla noin puoleen, ollen 2,7 m/s. PEGASOSiin vaikutti potkurivirta vain osaan sen vedenalaista lateraalipintaa (koko ala on noin 80 m²). MSC HINAN peräsin oli käännetty tässä tilanteessa oletettavasti "hard over" eli 35 astetta oikealle, minkä vuoksi osa jättövirtauksesta kulkeutui PEGASOSin ohi. (Jo 10 asteen peräsinkulma kääntää virtauksen lähes yhtä paljon kuin 35 asteen kulma¹⁹⁸). Osa suuntautui PEGASOSin alitse. Vaikuttavaksi pinta-alaksi on arvioitu 20–30 m² ja tähän alaan osuvan nopeuskentän keskinopeudeksi 1,2–1,5 m/s. PEGASOSin koko vedenalaiselle pinta-alalle kohdistettuna tämä vastaa virtausnopeutta 0,6–0,9 m/s, joka on lisättävä aluksen GPS-nopeuteen, jolloin saadaan ns. tehollinen nopeus.

Tarkemmat lausunnoissa esitetyt menettelyt¹⁹⁹. Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan täysi konetehto 15882 kW vastaa kierroslukua 122 1/min^{200,201}. Tällöin kierroslukua 52 1/min vastaa te-

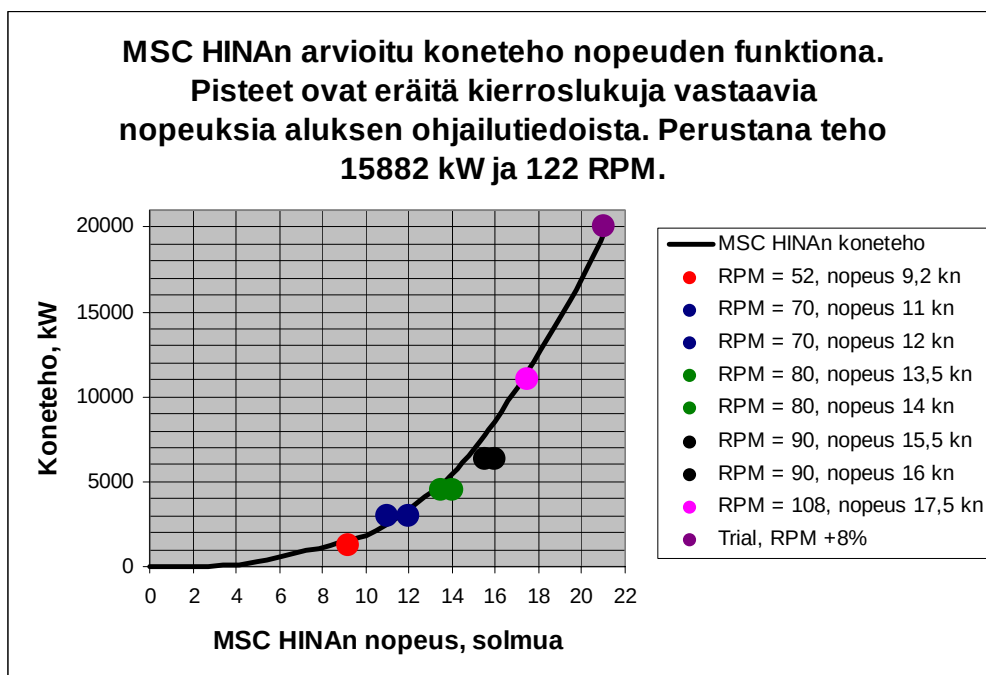
¹⁹⁸ Klaus Römisch, Propellerstrahlinduzierte Erosionserscheinungen in Häfen. HANSA, 130. Jahrgang 1993, Nr. 8.

¹⁹⁹ Tutkintalautakunta sai kaksi hinaajan vakuutusyhtiön hankkimaa lausuntoa, joissa oli laskettu potkurin jättövirran nopeus, alaviitteet 205 ja 206.

²⁰⁰ MSC HINA, tietolomake, Liite 9

²⁰¹ Tutkintalautakunnan saamat potkurin jättövirtausta koskevat lausunnot lähtevät oletuksesta, että täysi konetehto vastaa kierroslukua 90 1/min.

ho 1168 kW²⁰². lausunnon menettelyllä laskettuna. Toisaalta potkuri toimii lähes paaluvetotilanteessa, jolloin se ottaa koneesta huomattavasti enemmän tehoa. K_Q käyrän avulla arvioituna tämä teho on noin 2200 kW²⁰³. Käytetään kuitenkin tehoa 2400 kW, jolloin laskennassa on reserviä²⁰⁴. Kuvassa 12 on esitetty tutkinnassa arvioitu MSC HINAN tarvitsema konetehto nopeuden funktiona. Kuvassa on myös aluksen komentosillalta konekäskynvälittimen vieressä olevasta taulukosta ja ohjaamon takaseinällä olevasta ohjailutietojen taulusta poimitut kierrosluku/nopeus yhdistelmät. Nämä yhdistelmät on esitetty kokonaisuudessaan taulukossa 1. (Valokuvasuurennokset ko. taulusta ovat liitteessä 10. Alus lastattuna on sama kuin painolastissa).



Kuva 12. MSC HINAN konetehon riippuvuus nopeudesta ja aluksen tiedoista poimitut nopeus/kierrosluku yhdistelmät. Koeajotilanne "Trial" on arvio, ja se perustuu MSC HINAN ohjaamon takaseinän ohjailutietotauluun.

Taulukko 1. MSC HINAN potkurin kierrosluku/aluksen nopeus yhdistelmät. Tummennetut luvut ovat konekäskynvälittimen vieressä olevassa taulukossa, muut ohjaamon takaseinän taulussa "Ship's Manoeuvring Characteristics". Koneen maksimikierrosluku on 122 1/min.

RPM	50	52	55	60	70	70	75	80	80	90	90	95	100	105	108
V, kn	8,5	9,2	9,2	10,1	11	12	13	13,5	14	15,5	16	16,4	16,8	17,2	17,5

Suihkuvirtaus. Potkurin jättövirtausta on tarkasteltu suihkuvirtauksena tutkintalautakunnan saamassa ensimmäisessä lausunnossa²⁰⁵. Jättövirtaus ajatellaan hieman laajenevaksi suihkuvirtauskartioksi. Kartion keskiö (MSC HINAN potkuriakselin keskiö) on 5,6 syvyydellä (potkurin halkaisija 6,0 m, akselin keskiö 3,5 m korkeudella perusviivasta, MSC HINAN syväys 9,1 m ja peräviippaus 0,7 m). Lausunnon oletuksen mukaan virtauksen halkaisija on kasvanut 10 % PEGASOSin kohdalla ollen siis 6,6 m. Tällöin saadaan PEGASOSin (syväys 3,9 m, tilanne "kallis-

²⁰² $(52/122)^3 \times 15882 \times 0,95$, jossa 0,95 on potkuriakselijohdon mekaaninen hyötysuhde

²⁰³ Momenttikerroin $10K_Q$ nopeudella 9,2 kn on 0,35 ja nopeudella 1 kn 0,65. Vastaavat konetehtot ovat 1190 kW ja 2176 kW.

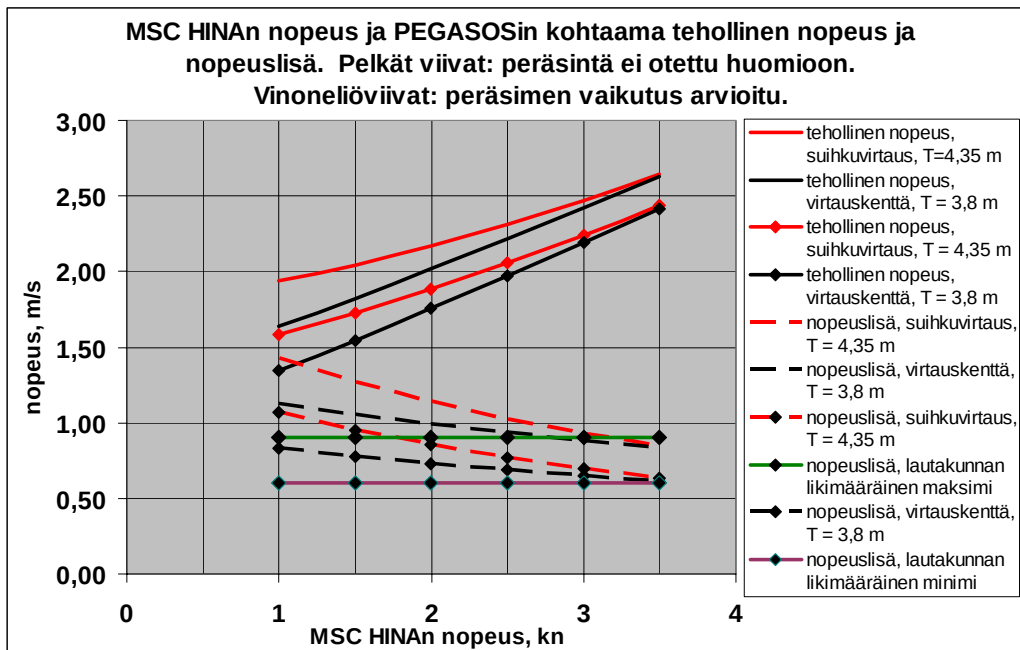
²⁰⁴ Itse asiassa nopeuden kasvaessa tämä teho hieman pienenee, koska kerroin K_Q pienenee.

²⁰⁵ Jerzy Matusiak, Evaluation of the flow velocity in the propeller wash of MSC Hina during the capsizing accident of the m.v. Pegasos. 13.12.2006. Memorandum: Gard_Aminoff/JMAT/06.

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

tuskoe”) kohtaaman jättövirtauksen pinta-alaksi (keskimäinen kuva 11a) $7,26 \text{ m}^2$. Potkurivirran aiheuttama lisänopeus on esitetty kuvassa 13. MSC HINAN nopeuksilla $1,0\text{--}3,5 \text{ kn}$ lisänopeus on $1,17\text{--}0,65 \text{ m/s}$. PEGASOSin maksimisyvyydellä $4,35 \text{ m}$ (tilanne ”tankkitiedot”) jättövirtauksen pinta-ala on $9,82 \text{ m}^2$ ja vastaavat nopeuslisät $1,43\text{--}0,85 \text{ m/s}$. PEGASOSin syväydet on laskettu kohdassa, jossa jättövirtauksen muodostama segmentti osuu kokonaan alukseen. Nämä nopeuslisät ovat ratkaisevalla MSC HINAN nopeusalueella 2-3 solmua hieman suuremmat kuin tutkintalautakunnan likimääräinen arvio. Toisaalta peräsimen virtausta ohjaavaa vaikutusta ei ole otettu tässä menettelyssä vielä huomioon.

Tarkennettu virtauskenttä. Tutkintalautakunta sai tarkennetun lausunnon, jossa virtausta on tarkasteltu virtauskenttänä²⁰⁶. Aluksi jättövirtaus muodostaa supistuvan kartion ja pian peräsimen jälkeen kartio alkaa laajeta (tilanne vastaa kuvaa 11). Ilman peräsimen aiheuttamaa häiriötä virtauskenttä on PEGASOSin kohdalla noin 18 m levyinen, minkä johdosta PEGASOSin syväys on laskettu kohdassa, jossa koko kenttä osuu siihen. Tällöin PEGASOSin minimisyväys on $3,5 \text{ m}$ (tilanne ”kallistuskoe”) ja maksimisyväys $3,8 \text{ m}$ (tilanne ”syväystiedot”). Lausunnossa esitetyllä menettelyllä tutkintalautakunta on saanut kuvassa 13 esitetyt tulokset (virtauskenttä). Kuvassa ovat tulokset vain syvyyksellä $3,8$; syvyyksellä $3,5$ nopeudet ovat $0,1 \text{ m/s}$ pienemmät. Kuvan käyrät on laskettu oletuksella, että PEGASOS on maksimaalisesti virtauskentässä.



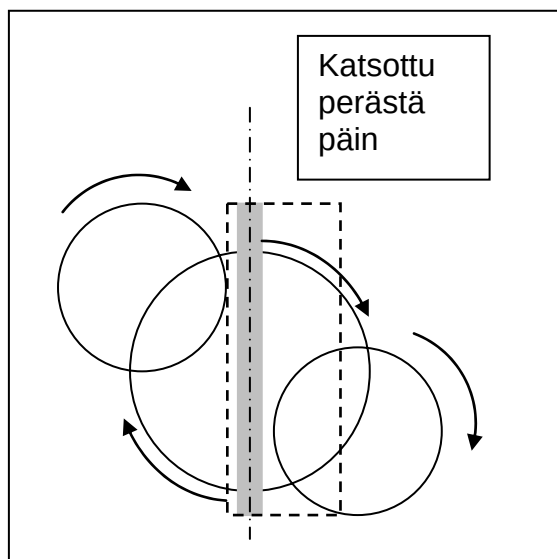
Kuva 13. PEGASOSin kohtaama tehollinen nopeus ja nopeuslisä. Tehollinen nopeus on MSC HINAN nopeuden ja PEGASOSin lateraalipinnalle tasoitettun nopeuslisän summa. Virtauskenttä-menettelyn tulokset on näytetty vain suuremmalla syvyydellä $3,8 \text{ m}$. Syvyydellä $3,5 \text{ m}$ nopeudet ovat $0,1 \text{ m/s}$ pienemmät.

Myös näissä laskelmissa on käytetty PEGASOSin lateraalipinta-alana 80 m^2 . Onnettomuustilannetta haarukoivissa lastitilanteissa lateraalipinta-ala vaihteli välillä $76,5\text{--}86,5 \text{ m}^2$. Tarkistuslaskelmissa todettiin, että 5 m^2 pinta-alan lisäys lisäsi tehollista nopeutta noin $0,05 \text{ m/s}$. Tutkintalautakunta

²⁰⁶ Jerzy Matusiak, The propeller wash of MSC Hina and its effect on the capsizing of the m.v. Pegasos. 28.12.2006. Memorandum: Gard_Aminoff/JMAT/06/2. Lausunnoissa on käytetty potkurin halkaisijana $6,5 \text{ m}$, $6,0$ sijaan. MSC HINAN peräviipausta eikä sen peräsimen vaikutusta ole otettu huomioon. Efektiviinen nopeus on laskettu vain yhdellä MSC HINAN nopeudella, $3,5$ solmua. Tällöin PEGASOS oli jo nurin.

kunta arvioi myös konetehon muutoksen vaikutuksen nopeuteen. (Koneen iän vuoksi oli mahdollista, että siitä ei saatu kaikkea tehoa irti). Tehon lisäys 10 % lisäsi tehollista nopeutta 0,05 m/s.

MSC HINAn peräsimen vaikutus. Arvioinnissa on käytetty soveltaen hyväksi artikkeleita, joissa on tarkasteltu jättövirtauksen aiheuttamaa väylän eroosiota^{207,208}. Tutkintalautakunnan likimääräisessä arviossa peräsimen vaikutus on otettu huomioon. Suihkuvirtauksen ja virtauskentän nopeuksia tulee alentaa peräsimen vaikutuksen huomioon ottamiseksi. Kääntämättömän peräsimen vaikutuksesta virtaus jakaantuu kahtia: ylä- ja alasuihkuun. Niiden keskiöt etenevät noin 12 asteen kulmassa ylöspäin ja alaspäin. Näiden virtauksien ajatellaan muodostuvan muutoin kuten edellä, ainoastaan potkurin halkaisija on kerrottava luvulla 0,71. Oikealle käännetty peräsin ohjaa



oikeakätisellä potkurilla virtauksen yläsuihkua vasemmalle ja alasuihkua oikealle, kuva 14. Jonkin matkan päästä potkurista virtaukset yhdistyvät. Tämän johdosta virtaus levenee ja hidastuu. Kuitenkin yläsuihku lähestyy veden pintaa, minkä johdosta sen nopeusjakautuma on tasainen ja keskimääräinen nopeus lähes maksiminopeuden suuruinen. Toisaalta, potkurin halkaisijan pienennyksen johdosta virtauksen maksiminopeus pienenee. Näiden vastakkaisten vaikutusten on arvioitu kumoavan toisensa laskettaessa virtauksen kallistavaa vaikutusta. Kuvassa 11 on esitetty likimääräinen peräsimen vaikutus, minkä tuloksena virtauksen nopeutta on pienennetty 25 %.

Kuva 14. MSC HINAn peräsimen vaikutus potkurivirtauksen etenemiseen

Virtauksen osuminen PEGASOSiin. PEGASOS oli aluksi vinossa asennossa virtaukseen, mutta potkurivirtauksen ulkopuolella perä suunnattuna MSC HINAan päin. PEGASOS ajautui kohti potkurivirtausta hitaasti, ja kääntyi siihen osuttuaan poikittain hyvin nopeasti. Tämän johdosta kuvassa 13 vasta MSC HINAn yli kahden solmun nopeudet ovat merkittäviä. Noin kahden solmun nopeudessa jättövirtaus alkoi osua vinottain olevaan ja 2,5 solmusta alkaen koko virtaus poikittain olevaan PEGASOSiin. Tutkintalautakunnan käsitys PEGASOSin kohtaaman virtauksen nopeusliästä ja tehollisesta nopeudesta on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. PEGASOSin kohtaama nopeus.

MSC HINAn nopeus, solmua	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Potkurin jättövirtauksen nopeuslisä, m/s	0	0	0	0,8	0,7	0,6
Tehollinen nopeus, m/s	0,5	0,8	1,0	2,1	2,3	2,4

Ratkaisevalla nopeusalueella voidaan siten käyttää MSC HINAn potkurivirtauksen aiheuttamaksi lisänopeudeksi PEGASOSin koko vedenalaiselle pinta-alalle tasattuna 0,7–0,8 m/s (pienempi lisäys suuremmalla nopeudella). Lopputulos on hyvin lähellä tutkintalautakunnan likimääräistä arviota. On huomattava, että ratkaiseva MSC HINAn nopeus on noin $2,5 \pm 0,2$ solmua. MSC HINAn nopeudella 3,5 solmua PEGASOS oli jo nurin.

²⁰⁷ Klaus Römis, Propellerstrahlinduzierte Erosionserscheinungen in Häfen. HANSA, 130. Jahrgang 1993, Nr. 8.

²⁰⁸ J.-P. Bouchard, Effets érosifs des jets d'hélice de bateau sur les fonds et les talus des voies navigables, La Houille Blanche/N° 7/8-1983

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

Edellä esitetyt tarkastelut sisältävät yksinkertaistuksia, minkä johdosta potkurin jättövirtauksen vaikutus on vain suuntaa antava. Edellä viitatus²⁰⁹ artikkelin mukaan peräsin hajottaa potkurin jättövirtauksen kahteen osaan: ylempi ja alempi suihkuvirtaus. Ne yhtyvät jonkin matkan päässä potkurista. Lisäksi olisi otettava huomioon matalan veden vaikutus, sillä MSC HINAN potkuriakselin ja pohjan välisen etäisyyden suhde potkurin halkaisijaan oli vain 2,2. Myöskään PEGASOSin potkurin jättövirtauksen vaikutusta MSC HINAN potkurin jättövirtauskenttään ei ole yritetty arvioida. (Ei ole katsottu tarkoituksenmukaiseksi tilata perusteellisia jättövirtauslaskelmia käyttäen hydrodynaamisia ohjelmistopaketteja)²⁰⁹.

Potkurin jättövirtauksen kääntävä vaikutus

MCS HINAN potkurin jättövirtaus osui PEGASOSin peräosaan ja aiheutti hinaajaa kääntävän momentin. Nyt on määritettävä PEGASOSin peräosaan osuvan virtauksen keskinopeus ja sen vaikutuspiste. Keskinopeus on laskettu tutkintalautakunnan saaman jälkimmäisen lausunnon menetelmällä, mutta potkurin halkaisijalla 4,25 m (0,71·6,0 m). Virtauksen kääntyminen ylöspäin on otettu huomioon siten, että virtaus pinnalla on sama kuin maksiminopeus. Laskelmasta saadaan maksiminopeudeksi noin 2,2 m/s. Likimääräisen menettelyn vuoksi käytetään nopeutta 2,5 m/s. Aivan kääntymisen alkuvaiheessa nopeudeksi on arvioitu 2,8 m/s, koska PEGASOSin perä oli lähempänä MSC HINAN perää. Kääntymislaskelma on liitteessä 1.

Nopean kääntymisen vuoksi kallistavalle momentille ehti syntyä potentiaalienergiaa. Tämän johdosta PEGASOSin kaatumistilanne ei ollut pelkästään MKL:n määräyksissä oletettu poikittais-hinaustilanne, vaan nopean nykäisyn tilanne.

Potkurin jättövirtauksen patoaaltovaikutus

MSC HINAN peräsin ohjasi osan jättövirtauksesta kohti veden pintaa. Likimääräisenä arviona pinnanopeudelle on käytetty edellä määritettyä nopeutta 2,5 m/s. Tällä nopeudella veden pinta osui PEGASOSin peräosan laitaan ja partaaseen. Tämä nopeus vastaa noin 0,3 m nostokorkeutta. Patoaalto ja pyörteiden aaltoilu edistivät veden tuloa PEGASOSin peräkannelle. Jättövirtauksen nopeusarviosta ja MSC HINAN nopeudesta arvioituna kesti noin 8 s MSC HINAN potkurin pyörimisestä täysillä siihen, että virtaus oli PEGASOSin kohdalla, mutta ei aluksi osunut siihen.

Jättövirtauksen nopeuden arviointi hinaajalla on todellisessa tilanteessa hyvin epätarkkaa. GPS – nopeuden arvio on kohtuullisen tarkka. Kun rajana on 2,5 m/s, käytännössä saattaa olla turvallisuuden takaamiseksi syytä sallia hinaajalla GPS:llä mitatuksi poikittaisnopeudeksi 1–1,5 m/s, jos on pelättävissä joutuminen potkurivirtaan.

2.5 Muita tekijöitä

Hinaajan koon merkitys poikittaisvetotilanteessa

Lateraalipinta-ala. Otetaan vertailukohteeksi hinaaja NEPTUN, jonka L_{pp} on 29,5 m, B on 9,8 m ja syväys 5,65 m. Hinaajan koon kasvaessa sen vedenalainen lateraalipinta-ala kasvaa. Vastus poikittaisvedossa on verrannollinen lateraalipinta-alaan ja nopeuden neliöön. Jos avustettava ku-

²⁰⁹ Tällaisia laskelmia tehdään usein potkurivirran huuhteluvaikutuksen selvittämiseksi mm. matalilla kulkuväylillä ja satamissa CFD (Computational Fluid Dynamics) ohjelmistoilla..

ten MSC HINA, kykenee tiettyyn nopeuteen v_1 kun hinaajan lateraalipinta-ala on A_A , niin se kykenee hinaamaan suurempaa hinaajaa, lateraalipinta-ala A_B , nopeudella v_2 . Nopeus v_2 on v_1 kertaa pinta-alojen suhteen A_A/A_B neliöjuuri. NEPTUNille saadaan MSC HINAn maksiminopeudeksi konekäskyllä Dead Slow Ahead noin 3 solmua, jos vastaava nopeus PEGASOSilla olisi noin 4 solmua.

Hitausvoimat. Suuremmalla hinaajalla on suurempi uppouma. Tällöin sen kiihtyvyys vakiovoimalla on kääntäen verrannollinen uppoumaan. Esimerkiksi NEPTUNin uppouma on noin kaksi kertaa PEGASOSin uppouma. Kuitenkin hinaajan osuus on vain runsaan prosentin koko kiihdyttävästä massasta (hinaaja + avustettava + mukana liikkuva vesi). Näin ollen kiihdyttävä massa pysyy likimain vakiona, mutta kiihdytykseen käytettävissä oleva voima poikittaisvedossa pienenee suuremman hinaajan suuremman vastuksen johdosta. Tämän seurauksena tietyn nopeuden saavuttamiseen tarvittava aika pitenee. Koukun laukaisuun jää siten enemmän aikaa.

Kallistava ja oikaiseva momentti. Oikaiseva varsi (GZ) voidaan olettaa likimain vakioksi erikoisilla hinaajilla (GZ:n rajat ja kulku määräytyvät IMO:n määräyksistä ja ylimääräinen vakavuus ei ole taloudellista). Suuremmalla hinaajalla on siten suurempi oikaiseva momentti. Poikittaisvetotilanteen kallistava varsi (k_1) on MKL:n hinauskriteerin laskentakaavan mukaan ensiapproksimaationa kääntäen verrannollinen aluksen leveyteen (kaavassa lateraalipinta-ala jaettuna uppoumalla eli $L \cdot d / \text{vakio} \cdot L \cdot d \cdot B$). Toisaalta kaavan kertoimet sekä koukun vaikutuspisteen etäisyys veden pinnasta (h) ja hinauskaaren säde (r) voivat kasvaa aluksen leveyden kasvaessa. Tarkastelemalla tilannetta ilman kallistumaa ja kallistumalla 40–45 astetta (kallistava varsi saavuttanut maksimiarvonsa), jolloin vakioilla on tietyt arvot, nähdään yleissuunta: kallistava varsi pienenee aluksen leveyden kasvaessa. Leveyden kasvu on yleensä seurausta aluksen koon kasvusta.

Suuremman hinaajan käyttö parantaa hinaajan turvallisuutta poikittaisvetotilanteessa mm. näiden seikkojen johdosta sen lisäksi, että suuremmalla hinaajalla on suurempi paaluveto.

Keulapotkuri, peräsin ja hinausköysi

PEGASOSin alas laskettu **keulapotkuri** saattaa ideaaliolosuhteissa maksimissaan synnyttää 8 t x 3 m = 24 tm kallistavan momentin, joka vastaa 6 cm kallistavaa vartta. Riippuen työnnon suunnasta, tästä voi aiheutua lisää kallistumaa tai se voi vähentää kallistumaa. Keulapotkuri on oletettavasti ollut suuntautuneena siten, että se auttoi PEGASOSia pysymään perä kohden MSC HINAa. Tällöin se on lisännyt kallistumista oikealle. Kun alus oli nostettu, keulapotkurin oikealla sivellä oleva ohjausvipu osoitti täyttä tehoa ja suunta kello 9–10. Sivulle suuntautunut voima oli onnettomuuden olosuhteissa noin 4 tonnia ja momentti 12 tm, joka vastaa 3 cm kallistavaa vartta.

Hinaajan peräsimen suuntautunut sen oman potkurin potkurivirtaus aiheuttaa kallistavan momentin, jonka maksimiarvo on noin 40 tm. Riippuen peräsimen asennosta, tästä voi aiheutua lisää kallistumaa tai se voi vähentää kallistumaa. Peräsin on oletettavasti ollut käännettynä keskelle, jolloin propulsiolla ei ole kallistavaa vaikutusta.

Keulapotkurin työnnon vaikutuksesta PEGASOS saattoi olla muutaman asteen kallellaan oikealle. PEGASOS oli aluksi vain hieman vinossa virtaukseen, minkä johdosta hinausköyden aiheuttama kallistuma oli pieni. Peräsimen ja keulapotkurin kautta tuleva vaikutus pienenee kallistuskulman kasvaessa kosinifunktion mukaisesti. Aluksen kallistuessa ne lähestyvät veden pintaa ja tulevat suurilla kallistumilla pinnalle, minkä johdosta niiden kallistava momentti yli 30–40 asteen kulmilla on likimain nolla.

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

Hinausköyden pituus vaikuttaa kulmaan, jolla köysi nousee hinaajasta. Köysi vedetään avustettavan kannella olevaan pollariin. Hinauskoukun ja pollarin välisen korkeuseron ollessa a ja köyden pituus l , saadaan kulmaksi $\arcsin(a/l)$. **PEGASOSin tapauksessa** saadaan kulmaksi noin 7 astetta, joka aiheuttaa hyvin pienen pystysuoran komponentin. Vastaavasti hinausköyden voimaan tehtävä kosinikorjaus on mitätön.

Saavutettavissa oleva **paaluveto** pienenee hinaajan toimiessa toisen aluksen perässä. Käytettävissä oleva paaluveto taaksepäin kulussa työnnön suuntautuessa eteenpäin on selvästi pienempi kuin nimellinen paaluveto. Tilannetta heikentää edelleen avustettavan potkurivirta. (Katso tarkemmin liite1).

3. HINAAJIA OIKAISEVAT MOMENTIT HINAUSTILANTEESSA

Itse aluksesta johtuvat oikaisevat momentit jaetaan kahteen osaan: aluksen rungon mitoista ja muodosta johtuvat tekijät (**muotovakavuus**) ja aluksen painopisteen paikasta johtuvat tekijät (**painovakavuus**). Lisäksi eräät kallistavat momentit, esim. potkurilaitteiden aiheuttamat, voivat synnyttää oikaisevia tai kallistavia momentteja.

3.1 Muotovakavuus

Pienillä kulmilla puhutaan alkuvakavuudesta, jonka mittari on alkuvaihtokeskuskorkeus GM_0 . Se muodostuu seuraavasti: $GM_0 = KB_0 + B_0M_0 - KG$, kuva 1. Kaksi ensimmäistä termiä riippuvat aluksen mitoista ja muodosta, KG aluksen painopisteestä.

Suurilla kallistuskulmilla lasketaan muotovakavuuden jäännösvakavuusvarsi tai pantokareenit. Hinaajien muotovakavuus huononee aluksen varalaidan pienentyessä esimerkiksi kasvaneen syvyyden ja/tai kasvaneen peräviippauksen johdosta.

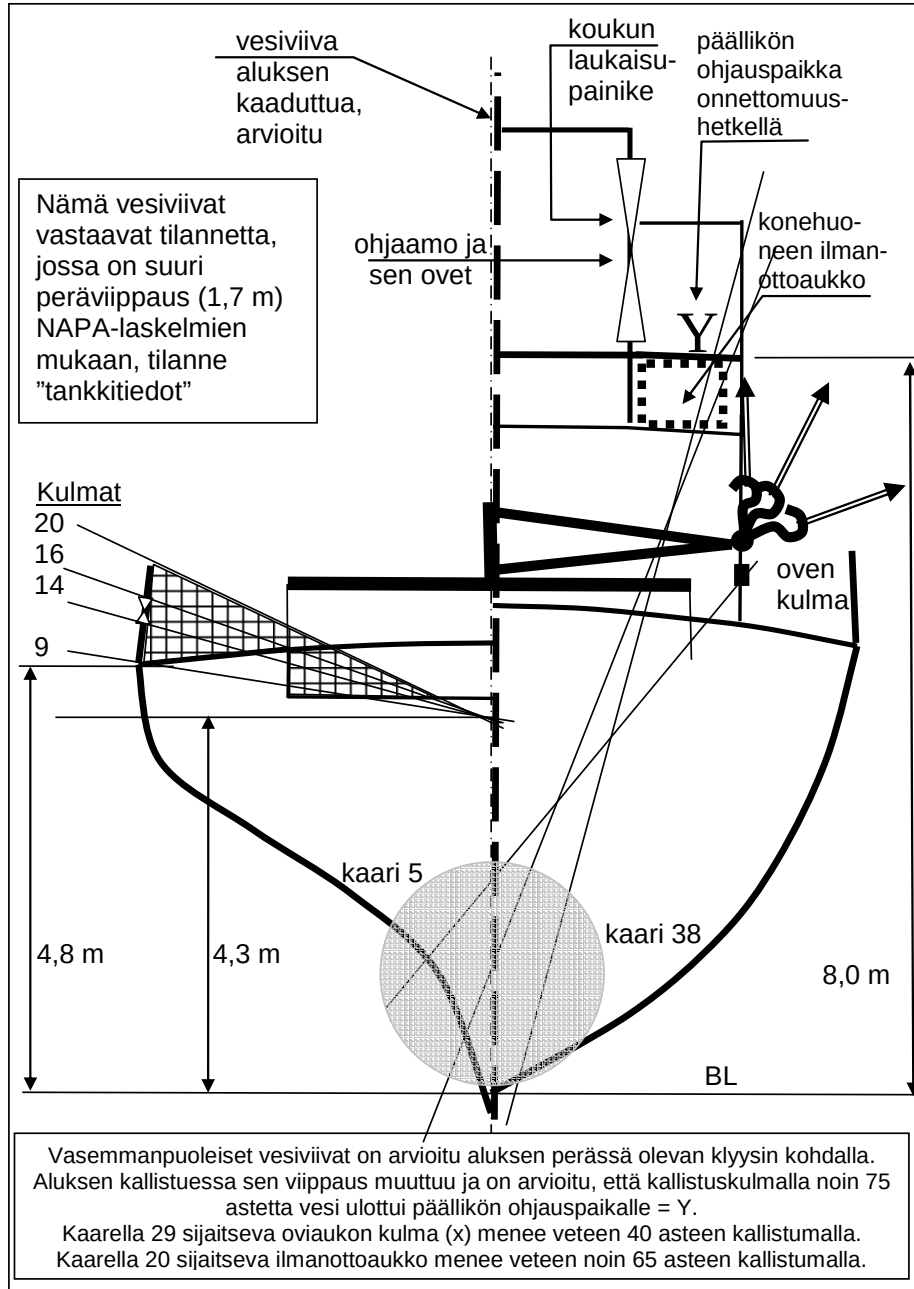
Alkuvaihtokeskuskorkeuden kasvaessa, tietyn suuruinen staattinen tai dynaaminen kallistava momentti kallistaa alusta vähemmän. Etenkin pienillä kallistuskulmilla suuresta alkuvaihtokeskuskorkeudesta on etua, jos hinaajaa alkaa kallistaa äkillinen momentti. Tällöin kallistava momentti ehtii tehdä vähemmän työtä, ennen kuin oikaiseva momentti alkaa myös tehdä työtä ja lopputuloksena alus kallistuu vähemmän (olettaen, että GZ:n kulku on muutoin säännöt täyttävä), katso kuva 39.

Leveys

Merkittävin muotovakavuuteen vaikuttava tekijä on aluksen leveys, joka vaikuttaa alkuvaihtokeskussäteeseen B_0M_0 ja sitä kautta alkuvaihtokeskuskorkeuteen. Se on suoraan verrannollinen leveyden toiseen potenssiin. Satamahinaajien pituus-leveys-suhde on noin 3 (PEGASOS 3,08 ja POSEIDON 2,77). Escort-hinaajat ovat suhteellisesti leveämpiä ja niillä tämä suhde on noin 2,5 ja niillä voidaan saavuttaa parempi vakavuus kuin muun tyyppisillä hinaajilla. Tämä johtuu niiden erilaisesta työtavasta: escort- hinaaja asettuu aluksen perään sivuttain ohjailemaan ja jarruttamaan avustettavan liikkuessa 8–12 solmun nopeudella, kun taas satamahinaaja toimii vastavassa tilanteessa avustettavan liikkuessa alle 4 solmun nopeudella, mieluiten 1–2 solmun nopeudella (asennosta riippuen).

Varalaita ja ehjät tilat

Tärkeä hinaajan vakavuutta ja etenkin dynaamista vakavuutta säättävä tekijä on varalaidan korkeus. Yleisen käsityksen mukaan sen tulisi olla niin suuri, että kansi ei mene veteen alle 10 asteen kulmalla. Kun kansi menee veteen, hinaajan kyky kestää lisäkallistumaa alkaa heiketä, koska vesiviivapinta-ala pienenee. Kuvassa 15 on näytetty PEGASOSin poikkileikkaus. Samassa kuvassa on näytetty myös arvioidut vesiviivat useilla eri kallistumilla ja koukun vastaavat asennot.



Kuva 15. PEGASOSin poikkileikkaus. Kuvassa on näytetty varalaita aluksen peräosassa ja eräiden laidalla olevien kohtien veteenmenokulmat. Ruudutettuna on alue, joka täyttyy vedellä kun parras menee veteen. Kaarella 29 olevan oven kulma menee veteen 40 asteen kallistumalla, ja konehuoneen ilmanottoaukko kaarella 20 noin 65 asteen kallistumalla. On arvioitu, että ohjaamon siivekkeellä päällikön jalat kastuivat kun kallistuskulma saavutti noin 75 astetta. Kaatuneen aluksen vesiviiva on arvio. Koukun asento on näytetty muutamalla kallistuskulmalla.

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

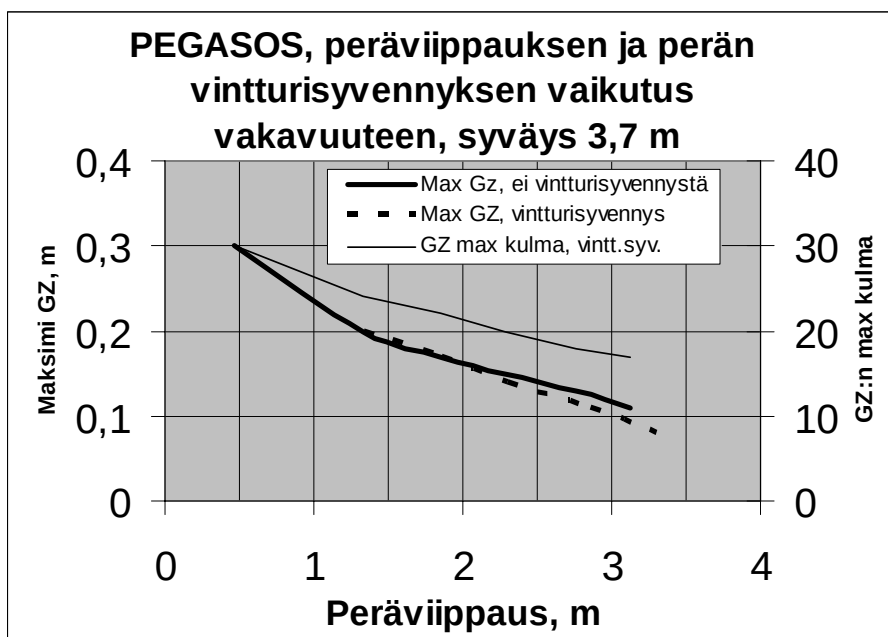
Varalaitaa pienentää esim. syvyyden kasvu, joka voi olla seurausta aluksen painon kasvusta kuten PEGASOSin tapauksessa.

Muotovakavuuslaskelmissa voidaan ottaa huomioon aluksen kallistumisen edetessä suljettuina pysyvät tilat, joita ylhäältä rajoittaa varalaitakansi. Lisäksi tietyin ehdoin voidaan ottaa huomioon suljettujen aukkojen rajoittama osa kansirakennusta, ks. kuva 1b. Toisaalta, jos kannella on syvennyksiä, ne vaikuttavat vähentävästi muotovakavuuteen. PEGASOSissa muotovakavuuteen vaikuttavat sekä kansirakennus (ensimmäinen kerros), että peräkannella oleva vintturisyvennys. Ne on otettu huomioon tutkintalautakunnan teettämässä vakavuuslaskuissa. Tutkintalautakunnan käsityksen mukaan rakentajatelakan vakavuuslaskelmissa kansirakennus ei ollut mukana.

Viippaus

Kun hinaajan peräviippaus kasvaa yli ketkan mahdollistaman lisäyksen, varalaita aluksen peräpäässä alkaa pienetä. Tämän vuoksi hinaajia ei tulisi käyttää suurilla peräviippauksilla, jollei vastaavan lastitilanteen vakavuutta ole tarkistettu.

Kuvassa 16 on näytetty peräviippauksen ja perän vintturisyvennyksen vaikutus PEGASOSin vakavuuteen. Vintturisyvennys alkaa vaikuttaa vasta noin 20–25 asteen kallistuskulmilla kun vettä alkaa päästä sinne. Sen vaikutus on pieni, mutta vakavuutta heikentävä. Peräviippaus pienentää muotovakavuutta eli pantokareeneja tai jäännösvakavuutta.



Kuva 16. Peräviippauksen ja vintturisyvennyksen vaikutus PEGASOSin vakavuuteen NAPA-laskelmien mukaan. Nähdään, että peräviippauksen kasvu esim. noin 0,5 m:stä noin 1,5 m:iin pienentää GZ:n maksimiarvoa noin 0,12 m ja siirtää GZ:n maksimikulmaa 30 asteesta noin 18 asteeseen. Nämä muutokset ovat erittäin merkittäviä ja voivat johtaa siihen, että vakavuusvaatimukset eivät täyty.

Partaan rakenne

Hinaajan joutuessa kulkemaan poikittain hinausköyden vetämänä, se kallistuu ja kannen reuna saattaa joutua veden alle. Tilanne saattaa kestää esim. minuutteja erotuksena merenkäynnin ai-

heuttamasta puolelta toiselle keinumisesta. Viimemainittua tilannetta varten hinaajan levypartaassa on aukkoja, esim. myrskyluokkuja tai parras ei ole kokonaan levystä. Näin hinaajan kannelle ei keräänny vettä pysyvästi, mikä heikentäisi vakavuutta. Kannelle kertyneen veden vaikutuksesta on esimerkki kuvassa 19.

Jos parras on tehty teräslevystä kuten **PEGASOSin tapauksessa**, vesi pääsee pois vain myrskyluukkujen, klyysien ja valumisaukkojen kautta. Toisaalta, vettä ei pääse nopeasti suuria määriä kannelle, ennen kuin alus kallistuu niin paljon, että partaan reuna tai partaan suuret aukot, tässä tapauksessa klyysit, ulottuvat veteen (edellyttäen, että myrskyluukut eivät aukea). PEGASOSin partaan vaikutus on hyvin erilainen hitaassa ja nopeassa kallistumisessa. Jos vettä on päässyt kannelle, sen poistuminen on hidasta, minkä johdosta vakavuus heikkenee. Tosin alkuvaiheessa vesi kerääntyy vintturisyvennykseen, eikä vapaa nestepinta ole vielä kovin suuri.

Nopea kallistuminen. Vain pieniä määriä vettä ehtii kertyä klyysien ja vedenpoistoreikien kautta. Kun sitten vesi pääsee partaan yli, tilanne huononee äkillisesti ja jyrkästi. Ensinnäkin, aluksen muotovakavuusvarsi perustuu tuohon saakka siihen, että laita jatkuu partaan reunaan saakka. Nyt tilanne muuttuu äkillisesti siten, että laita ulottuu vain pääkanteen saakka ja samalla osa kannesta on heti veden alla, mikä pienentää vesiviivapinta-alaa. Toiseksi, partaan yli syöksyvä vesi aiheuttaa äkillisen dynaamisen kallistavan momentin, jolla on kallistava vaikutus samaan aikaan kun vakavuuskäyrä on oleellisesti heikentynyt. Lisäksi aluksen poikittainen muotovastus kasvaa äkisti partaan mennessä veteen, eikä voimaparin kallistava varsi ole vielä oleellisesti pienentynyt. Tämän vuoksi alus kallistuu lisää hyvin nopeasti ja saattaa välittömästi kaatua jollei vakavuus ole riittävä. Tämä vastasi lähinnä PEGASOSin onnettomuustilannetta.

Hidas kallistuminen. Nyt valumisaukkojen kautta kannelle kertyy vettä, ja aluksen vakavuus noudattaa GZ-käyrää. Alus käyttäytyy likimain kuten alus ilman parrasta.

Poikittaiskulun aikana aluksen kylkeen syntyy aalto, jolla on vakavuutta lisäävä vaikutus. Sen suuruutta on vaikea arvioida. Toisaalta, aallon johdosta vesi alkaa mennä kannelle tyynen veden tilannetta vastaavaa kulmaa pienemmällä kulmalla.

Seuraavassa kuvassa 17 on esitetty nopean kallistumisen aikaiset vakavuuteen vaikuttavat seikat. Nopea kallistuminen alkoi melko pienellä kallistuskulmalla. Partaan jarruttavaa vaikutusta heikensi klyysien kautta kannelle tullut vesi. Kallistavalla momentilla²¹⁰ oli niin paljon energiaa, että vesi tuli yli PEGASOSin partaan, minkä jälkeen kaatuminen tapahtui hyvin nopeasti.

Partaan aukoista kallistumisen aikana sisään tulevan veden määrä voidaan laskea kaavasta $K \cdot A \cdot v \cdot t$, jossa K on aukon muotokerroin, A on aukon pinta-ala, v on keskimääräinen poikittaisnopeus ja t on aika. Nopeassa kallistumisessa PEGASOSin vakavuuskäyrä noudatti ehjän partaan GZ-käyrää klyysien veteen menoon saakka, 14 astetta. Sen jälkeen käyrä oli näiden ääriarvojen välissä kunnes partaan reuna meni veteen 20–30 asteessa. Aallot, pyörteet ja aluksen keinunta ja dynamiikka monimutkaistavat tilannetta.

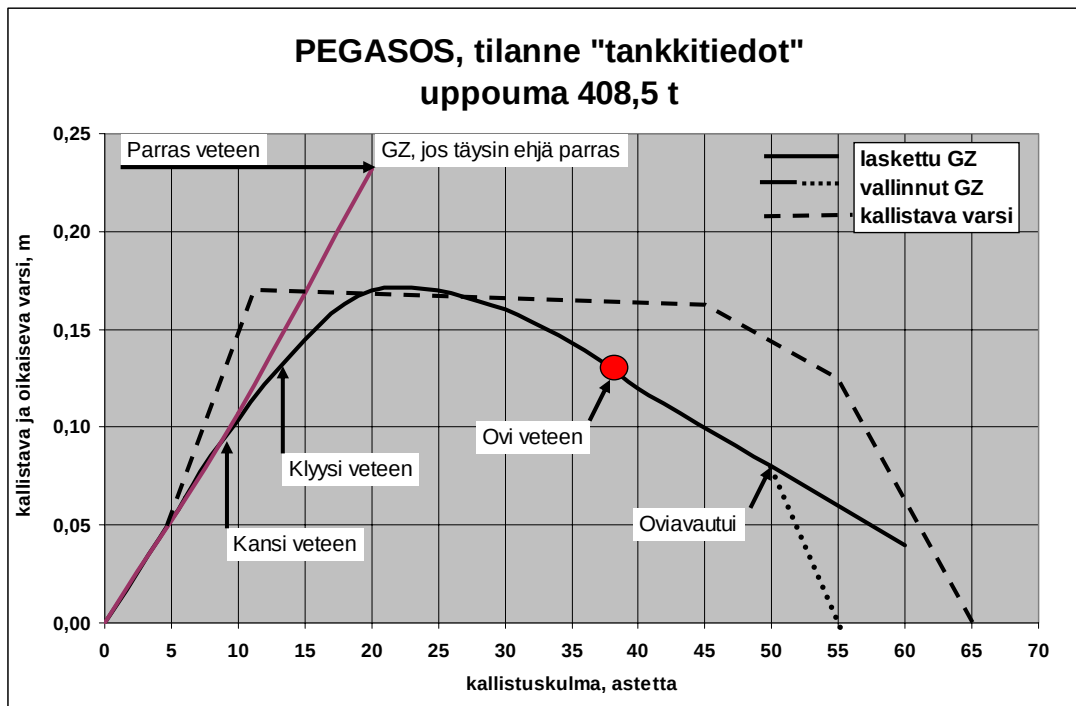
PEGASOSille saadaan veden määräksi, olettaen, että klyysien veteen menosta partaan yläreunan veteen menoon tarvittiin 3 sekuntia, $0,9 \cdot 0,4 \cdot 2,0 \cdot 3 = 2,2 \text{ m}^3$. Pienten valumisaukkojen kautta oli vettä saattanut tulla ennen klyysien veteen painumista noin yksi tonni. Kun parras on

²¹⁰ Kallistavan momentin kulku on määritetty seuraavasti. Sen maksimiarvo vastaa poikittaisnopeutta 2,3 m/s MKL:n määräysten mukaan laskettuna. Kasvu maksimiin tapahtui hyvin nopeasti. Pieneneminen alkoi 45 asteen kallistuman jälkeen. Tällä yksinkertaisella approksimoinnilla on yhdistetty likimääräisesti nopeuden, kallistuskulman, pinta-alan, vastuskertoimen, voimaparin kallistavan varren, PEGASOSin sijainnin ja asennon muutosten vaikutus.

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

veden alla, kannelle mahtuu vettä noin 15 tonnia. Vettä syöksyy yli partaan siten noin 12 tonnia. Kallistava äkillinen momentti on noin 35 tm, mikä vastaa noin 9 cm kallistavaa vartta.

PEGASOSin päällikön onnistui pitää hinaaja jonkin aikaa pitkittäin virtaukseen perä edellä. Alus kääntyi poikittain hyvin nopeasti jouduttuaan potkurivirtaan. MSC HINAN potkurin jättövirtaus koh-tasi yhä suuremman osan PEGASOSin perää. Aluksi tehollinen nopeus oli noin 2,0 m/s, mutta se nousi nopeasti arvoon noin 2,3 m/s. Tällöin kallistavan momentin energia ylitti PEGASOSin oikai-sevan momentin energian. Partaan rakenteen johdosta kallistuman eteneminen saattoi hidastua hieman 10 asteen jälkeen. Klyysien aukkojen mennessä veteen, kallistuminen nopeutui. PE-GASOSin vakavuus oli niin heikko, että parras ei merkittävästi hidastanut kaatumista. Kansira-kennuksen ensimmäisen kerroksen yläpuolisten rakenteiden osuessa veteen kaatumisen etene-minen hidastui.



Kuva 17. Partaan vaikutuksen arviointi lastitilanteessa tankkitiedot

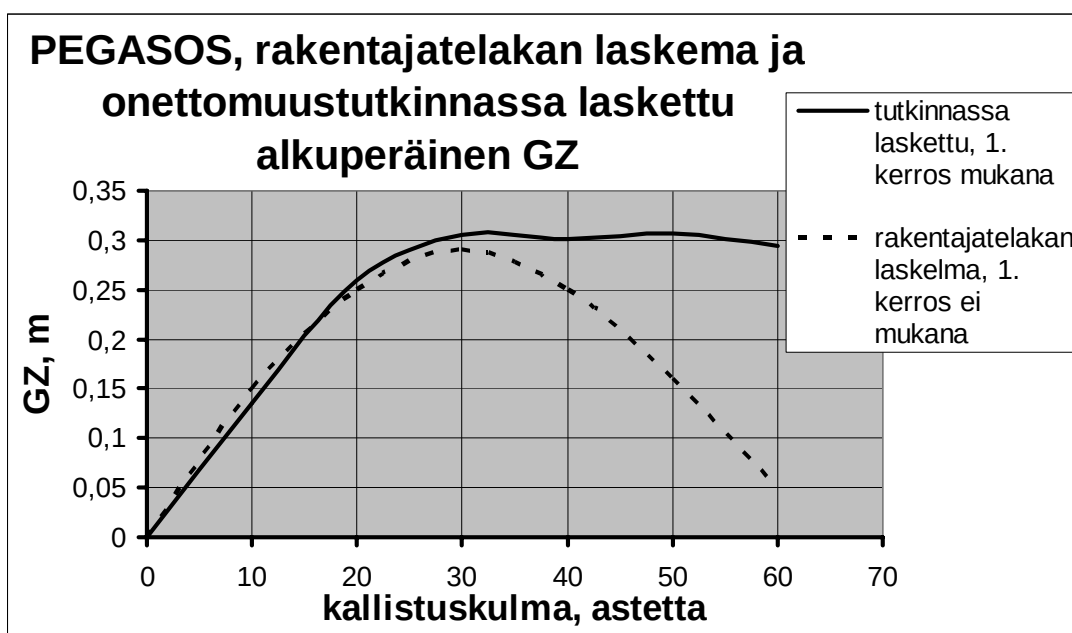
Kansirakennus ja siinä olevat aukot

Kansirakennuksen ensimmäinen kerros kaarilla 20–40 (ilman ohjaamon alla olevaa välikerrosta ja kannella olevia korokkeita) on otettu mukaan laskettaessa muotovakavuutta onnettomuustutkin-nassa. Kansirakennuksen ovi joutui veteen 34–42 asteen kallistuskulmalla. Teräsovi oli auki, ja veden paine avasi puuoven. Konehuoneen ilmanottoaukko meni veteen noin 65 asteen kallistus-kulmalla.

Rakentajatelakan alkuperäisissä laskelmissa kansirakennus ei ollut mukana. Tämä päätelmä pe-rustuu tutkinnassa tehtyyn tarkistuslaskentaan. PEGASOS saatettiin hyvin lähelle alkuperäisiä lastitilanteita 2 ja 3 ja ne lasketettiin NAPA-ohjelmistolla. Tutkinnassa verrattiin alkuperäisiä pan-tokareeneja NAPA-ohjelmistolla laskettuihin MS-arvoihin. Niiden välinen ero voitiin selittää siten, että alkuperäisissä laskelmissa kansirakennus ei ollut mukana muotovakavuudessa. Saadut tu-lokset ovat seuraavassa kuvassa 18. Nähdään, että kansirakennuksen ensimmäisen kerroksen vaikutus on merkittävä. Onnettomuushetken todellinen tilanne olisi vastannut onnettomuustutkin-nan laskelmaa, mikäli PEGASOSin vakavuus ei olisi heikentynyt. Todellisuudessa PEGASOSilla oli siis vakavuusreserviä aluksella olleeseen aineistoon verrattuna, mikäli kansirakennuksen au-

kot pidettiin säätiiviinä. Erityisesti on huomattava, että kuvan mukaisessa tilanteessa peräviippaus on pieni, noin 35 cm. Peräviippauksen kasvaessa, tilanne muuttuu kuvan 13 esittämällä tavalla. Tämä PEGASOSin vakavuuden piioreservi pieneni painopisteen ja painon nousun sekä mahdollisen suuren peräviippauksen johdosta.

Kansirakennuksen ovien säätiiviydellä ei ole merkittävää vaikutusta hinauskriteerin laskentaan, jos ovi menee veteen yli 40 asteen kallistumalla, sillä vuotokulma voi olla laskelmissa enintään 40 astetta. Hinaajan turvallisuudelle sillä on kuitenkin suuri merkitys. Jos hinaaja joutuu poikittaisveetoon, ja aukot ovat kiinni, nähdään, että se oikenee yli 60 asteen kallistumasta. Lisäksi kallistava momentti alkaa pienentyä yli 50 asteen kallistuskulmilla. Hinaajakohtaisesti ja viippauksesta riippuen GZ-käyrät ovat erilaisia, eivätkä aina näin hyviä. Kansirakennuksen tiiveys siis selittää sen, että käytännössä hinaajat oikenevat suurestakin kallistumasta.



Kuva 18. PEGASOSin alkuperäinen lastitilanne 3 rakentajatelakan laskelman mukaisena ja onnettomuustutkinnan yhteydessä laskettuna. Viippaus noin 35 cm perälleen.

Kannella olevat syvennykset

Vintturisyvennys oli ainoa syvennys kannella ja sen vaikutus on näytetty kuvassa 13. Syvennyksen vaikutus oli vähäinen. Se toimi kannelle kertyneen veden alkusäiliönä rajoittaen vapaan nestepinnan vaikutusta vakavuuteen.

3.2 Painovakavuus

Hinaajan painopiste

Painovakavuuteen vaikuttava merkittävin tekijä on aluksen painopisteen paikka. Korkeuskoordinaatti vaikuttaa painovakavuuteen. Pituussuuntainen koordinaatti vaikuttaa viippaukseen ja sitä kautta edelleen muotovakavuuteen. Sivusuunnassa painopiste tulee saada keskelle, muutoin alukselle syntyy alkukallistuma.

Hinaajan painopisteen noustessa d cm, GZ eri kallistuskulmilla pienenee $d \times \sin(\text{kallistuskulma})$ verran. Vakavuutta heikentävä vaikutus kasvaa kallistuskulman kasvaessa.

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

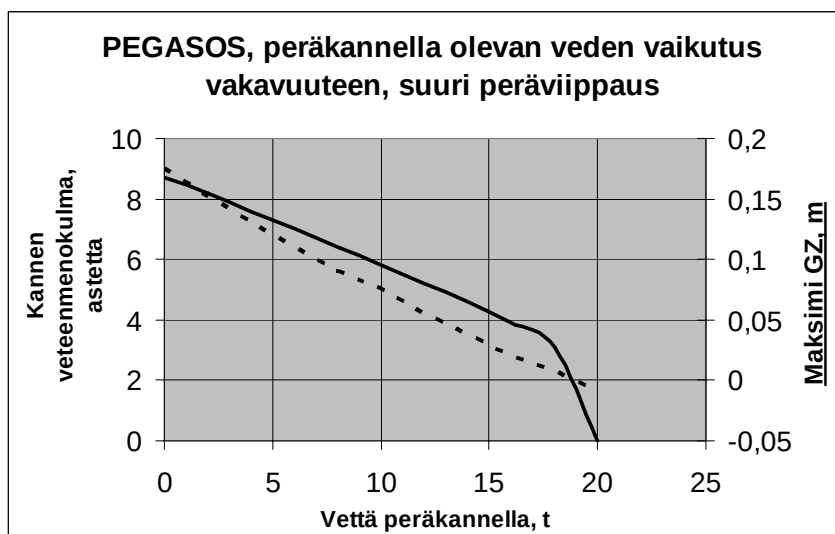
Vapaat nestepinnat

Tankkien vapaat nestepinnat vaikuttavat heikentävästi alkuvaihtokeskuskorkeuteen, eli nostavat näennäisesti aluksen painopistettä. Tuloksena on korjattu alkuvaihtokeskuskorkeus. Merkittävin vaikutus on tankin leveydellä ja täytöksellä. Laskettaessa GZ eri kallistuskulmilla, voidaan käyttää lähtökohtana korjattua alkuvaihtokeskuskorkeutta, jolloin GZ sisältää hieman reserviä. Voidaan myös käyttää korjaamatonta alkuvaihtokeskuskorkeutta, jolloin lasketaan vapaiden nestepintojen korjaus kullakin kallistuskulmalla erikseen (ts. lasketaan nesteen painopisteen siirtymän vaikutus GZ-käyrään). Aikaisemmin käytettiin edellistä tapaa johtuen siitä, että tankin muoto tekee laskennan monimutkaiseksi. Nykyisin käytettäessä tietokoneita, jälkimmäinen tapa on rutiinia. PEGASOSin lastitilanteessa "tankkitiedot" vapaiden nestepintojen vaikutus alkuvakavuuteen oli 8 cm. Aluksen kallistuessa vaikutus oli enimmillään 4 cm suurilla kallistuskulmilla. Kun perän jäähdytysvesitankki oli vajaa, vapaiden nestepintojen korjaus oli vastaavasti 30 cm ja 9 cm, lastitilan teet "kallistuskoe" ja "syväystiedot".

Peräkannella oleva vesi

Normaalisti vakavuuslaskelmissa ei oteta huomioon mahdollisuutta, että hinaajan (perä)kannelle kertyy suuria määriä vettä. Veden tulon mahdollisuus kasvaa, kun peräviippaus suurenee, alus kulkee takaperin, on aallokkoa ja varsinkin, jos avustettava alus käynnistää koneet, jolloin voi syntyä voimakkaita potkurin nostattamia aaltoja ja pyörteitä. Onnettomuustilanteessa peräviippausta suurensi PEGASOSin avustapa: se liikkui perä edellä MSC HINAN vetämänä samalla kun sen potkurit työnsivät eteenpäin. Lisäksi alus on yleensä hinausvoiman johdosta kallellaan. Kannelle kertyvä vesi lisää peräviippausta ja heikentää vakavuutta, mikä helpottaa lisäveden tuloa. Syntyy noidankehämäinen tilanne, joka saattaa hyvinkin nopeasti johtaa aluksen kaatumiseen, jollei hinauskojttä saada irrotettua. (Näin tapahtui hinaaja VOIMAlle Kaskisissa). Katso myös liite 1, kohta 4.2.

Seuraavassa kuvassa 19 on esitetty peräkannelle kertyvän veden vaikutus aluksen vakavuuteen. Jos PEGASOS olisi käyttänyt ns. gob-rope eli ridari - järjestelyä, se olisi joutunut tähän tilanteeseen, mutta pienemmällä nopeudella kuin hinaaja VOIMA. Alus ei olisi joutunut poikittaisvirtaukseen. Vaaratilanteessa olisi ollut enemmän aikaa koukun laukaisuun.



Kuva 19. Kannelle kertyneen veden vaikutus PEGASOSin vakavuuteen. Peräviippaus 2,5 m, syväys noin 3,6 m. NAPA-laskelmien mukaan.

4 PEGASOSIN KAAATUMINEN

Kaatumistapahtuma oli kaksivaiheinen: PEGASOS ajautui ensin MSC HINAN potkurin jättövirtaan ja kääntyi poikittain, minkä jälkeen se kallistui ja kaatui. Molemmat tapahtumat olivat nopeita. Osittain ne tapahtuivat samanaikaisesti, mutta niitä on käsitelty erillisinä tarkastelun yksinkertaistamiseksi. Kääntymistä poikittain on käsitelty liitteessä 1. Tässä kaatumista on tarkasteltu nopeana tapahtumana vallinneiden vakavuusominaisuuksien avulla. Eri tahojen sääntöjen pohjalta PEGASOSin vakavuutta on tarkasteltu kohdassa 5.

4.1 Kaatumislaskelman lähtökohdat

Seuraavassa PEGASOSin kaatumista on tarkasteltu **dynaamisena** tapahtumana staattisen vakavuuskäyrän avulla kolmessa onnettomuustilannetta haarukoivassa lastitilanteessa. **Aikaan si-dottuna** dynaamisena tapahtumana on tarkasteltu yhtä onnettomuustilannetta haarukoivaa lastitilannetta kallistumisen (keinumisen) differentiaaliyhtälön avulla. Lisäksi on vertailun vuoksi tehty laskelmat myös hinauskriteerin täyttävällä vakavuudella.

Kallistuminen muuttui peruuttamattomasti kaatumiseksi sen jälkeen kun vesi tuli yli partaan. PEGASOSin vakavuus ei riittänyt pysäyttämään kaatumista. Koukkua ei laukaistu ennen ajautumista MSC HINAN potkurin jättövirtaukseen. Kallistavan momentin kehittyminen juuri ennen koukun irtotusta on likimääräinen arvio. Oikaiseva momentti suurilla kallistuskulmilla on karkea arvio, sillä alukseen oli jo tullut vettä. Kun PEGASOS oli kaatunut, sen lisäkallistuminen tapahtui hitaasti, joten se oli lähes tasapainossa.

4.2 Kaatumisen staattinen analyysi

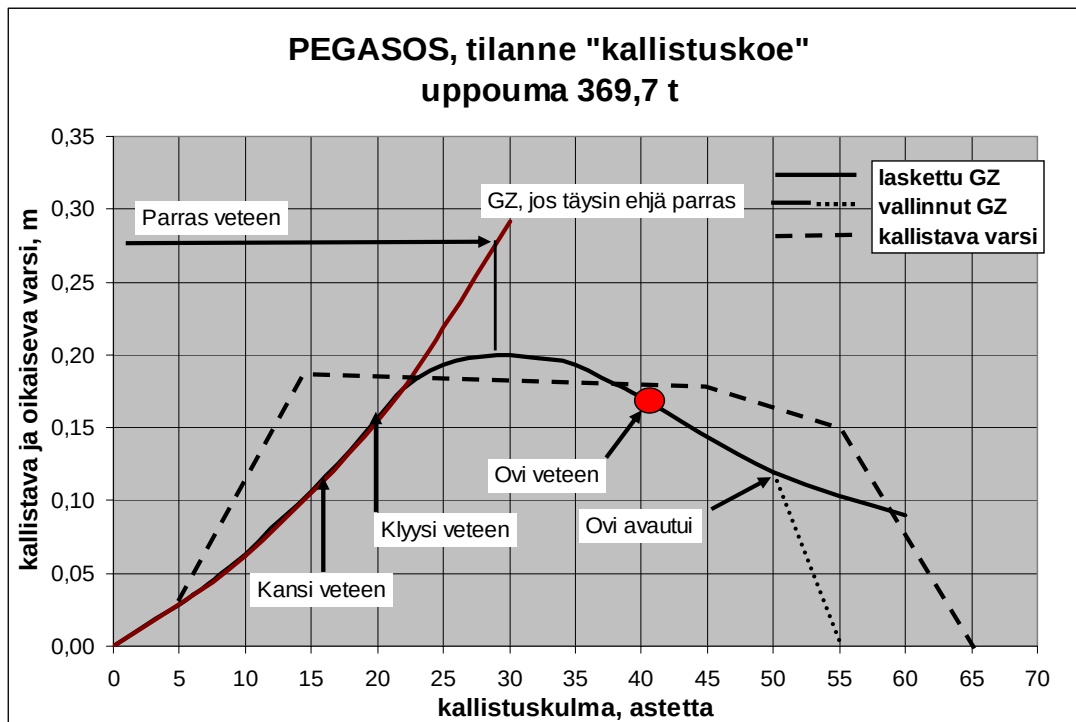
Kun MSC HINA alkoi vetää PEGASOSia, MSC HINAN nopeus oli noin yksi solmu. PEGASOS oli aluksi lähes virtauksen suuntainen, joten siihen vaikutti vain sen oman ohjailupotkurin kallistava momentti. Kun PEGASOS osui MSC HINAN potkurivirtaan, kallistava momentti kasvoi nopeasti, koska ensinnäkin PEGASOS joutui poikittain ja toiseksi virtauksen nopeus kasvoi MSC HINAN potkurivirran johdosta. Lisäksi kannen ja partaan joutuessa veteen, vastuserroin kasvoi. Kääntyminen poikittain tapahtui nopeasti, kun virtauksen tehollinen nopeus oli jo melko suuri. Tämän johdosta kallistavalla momentilla oli potentiaalienergiaa, joka riitti saattamaan hinaajan partaan veden alle. Energiaa oli niin paljon, että partaan jarruttava vaikutus oli vähäinen. Veden tullessa partaan reunan yli, kallistava momentti sai hetkellisen lisäyksen. Hetken päästä kansirakennuksen puinen sisäovi joutui veteen. Kun alus oli kallistunut niin paljon, että ovi oli selvästi veden alla, se avautui ja GZ-käyrä alkoi heiketä jyrkästi.

Staattinen tarkastelu pohjautuu pinta-alojen tarkasteluun. Haarukoivissa lastitilanteissa on piirretty kallistavat ja oikaisevat varret sekä muut oleelliset tiedot näkyviin. Kuvien 17, 20a ja 20b pohjalta voidaan päätellä, että PEGASOSin vakavuus ei riittänyt estämään kaatumista. Parempi vakavuus olisi antanut lisää aikaa reagoida esim. koukun laukaisuun. Nopean kääntymisen johdosta kallistavan momentin potentiaalienergia oli ratkaisevaa. Sääntöjen mukainen vakavuus olisi siirtänyt kaatumisen hieman myöhemmäksi, suurempaan nopeuteen.

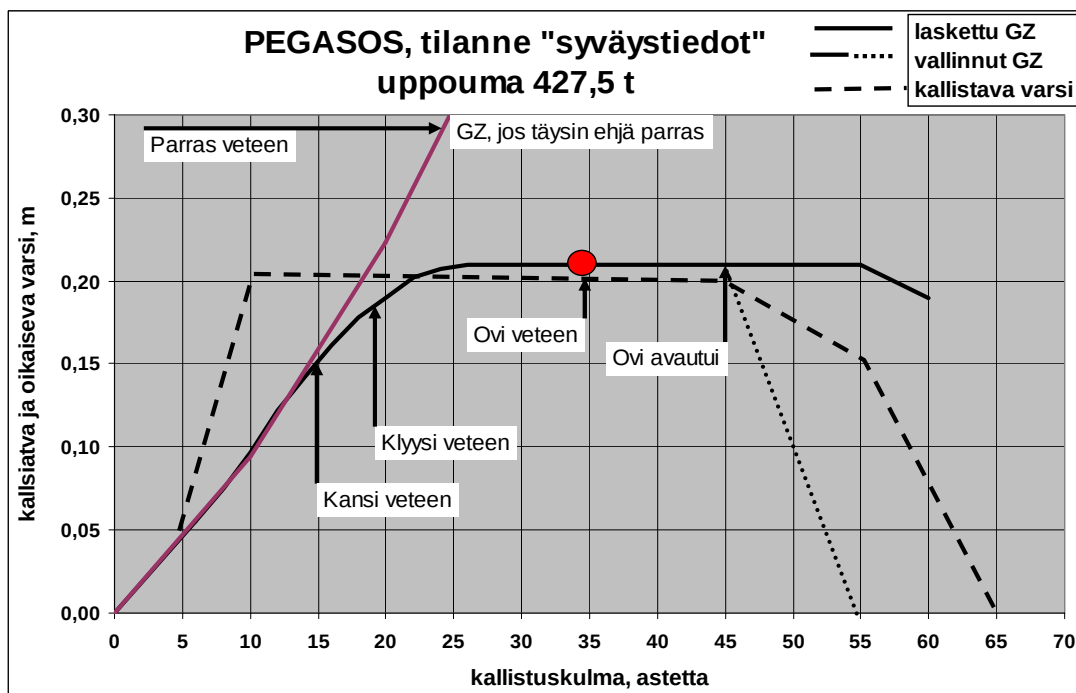
Tarkastelemalla kuvista pinta-aloja voidaan arvioida, että nopea kääntyminen aiheutti kallistavaan momenttiin lisäenergiaa siten, että kallistava varsi ei olisi saanut olla suurempi kuin 0,13–0,15 m. Tämä vastaa poikittaisnopeuksia 2–2,1 m/s. Nämä rajat eivät sisällä MKL:n reservipinta-alaa 0,01 mrad. Jotta se tulisi otettua huomioon, pitäisi kallistavan varren olla enintään noin 0,1–0,12 m, mikä vastaa poikittaisnopeuksia 1,8–1,9 m/s. MKL:n kriteeri puhtaassa poikittaisvedossa täyttyy nopeuksilla 2,02–2,25 m/s. Nähdään, että nopea kääntyminen poikittain alentaa sallittua no-

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

peutta ainakin 0,2–0,3 m/s. Realistinen sääntöjen rajanopeus, joka ottaa huomioon nopean kääntymisen poikittain on tämän arvion perusteella enintään 2,2–2,3 m/s.



Kuva 20a. PEGASOSin kaatumisen kulku, lastitilanne "kallistuskoe".



Kuva 20b. PEGASOSin kaatumisen kulku, lastitilanne "syväystiedot".

MSC HINAn potkurivirran johdosta PEGASOSiin osui poikittaisvirtaus, jonka koko lateraalipinnalle tasoitettu tehollinen virtauksen lisänopeus oli 0,8–0,7 m/s. Kaiken kaikkiaan PEGASOS kohtasi hyvin nopeasti virtauksen, jonka tehollinen nopeus oli 2,0–2,2 m/s. MKL:n vaatimusten mukaisten vakavuuslaskujen perusteella määritetty nopeusalue, jonka alus kestää, on edellä mainittu 2,02–2,25 m/s. Nopea kääntyminen aiheutti kallistavaan momenttiin lisäenergiaa, joka ylitti aluksen va-

kavuudessa vielä olleen reservin (MKL:n vaatima 0,01 mrad). Voidaan päätellä, että tuossa tilanteessa PEGASOSin vakavuus olisi riittänyt poikittaisnopeudelle, joka oli enintään 1,8–1,9 m/s. Tämä nopeusalue vastaa MSC HINAn nopeutta 2,0–2,3 solmua. Tutkinnan päätelmä on, että päällikön ohjailutoimenpiteiden johdosta PEGASOS osui potkurivirtaan virtausnopeuden ollessa jo selvästi yli aluksen vakavuuden sen hetkisen kestokyvyn.

Kallistuminen ei pysähtynyt suurellakaan kulmalla, koska GZ-käyrän kulku suurilla kulmilla on kahdessa tapauksessa heikko vaikka ovi olisi ollut kiinni ja kolmannessa tapauksessa ("syväys-tiedot") puuoven aukeaminen viimeistään johti aluksen kaatumiseen. Viimemainitussa tapauksessa teräsoven kiinniolo olisi saattanut antaa aikaa koukun laukaisuun. Joka tapauksessa oven kiinniolo olisi pienentänyt veden sisään virtauksen aukkoja noin puoleen, mikä olisi merkittävästi hidastanut uppoamista.

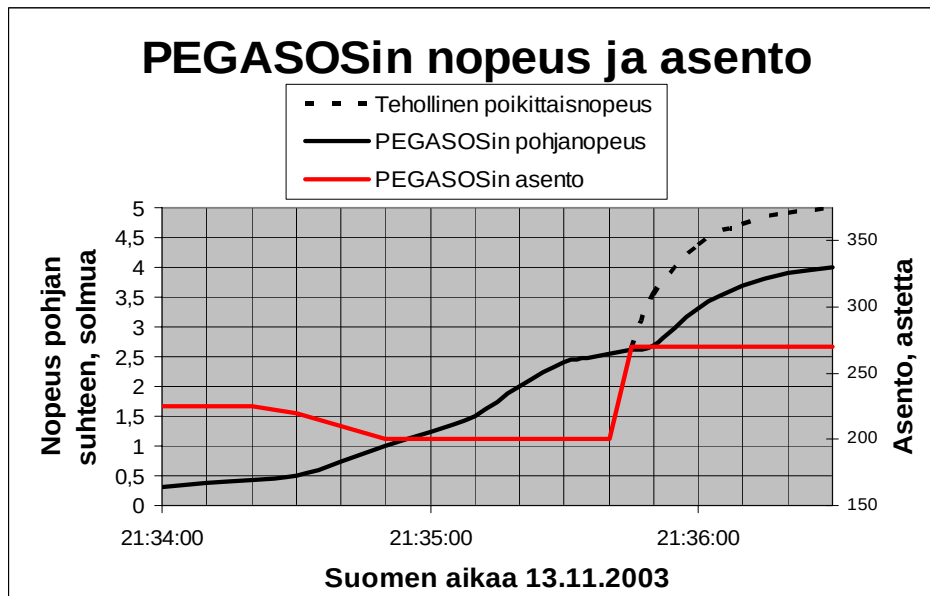
Puuoven avautumishetki ja vastaava kallistuskulma ovat arvioita. Lisäksi onnettomuushetken las-tilanne on jäänyt selvittämättä. Samoin käyrien kulku yli 50 asteen kallistuskulmilla on arvio. Näiden syiden vuoksi ei voida lausua varmoja päätelmiä teräsoven kiinniolon merkityksestä. Tutkijoiden käsitys on, että oven kiinniolo olisi hidastanut kaatumista ja uppoamista ja seurauksena onnettomuus olisi voinut johtaa vähemmän ikäviin seurauksiin.

4.3 Aikaan sidottu dynaaminen analyysi.

Tapahtuman ajallista kehittymistä on tarkasteltu periaatteellisella tasolla, jotta saadaan käsitys tapahtuman nopeudesta. On katsottu, että riittää laskea tilanne kallistuskulmaan noin 50 astetta, sillä tällöin alus menettää vakavuutensa kansirakennuksen oven auetessa. Kaatumisen tästä eteenpäin voidaan olettaa jatkuvan likimain samalla kulmanopeudella 75–80 asteeseen asti, jolloin kansirakennuksen ensimmäisen kerroksen yläpuoliset rakenteet kohtaavat veden.

Laskelmat perustuvat tietoon alusten nopeuksista ja arvioon PEGASOSin asennon muuttumisesta MSC HINAn koneen käynnistyksen jälkeen. PEGASOSin on arvioitu kääntyneen poikittain 5 sekunnissa sen jälkeen kun sen perä osui MSC HINAn potkurin jättövirtaukseen. Kallistavan momentin on oletettu kasvaneen täyteen arvoonsa nopeasti tässä ajassa. **Kallistava momentti** on verrannollinen poikittaisnopeuden neliöön ja vedenalaiseen lateraalipinta-alaan. **Oikaiseva momentti** on uppouma kertaa GZ(kallistuskulma). Kallistuskulma on edelleen ajan funktio, joka ratkaistaan. Sijoitetaan laskennan alku hetkeen, jossa PEGASOS alkaa kääntyä poikittain. Kuvassa 21 on PEGASOSin nopeudet ja asento (270° = poikittain).

Kuvassa 21 on otettu huomioon se, että PEGASOSin perästä vain osa kohtasi MSC HINAn potkurin jättövirtauksen heti siihen kääntymisen jälkeen. Kuvan 17b tilanne on otettu aikaan sidotun tarkastelun kohteeksi.

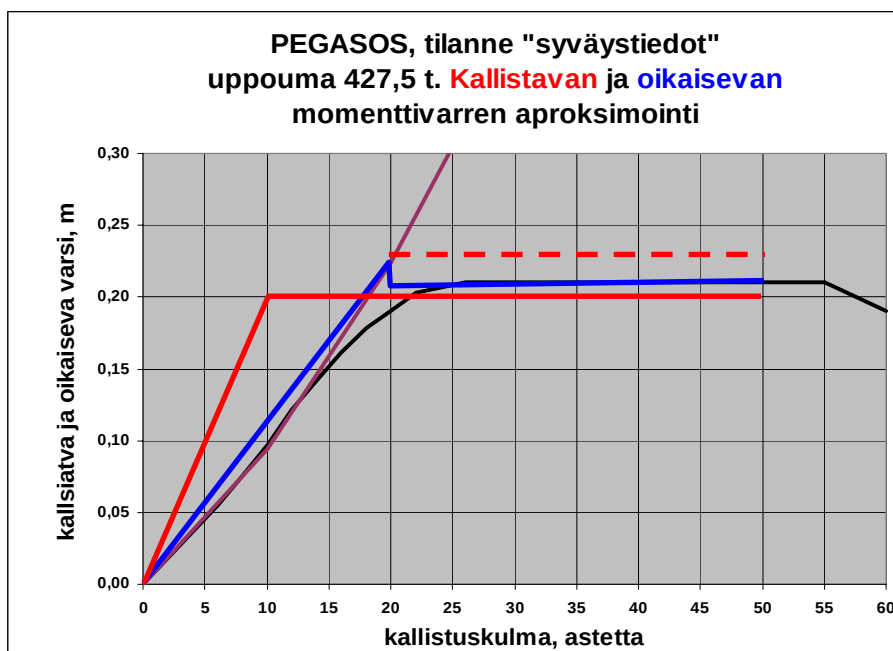


Kuva 21. PEGASOSin nopeus ja asento sekä hinaajan kohtaama tehollinen nopeus MSC HINAN alkaessa kiihdyttää.

Aluksen kallistumisen differentiaaliyhtälö on ratkaistu Mathcad-ohjelmalla²¹¹. Yhtälön kertoimien määrittelyssä on käytetty hyväksi alan oppikirjaa²¹². Momentit ja niiden approksimointi on esitetty kuvassa 22.

Kallistumisen differentiaaliyhtälö on:

$$I_{xx}\varphi''(t) + N_{xx}\varphi'(t) + \Delta \cdot GZ(\varphi(t)) = M_{kall}(t)$$



Kuva 22. PEGASOSin onnettomuustilanteen GZ-käyrän ja kallistavan momenttivarren approksimoinnin periaate. Katkoviivalla on otettu huomioon kallistavan momentin lisäenergia kallistumisen alkuvaiheessa.

²¹¹ Mathcad 2001i, Mathsoft

²¹² Jerzy Matusiak, Laivan kelluvuus ja vakavuus, Otatieto 557, 1995

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

Aluksi sekä kallistuskulma että kallistumisen kulmanopeus = 0. Laskenta on jaettu etappeihin, joiden rajana ovat joko oikeaisevaa tai kallistavaa momenttia approksimoivien funktioiden rajapisteet. Kunkin etapin lopputilanne, kallistuskulma ja kallistumisen kulmanopeus on seuraavan vaiheen alkuehto. Laskennan alussa "varastoon" jäävä kallistava energia on otettu huomioon siten, että kallistuskulman 20 astetta jälkeen kallistavaa momenttia on lisätty niin, että kulmaan 50 astetta mennessä kertyy vastaava energia.

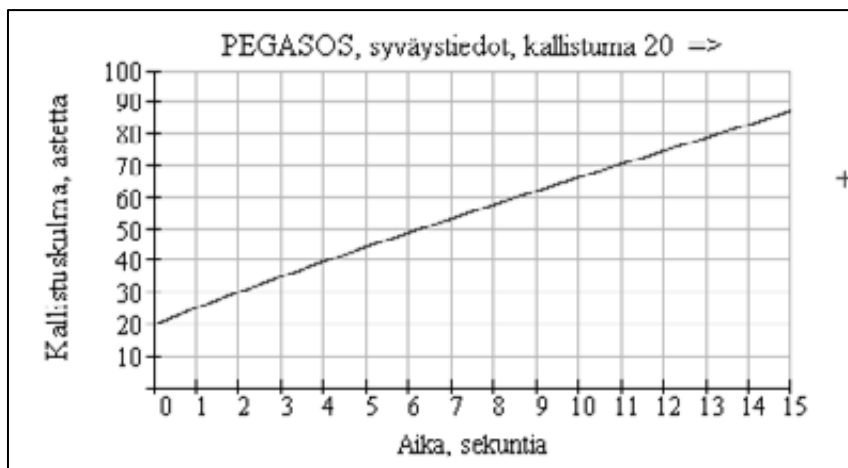
Differentiaaliyhtälössä termit ovat:

I_{xx} on PEGASOSin massahitausmomentti, joka sisältää mukana liikkuvan veden. Se on arvioitu likimääräisesti, ottamalla hitaussäteeksi 30 % PEGASOSin leveydestä ja lisäämällä siihen 15 % leveydestä mukana liikkuvan veden vaikutuksesta. Saadaan kun $m = 427500$ kg ja $B = 8,3$ m, (efektiivinen hitaussäde = 3,74 m) noin 6000000 kgm^2 .

N_{xx} on kallistumisen vaimennusmomentin kerroin, joka voidaan määrittää kaavasta

$$N_{xx} = 2 \cdot \xi \cdot \omega_{\phi} I_{xx}$$

jossa ξ on kriittisen vaimennuksen suhde ja ω_{ϕ} on laivan keinunnan ominaistajuus. PEGASOSille voidaan ottaa $\xi = 0,1$. Ominaistaajuus on noin $0,76 \text{ 1/s}$ ja vastaava keinunnan ominaishajotus $8,3 \text{ s}$, ($GM_0 = 0,82 \text{ m}$). Saadaan $N_{xx} = 912000 \text{ kgm}^2/\text{s}$. Jatkossa differentiaaliyhtälön molemmat puolet on jaettu I_{xx} :llä, jolloin se hieman yksinkertaistuu. Laskelmat on tehty vaiheittain; ensin noin 18 asteen kallistumaan, johon saakka molemmat momenttivarret kasvavat. Sitten on laskettu väli 18–20 astetta, jolloin oikeaiseva varsi kasvaa vielä ja kallistava varsi on vakio. Lopuksi on laskettu 20 asteesta eteenpäin siten, molemmat varret pysyvät vakioina. Kallistavaa vartta on suurennettu sen alkuvaiheessa keräämän energian kompensoimiseksi (kuva 22).



Kuva 23. PEGASOSin kallistumisen eteneminen, laskentaesimerkki. Kallistuminen 20 asteesta eteenpäin.

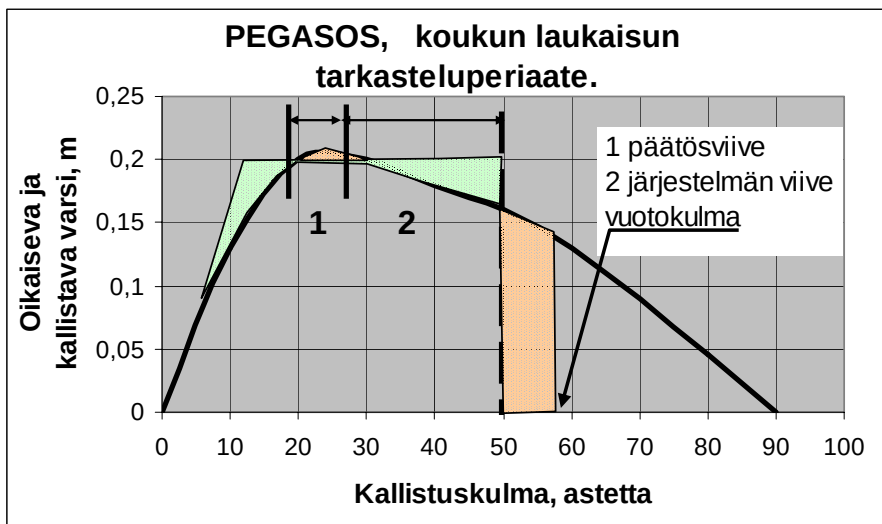
Näiden laskelmien mukaan kallistuminen 18 asteeseen tapahtuu 5 sekunnissa, 20 asteeseen 5,5 sekunnissa ja 50 asteeseen 11,5 sekunnissa. Oletettavasti muutaman lisäsekunnin kuluttua alus on ensin 75–80 astetta ja sitten edelleen muutamassa sekunnissa 90 astetta kallellaan. Laskelmiin sisältyvistä epätarkkuuksista huolimatta, voidaan tulosta pitää tilannetta kuvaavana. Huomionarvoista on, että kaatuminen tapahtuu hyvin nopeasti: laskelmien mukaan 10–15 sekunnissa, mikä sopii yhteen PEGASOSin päällikön ja MSC HINAN peräkannella olleiden kertomusten kanssa.

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

Yli 50 asteen kallistuskulmilla yhtälö ei enää kuvaa tilannetta lainkaan, koska mukaan tulevat mm. seuraavien tekijöiden vaikutukset: aluksen laidan yläosan iskeytyminen veteen, kansirakennuksen ylin kerros, veden valuminen aluksen sisään. Myös alkuvaihe on poikkeava PEGASOSin todellisesta tilanteesta, sillä perän kiertymistä on vaikea täsmällisesti ottaa huomioon. Lisäksi köyden vaikutus on jätetty tilanteen yksinkertaistamiseksi kokonaan pois. Lähtökohtana on keinumista kuvaava yhtälö, jota on sovellettu vastoin yhtälön perusoletuksia poikittain kiihtyvästi liikkuvaan ja kallistuvaan alukseen. Likimääräisyydestään huolimatta tarkastelu antaa kuvan tilanteen kehittymisen aikatekijöistä. Tilanne eteni aluksi hitaasti ja kallistumisen alkamisen jälkeen hyvin nopeasti. Loppuvaiheen hidastuminen on otettu huomioon kuvassa 28.

Koukun laukaisu. Alkuvaiheessa kallistuma johtui keulapotkurin ohjailun synnyttämästä kallistavasta momentista. PEGASOSin liikkuessa MSC HINAN vetämänä perä edellä olisi ollut vielä mahdollista laukaista koukku. Potkurin jättövirtaukseen kääntymisen jälkeen kallistuminen eteni niin nopeasti, että koukun laukaisu ei enää voinut estää kaatumista. On otettava huomioon, että reagointiaika eli päätös laukaista koukku ja osuminen painonappiin vievät joitain sekunteja. Lisäksi laukaisuhydrauliikassa on noin 5 sekunnin viive. Jotta koukku olisi ollut irti esim. 45 asteen kallistumalla, laukaisupäätös olisi pitänyt tehdä jo silloin, kun PEGASOS oli vielä MSC HINAN potkurin jättövirtauksen ulkopuolella. Kallistuma ei vielä silloin ollut varoittavana tekijänä. Kuitenkin oli vaara joutua avustettavan potkurin jättövirtaukseen. Koukun laukaisun yleisperiaatetta on tarkasteltu kuvassa 24.

Koukun laukaisua voidaan tarkastella energiaperiaatteella. Teoreettinen suurin kulma, jonka jälkeen alus vielä palautuu koukun irrottua, on kulma, jossa GZ-käyrän ja kallistavan varren väliin jäävä pinta-ala on yhtä suuri kuin GZ-käyrän alle ko. kulmasta eteenpäin jäävä pinta-ala (ja $GZ > 0$). Tätä rajakulmaa pienentävät mahdolliset veteen joutuvat aukot (vuotokulma).



Kuva 24. Koukun laukaisun tarkastelu. Jos on mahdollista, että avustuksen aikana voidaan kohdata avustettavan aluksen potkurin jättövirta, on erittäin tärkeää, että päätös koukun laukaisusta tehdään ajoissa. Vaikka alussa kertyvään kallistavaan energiaan ei ehditä vaikuttaa, sen kertyminen päättyy aiemmin ja kallistuminen ei ehkä etene vuotokulmaan saakka. Ruskean pinta-alan (oikaiseva) tulee olla vihreän pinta-alan (kallistava) suuruinen.

4.4 Säännöt täyttävä vakavuus

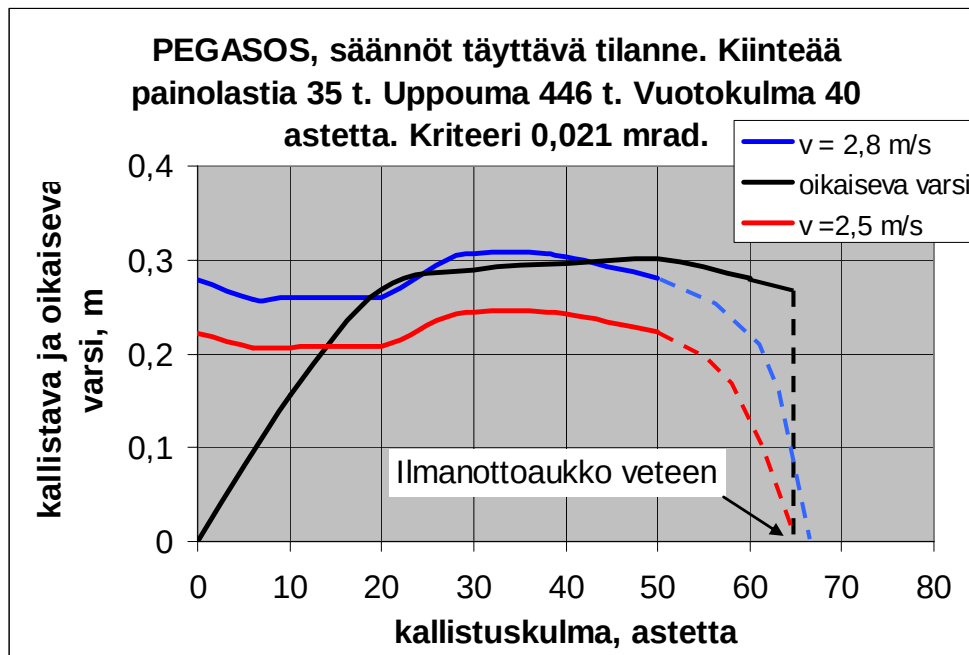
Kaatumisen staattinen tarkastelu

Oletetaan, että kallistuskokeen tulosten jälkeen PEGASOSin vakavuus olisi korjattu täyttämään MKL:n vakavuusmääräykset esim. siten, että aluksen keulapäähän olisi asennettu kiinteää painolastia. Tutkinnan laskelmissa sijoitettiin 35 tonnia mahdollisimman alas aluksen keulapäähän. Tällöin saadaan kuvan 25 mukainen tilanne. Aluksen uppouma on 446 tonnia. Kansirakennuksen ensimmäisen kerroksen ovet on oletettu säätiviiksi, jolloin vuotokulmaksi voidaan ottaa 40 astetta. Rajoittavaksi tulee ilmanottoaukon meno veteen. Kallistavan momentin kulku yli 50 asteen kallistuskulmilla on arvio.

MKL:n sääntöjen mukaan lasketulla kallistavalla momentilla ilman reserviä 0,01 mrad PEGASOS olisi saattanut kestää kaatamalla jopa poikittaisnopeuden 2,8 m/s, jos nopeus olisi kasvanut vähitellen. Alus olisi jäänyt noin 20 tai 43 asteen kallistumaan. Tällöin MSC HINAn nopeus olisi ollut noin 4,3 solmua, mikä olisi lähellä sen rajanopeutta PEGASOSin ollessa poikittain.

Poikittaisnopeudella 2,5 m/s PEGASOS olisi kestänyt oletetun tyypin nopean kääntymisen poikittain (kuva 22), sillä kallistavan momentin energiaa kompensoimaan olisi riittänyt pinta-alaa käyrien välissä (punainen ja musta), koska kansirakennuksen ovi on kiinni (musta olisi nyt ylempanä kuvassa 22). Myös MKL:n vaatima reservi sisältyy. Kuvan 26 mukaan alus jäisi lopulta noin 13 asteen kallistumaan.

MSC HINAn hieman yli 4,3 solmun nopeudella PEGASOS olisi kaatunut, jos koukkua ei olisi laukaistu. Kaatumiseen olisi kulunut enemmän aikaa, mikä olisi parantanut koukun laukaisun todennäköisyyttä.



Kuva 25. Eräs mahdollinen säännöt täyttävä lastitilanne ja kallistava momenttivarsi kahdella virtausnopeudella.

Edellä on oletettu, että kallistavan momentin kasvu täyteen arvoonsa kestää 5 sekuntia. Jos oletetaan **ääritapaus**, jossa se alkaa vaikuttaa välittömästi kuten kuvassa 4, saadaan seuraava vaatimus GZ:lle. Oletetaan, että kuvassa 25 GZ on noin 0,4 m. Kallistava momentti tekee työn 0,028

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

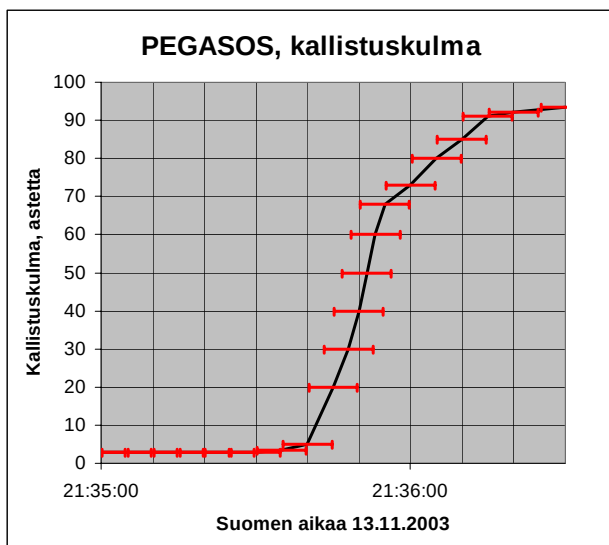
mrاد²¹³. Tämän plus MKL:n reservin 0,01 mrad saavuttamiseksi GZ:n tulee olla kallistuskulma-alueella 20–40 astetta noin 0,36 m²¹⁴. tai välillä 20–50 astetta 0,31 m.

Venäjän Rekisterin säännöistä²¹⁵ (tämän liitteen sivu 50) saadaan vastaavasti vaatimus GZ:n alle jääväksi pinta-alaksi noin 0,21 mrad laskettuna vuotokulmaan asti. Jos otetaan vuotokulmaksi 40 astetta ja GZ:n kuluksi sama kuin edellä, saadaan vaatimukseksi 0,46 m²¹⁶. Venäjän rekisteri ei rajoita vuotokulmaa 40 asteeseen. Jos otetaan rajaksi PEGASOSin maksimiarvo 42 astetta, pienenee GZ-vaatimus noin 3 cm. Venäjän Rekisterin mukaisissa laskelmissa kaikki ovet oletetaan avoimiksi. Tämän johdosta vuotokulman suurentaminen edellyttäisi kansirakennuksen ovien kynnysten siirtämistä ylemmäs. PEGASOSin parametrit omaavan hinaajan on hyvin vaikea täyttää Venäjän Rekisterin vakavuusvaatimukset. Aluksen tulisi olla leveämpi ja koukun momenttipisteen alempana.

Laskelmat vastaavat myös Norjassa²¹⁷, USA:ssa ja Neuvostoliitossa tehtyjä mallikokeita, joissa rajanopeudeksi poikittaishinauksessa osoittautui noin 2,5 m/s^{218,219}.

4.5 Yhteenveto kaatumisesta

Seuraavassa kuvassa 26 on esitetty tutkijoiden käsitys PEGASOSin kaatumisen etenemisestä ajallisena haarukkana.



Kuva 26. PEGASOSin kaatuminen aikaan sidottujen askelmien mukaan.

Edellä olevissa laskelmissa partaan vaikutus ei ole näkyvissä. Alkuvaiheessa se hidasti kallistumista, mutta klyysien ja varsinkin partaan reunan mennessä veteen, kallistuminen nopeatui.

²¹³ $15 \times 0,5 \times 0,215 / 57,3 = 0,028$ mrad.

²¹⁴ $(0,36 - 0,23) \times 17 / 57,3 = 0,038$ mrad.

²¹⁵ Venäjän Rekisterin säännöt perustuvat nopeasti vaikuttavaan kallistavaan momenttiin

²¹⁶ $0,5 \times 0,46 \times 28 / 57,3 + 0,46 \times 12 / 57,3 = 0,21$

²¹⁷ Jan R. Getz and Ernst Bakke, Stability of Tugs, The Effect of Athwartship Towrope Pull, Skipsteknisk Forskningsinstitut, meddelelse nr. 25, February 1959

²¹⁸ J.R. Army, R.E. Johnson, E.R. Miller, Development of Intact Stability Criteria for Towing and Fishing Vessels, SNAME Transactions vol 84, 1976

²¹⁹ Normative and Methodical Matters, Book 5, paragraph 2.5, Additional Requirements for Towing Vessels, 1988, Russian Maritime Register of Shipping, venäjäksi

5. VIRANOMAISTEN JA LUOKITUSLAITOSTEN VAKAVUUSMÄÄRÄYKSET

Seuraavassa on tarkasteltu erilaisia hinaajien vakavuuskriteerejä ja verrattu niitä keskenään ja suomalaisiin kriteereihin. Samalla on selvitetty miten PEGASOSin vakavuus hinaustilanteessa onnettomuushetkeä haarukoivien lastitilanteiden ääritilanteissa täytti nämä vaatimukset. Laitoksen nimen perässä on merkintä ST (*self-tripping*), jos säännöt perustuvat hinaajan omista propulsiolaitteista syntyvään kallistavaan momenttiin ja merkintä TT (*tow-tripping*), jos säännöt perustuvat poikittaisvirtaukseen.

5.1 Ulkomaiset määräykset

IACS (ST)

Kansainvälinen luokituslaitosten yhteisjärjestö IACS²²⁰ on julkaissut hinaajia koskevat suositukset, jotka ovat seuraavat (jos hallinnolla ei ole omia vaatimuksia):

1. IMO Res. A.749(18) Chapter 3.1 tai Chapter 4.5. Lisäksi otettava huomioon lisäykset MSC Resolution 75(69) mukaisesti.
2. lisäksi laskettava tilanne kun 70 % maksimipaaluvedosta vaikuttaa alukseen poikittain, toisella ao. vaihtoehdolla
 - a. oikaisevan ja kallistavan varren väliin jäävän alan tulee olla vähintään 0,09 mrad. Ala lasketaan käyrien ensimmäisestä leikkauspisteestä toiseen tai vuotokulmaan asti, riippuen siitä kumpi on pienempi
 - b. oikaisevan varren alle jäävän alan tulee olla vähintään 1,4 kertaa kallistavan varren alle jäävä ala. Ala lasketaan nolla asteesta toiseen käyrien leikkauspisteeseen tai vuotokulmaan riippuen siitä kumpi on pienempi.

Kallistava varsi lasketaan kaavasta $b_h = 0,7 \cdot T \cdot H \cdot \cos \Theta / 9,81 \cdot \Delta$,

b_h = kallistava varsi, m

T = maksimi paaluveto, kN

H = pystysuora etäisyys kourusta potkuriakselille

Δ = lastitilanteen uppouma

Θ = kallistuskulma

PEGASOSilla $T = 206 \text{ kN}$, $H = 5,0 \text{ m}$. Saadaan, vaatimus a: "kallistuskoe" 0,008 mrad, "tankkitiedot" ≈ 0 ja "syväystiedot" 0,020. Vaatimukset eivät siis täyty. **PEGASOS ei olisi täyttänyt IACS:n vakavuusvaatimuksia. Nehän eivät olleet vielä tuolloin voimassa.**

Det Norske Veritas²²¹ (ST)

Vakavuuden riittävyys arvioidaan tilanteessa, jossa hinausköysi ei ole samansuuntainen hinaajan keskiviivan kanssa. Hinausköyden aiheuttama poikittainen kallistava momentti tulee perustua maksimaaliseen paaluvetoon, BP, sivusuunnassa. Konventionaalisella propulsiolla voima ei saa olla pienempi kuin 60 % maksimaalisesta jatkuvasta paaluvedosta eteenpäin. Kallistavan momentin varsi a on pystysuora etäisyys hinauspisteestä potkuriakselille. Kriteeri $0,6 \cdot BP \cdot a / \text{uppouma}$

²²⁰ International Association of Classification Societies, REC 24-1, Revision 5 2004

²²¹ Rules for Ships, January 2002, Pt.5 Ch. 7 Sec. 2 TUGS. E. Stability and Watertight Integrity

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

tulee olla alle $0,5 \cdot GZ_{\max}$. Jos $GZ_{\max}$ on yli 30 asteen kulmalla, tulee käyttää GZ_{30} . Maksimi GZ :n tulee vastata korkeinta sallittua painopisteen asemaa.

PEGASOSille saadaan tilanteessa "kallistuskoe" $0,6 \cdot 206 \cdot 5,0 / 369,7 \cdot 9,81 = 0,170$, tilanteessa "tankkitiedot" $0,6 \cdot 206 \cdot 5,0 / 408,5 \cdot 9,81 = 0,154$ ja tilanteessa "syväystiedot" $0,6 \cdot 206 \cdot 5,0 / 435 \cdot 9,81 = 0,145$. Tuloksen tulisi olla alle 0,5 kertaa maksimi oikaiseva varsi eli alle $0,5 \cdot 0,17 - 0,21 = 0,085 - 0,105$, joten kriteeri ei täyty. **PEGASOSin vakavuus ei täyttänyt Det Norske Veritasin vakavuusvaatimuksia.**

Laskelmat on tehty onnettomuustilannetta haarukoivissa lastitilanteissa, joten korkeinta sallittua painopisteen asemaa ei ole tarkasteltu.

Lloyds Register of Shipping²²²

Vakavuuden tulee olla hallintoa tyydyttävä. **Vaatus ei täyty, koska vakavuus ei täytä Merenkululaitoksen kaikkia vaatimuksia.**

Germanischer Lloyd²²³

Hinaajille, jotka avustavat aluksia satamissa on asetettu seuraavat lisävaatimukset: $GM \geq 0,60$ m, $GZ_{30} \geq 0,30$ m ja vakavuuslaajuus ≥ 60 astetta.

Taulukko 4. PEGASOS ja Germanischer Lloydin vakavuusvaatimusten täyttyminen. Huomaus*: Vakavuuslaajuusvaatimus olisi täyttynyt, jos kansirakennuksen asuintiloihin johtavan oven ulkoinen teräsovi olisi ollut säätiiviisti suljettu.

Suure	vaatus	"kallistuskoe"	"tankkitiedot"	"syväystiedot"
GM, m	vähintään 0,6	0,34	0,63	0,55
GZ 30 astetta	vähintään 0,3	0,20	0,16	0,21
Vakavuuslaajuus	vähintään 60	42/yli 60 astetta*	40/yli 60 astetta*	35/yli 60 astetta*

PEGASOSin vakavuus ei täyttänyt Germanischer Lloydin mukaisia vakavuusvaatimuksia.

Bureau Veritas²²⁴ (ST)

Vakavuuden riittävyys arvioidaan tilanteessa, jossa hinausvoima vaikuttaa hinaajan sivusuuntaan. Kaikki vakavuuslaskelmien lastitilanteet lukuun ottamatta kevyttä alusta on tarkastettava seuraavasti. Lasketaan työnnöstä johtuvan kallistavan momentin ja GZ -käyrän väliin jäävä pinta-ala A staattisen tasapainokulman Θ_C ja erikseen määritetyn rajakulman Θ_D välillä, kuva 27. Pinta-ala A tulee olla vähintään 0,011 metriradiaania. Rajakulma Θ_D on pienin kulmista Θ_M , vuotokulma tai 40 astetta.

Kallistavan momentin varsi lasketaan kaavasta

$$T \cdot H \cdot \cos \Theta / 9,81 \cdot \Delta, \text{ jossa}$$

T = maksimi paaluveto (206 kN), H = pystysuora etäisyys hinaus pisteestä syvyyden puoliväliin, Δ = uppouma. Suojaisilla vesialueilla riittää täyttää vaatimus GM :n suhteen.

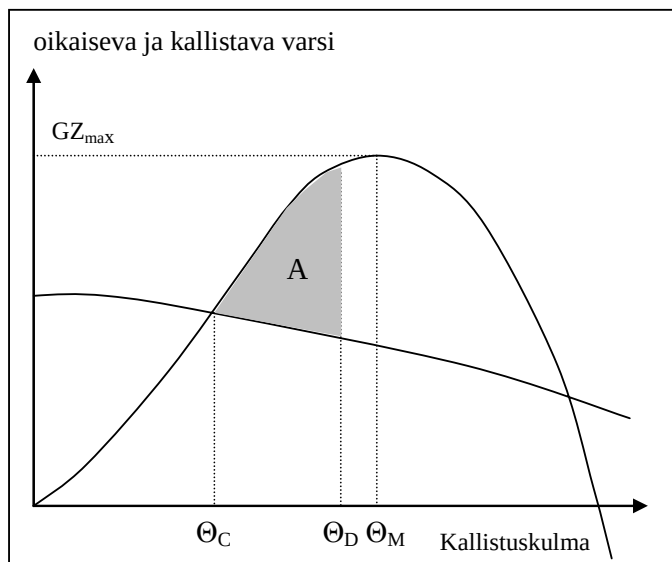
²²² Rules and Regulations for the Classification of Ships, Part 4, Ship Structures (Ship Types)

²²³ Rules for Classification and Construction. I - Ship Technology, Part 1-Seagoing Ships, Chapter 1-Hull Structures, Section 25 Tugs, 1997

²²⁴ Rules for the Classification of Steel Ships, Pt E, Ch.14 sec 2 Hull and Stability

Italialaisella luokituslaitoksella (RINA) on täsmälleen samanlaiset vaatimukset kuin Bureau Veritasilla

PEGASOSilla Saadaan laskemalla vuotokulmaan asti: "kallistuskoe"(H = 4,55 m) 0 mrad, "tankkitiedot"(H = 4,45m) 0 ja "syväystiedot"(H =4,39, vuotokulma 35 astetta) 0,005. Kahdessa ensimmäisessä tapauksessa kallistavan momentin käyrä kulkee oikeasevan yläpuolella. Vaatimukset eivät siis täyty. **PEGASOS ei täyttänyt Bureau Veritasin vakavuusvaatimuksia.**



Kuva 27. Bureau Veritasin tapa määrittää hinaajan vakavuuskriteeri.

American Bureau of Shipping²²⁵ (ST)

Hinaajan tulee täyttää hyväksyttävät vakavuuskriteerit kaikissa hinauksen lastitilanteissa. Hallinnon antama todistus tästä on riittävä. Vaihtoehtona on, että ABS tarkastaa vakavuuden riittävyyden seuraavien kriteerien mukaisesti.

Alkuvaihtokeskuskorkeuden tulee olla vähintään 0,15 m. Staattiselle vakavuuskäyrälle on asetettu seuraavia vaatimuksia. Käyrän alle jäävä pinta-ala nollasta kulmaan 30 astetta asti tulee olla vähintään 0,055 mrad ja vähintään 0,09 mrad 40 asteeseen tai vuotokulmaan, jos se on alle 40 astetta, saakka. Lisäksi alan välillä 30–40 astetta, tai 30 - vuotokulma, jos se on alle 40 astetta, tulee olla vähintään 0,03 mrad. Oikaisevan varren tulee olla vähintään 0,20 m kallistuskulmalla ≥ 30 astetta. Maksimivarren tulee olla yli 25 asteen kulmalla.

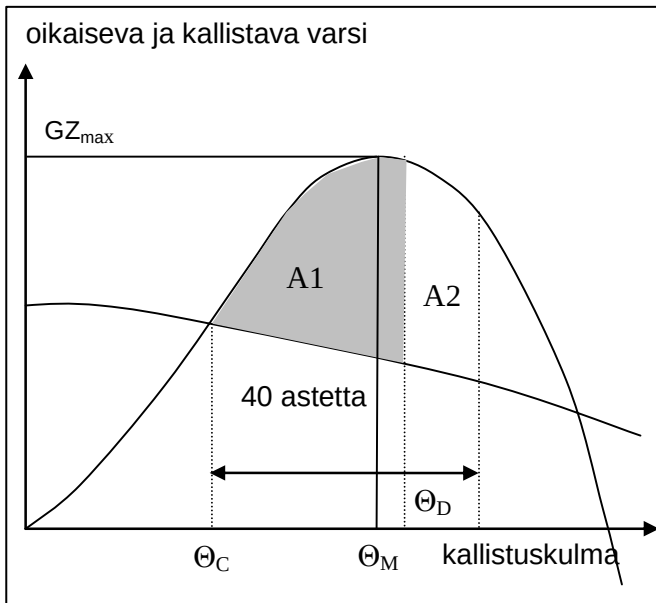
Dynaamiselle vakavuusreserville poikittaisen työnnön suhteen on seuraava vaatimus: (katso kuva 28). Alan A1 + A2 tulee olla vähintään 0,09 mrad Jos vuotokulma Θ_D on pienempi kuin $\Theta_C + 40$ astetta, vain A1 otetaan mukaan.

Poikittaisen työnnön kallistavan momentin käyrä lasketaan perustuen maksimi paaluvetoon, josta otetaan kallistavana huomioon propulsiolaitteen tyypistä riippuen 50 - 70 %. Konventionaalisella

²²⁵ ABS Rules for Building and Classing Steel Vessels under 90 Meters in Length 2001. Part 5, Chapter 8, Appendix 1 Intact Stability Guidelines for Towing Vessels

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

hinaajalla käytetään 50 %. Kallistava momentti muuttuu $\cos\Theta$ mukaisesti. Tuloksena on BV:n kallistava momentti²²⁶ jaettuna 2:lla.



Kuva 28. American Bureau of Shippingin tapa määrittää hinaajan vakavuuskriteeri.

PEGASOS täytti osittain ABSin vaatimukset, kuten seuraavasta taulukosta on nähtävissä. Pak-sulla kirjasimella on näytetty arvot, jotka eivät täytä vaatimuksia.

Taulukko 5. PEGASOS ja ABS:n vaatimukset. Huomautus*: nämä arvot saavutetaan, jos kansirakennuksen ovi on säätiivis.

Suure	vaatimus	"kallistuskoe"	"tankkitiedot"	"syväystiedot"
GM	vähintään 0,15	0,34	0,63	0,55
GZ 30 astetta	vähintään 0,2	0,20	0,16	0,21
GZ max:n kulma	vähintään 25	30	22	30–50
ala 0-30	vähintään 0,055	0,059	0,063	0,068
ala 30-40	vähintään 0,03	0,031	0,022	0,018
ala 0-40	vähintään 0,09	0,090	0,085	0,086
A1 + A2	vähintään 0,09	0,026*	0,020*	0,033*

US Coast Guard²²⁷ (ST)

Kaikissa hinauksen lastitilanteissa GZ-käyrän tulee täyttää seuraavat vaatimukset: GZ:n maksimiarvo tulee olla vähintään 25 asteen kulmalla. Vakavuuslaajuuden tulee olla vähintään 60 astetta. GZ-käyrän alle jäävä ala tulee olla vähintään 0,09 mrad laskettuna pienimpään kulumista Θ_M , vuotokulma, 40 astetta saakka. Lisäksi GZ-käyrän alle jäävä ala tulee olla vähintään 0,03 mrad kulumista 30 astetta pienempään kulumista 40 astetta ja vuotokulma.

Lisäksi US Coast Guardilla on kriteeri potkureiden synnyttämän kallistavan momentin vaikutuksen huomioonottamiseksi. Ensinnäkin lasketaan alkuvaihtokeskuskorkeuden GM pienin sallittu arvo seuraavalla kaavalla:

²²⁶ Varsi lasketaan koukusta uppouman painopisteen korkeuteen tai likimääräisenä syvyyden puoliväliin

²²⁷ 46 CFR Ch I(10-1-03 Edition), Subpart E-Special Rules Pertaining to Tugboats and Towboats, pykälä 174.145

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

$$GM = N \cdot s \cdot h \cdot B \cdot (P \cdot D)^{2/3} / K \cdot f \cdot \Delta, \text{ jossa}$$

N = potkureiden lukumäärä

s = se osa potkurin kehän muodostaman sylinterin poikkipinnasta, joka osuu peräsimeseen, jota on käännetty 45 astetta

h = potkuriakselin pystysuora etäisyys hinauspisteestä, m

B = aluksen leveys, m

P = potkurikoneiston teho, kW

D = potkurin halkaisija, m

f = varalaidan minimikorkeus aluksen pituudella, m

Δ = aluksen uppouma, t

K = 13, 93

Toiseksi, lasketaan kallistava momenttivarsi HA seuraavasta kaavasta:

$$HA = 2 \cdot N \cdot s \cdot h \cdot \cos\phi \cdot (P \cdot D)^{2/3} / K \cdot \Delta \quad \text{jossa}$$

merkinnät ovat samat kuin yllä ja ϕ on kallistuskulma.

Kallistava momentti piirretään samaan kuvaan GZ:n kanssa. Tällöin jäljelle jäävä oikeasevan energian (GZ- käyrän ja kallistavan varren käyrän väliin jäävän pinta – alan) tulee olla vähintään 0,01065 mrad laskettuna pienimpään kulumista Θ_M , Θ_D tai 40 astetta saakka.

Taulukko 6. PEGASOS ja US Coast Guardin vaatimukset

Suure	vaatimus	"kallistuskoe"	"tankkitiedot"	"syväystiedot"
vakavuuslaajuus	vähintään 60	42/yli 60 astetta*	40/yli 60 astetta*	35/yli 60 astetta*
GZ max:n kulma	vähintään 25	30	22	30–50
ala $0-\Theta_M/\Theta_D/40$	vähintään 0,09	0,055	0,036	0,085
ala 30-40	vähintään 0,03	0,031	0,022	0,018
GM-vaatimus	lasketaan	0,84	1,14	0,79
GM, todellinen		0,34	0,63	0,55
käyrien välinen ala $0-\Theta_M$	vähintään 0,01065 mrad	0	0	0,005

PEGASOS täytti vain eräitä US Coast Guardin vaatimuksia

Russian Maritime Register of Shipping²²⁸ (TT)

Hinaajien staattisen vakavuuden vaatimukset noudattavat yleisiä aluksille asetettuja vaatimuksia: GZ:n maksimiarvon tulee olla vähintään 0,25 m kallistuskulman ollessa vähintään 30 astetta, vakavuuslaajuus 60 astetta tai yli, GM > 0. Jään muodostus on otettava huomioon.

Hinaajien dynaaminen vakavuus hinaustilanteessa tarkistetaan laskelmalla, joka perustuu kaavojen ja taulukkojen käyttöön²²⁹. Menetelmä perustuu Venäjällä tehtyihin mallikokeisiin, teoreettisiin laskelmiin ja onnettomuustilastojen analysointiin. Kriteeri perustuu poikittain olevaan hinaajaan kohdistuvaan äkkinäiseen vetoon. Vaikuttavina tekijöinä ovat hinauspisteen paikka, hinaajan

²²⁸ Rules for the Classification and Construction of Sea-going Ships, Volume 1, Edition 1999. Part IV. Stability, 3.7 Tugs
²²⁹ Normative and Methodical Matters, Book 5, paragraph 2.5, Additional Requirements for Towing Vessels, 1988, Russian Maritime Register of Shipping, venäjäksi

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

päämitat, hinaajan painopisteen paikka. Maksimaalinen poikittaisnopeus on 2,5–2,6 m/s, jolloin hinaajan kallistuma ulottuu vuotokulmaan tehtyjen mallikokeiden mukaan. Vuotokulmaa määritettäessä oletetaan, että ovet ovat auki. Jäätymistä eikä vapaita nestepintoja oteta näissä dynaamisissa laskelmissa huomioon. Hinaustilanteen dynaamisen vakavuuden tulee täyttää kriteeri

$$K_1 = (I_{dcaps}/I_{dh})^{1/2} \geq 1,00$$

jossa I_{dcaps} on dynaaminen vakavuusvarsi vuotokulmalla ja I_{dh} on kallistava dynaaminen varsi laskettuna kaavojen ja taulukoiden avulla. Tämä kriteeri vastanee parhaiten PEGASOSin onnettomuustilannetta.

*PEGASOSilla kriteerin arvoksi tulee 0,65–0,74 onnettomuustilannetta haarukoivissa lastitilanteissa. **PEGASOSin** vakavuus onnettomuustilanteessa ei täyttänyt venäläisiä vaatimuksia (GM vaatimusta ja vakavuuslaajuutta lukuun ottamatta).*

Department of Transport (DoT), UK²³⁰

Normaalissa työskentelytilanteessa kansi ei saa mennä veteen alle 10 asteen kallistumalla. Alkuvaihtokeskuskorkeuden GM tulee pahimmassa mahdollisessa lastitilanteessa olla suurempi kuin $0,076 \cdot K/f \cdot C_B$, jossa K on $1,524 + 0,08L - 0,45r$ ja f on varalaita, C_B on rungon täyteläisyysaste, L on perpendikkelpituus ja r on hinauskoukun kaaren säde.

*Tilanteessa ”**kallistuskoe**” kansi meni veteen yli 10 asteen kallistumalla, GM-vaatimus on 0,26, joten laskettu 0,34 riitti. Tilanteessa ”**tankkitiedot**” kansi meni veteen alle 10 asteen kallistuskulmalla, GM-vaatimus oli 0,4, joten laskettu 0,63 riitti. Tilanteessa ”**syväystiedot**” kansi meni veteen yli 10 asteen kallistuskulmalla, GM-vaatimus oli 0,3, joten laskettu 0,55 riitti. **PEGASOS** täytti pääosin DoT:n vakavuusvaatimukset.*

Onnettomuustilannetta haarukoivat lastitilanteet eivät välttämättä vastaa DoT:n vaatimuksia, sillä tilanteen tulisi olla pahin mahdollinen.

Sjöfartsverket, Ruotsi²³¹ (ST)

Vuoden 1993 vaatimukset olivat samat kuin ABSin yleiset lisättynä vakavuuslaajuutta koskevalla vaatimuksella, vähintään 60 astetta. *PEGASOS ei täyttänyt kaikkia Sjöfartsverketin vaatimuksia.* Uudet, vuoden 2006 vaatimukset sisältävät edellisen lisäksi vaatimuksen, että kallistava varsi ei saa olla yli puolta oikeasevan varren maksimiarvosta. Vaatimus on sama kuin Det Norske Veritasilla.

5.2 Suomen Merenkululaitoksen vakavuusmääräykset²³² (ST ja TT)

Perinteisen tyyppisille hinaajille merenkululaitoksella on valmis kaavojen käyttöön perustuva menettely. Menettely kehitettiin 1970-luvulla Yhdysvalloissa tehdyn tutkimuksen pohjalta²³³. Tutkimuksen tarkoituksena oli luoda perusteet US Coast Guardin vakavuusvaatimuksille. Kuten edellä käy ilmi, nykyisin yhdysvaltalaiset vaatimukset perustuvat toisenlaiseen lähtökohtaan.

²³⁰ Merchant Ship Notice No. M.1531, June 1993

²³¹ Sjöfartsverkets författningssamling, SJÖFS 1993:3, Sjöfartsverkets kungörelse med föreskrifter om fartygs stabilitet och fri-bord

²³² Merenkululaitoksen tiedotuslehti 9.12.1985, No 17/85, Hinaajien vakavuusmääräykset

²³³ J.R.Amy, R.E.Johnson, E.R.Miller, Development of Intact Stability Criteria for Towing and Fishing Vessels, Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 84, 1976

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

Muun tyyppiset kuin ilman ohjailupotkureita olevat konventionaaliset hinaajat joutuvat erityistarkasteluun. POSEIDON on perinteinen, mutta PEGASOS ei ollut perinteinen keulapotkurin asennuksen jälkeen. Seuraavassa on kuitenkin sovellettu molempiin perinteisen hinaajaan menettelyä. Kun PEGASOSiin lisätään keulapotkuri, sen tilanne huononee entisestään. Kummankin hinaajan aiemmissa laskelmissa on käytetty seuraavia, niille nykyisinkin voimassaolevia kaavoja, joilla lasketaan kallistava momenttivarsi k kahdessa tilanteessa. (Katso myös liite 1, kuva 7, josta näkyy, että kaavat on johdettu yksinkertaisista fysikaalisista periaatteista. Mallikokeisiin perustuen on hinaajien parametrien vaikutus otettu MKL:n kaavoissa likimääräisesti huomioon):

$$k_1 = 0,05 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot V^2 \cdot A (h \cdot \cos\phi - r \cdot \sin\phi + C_3 \cdot d)/\Delta, \quad \text{poikittaisnopeuden aiheuttama}$$

Kerroin 0,05 on pyöristetty jakolaskusta $\frac{1}{2} / 9,81$.

$$k_2 = 0,07 \cdot C_4 \cdot T (h \cdot \cos\phi - 0,8 \cdot r \cdot \sin\phi + 0,5 \cdot d)/\Delta \quad \text{sivuttaistyönnön aiheuttama}$$

Kerroin 0,07 on pyöristetty jakolaskusta $0,7 / 9,81$. Kerroin 0,7 tarkoittaa, että työnnöstä on oletettu vaikuttavan sivusuuntaan 70 %. Hinauskoukun säde r on kerrottu luvulla 0,8, koska pahimmassa tapauksessa hinaaja ja köysi muodostavat noin 55 asteen kulman edellä mainitun viitteen mukaan. Hinauskoukun säde on kerrottava luvulla $\sin\alpha$, jossa α on hinausköyden ja hinaajan pitkästä akselista välinen kulma. Saadaan $\sin 55 = 0,819 \approx 0,8$

Kertoimille $C_1 \dots C_4$ on saatu seuraavat lausekkeet perustuen Yhdysvalloissa tehtyihin mallikokeisiin:

$C_1 = 2 l/L$, kuitenkin enintään 1,0 on vastuskerroin koukun pituussuuntaisen paikan funktiona

$C_2 = 0,3 \phi/\phi_k + 0,5$, kuitenkin vähintään 1,0

vastuskertoimen korjauskerroin; aluksen kallistuessa kansirakennus, parras tms. joutuvat veteen ja vastus kasvaa

$C_3 = 0,2 \phi/\phi_k + 0,4$, vähintään 0,5 ja enintään 0,85

aluksen vedenalaisen lateraalipinnan painopisteen paikka alaspäin vesiviivasta. Sivuttaistyönnön k_2 kaavassa vedenalaisen lateraalipinnan painopisteen paikka on syvyyden puolivälissä.

$C_4 = 4 l/L$, kuitenkin enintään 1,0 on vastuskerroin koukun pituussuuntaisen paikan funktiona

V = poikittaisnopeus, normaalisti 2,5 m/s

A = vedenalainen lateraalipinta

d = aluksen keskimääräinen syväys

h = hinauspisteen korkeus vesiviivan yläpuolella

L = aluksen luotiviivapituus

l = hinauspisteen vaakasuora etäisyys peräluotiviivasta

r = hinauskaaren säde

T = aluksen staattinen paaluveto, kN

Δ = aluksen uppouma

ϕ = kallistuskulma

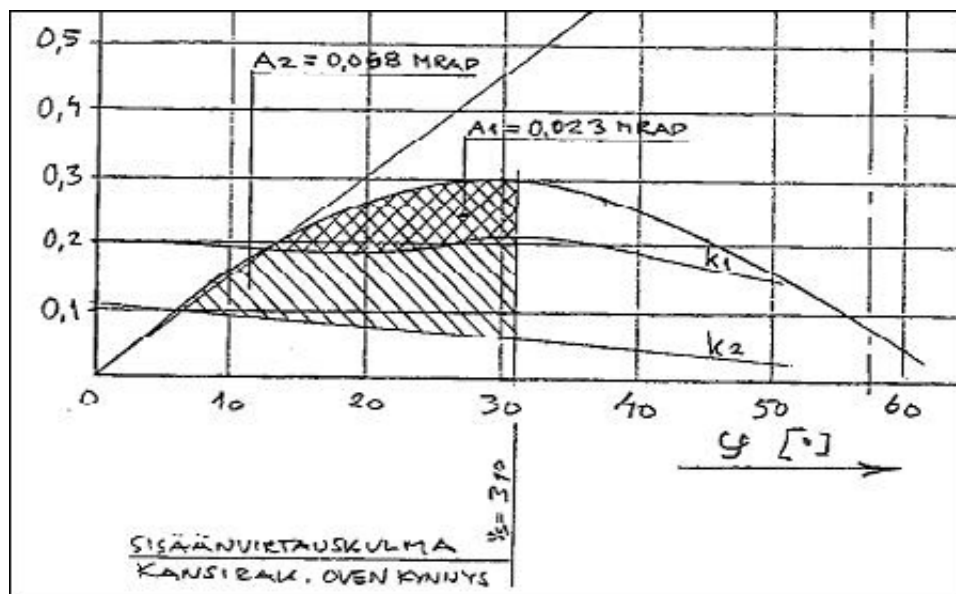
ϕ_k = kulma, jolla kannen reuna menee veteen

Kaavat ovat käyttökelpoisia vain perinteisille hinaajille. Lisäksi on muistettava, että ne perustuvat hyvin suppeaan mallikoeaineistoon.

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

Lasketut kallistavat momenttivarret k_1 ja k_2 piirretään samaan kuvaan GZ-käyrän kanssa. Laskeetaan kallistavan momentin ja GZ-käyrän väliin jäävä pinta-ala. Se voidaan laskea pienempään kulmista vuotokulma tai 40 astetta saakka. MKL:n vaatimus on, että pinta-alan tulee olla vähintään 0,01 mrad. Tarkastelu tulee tehdä pahimmaksi arvioidussa lastitapauksessa. Seuraavassa kuvassa 29 on esimerkki laskelmasta. Se on alkuperäinen PEGASOSille vuonna 1993 tehty.

Käytännössä GZ-käyrän ja kallistavan momentin käyrän muodostaman alueen leveys on usein noin 20 astetta, jolloin saadaan vastaavaksi momenttivarreksi noin 3 cm, joka vastaa noin 15 % reserviä²³⁴. PEGASOSin uppoumalla tämä vastaa 12 tm kallistavaa momenttia. Tutkinnassa on tarkasteltu vain kriteeriä k_1 , koska se on PEGASOSilla selvästi suurempi.



Kuva 29²³⁵. PEGASOSin alkuperäinen MKL:n kriteerin mukaisen laskelman tulos.

5.3 PEGASOSin vakavuus MKL:n määräysten mukaan

Onnettomuustilanteen lastitilanne ei ole tutkinnassa selvinnyt. Ristiriitaisten tietojen johdosta on valittu kolme lastitilannetta, joiden on oletettu haarukoivan onnettomuushetken tilannetta. Kallistuskokeen pohjalta on saatu yksi lastitilanne, kaksi muuta perustuvat ensimmäisessä meriselityksessä saatuihin tietoihin. Niistä on käytetty seuraavia nimityksiä: "kallistuskoe", "tankkitiedot" ja "syväystiedot". Niiden oleelliset tiedot ovat seuraavassa taulukossa 7.

Taulukko 7 Onnettomuustilannetta haarukoivien lastitilanteiden tiedot.

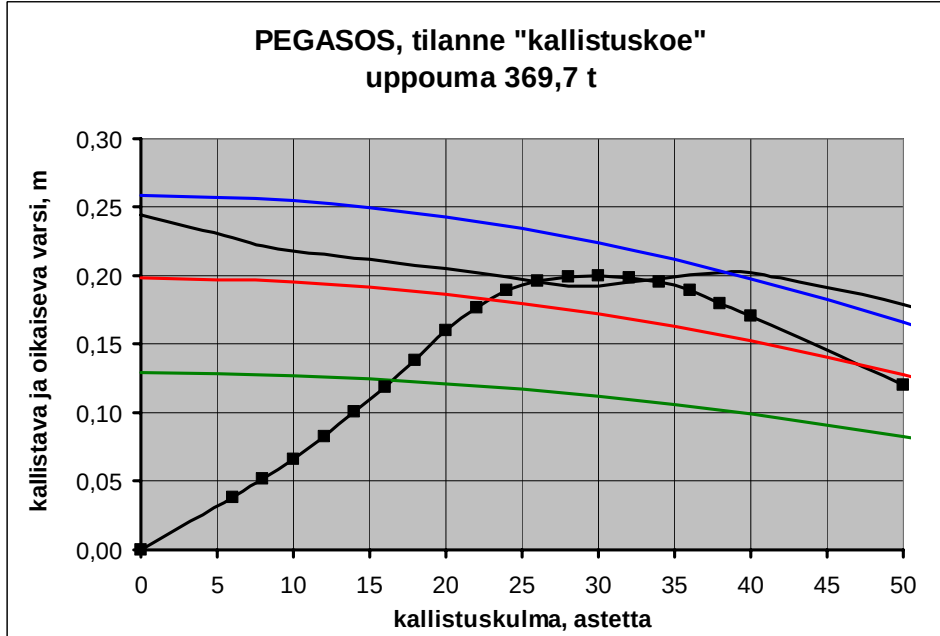
	Kallistuskoe	Tankkitiedot	Syväystiedot
Uppouma, tonnia	369,7	408,5	427,5
Keskisyväys (BL), m	3,25	3,41	3,61
Syväys keulassa (BL), m	2,88	2,55	3,54
Syväys perässä (BL), m	3,62	4,26	3,69
Peräviippaus, m	0,73	1,71	0,15
Syväys keulassa (köli), m	2,47	2,14	3,13 (ilmoitettu 3,1)
Syväys perässä (köli), m	4,22	4,86	4,29 (ilmoitettu 4,3)

²³⁴ (20/57,3):12/400

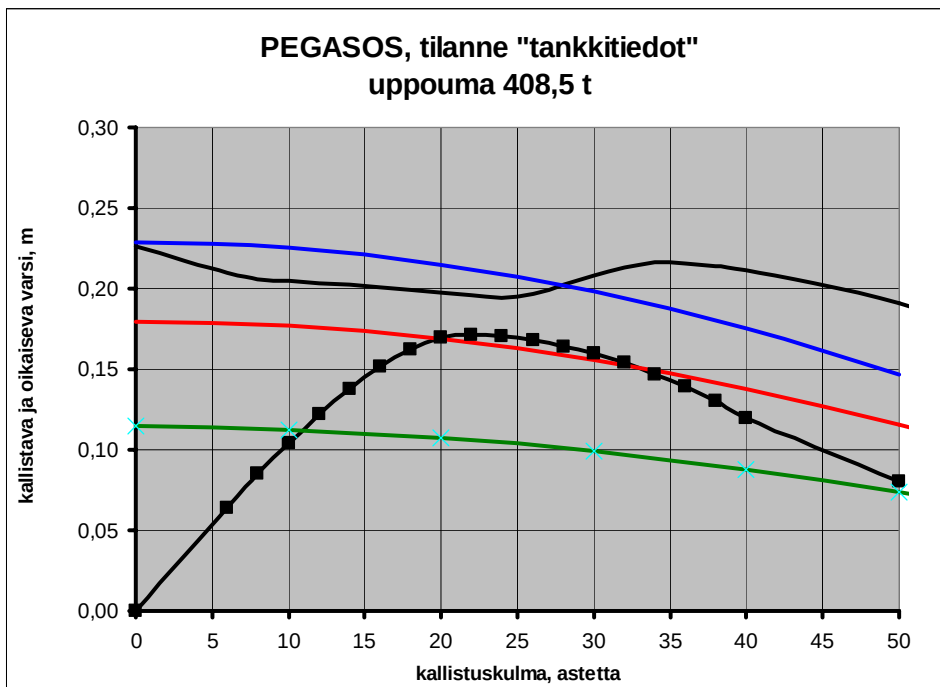
²³⁵ Kallistuskulmalla 0 astetta varren k_1 tulee olla 0,22, virhe on alkuperäisissä laskelmissa.

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

Kuvissa 30 ja 31 on kahden lastitilanteen oikaisevan ja säännön mukaisen kallistavan varren (poikittaisnopeus on 2,5 m/s) käyrät. Kuvissa on myös luokituslaitosten IACS (punainen), BV (sininen) ja ABS (vihreä). vaatimusten mukaiset käyrät. Kolmannessa lastitilanteessa on verrattu useita kriteerejä keskenään, kuva 38. Taulukossa 8 on näytetty, miten MKL:n vakavuusmääräykset täyttyvät eri tilanteissa.



Kuva 30. Tilanteen "kallistuskoe" kallistavia varsia: **poikittaisveto**, MKL (musta $v = 2,5$ m/s) ja **sivusuuntaisen työntö**, BV (sininen), IACS (punainen) ja ABS (vihreä) sekä GZ (neliöllä merkitty käyrä).



Kuva 31. Tilanteen "tankkitiedot" kallistavia varsia ja GZ

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

Taulukko 8. Vakavuusvaatimusten täytyminen eri lastitilanteissa.

Vakavuuskriteeri	Vaatimus	"kallistuskoe"		"tankkitiedot"		"syvästiedot"	
		r = 2,9	r = 4,0	r = 2,9	r = 4,0	r = 2,9	r = 4,0
Vakavuutta heikentävä tekijä		vapaa neste-pinta		suuri perä-viippaus		vapaa neste-pinta	
GZ:n maksimiarvo	$\geq 0,20$ m	0,20 m		0,17 m		0,21 m	
GZ:n maksimin kulma	$\geq 25^\circ$	30°		22°		30–50°	
GZ, kun kulma $\geq 30^\circ$	$\geq 0,20$ m	0,20 m		0,16 m		0,21 m	
GM	$\geq 0,15$	0,34 m		0,60 m		0,55 m	
Vakavuuslaajuus*	$\geq 60^\circ$	>60°/42°		65°/40°		> 60°/35°	
Ala 0°–30° (mrad)	$\geq 0,055$	0,059		0,063		0,068	
Ala 30°–40° (tai vuoto-kulma)	$\geq 0,030$	0,031		0,022		0,018	
Ala 0°–40° tai vuotokulma)	$\geq 0,090$	0,090		0,085		0,086	
Hinauskriteeri A ₁ (mrad)	$\geq 0,01$	0,0008	0,008	0	0	0	0,0033
Rajanopeus (m/s)	2,5	2,25	2,45	2,02	2,16	2,20	2,35

* Koska kansirakennuksen ovi oli auki, jälkimmäinen kulma päti onnettomuustilanteessa

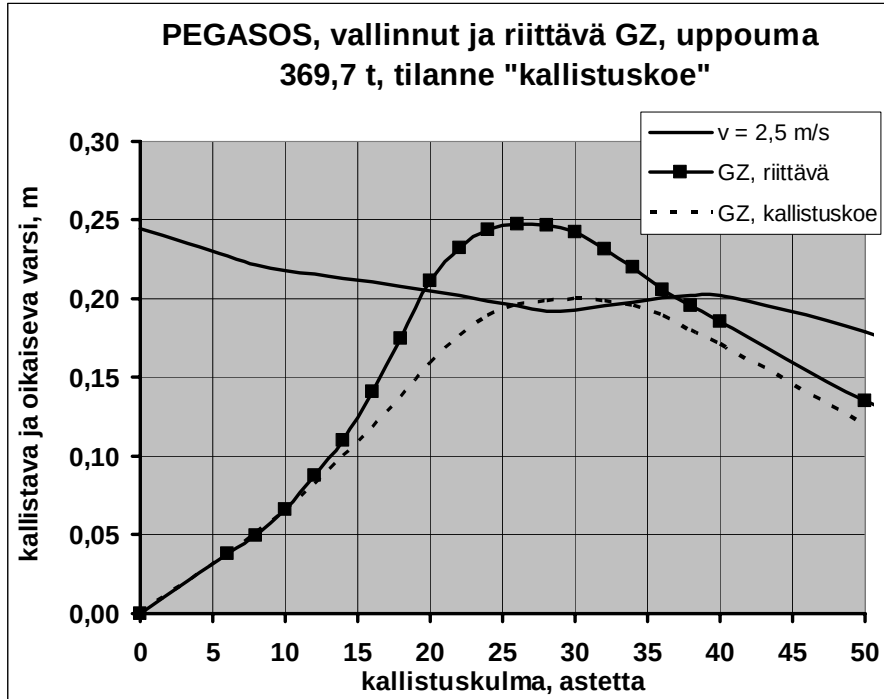
Paksulla kirjasimella näytetyt arvot eivät täytä MKL:n hinaajille asettamia vakavuuskriteerejä. PEGASOSin hinauskaaren säde r oli 2,9 m. Tulokset säteen arvolla 4 m on esitetty vertailun vuoksi, koska vuonna 1993 tehdyissä laskelmissa oli käytetty tätä arvoa. Tutkinnassa on löydetty yllä oleviin tilanteisiin verrattuna paremman GZ:n omaava lastitilanne täyttämällä lähes kaikki tankit. Tällöinkään hinauskriteeri ei täyty. Aluksen syväys kasvaa, mikä pienentää kannen veteenmenokulmaa ja lisää lateraalipinta-alaa. Tilanne ei ole käytännössä järkevä.

Tutkinnassa arvioitiin myös, millainen GZ-käyrä olisi ollut riittävä MKL:n määräysten mukaisessa poikittaisvetotilanteessa. Kallistuskokeen mukaisessa lastitilanteessa olisi tarvittu kuvan 32 mukainen GZ-käyrä. Tankkitietojen mukaisessa lastitilanteessa GZ-käyrän olisi pitänyt olla vähintään kuvan 33 mukainen. Syvästietojen mukaisessa lastitilanteessa GZ-käyrän olisi pitänyt olla vähintään kuvan 34 mukainen. Nämä GZ-käyrät ovat tekaistuja esimerkkejä, joilla saavutetaan MKL:n hinauskriteerin alaraja. Todellisuudessa näin lähelle rajaa ei ole järkevää mennä. Käytännössä olisi pitänyt päästä noin alkuperäiseen vakavuuteen, jonka GZ-käyrä on kuvassa 18. Tutkinnassa on laskettu PEGASOSin vakavuus, kun alukseen lisättiin 35 t kiinteää painolastia. Tällöin MKL:n hinauskriteeri täyttyy selvästi, joten 5–10 t pienempikin lisäys olisi saattanut riittää. Tutkinnassa ei ole tarkemmin selvitetty järkevää kiinteän painolastin määrää. Kuvassa 25 on eräs lastitilanne, jossa kiinteää painolastia on lisätty aluksen keulaosaan 35 tonnia. MKL:n kaavoista saadaan kallistavien varsien k₁ ja k₂ suhteeksi likimain 0,40·A/T (pienillä kallistuskulmilla), jossa A on neliömetreinä ja T tonneina, kun poikittaisnopeus on 2,5 m/s. Konventionaalisella hinaajalla,

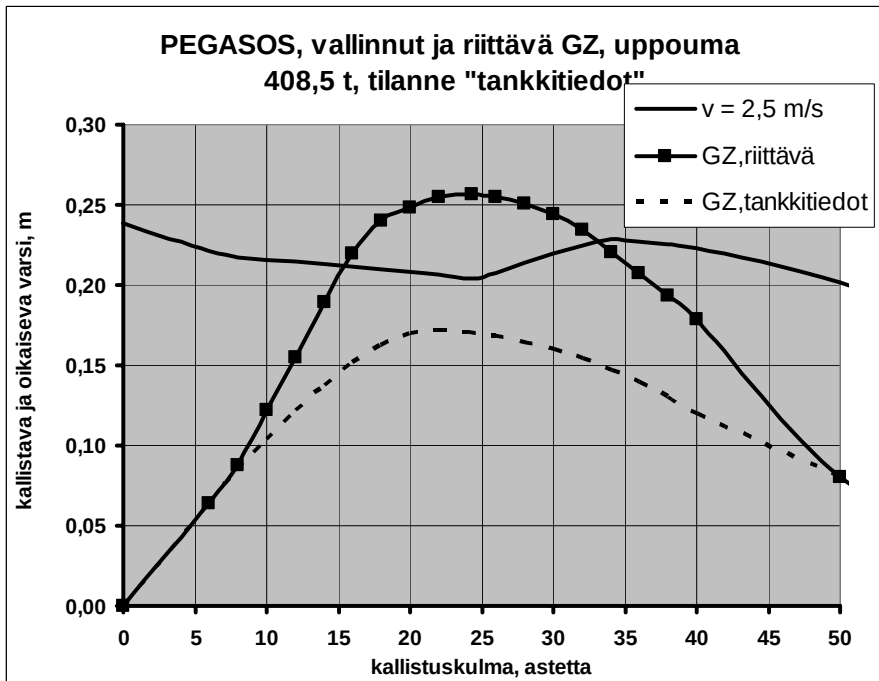
kuten PEGASOSilla ja POSEIDONilla k₁/k₂ on 1,5...2 riippuen syväydestä. Kun paaluveton suhde uppoumaan kasvaa, esimerkkinä saattohinaajat, k₁/k₂ lähestyy ykköstä ja saattaa mennä sen alle. Fortumin saattohinaajalla AHTI (pituus 31 m, syväys 4,9 m ja paaluveto 70 tonnia) k₁/k₂ on

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

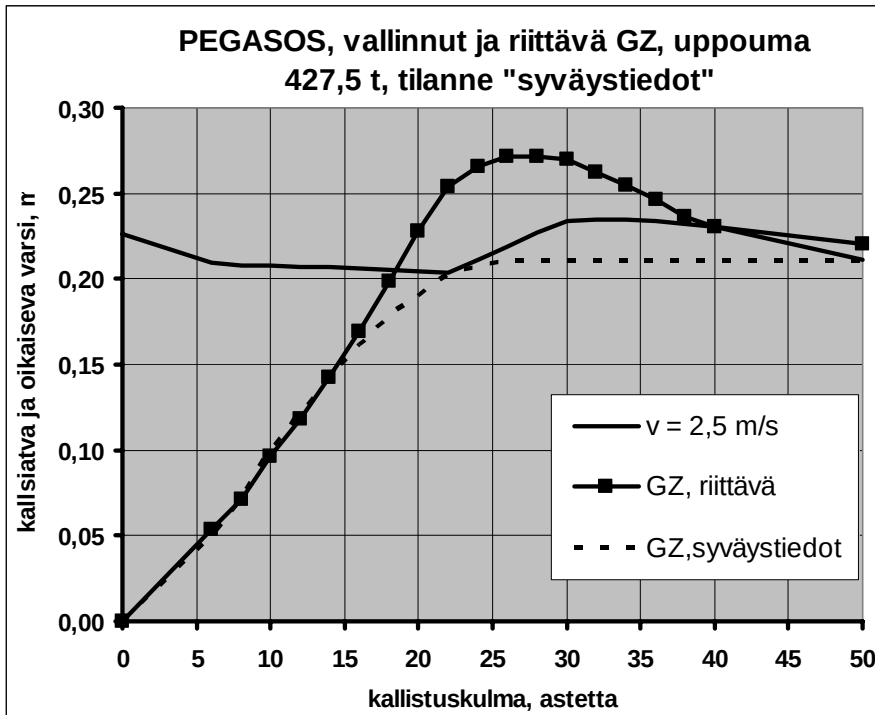
hieman alle yhden. Selvästi pienempi kallistava momentti voidaan jättää laskematta. Kun k_1/k_2 on lähellä ykköstä, on syytä laskea molemmat.



Kuva 32. Todellinen ja vaadittu GZ kallistuskokeen mukaisessa lastitilanteessa.



Kuva 33. Todellinen ja vaadittu GZ tankkitietojen mukaisessa lastitilanteessa.



Kuva 34. Todellinen ja vaadittu GZ syväystietojen mukaisessa tankkitilanteessa

6. ERI VAATIMUSTEN VERTAILUA

Kuvassa 35 on näytetty oikaiseva varsi ja kallistavat varret eri kriteerien mukaan laskettuina tilanteessa syväystiedot. Kaikki olisivat olleet perusteena PEGASOSin vakavuuden riittävyyden arvioimiseksi, jos ko. taho olisi luokittanut sen. MKL:n kriteerinä on poikittaisveto, koska se oli ratkaiseva, muilla propulsiosta johtuva sivuttaistyöntö.

Kuten nähdään, kriteerin pohjana olevat käyrät eroavat paikoin huomattavasti toisistaan. Ratkaisevaa on se, että kriteeri lasketaan kussakin tapauksessa eri tavalla. Samoin kriteerin rajaksi asetettu arvo on usein erilainen. Eri kriteerit saattavat antaa kuitenkin saman lopputuloksen, kuten PEGASOSin tapauksessa: alus ei täyttänyt vaatimuksia. Onnettomuustutkinnan yhteydessä ei ole ollut mahdollista perusteellisemmin tutkia eri kriteerien perusteita, eikä niiden riittävyyttä. Tuntuu järkevältä yhtenäistää kriteerien määrittäminen ja raja-arvot. Luokituslaitosten kansainvälinen yhteisjärjestö näyttää olevan pyrkimässä tähän.

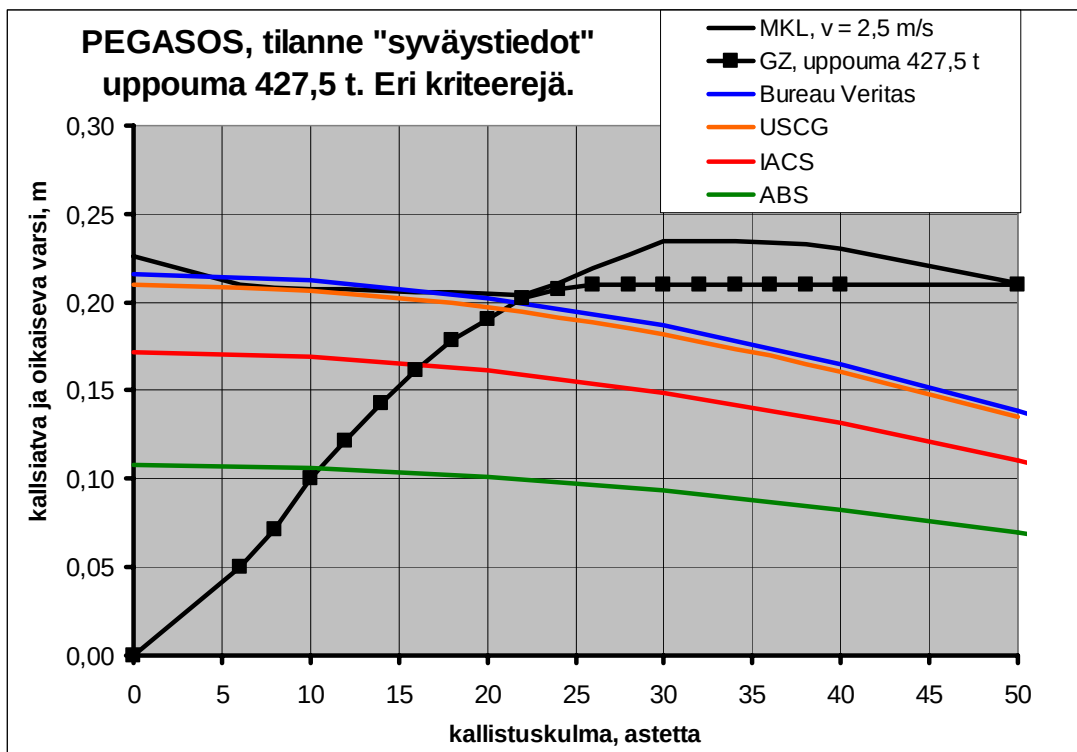
Kriteerien keskinäisen paremmuuden selvittämiseksi tarvittaisiin lukuisten hinaajien vakaavuuden laskenta eri tahojen vaatimusten mukaan. PEGASOSia voidaan pitää "testialuksena", minkä perusteella saatetaan todeta seuraavaa. Lievimät vaatimukset ovat Department of Transportilla. Jotkin Germanischer Lloydin ja ABSin vaatimukset täyttyivät. Tiukemmat vaatimukset näyttäivät olevan Bureau Veritasilla, Det Norske Veritasilla, ja MKL:lla.

Tiukimmat vaatimukset ovat Venäjän Merirekisterillä. Täydellisimmin hinaajan työn luonteen ottaa huomioon Suomen Merenkululaitos, jolla on kriteeri sekä työntövoiman, että poikittaisskulan aiheuttamalle kallistumalle. Sen antamat laskentakaavat sisältävät oikeat muuttujat ja niillä on järkevät riippuvuudet aluksen ominaisuuksista. Venäjän Rekisterin kriteeri perustuu äkilliseen poikittaisvetoon, mutta laskentamenetelmässä ei selvästi näy vastaavaa yhteyttä fyysikaaliseen tilanteeseen.

Ei ole tiedossa kuinka tarkasti MKL:n kaava kuvaa todellisuutta. Menetelmän kertoimet on määritetty suppean mallikoeaineiston pohjalta, eikä niiden tarkkuus ei ole tiedossa. Esimerkiksi, eri hinaajilla vastuskerroin kannen joutuessa veteen voi vaihdella suuresti, riippuen mm. kannella olevista rakenteista ja kansirakennuksen suhteellisesta pituudesta. Ei ole mahdotonta, että PEGASOSin vastuskerroin on suurempi kuin kaavasta saatu. Myös tästä syystä tarvitaan hinauskriteerille reservi. Lisäksi nopean virtaukseen kääntymisen varalta ei ole ohjetta tai määräystä.

Merkittävä on useiden säännösten esittäjien vaatimus, että tarkastelu on tehtävä **kaikissa** hinauksen lastitilanteissa. Vaatimus laskennasta **pahimmaksi arvioidussa** tilanteessa, kuten Suomen Merenkululaitoksella, ei ole riittävä, sillä pahinta tilannetta ei ehkä saada selville laskematta kaikkia. Tutkinnassa tehtyjen laskelmien mukaan näyttää siltä, että kaikki lastitilanteet on tarkasteltava. Syynä on se, että erilaisia muuttujia on paljon, eikä etukäteen kyetä toteamaan, mikä kombinaatio on pahin. Tutkinnan yhteydessä saadut alusten laskelmat ovat sisältäneet vain yhden tai kaksi lastitilannetta, mikä on tarkistuslaskelmissa todettu riittämättömäksi. Nykyisillä las kentatyökaluilla vaatimus laskea kaikki mahdolliset lastitilanteet ei ole kohtuuton.

Toisaalta on selvää, että omalaatuissa olosuhteissa tai virheellisen operoinnin tuloksena mitkä tahansa kriteerit osoittautuvat riittämättömiksi.



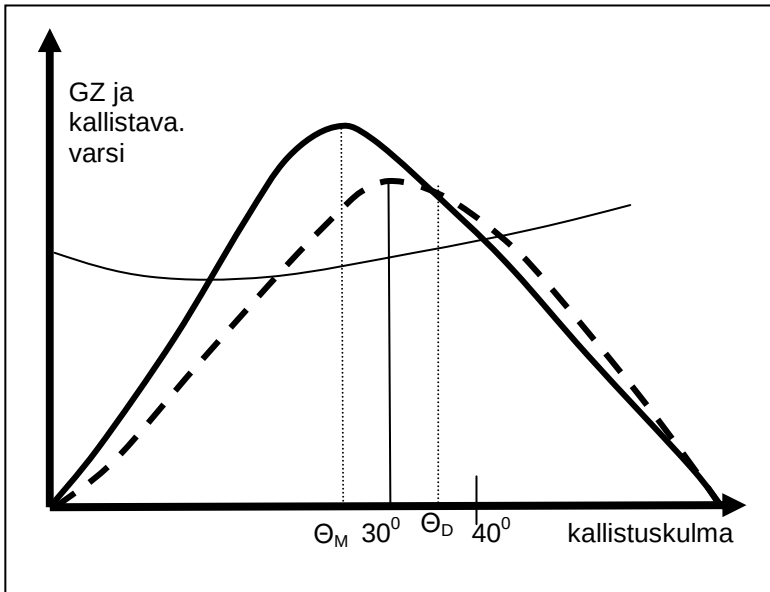
Kuva 35. Eri vaatimusten mukaiset kallistavien momenttien käyrät PEGASOSin onnettomuustilanteessa.

Esimerkki

Kuvassa 36 on verrattu MKL:n poikittaisnopeuskriteerin antamaa tulosta GZ-käyrän pinta-alan antamaan tulokseen. Kummatkin GZ-käyrät oletetaan juuri ja juuri täyttävän US Coast Guardin pinta-alakriteerit. Ehjällä viivalla merkitty voidaan laskea maksimikulmaan saakka ja pisteviivalla

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

merkitty vuotokulmaan saakka. Tällöin jälkimmäisen maksimi GZ saa olla pienempi kuin edellisen ja kriteerit täyttyvät.



Kuva 36. Esimerkki erilaisista GZ-käyristä

Pienin mahdollinen kulma, johon GZ-käyrän alle jäävä pinta-ala voidaan laskea, on 25 astetta. Kun alan tulee olla vähintään 0,09 mrad, saadaan GZ:n maksimiarvoksi kallistuskulmalla 25 astetta noin 0,4 m. Jos GZ:n maksimi on kallistuskulmalla 30 astetta, saadaan tarvittavaksi GZ:n maksimin arvoksi noin 0,34 m. Jotta kriteeri (0,03 mrad) pinta-alasta 30 asteesta eteenpäin täytyisi, tulee edellisessä tapauksessa vuotokulman olla noin 35 astetta ja jälkimmäisessä tapauksessa noin 37 astetta.

Sen sijaan Merenkululaitoksen kallistava varsi k_1 johtaa jälkimmäisessä tapauksessa huonompaan tulokseen. PEGASOSin tyypillinen kallistava varsi poikittaisvedossa oli noin 0,3 m. Tällöin ensimmäisessä tapauksessa pinta-alaksi GZ-käyrän ja kallistavan momentin käyrän välillä saadaan noin 0,02, mikä täyttää kriteerin ja jälkimmäisessä tapauksessa noin 0,005, mikä ei täytä kriteeriä. Saattaa olla, että jälkimmäisessä tilanteessa myös kallistava varsi muuttuu, pienemmäksi tai suuremmaksi. Tämä esimerkki näyttää, että pelkkä pinta-alakriteeri voi antaa eri tuloksen kuin poikittaisvetokriteeri. Poikittaisvetoon perustuva kriteeri näyttää myös vaativammalta kuin pinta-aloihin perustuvat kriteerit. Oleellisenä tekijänä on tietysti poikittaisnopeusvaatimuksen suuruus. Vaatimus poikittaisnopeudelle, 2,5 m/s näyttää sopivalta mm. Norjassa, USA:ssa ja Neuvostoliitossa tehtyjen mallikokeiden perusteella. Esimerkin tapauksessa se johtaa turvallisempaan hinaaja-

Levypartaan omalaatuinen vaikutus hinaajan kallistumisen kulkuun tulisi mainita säännöstöissä. Nopea ja hidas kallistuminen ovat lähes umpinaisen partaan tapauksessa täysin erilaisia tilanteita. Tällainen parras ei varsinaisesti parantanut PEGASOSin vakavuutta, mutta kallistuskulmilla, joilla kansi meni veteen plus noin 5 astetta (10–15), alus saattoi tuntua vakaammalta kuin se tosiasiassa oli.

Mikään kriteeri ei tietenkään korvaa hinaajan ja avustettavan hyvän merimiestävän mukaista ja ammattitaitoista luistavaa yhteistyötä. Kriteerien avulla saadaan selville missä olosuhteissa hinaajaa voidaan käyttää. Eri osapuolten tulee olla tietoisia näistä rajoista.

Viippauksen ja kannen veteenmenokulman vaikutus MKL:n laskentakaavoissa

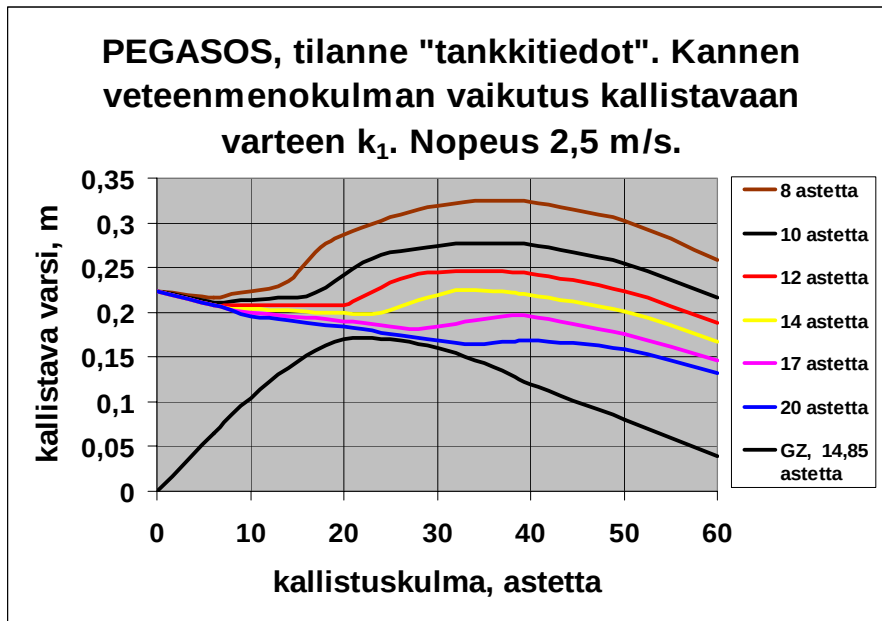
MKL:n hinauskriteerin laskennassa on yhtenä tuloksiin merkittävästi vaikuttavana parametrina kannen veteenmenokulma. Määräystekstissä on syvädeksi annettu "keskimääräinen syväys". Keskimääräinen syväys muuttuu kun alus viippaa, mutta uppouma pysyy vakiona. PEGASOSin tapauksessa syväys pienenee aluksen viipatessa perälleen. Kun hinaaja viippaa perälleen, kannen reuna lähestyy veden pintaa (sen jälkeen kun ketkan vaikutus on kumoutunut) ts. kannen veteenmenokulma pienenee. Keskimääräisen syväyden voidaan ajatella tarkoittavan vaihtoehtoisesti kahta asiaa: ensinnäkin, keula- ja peräsyväyksien keskiarvoa ja toiseksi, uppoumaa vastaavaa syvyyttä ilman viippausta. Määräys perustuu paljolti USA:ssa tehtyihin mallikokeisiin, joissa viippaus oli melko pieni, eikä se ollut parametrina. Siellä syväys oli "at midships".

Kannen veteenmenokulma voidaan laskea likimääräisesti tai tarkasti. Likimääräisesti laskettaessa alus pysyy kallistuessaan tasaköyllä ja syväys pidetään vakiona. Tällöin kannen (tai tarkasteltavan kohdan) veteenmenokulma on arctan (etäisyys veteen/etäisyys keskiviivalta). Tarkasti laskettaessa otetaan huomioon aluksen kallistumisesta seuraavat hydrostaattiset muutokset: syväys pienenee ja alus viippaa. MKL:n määräysten laadinnan aikoina, 1970-luvulla, hydrostaattiset laskelmat olivat hankalampia ja kalliimpia kuin nykyisin ja ne vaativat enemmän aikaa. Sen vuoksi on oletettavaa, että MKL:n määräysten mukaiset laskelmat on ajateltu tehtävän likimääräisesti; ja niin ne onkin tehty vuonna 1993. Tällöin tulos sisältää turvallisuusreserviä. Epäselväksi jää kuitenkin, mitä syvyyttä tulisi käyttää silloin kun aluksella on peräviippausta ja varsinkin, jos viippaus on suuri. Pitäisikö käyttää syväyksistä laskettua keskisyvyyttä vai uppoumaa vastaavaa tasaköylisyyttä.

Vastaavasti klyysien, partaan ja oven veteen meno kulmien suuruus riippuu siitä onko laskut tehty tarkasti tai likimääräisesti. Likimääräiset laskelmat antavat PEGASOSin tapauksessa todellista tilannetta suuremman kulman aluksen peräosan kohdille ja vastaavasti pienemmän kulman keulaosan kohdille. Myös tällöin likimääräiset laskelmat johtavat turvallisuusmarginaaliin. Kun otetaan huomioon monet epätarkkuudet ja likimääräistykset määräysten laadinnassa, on hyvä, että tulokset sisältävät turvallisuusmarginaalia. Nykyisin voidaan laskea tarkasti ja laskijalle saattaa olla epäselvää määräysten oletama laskentatapa. Sen vuoksi olisi syytä lisätä määräyksiin maininta vaadittavasta laskentatavasta koskien veteenmenokulmia sekä määritellä käytettävä syväys selkeästi.

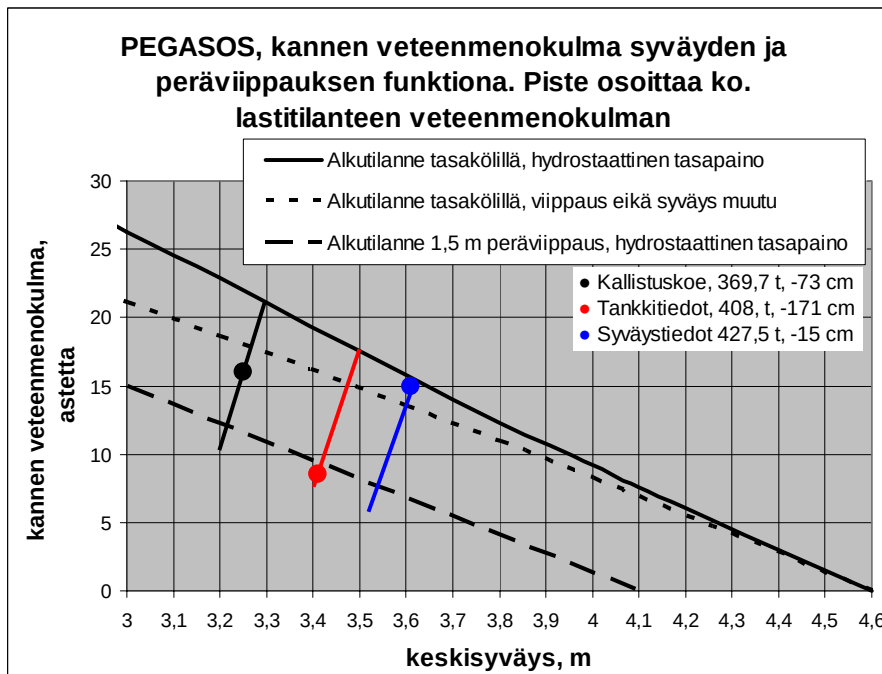
Kuvassa 37 on näytetty MKL:n kaavalla laskettu kannen veteenmenokulman vaikutus kallista-vaan varteen. Kuvassa 38 on näytetty kannen veteenmenokulman riippuvuus syväydestä ja määritystavasta.

Jos haluttaisiin laskea tarkoilla veteenmenokulmilla, syntyy seuraavia epäselvyyksiä. Ensinnäkin, menettely perustuu likimääräisesti laskettuihin veteenmenokulmiin. Jos käytetään muulla tavoin laskettuja kulmia, menetelmässä käytettävät kertoimet eivät ole voimassa, eikä niiden muutoksia ole mahdollista arvioida ilman alkuperäisiä mallikoetietoja. Toiseksi, kannen veteenmenokulma kasvaa pienillä peräviippauksilla, mutta pienenee suurilla peräviippauksilla. Käytetyt kertoimet eivät ole voimassa kuin lähes tasaköylitilanteessa.



Kuva 37. Kannen veteenmenokulman vaikutus PEGASOSia kallistavan momentin varteen poikkaisnopeudella 2,5 m/s.

Kolmanneksi, aluksen peräpäässä viippaus lähentää kantta veteen, mutta kansirakennuksen kohdalla etäisyys vedestä kasvaa. Jos kansirakennukset aukot määrittävät vuotokulman, kuten PEGASOSilla, vaikutukset ovat vastakkaiset. Vuotokulma on kuitenkin rajoitettu enintään 40 asteeseen, mutta kannen veteenmenokulmalla ei ole alarajaa. Tämän johdosta kallistava momentti kasvaa tarkkaan laskettaessa niin paljon, että vuotokulman kasvun antama pinta-alan lisäys ei riitä tätä kompensoimaan.



Kuva 38. PEGASOSin kannen veteenmenokulmat tasaköyllillä ja 1,5 m viippauksella perälleen. Haarukoivat lastitilanteet on näytetty.

Toisaalta GZ lasketaan nykyisin aina tarkasti, joten siinä otetaan jo huomioon viippauksen muutos ja kannen veteen meno.

Viippaus vaikuttaa myös vedenalaiseen lateraalipinta-alaan. Peräviippauksen kasvaessa syväys pienenee ja samoin lateraalipinta-ala. Yhtenäisyyden vuoksi on syytä käyttää pinta-alaa, joka vastaa tilannetta tasakölillä.

Eri sääntövaatimusten vertailua

Vaatimukset voidaan jakaa kolmeen osaan:

Alkuvakavuus. Alkuvakavuusvaatimukset vaihtelevat välillä 0–90 cm, yleinen minimi on 15 cm, joka on IMO:n määrittelemä monien alustyyppien perusvaatimus. Tätä vaatimusta tulee tarkastella muiden vaatimusten kanssa yhdessä.

Staatinen vakavuus + dynaaminen vakavuus staattisen vakavuuden pohjalta. Osa luokituslaitoksista katsoo, että staattisten vakavuusvaatimusten täyttäminen riittää. Tällöin ne on mitoitettu niin, että ne kattavat myös hinaustilanteen. (esim. GL, DoT).

Dynaaminen vakavuus hinaustilanteessa. Valtaosin luokittajat esittävät dynaamiselle vakavuudelle hinaustilanteessa erilliset lisävaatimukset. Hinaajille tämä on järkevää: staattiset vaatimukset koskevat hinaajaa sen liikkeessä normaalin laivan tavoin. Hinaustilanteessa taas syntyy yllättäviäkin dynaamisia kallistavia voimia, joihin luokittajat ovat varautuneet eri tavoin. Merenkulkulaitoksella on tilanne otettu huomioon monipuolisesti: se antaa kallistavan momentin laskenta-kaavan sekä poikittaiskulku-, että sivuttaistyyntötilanteessa. Venäläinen luokituslaitos käyttää perusteena äkillistä nykäisyä sivusuuntaan. BV ja ABS laskevat kallistavan momentin paaluvedosta määritetyllä sivuttaistyyntönnöllä. BV vaatii pienemmän dynaamisen reservin, mutta sen laskenta-kaava antaa suuremman kallistavan momentin. ABS taas vaatii suuren reservin, mutta kallistava momentti on pienempi.

Parhaiten todellista tilannetta näyttää vastaavan Merenkulkulaitoksen menettely, joka ottaa huomioon kallistavan momentin kasvun aluksen poikittaisvastuksen kasvaessa kansirakennuksen joutuessa veteen.

Kaikki laskentamenetelmät perustuvat tyynen veden tilanteeseen ja reservi saattaa ottaa jonkin verran huomioon aallot, avustettavan potkurin jättövirran, tuulen, mahdolliset virtaukset ja muut seikat. Toisaalta näiden erilaisten laskentamenetelmien taustoja ei ole tiedossa, joten todellista varmuutta reservin riittävydestä kaikissa tilanteissa ei tietenkään ole. Esim. avustettavan kiihdyttäminen joudutaan sisällyttämään reserviin. Mikään menetelmä ei ota huomioon partaan yli tulevan veden äkillistä vakavuutta huonontavaa vaikutusta.

Tutkinnassa ei ole yritetty selvittää, antavatko eri vakavuuskriteerit erilaisen tuloksen hinaajan turvallisuuden kannalta. Esimerkki viittaa tähän mahdollisuuteen. Toisaalta, pitäisi määritellä turvallisuus tarkemmin. On mahdollisesti otettava huomioon hinaajan erilaiset työskentelytavat. **PEGASOSin tapauksessa lähes kaikki menetelmät antoivat saman tuloksen: vakavuus oli riittämätön.**

On selvää, että jos hinaajan vakavuus on alle normien ja se joutuu tilanteeseen, jossa mitoitusarvot ylittyvät, se kaatuu. Normitkin täyttävän hinaajan saa kaatumaan väärällä toiminnalla.

7. HINAAJA POSEIDON

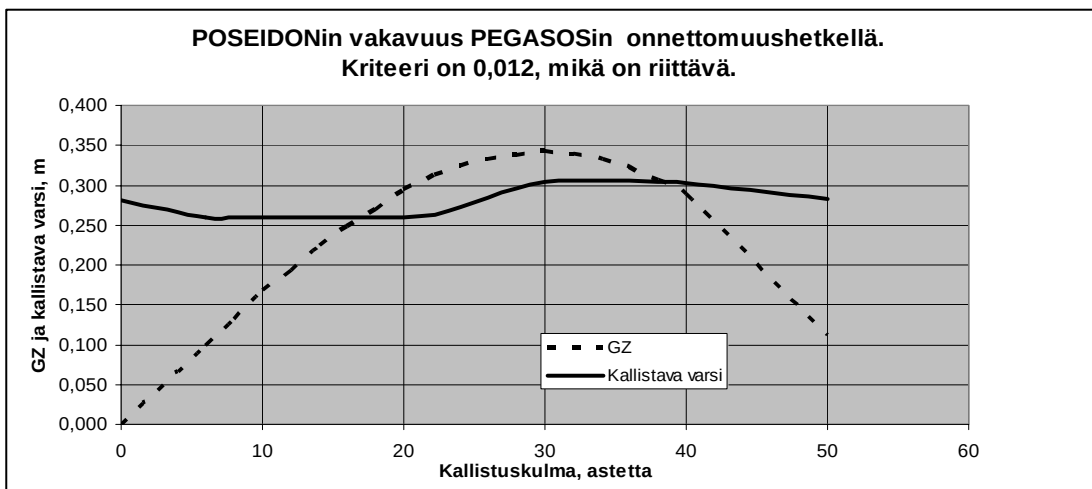
Poseidonin vakavuuslaskelmat on hyväksytty MKL:ssa 7.9.1978, 329/78/301. Ne ovat alkuperäiset, rakentajatelakan (Rauma-Repola, Uudenkaupungin telakka) tekemät. Niissä on tarkasteltu staattinen ja dynaaminen vakavuus kuudessa lastilanteessa. Aluksen tyhjäpaino oli 256,62 tonnia ja painopisteen korkeus perustasosta 3,44 m. Alus täytti staattiset ja dynaamiset vakavuuskriteerit.

Poikittaisnopeuskriteeri oli laskettu yhdessä tilanteessa. Tutkinnassa tehdyissä tarkistuslaskuissa on löydetty näistä laskelmista kaksi virhettä. Kallistava momentti oli laskettu liian pieneksi, mutta myös hinauskaaren säde oli liian pieni. Virheet kumoavat toisensa ja alus täyttää edelleen MKL:n poikittaisvetokriteerin telakan laskemassa tilanteessa 6.

Tutkinnassa selvitettiin myös kriteerin täytyminen muissa lastitilanteissa. Selvisi, että telakan laskema tilanne ei ole pahin kriteerin kannalta. Kriteeri täyttyy niukemmin tilanteissa 1 ja 2. Onnettomuushetken lastitilanne oli näiden välimuoto. Tilanteessa 5 (100 % varastot + jäätä, mutta ei painolastia) kriteeri ei täyty. Toisaalta, tämä tilanne on tuskin käytössä.

Lastitilanteeksi onnettomuushetkellä arvioitiin saatujen tietojen pohjalta: dieselöljyä 25,5 t, makeaa vettä 15 t, painolastivettä 33,2 t, voiteluöljyä 0,9 t sekä alus miehistöineen 257,3 t. Yhteensä 331,9 t, painopisteen korkeus 3,19 m. Staattinen ja dynaaminen vakavuus täytti Merenkulkulaitoksen vaatimukset, samoin poikittaisnopeuskriteeri, jonka arvo oli 0,012 ylittäen siten vaaditun 0,01 poikittaisnopeudella 2,5 m/s, ks. seuraava kuva 39.

Hinaaja POSEIDON on esimerkki kuinka vaikeaa on valita MKL:n edellyttämä pahin lastitapaus, jossa hinaustilanne tulee tarkistaa. Käytännössä on syytä laskea kaikki lastitapaukset. Pahin ei välttämättä ole tilanne, jossa GZ-käyrä on heikoin, vaan syväyden ja viippauksen muuttuessa MKL:n laskentakaava ottaa huomioon kourun etäisyyden muutoksen vedenpinnasta, syväyden muutoksesta johtuvan lateraalipinnan muutoksen ja ennen kaikkea muutoksen kulmassa, jolla kansi menee veteen sekä muutoksen vuotokulmassa. Esim. painolastin lisääminen painopisteen alentamiseksi kasvattaa syväyttä, minkä johdosta lateraalipinta-ala kasvaa, kulma, jolla kansi menee veteen, pienenee ja muotovakavuus heikkenee.



Kuva 39. POSEIDONin vakavuus PEGASOSin onnettomuushetkellä. Merenkulkulaitoksen kriteeri täyttyy poikittaisvetotilanteessa. Uppouma on 332 tonnia ja keskisyvyys 3,72 m. Hinauskaaren säde on 2,75 m. Laskelma perustuu tutkinnassa saatuun tietoon onnettomuushetkellä vallinneesta lastitilanteesta ja oletukseen, että alkuperäiset alustiedot vuodelta 1978 ovat voimassa. Vuotokulma oli 40 astetta ja kansi meni veteen 13 asteen kulmalla.

8. MKL:N HINAUSKRITEERIEN EPÄSELVYYKSIÄ

Tutkinnan yhteydessä on käynyt ilmi, että MKL:n hinauskriteerien laskentamenetelmä tarvitsee tarkennuksia (katso myös edellä kohta 5). Jo määräystekstissä on epäselvyyksiä. Lisäksi laivan hydrostaattiset ja vakavuuslaskelmat tehdään nykyisin kehittyneillä rutiinimenetelmillä, minkä johdosta on tarpeellista määrittää hinauskriteerien laskentamenettely yksikäsitteisesti. Myös eräiden laskentakaavoihin sijoitettavien alustietojen lukuarvot olisi varmennettava mittauspöytäkirjoin.

”Epäedullisin lastitilanne”. MKL:n määräyksen mukaan vakavuus tulisi tarkistaa hinauksen aikana kohdattavassa epäedullisimmassa lastitilanteessa. Sanonta ”epäedullisin lastitilanne” tarkoittanee tilannetta, jossa GZ-käyrä on heikoin. Tämän käyrän kulku riippuu aluksen syväydestä, viippauksesta ja painopisteen paikasta ja vapaista nestepinnoista. Hinauskriteerin laskennassa käytettävään kallistavaan momenttiin taas vaikuttavat osittain samat, osittain eri tekijät kuin GZ-käyrään. Jo ”heikoimman” GZ-käyrän valinta sisältää epäselvyyden: Määrittelemättä jää heikoimman valintaperuste (esim. pinta-ala GZ-käyrän alla välillä 0–30 astetta vai joku muu peruste?). Näin ollen, GZ-käyrän perusteella ei voida varmasti löytää hinauskriteerin kannalta pahinta lastitilannetta.

Jos hinauskriteeriä pidetään rajoittavana, niin tutkinnan käsityksen mukaan tulee laskea hinauskriteerit kaikissa hinaajan mahdollisesti kohtaamissa lastitilanteissa. Mikäli alkuperäiset, valmiiksi lasketut lastitilanteet eivät sisällä näitä kaikkia, on laadittava lisää lastitilanteita. Nykyisillä laskentamenetelmillä tämä on rutiininomaista.

Mitä tarkoittaa poikittaisnopeus? MKL:n poikittaisnopeuskriteeriä koskevassa tekstissä on puute käyttäjän kannalta katsottuna. Poikittaisnopeuskriteerin laskentakaavassa on nopeudelle annettu arvoksi 2,5 m/s. Laskijan kannalta tämä on selvää, sijoitetaan lukuarvo kaavaan ja saadaan tulos. Sen sijaan, säädöstekstissä ei ole kerrottu, että tämä nopeus sisältää mahdollisen avustettavan potkurin jättövirran²³⁶. Kaavassa käytettävä poikittaisnopeus on siis nopeus veden suhteen, ei pohjan suhteen. Tämähän on luonnollista, sillä hinaajaan kohdistuva vastusvoima riippuu todellisesta virtausnopeudesta sen suhteen. Toisin sanoen, jo selvästi pienempi avustettavan nopeus kuin 2,5 m/s on kriittinen, kun otetaan huomioon avustettavan aluksen synnyttämän potkurivirran nopeus. Riippuen avustettavan potkurin ja koneiston ominaisuuksista, potkurin jättövirran nopeus hinaajan kohdalla voi olla esim. 1 m/s. Tällöin sallittu nopeus pohjan suhteen on vain 1,5 m/s, jonka avustettavan nopeusmittari tai GPS näyttävät. Potkurin jättövirran aiheuttama nopeuslisä on muunnettava vastaamaan hinaajan koko vedenalaista pinta-alaa. Potkurivirran nopeuden arviointi on epätarkkaa. Sen johdosta on syytä sallia vain 1 (–1,5) solmun nopeus GPS:n mukaan, jos potkurivirta on vaikuttamassa. Määräystekstiin on sisällytettävä poikittaisnopeutta koskeva selvennys.

Nopea kääntyminen poikittain. Tekstiin olisi lisättävä varoitus siitä, että laskentakaavat pätevät vain, jos poikittaisnopeus kasvaa hitaasti. Jos on varauduttava äkilliseen kääntymiseen poikittaisvirtaukseen, hinauskriteerin laskentanopeutta tulisi alentaa ainakin 0,2–0,3 m/s.

Laskentatekniikan kehittyminen. MKL:n määräykset laadittiin noin 30 vuotta sitten. Sen jälkeen aluksen hydrostaatiikan ja vakavuuden laskentamenetelmät ovat kehittyneet rutiininomaisiksi. Esim. vakavuuslaskuissa otetaan huomioon, että aluksen asento ja syväys muuttuvat sen kallis-tuessa. Nykyisillä rutiineilla laskettaessa saadaan hinauskriteerin laskennassa käytettävälle suu-

²³⁶ Merenkulkulaitokselta saatu aineisto 1970- ja 1980-luvuilta

LIITE 2. HINAAJIEN VAKAVUUS YLEISESTI JA PEGASOS

reille eri lukuarvot kuin aikaisemmilla, likimääräisillä menetelmillä. Määräysten perusteena olevat mallikokeetkaan eivät anna perusteita käyttää tarkkoja menettelyjä esim. kannen veteenmenokulman määrittämisessä. Tämän johdosta määräystekstiin tulee lisätä täsmennys veteenmenokulmien ja lateraalipinta-alan määrittämisestä.

Tutkijoiden käsityksen mukaan tulisi käyttää sitä likimääräistä tapaa, jota on edellä käsitelty.

Vakavuuden peruskäyrien laskenta ja käyttö aluksella. Dokumentteihin tulee vaatia selkeät merkinnät piirroksineen, joista selviää, mitkä tilat on otettu säätiiviinä huomioon muotovakavuutta laskettaessa. Vastaavasti on esitettävä vaatimukset vuotoaukkojen sulkemisesta säätiiviisti.

Tärkeiden alustietojen oikeellisuus. Hinauskriteerin laskentakaavoissa on eräitä alusominaisuuksia, joiden lukuarvoissa on tutkinnassa löydetty virheitä, esimerkkinä hinauskaaren säde. Muita vastaavia ominaisuuksia ovat syväys, koukun kiertymisakselin paikka ja paaluveto. Tutkijoiden käsityksen mukaan virheet vältettäisiin, jos MKL vaatisi näistä ominaisuuksista mittauspöytäkirjat. Aika ajoin tiedot on tarkistettava katsastusten yhteydessä.

Suomen hinaajakannan ikä. Suomessa toimivista hinaajista valtaosa on kymmenien vuosien ikäisiä. On oletettavissa, että yllä esitetyt hinaajakriteerin laskennan epäselvyydet ovat vaikuttamassa hinaajien vakavuustietojen oikeellisuuteen. Tämä seikka yhdistettynä hinaajien dokumentaation mahdollisiin puutteisiin vaarantaa hinaajien turvallisuutta. MKL:n tulisi tarkistuttaa vanhojen hinaajien vakavuus samalla kun määräykset täsmennetään.

PILOT CARD

Ship's Name : MSC HINA

Arrival / Dep Port : HELSINKI

Date: 13/11/03

Sign : HPFP

Flag / P.O.R. : Panama

Year Built : 1984

Year of Reconstruction : 1989

Length Fwd : 8.40

M

Draught Aft : 9.10

M

Summer Deadweight : 21370.00 T

SHIP'S PARTICULARS

Length Overall : 203.06 mtrs.

Anchor Chain: Port : 11 shackles

Starboard: 11 shackles

Length (PP) : 192.73 mtrs.

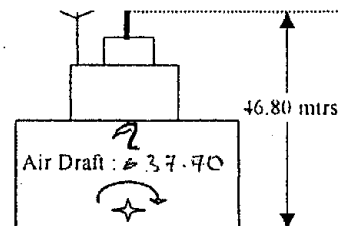
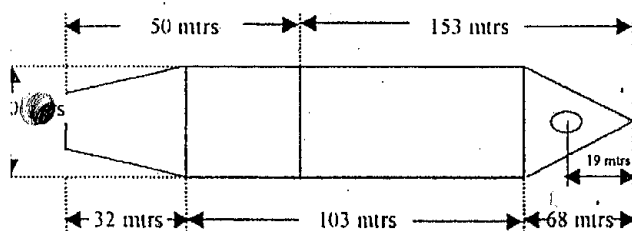
Bulbous Bow : Yes

Depth (Moulded) : 25.40 mtrs.

Height (Moulded) : 15.90 mtrs

GRT : 21586

NRT : 7164



Type of Engine: DIESEL "B & W"

Maximum Power : 15882 kWh / 21600 hp

Manoeuvring Engine Order

RPM

Speed (Knots)

Loaded

Ballast

Full Ahead

90

15.5

16.0

Half Ahead

80

13.5

14.0

Slow Ahead

70

11.0

12.0

Dead Slow Ahead

52

9.2

9.5

Dead Slow Astern

50

Slow Astern

65

Astern Power :

80 % ahead

Half Astern

80

Maximum no. of consecutive starts : 12

Full Astern

90

STEERING PARTICULARS

Rudder : Semi Balanced

Maximum angle : 35 deg

Hard-over to Hard-over : 28 secs

Siller : LIPS 4 Fixed Blade

Thruster : ONE - 730 kWh (993 hp)

NOT WORKING

Status & Ready

Rudders (Both) :

Rudders (Both) :

Radar

Radar

Speed Log :

Telegraphs :

Clutch Gear /Motors:

Indicator Indicators :

Indicator Indicators :

Information

Rate of Turn Indicator:

VHF No.1 :

VHF No.2 :

Navtex :

GPS :

Course Recorder :

Echo Sounder :

Steering Light :

Gyro Error :

NA

✓

✓

✓

✓

✓

✓

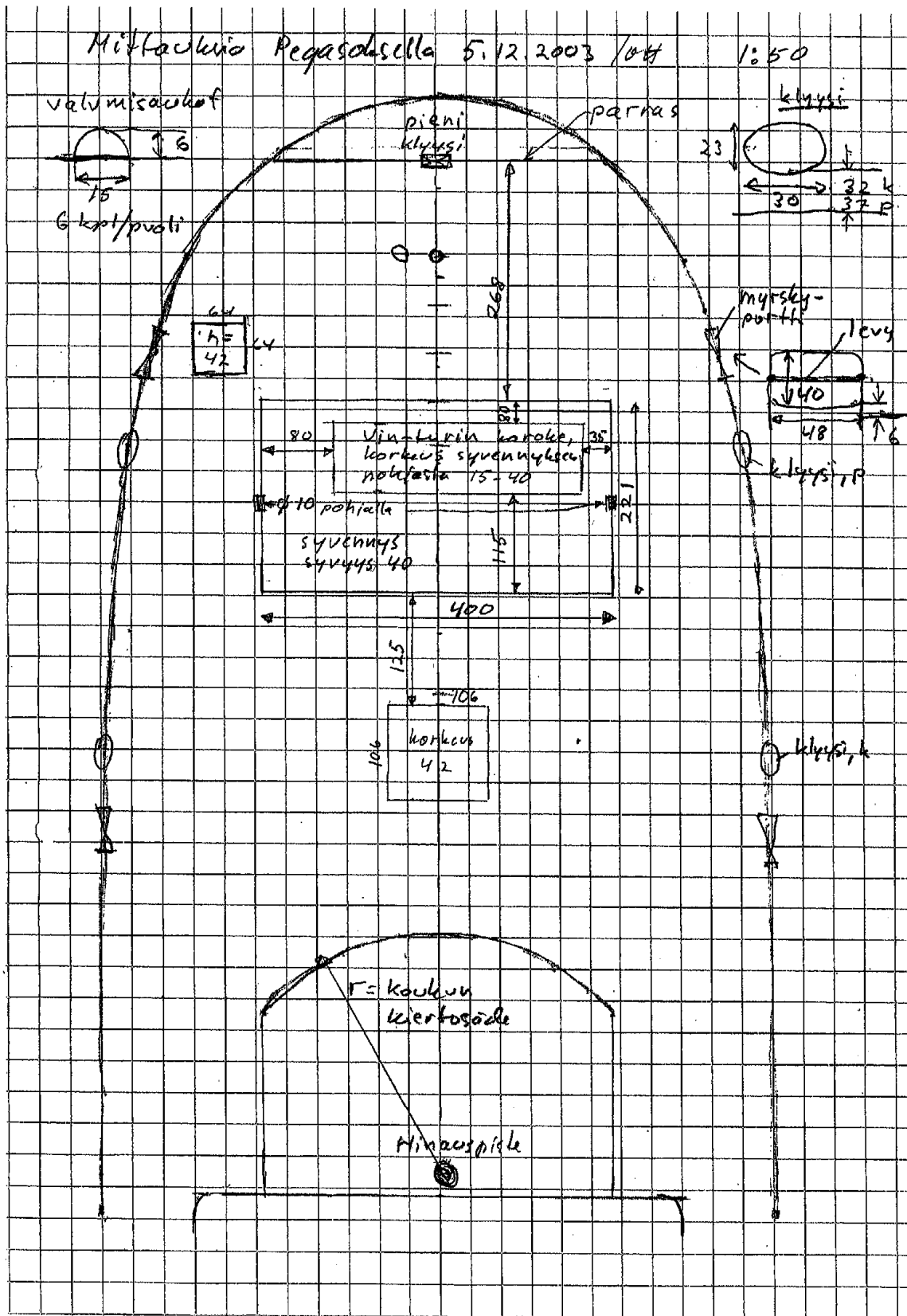
✓

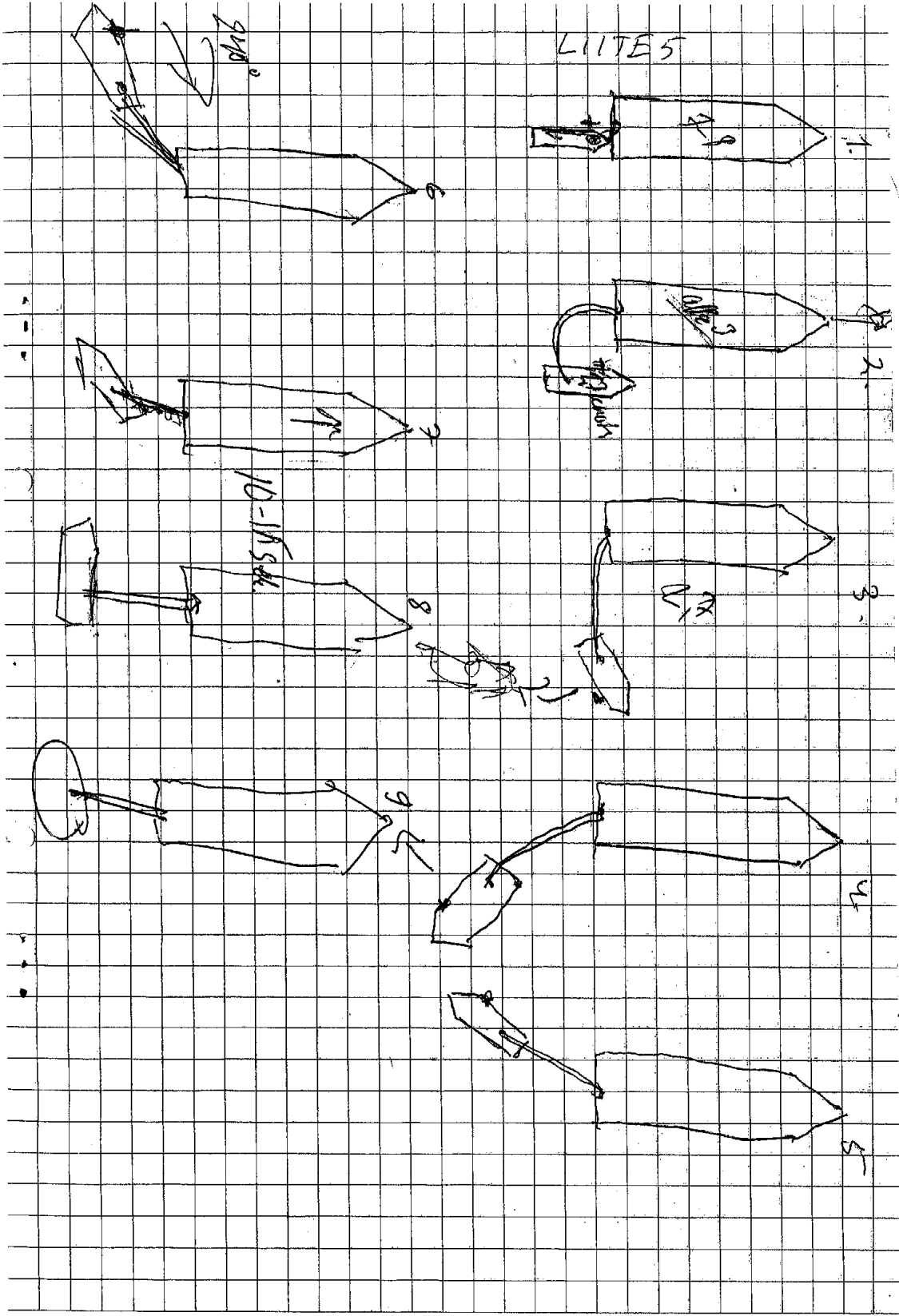
0.3 (H)

MASTER

PILOT

DOCKING PILOT





SUOMEN TASAVALTA – REPUBLIKEN FINLAND

LIITE 6

1644/99

1256/97
1257

MIEHITYSTODISTUS – BEMANNINGSCERTIFIKAT

Aluksen nimi Fartygets namn PEGASOS RAUMA III	Kotipaikka Hemort Rauma	Tunnuskirjaimet Signalbokstäver OJFI
--	-------------------------------	--

Merenkulkulaitos vahvistaa, että taulukossa mainitut pätevydet sekä lukumäärä vastaavat miehistystä, joka on aluksen miehityksestä ja laivahenkilökunnan pätevydestä annetun asetuksen (250/84) mukaisesti turvallinen alukselle, ihmishengelle, lastille ja ympäristölle.

Sjöfartsverket bestyrker att besättningens antal och behörighet enligt denna tabell motsvarar en bemanning som enligt förordningen om fartygs bemanning och fartygspersonalens behörighet (250/84) är tillräcklig med tanke på säkerhet för fartyg, människoliv, last och miljö.

Pätevyyskirja Behörighetsbrev	Sisäliikenne Inre fart	Huomautuksia Anmärkningar
Merikapteeni/sjökapten	-	Liikennealue I: satama-alueet
Iliperämies/överstyrman	-	
Perämies/styrman	-	Liikennealue III
Laivuri/skeppare/vahtiperämies	1	Ajoaika enintään 12 tuntia.
Kuljettaja 1/förare 1	-	
Kuljettaja 2/förare 2	-	Aluksella hinattaessa tulee
Ylikonemestari/övermaskinmästare	-	lisäksi palkata puolimatruusi.
Konemestari/maskinmästare	-	
Alikonemestari/undermaskinmästare/vahtikone- mestari	1	
Koneenhoitaja/maskinskötare	-	
Matruusi/matros	1 YT	
Puolimatruusi/lättmatros	-	
Kansimies/däcksman	-	
Konemies/maskinman	-	
Konevahtimies/maskinvaktman	-	
Kokki/kock/stuertti/stuert	-	
Laivahuoltaja/mässman	-	
Yhteensä/sammanlagt	3	

Todistus voimassa

Certifikatet gäller till den toistaiseksi -snekk

Annettu

Utfärdat Helsingissä

16 päivänä maalis kuuta 19 99

Merenkulkulaitos

Sjöfartsverket

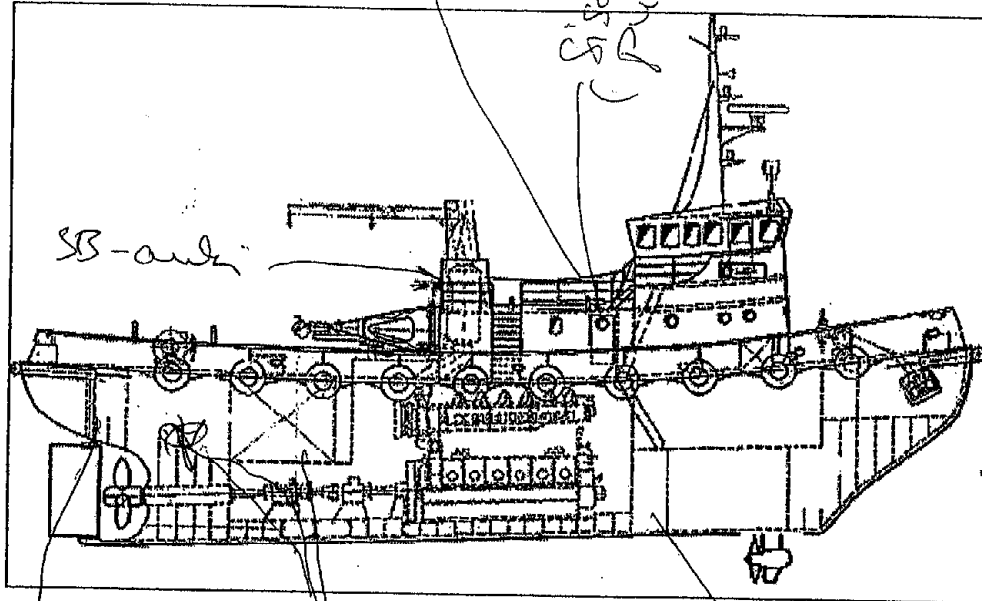
Merimiestoimiston

päälikkö

Reijo Gustafsson

IXIXIX
Stampet1) CORRECTED 13.12.1999 Jue Rye
OJE HAGERLUND

[Go back](#)



26-27-3
D

250 ton
pernel.

2m3
freshwater

LIITE 8. NOPEUS- JA PAIKKATIETOJEN ANALYYSI

LIITE 8. NOPEUS- JA PAIKKATIETOJEN ANALYYSI

SISÄLLYSLUETTELO

1. KÄYTÖSSÄ OLLEET REKISTERÖINTILAITTEET JA -JÄRJESTELMÄT	2
1.1 Karttatietojärjestelmät	2
1.2 MSC HINAn päiväkirjat	3
1.3 VTS-järjestelmä ja sen tietojen käsittely	4
1.4 PEGASOSin ja POSEIDONin nopeudet	11
1.5 Aikaa määrittävät kertomukset.....	12
2 PEGASOSIN NOPEUDEN MÄÄRITTÄMINEN TIETOJA YHDISTÄMÄLLÄ.....	12
3 YHTEENVETO	14

1. KÄYTÖSSÄ OLLEET REKISTERÖINTILAITTEET JA -JÄRJESTELMÄT

PEGASOSilla ja POSEIDONilla oli molemmilla elektroninen karttaohjelma (Transas Tsunami Offshore 99), joka rekisteröi aluksen GPS-tietoja. MSC HINAn konekäskyjen rekisteröinti perustuu laiva- ja konepäiväkirjojen merkintöihin, jotka on tehty ¼ minuutin tarkkuudella. Helsinki VTS tallentaa valvonta-alueellaan tapahtuvat alusten liikkeet lähteinään tutkamittaukset ja alusten AIS-transponderit. Tiedot MSC HINAn nopeudesta perustuvat VTS-tallenteisiin. Lisäksi tutkinnassa on käytetty hyväksi asianosaisten kertomuksia.

Kaikkia näistä eri lähteistä saatuja tietoja on tutkinnassa verrattu toisiinsa ja niitä yhdistämällä on analysoitu onnettomuustapahtuman ajankohtia sekä alusten nopeuksia, sijaintia ja keulasuuntia. Kellonaikana on käytetty satelliittiaikaa, johon muut kellonajat on sovitettu. Taulukossa 3 on esitetty eri tiedoista yhdistetyt ajan hetket eri tapahtumille. Raportissa käytetään Suomen talviaikaa.

Tässä liitteessä on kuvattu eri rekisteröintijärjestelmiä, niiden toimintaa ja rekisteröityä dataa. Lisäksi on arvioitu rekisteröintien tarkkuutta sekä esitetty PEGASOSin onnettomuuden ja liiketilasuureiden aikahistoria.

1.1 Karttatietojärjestelmät

Molemmissa hinaajissa oli Transas-karttaohjelma. Se näyttää reaaliaikaisesti aluksen GPS-paikan ja nopeusvektorin. Lisäksi ohjelma voi tallentaa liiketiedot. Sekä PEGASOSin että POSEIDONin karttaohjelmat tallensivat GPS-tiedot (paikka, nopeus ja suunta pohjan suhteen) tasaminuutein.

Rekisteröintiä katseltaessa ohjelma interpoloi lineaarisesti datapisteet tasaminuutein saadun tiedon välille ja näyttää aluksen näin lasketun paikan yhden sekunnin välein. Paikan lisäksi näytettävät nopeus ja suunta pysyvät samoina koko interpoloidun minuutin ajan. Nämä vakioina esitettävät suuret ovat aloitusminuutin rekisteröidyt GPS-tiedot.

Tutkinnassa luettiin ja kirjattiin karttaohjelman näytöltä PEGASOSin ja POSEIDONin paikatiedot kahden sekunnin välein aikavälillä 21:20:00–21:40:00. Tasaminuuttien nopeus- ja suuntatiedot on poimittu näytöltä PEGASOSille 21:32:00–21:36:00 ja POSEIDONille 21:32:00–21:41:00.

GPS-järjestelmän satelliittiaikaa on tutkinnassa pidetty tarkkana. Tutkinnassa on oletettu muiden rekisteröityjen GPS-suureiden tarkkuuksien olevan; paikka differentiaalikorjauksella $\pm 2\text{--}3\text{ m}^{237}$ (suhteessa saman rekisteröinnin muuhun dataan, absoluuttinen maantieteellinen tarkkuus voi olla hieman heikompi), tasaminuutilla rekisteröity nopeus ± 0.2 solmua ja suunta ± 1 astetta.

PEGASOSin karttaohjelma on rekisteröinyt viimeisen tasaminuuttisen GPS-datan klo 21:36:00. PEGASOSin karttatietokoneen kovalevyiltä saatiin pelastettua lähes kaikki tiedot. Kaikista näistä tiedostoista viimeiseksi, 13. marraskuuta 2003, 21:36:00, oli muokattu tietoja Transas-ohjelman Track-rekisteröintitiedostossa "031113.trk".

²³⁷ PEGASOSin ja POSEIDONin GPS-vastaanottimet olivat differentiaalikorjauksella varustettuja.

Rekisteröinnin pysähtyminen voi olla seurausta joko ohjelman/tietokoneen pysähtymisestä tai siitä, että ohjelma/tietokone ei saanut enää paikannusdataa GPS-vastaanottimesta. Tietokone on saattanut pysähtyä putoamisen tai kastumisen seurauksena²³⁸. Viimeistään se on pysähtynyt sähkönsyötön katketessa. Päällikön kertomuksen mukaan hinaajan sähköt katkesivat aluksen kaaduttua ja ovesta tulvivan veden täyttäessä komentosiltaa.

GPS-vastaanottimen toiminnan pysähtymisen syynä on voinut olla antennin joutuminen veteen, komentosillalla olleen vastaanottimen kastuminen tai sähkönsaannin katkeaminen. Antenni sijaitsi mastossa kohdassa, joka joutui veteen noin 85 asteen kallistumalla. Antenni joutui siis veden alle suunnilleen samaan aikaan, kun sähköt katkesivat.

Sekä tietokoneen että GPS-vastaanottimen toiminnot pysähtyivät lähes samaan aikaan. Tutkijat olettavat, että rekisteröinnin päättymisen on todennäköisemmin aiheuttanut tietokoneen pysähtyminen. Pysähtyminen on tapahtunut ennen klo 21:37:00 odotettavissa ollutta seuraavaa datan kirjoittamista kovalevyn tiedostoon.

Edellä esitetyn perusteella voidaan tutkijoiden mukaan määrittää erittäin suurella todennäköisyydellä se yhden minuutin aikaväli eli klo 21:36–21:37, jonka aikana PEGASOSin erittäin nopean kaatumisen päätteeksi komentosillan oviaukko iskeytyi veteen (kallistuma noin 80 astetta). Tämän jälkeen aluksen kallistuma kasvoi hitaasti uppoamiseen saakka. Kaatumiseen johtanut kallistuminen oli alkanut noin puoli minuuttia aiemmin.

1.2 MSC HINAn päiväkirjat

Tutkinta sai käyttöönsä otteet MSC HINAn kone- ja kansipäiväkirjoista hinaajien kiinnittymisestä laiturin kiinnittymiseen. HINAn konekäskyjen konepäiväkirjaan ja kansipäiväkirjaan ajat on kirjattu ¼ minuutin tarkkuudella. Kello, johon perustuen konekäsky on kirjattu, on ilmeisesti ollut jonkin verran eri ajassa kuin GPS-aika. Tarkastelussa on verrattu konekäsky-päiväkirjan aikoja ja HINAn nopeuksia VTS:n rekisteröinnissä, kuvat 1 ja 2 (raportin kuvat 11 ja 13). Tästä on päädytty kellonaikojen yhteen sovittamista varten lisäämään konekäskyn aikaan 1 minuutti, jolloin saadaan kohtuullinen yhteensopivuus. Kaatumisen aikoihin päiväkirjoissa on seuraavat merkinnät, taulukko 1²³⁹.

Taulukko 1. Konekäskyt päiväkirjoissa PEGASOSin kaatumisen aikoihin.

Konekäsky	Konepäiväkirjassa	Kansipäiväkirjassa	Tulkinta
STOP	21:32	21:32	Jarrutus päättyi
DEAD SLOW	21:32½	21:32½	Lähtö 1 solmusta
STOP	21:36½	21:35½	Tieto: PEGASOS nurin
DEAD SLOW	21:38	21:37½	MSC HINA taas vauhtiin
SLOW	21:38½	21:38	Lisää vauhtia
STOP	21:40	21:40	Varautuminen ankkurointiin
DEAD SLOW	21:41	21:41	Matka jatkuu

²³⁸ Tietokone löydettiin välittömästi aluksen noston jälkeen komentosillan oikeanpuoleiselta siiveltä, jossa se pysyi kaapeleiden avulla.

²³⁹ Nämä ajat ovat suoraan päiväkirjoista, ilman tutkinnassa lisättyä yhtä minuuttia

LIITE 8. NOPEUS- JA PAIKKATIIETOJEN ANALYYSI

Kansipuolen päiväkirjassa on merkintä hetkellä 21 38½ (sarakkeessa kellonaika "Dead Slow"): "Keulassa oleva hinaaja irrottautui, koska perässä oleva hinaaja raportoi ongelmasta. Raportoijana 3. perämies. Hinaaja vaarassa 3½ solmun nopeudessa."

Vaikka ajat on kirjattu näennäisesti ¼ minuutin tarkkuudella, niissä saattaa olla esim. huolellisuudesta johtuvaa epätarkkuutta. Tästä kertoo se, että kahdessa eri päiväkirjassa on saman tapahtuman kirjaushetkessä paikoin ½–1½ minuutin aikaero (esim. taulukko 1). Lisäksi syntyy viive, joka voi vaihdella käskyn antamisesta sen kirjaamiseen ja koneen käynnistämiseen ja potkurin pyörimiseen. Tutkinnassa on oletettu, että keskimäärin kuluu aikaa 15–30 sekuntia käskyn antamisesta komentosillalla koneen pyörimiseen pyydetyllä nopeudella. Jos kyseessä on suunnanvaihto, voi aikaa kulua enemmän.

Konekäskyjen toteutusjärjestys on 1) Luotsi antaa komennon, jonka aluksen päällikkö välittää konetelegrafia hoitavalle perämiehelle; 2) tämä kääntää konetelegrafin pyydettyyn asentoon, jolloin konehuoneeseen välittyy tieto pyydetystä konekäskystä; 3) vuorossa oleva konemestari tekee pyydetyn säädön.

Jos kyseessä on koneen käynnistys, konemestari tekee käynnistuksen vaatimat toimenpiteet ja käynnistää ja säätää koneen. Koneen hitausvoimien vuoksi kuluu aikaa ennen kuin pyydetty kierrosluku saavutetaan. Käynnistettäessä konetta, joka on lämmin, kuluu Dead Slow Ahead kierrosten saavuttamiseen noin 15 sekuntia käynnistuksen aloituksesta.

Jos kyseessä on suunnan vaihto, konemestari tekee koneen pysäytyksen vaatimat toimenpiteet, vaihtaa koneen pyörimissuunnan ja sen jälkeen käynnistuksen vaatimat toimenpiteet. Kone voidaan käynnistää toiseen suuntaan vasta potkurin kierrosten laskettua riittävän alas.

Tärkeä havainto HINAN konekäskyjen rekisteröinneistä on, että kaikki PEGASOSin kaatumisen kannalta oleelliset komennot on kirjattu päiväkirjoihin.

1.3 VTS-järjestelmä ja sen tietojen käsittely

Helsingin VTS-järjestelmässä on useita tutka-antenneja, joiden mittaamasta tiedosta operaattoreille elektronisella karttapohjalla esitettävä kuva (tutkavideo) koostetaan. Kohteesta näytetään tutkavideon lisäksi aluksen tunnistetiedot, nopeus ja liikkeen suunta pohjan suhteen. Lisäksi näytetään alusten AIS-transpondereiden lähettämät tiedot²⁴⁰. VTS-järjestelmään tallennetaan tutkamaalit, AIS-tiedot ja osa VHF-liikenteestä sekä kellonaika.

VTS-tutkan antenni pyörii ympäri 30 kertaa minuutissa. VTS-näytöllä esitettävä tutka-kuva (aluksen tutkavideo) lasketaan useamman tutkan mittaamasta tiedosta. Tutkakuvan laskennan ja muodostamisen vaatiman ajan vuoksi kuva on VTS-kuvan kellonaikaan nähden noin 3–5 s myöhässä²⁴¹. Tutkan ARPA-toiminto²⁴² näyttää kohteen nopeuden. Nopeus lasketaan viiden viimeisen tutkamittauksen tuloksen avulla painotettuna, jolloin näytössä esitettävä nopeustieto on VTS-kuvan kellonaikaan nähden 2–3 s myöhässä. MSC HINAN

²⁴⁰ Kansainvälisten ja Suomen kotimaanliikenteen aluksia koskevien sääntöjen mukaan PEGASOSilta, POSEIDONilta tai MSC HINALta ei vaadittu AIS-laitetta onnettomuusajankohtana.

²⁴¹ Tämä ero perustuu VTS-videosta arvioituun nopean aluksen tutkakaiun ja AIS-symbolin välisen etäisyyden erotukseen aluksen nopeuden muuttuessa noin 30 solmista noin 20 solmuun.

²⁴² Tutka laskee ARPA-toiminnossa (ARPA = Automatic Radar Plotting Aid) valitun kohteen tutkakaiun nopeuden ja kulkusuunnan.

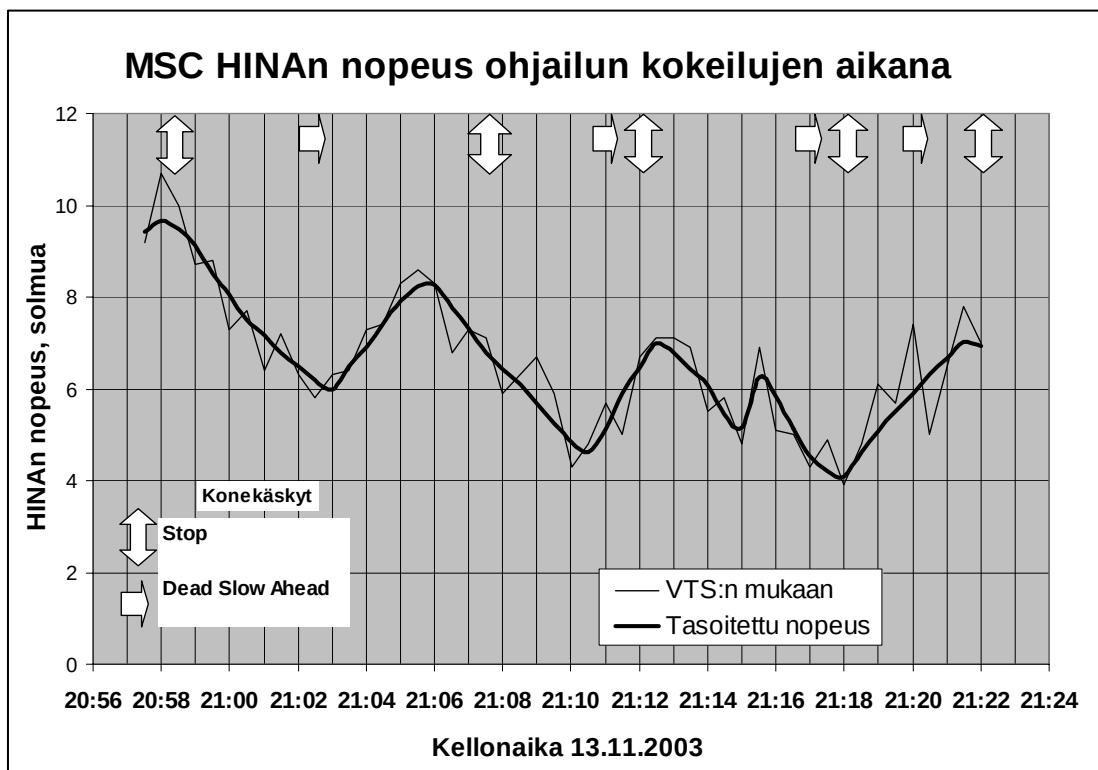
LIITE 8. NOPEUS- JA PAIKKATIEETOJEN ANALYYSI

nopeuden tarkkuudeksi on arvioitu $\pm 0,2$ solmua vertaamalla sitä POSEIDONin GPS-nopeuteen.

Helsinki VTS:n tutkista kolme on lähellä onnettomuusväylää. Nämä tutkat sijaitsevat Harmajalla (etäisyys PEGASOSin uppoamispaikasta 2,2 mailia), Pihlajasaarella (etäisyys 1,3 mailia) ja Sumparen-saarella (etäisyys 4,3 mailia). Kaikilta kolmelta tutkalta on esteetön mittausetäisyys PEGASOSin uppoamispaikalle.

Aikaerot. Rekisteröinnissä tutkakuva päivittyy keskimäärin 15 s välein. ARPA-maalin symboli ja sen nopeusvektori sekä laskettu nopeus päivittyvät 1–3 sekunnin välein. VTS-kellonaika saattaa poiketa GPS-ajasta. Kuvien 3 ja 8 perusteella VTS-aika on 10–15 sekuntia edellä GPS-ajasta²⁴³, josta laskennan synnyttämä osuus on 2–3 sekuntia. Tutkinassa on päädytty aikaeroon 10 sekuntia, jolloin MSC HINAN nopeuskäyriä on siirretty 10 sekuntia vasemmalle ja tutkakuvien ajanhetkeistä on vähennetty 10 sekuntia (otettu huomioon kuvassa 6)

MSC HINAN nopeuksien määrittäminen. HINAN nopeus avustustapahtuman aikana klo 20.56–21.47 on määritetty VTS-rekisteröinnistä kirjaamalla nopeudet puolen minuutin välein. Näin saatu nopeuskäyrä on tasoitettu käsin, kuvat 1 ja 2 (raportin kuvat 11 ja 13a).



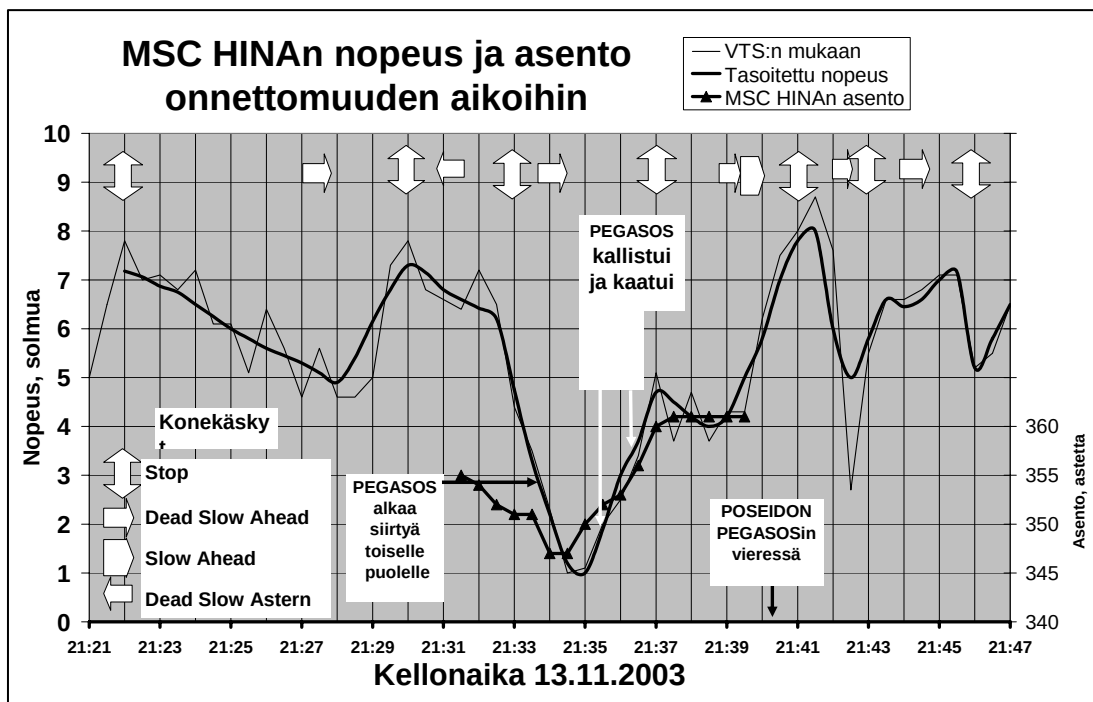
Kuva 1. MSC HINAN nopeus luotsien tutustuessa aluksen ohjailuominaisuuksiin. Konekäsky on siirretty eteenpäin yksi minuutti. MSC HINAN nopeuskäyriä ei ole siirretty. Hetkeä kuvaa nuolen alkupää, pystynuolilla nuolen kärki. Mikäli kone- ja kansipäiväkirjojen ajat eroavat toisistaan, on käytetty keskiarvoa.

Kuvassa 3 on MSC HINAN kaikki rekisteröidyt nopeustiedot poimittuna VTS-tutkavideosta aikavälillä 21:32–21:40. Merkillepantavaa on nopeuden kasvun pysähtyminen hieman en-

²⁴³ MSC HINAN nopeuden tulee olla yhteensopiva POSEIDONin nopeuden kanssa jarrutuksen ja kiihdytyksen aikana.

LIITE 8. NOPEUS- JA PAIKKATIEDOJEN ANALYYSI

nen klo 21:36. Tämä voidaan tulkita johtuvan MSC HINAN vastuksen kasvusta PEGASOSin kaatumisen johdosta. MSC HINAN nopeus lähti jälleen kasvamaan, kun PEGASOSin hinausköysi irtosi. Nopeuden tasaantumisvaihe kesti noin ½ minuuttia.



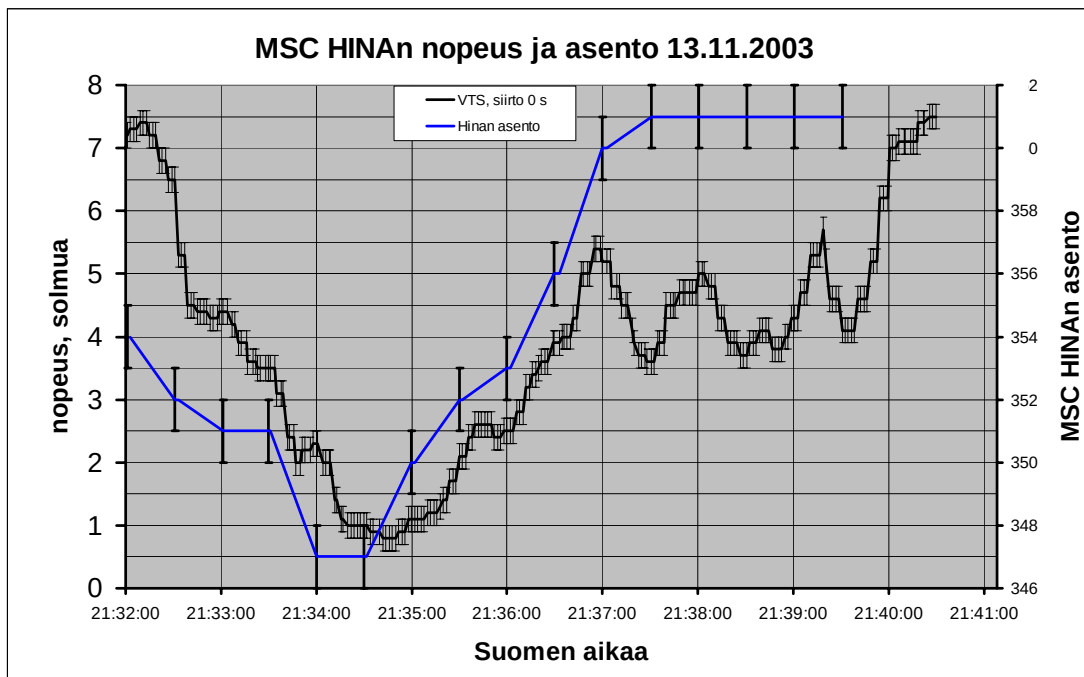
Kuva 2. MSC HINAN nopeus ja asento onnettomuuden aikoihin. Konekäskyt on siirretty eteenpäin yksi minuutti. MSC HINAN nopeuskäyrää ei ole siirretty. Tarkemmat ajat ja nopeudet ovat myöhemmissä kuvissa.

MSC HINAN asennon määrittäminen Koska VTS:n kaksi tutkaa Pihlajasaarella ja Harmajalla ovat lähellä onnettomuuspaikkaa, on niiden mittauksista yhdistetystä tutkakaiusta ollut mahdollista määrittää MSC HINAN asento (keulasuunta) väylässä. Asento määritettiin aluksen VTS-rekisteröinnin tutkakaiusta käsin mittaamalla olettaen, että tutkakaiun oikeanpuoleisen reunan suunta kuvastaa aluksen oikeanpuoleisen kyljen suuntaa (kuvat 4 ja 5).

MSC HINAN paikan määrittäminen. Elektronisella karttapohjalla näytetty MSC HINAN tutkakaiku saattaa olla hieman liian idässä. PEGASOSin uppoamispaikan selvitti paikan yläpuolella käynyt helikopteri, joka sai signaalin PEGASOSin pelastuslautan pinnalle nousseesta poijusta. Poijun naru johti suoraan alaspäin²⁴⁴. Paikka on merkitty kuvaan 7. Raportin kuvissa, joissa MSC HINA on sijoitettu väylälle, sitä on siirretty vajaan aluksen leveyden verran länteen.

Väylän leveys onnettomuusalueella on 270 m. Tätä tietoa on käytetty alusten välisen etäisyyden arviointiin. Merikartan avulla tarkistettiin, että elektronisella karttapohjalla leveys on 270 m.

²⁴⁴ MRSC klo 22:38 (13.11.2003): "HVK löysi pelastuslautan, josta naru suoraan alaspäin 60ast 06.93N 024ast 54.34E".

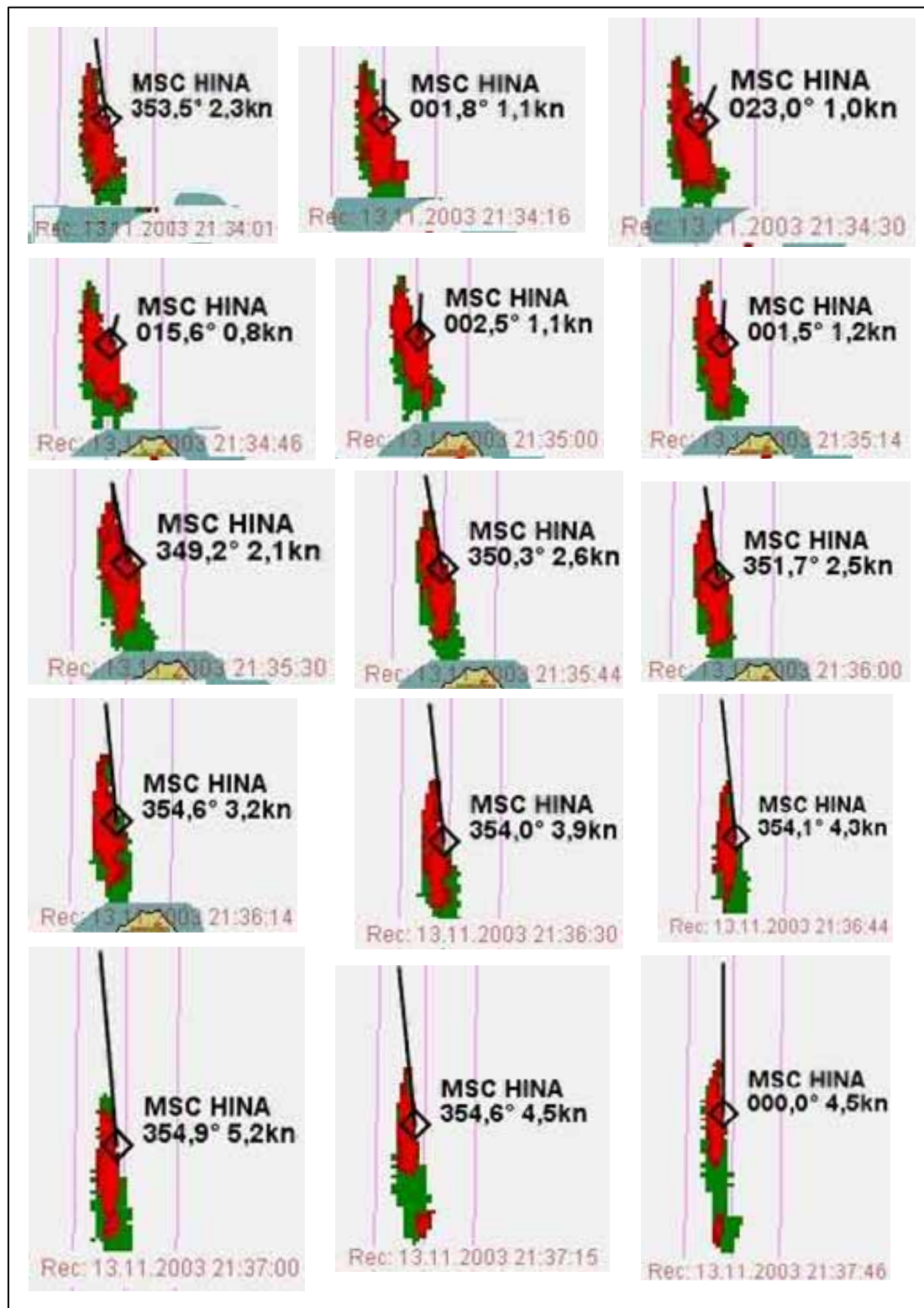


Kuva 3. MSC HINAN nopeus ja asento onnettomuuden aikoihin. Käyrissä ei ole mahdollisia VTS-ajan korjauksia. Arvioidut virherajat on näytetty (nopeus $\pm 0,2$ kn ja asento ± 1 aste).

Kello 21:32 MSC HINAN perä oli kääntymässä oikealle tuulen ja nopeuden pienentämisen johdosta. Kello 21:33 jälkeen nopeus oli pudonnut riittävän pieneksi ja PEGASOS alkoi siirtyä MSC HINAN sivulta sen perän oikealle puolelle kiristäen köyttä. Tämä toimenpide lisäsi edelleen MSC HINAN perän kääntymistä oikealle. Noin klo 21:34 PEGASOS pääsi asemaan, jossa se alkoi vetää vasemmalle täydellä koneteholla. Tämä ensin pysäytti MSC HINAN kääntymisen oikealle ja alkoi sitten kääntää sen perää vasemmalle. Samalla MSC HINAN kone käynnistettiin. PEGASOS veti MSC HINAN perää edelleen pienentyneellä voimalla vasemmalle ja samalla alkoi MSC HINAN peräsinvoima vaikuttaa samaan suuntaan. Myös POSEIDONin oikealle vetäminen oli vaikuttamassa. MSC HINA oikeni ja veti samalla nopeuden kasvaessa PEGASOSin keskemmälle perän taakse. Kun PEGASOS oli kääntynyt poikittain ja kaatunut sen aiheuttama jarrutusvoima kasvoi. Tämä näkyy kuvassa 3 noin klo 21:36 MSC HINAN nopeuden kasvun hidastumisena. PEGASOSin köyden irrottua MSC HINAN nopeus kasvoi, mikä tehosti sen peräsimen ohjailuvaikutusta ja alus kääntyi väylän suuntaiseksi. Kuvassa 3 on MSC HINAN nopeuden lisäksi sen asento.

Tapahtumien ajankohdat. Kuvissa 4 ja 5 on esitetty kuvasarjat MSC HINAN, PEGASOSin ja POSEIDONin rekisteröidyistä tutkakaiuista (VTS-tutkakuvan osasuurennos). Kuvasarjan 4 tutkakaiut ovat MSC HINAN kiihdytyksen ja PEGASOSin kaatumisen ajalta. Kuvasarjassa 5 on vastaavasti näkyvissä POSEIDONin irrottautuminen ja saapuminen PEGASOSin luo. Kuviin on yhdistetty vastaava VTS-rekisteröinnin kellonaika.

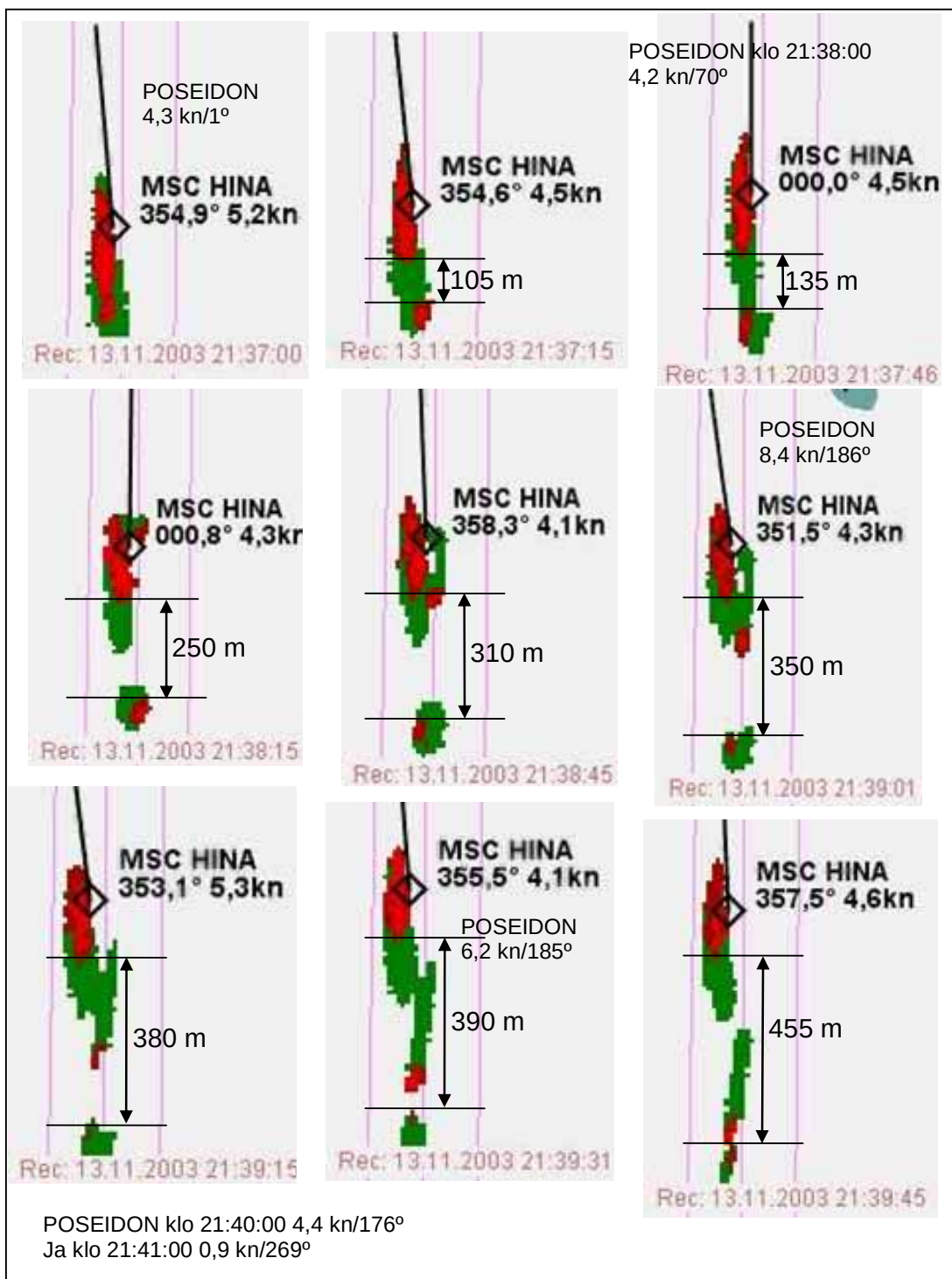
LIITE 8. NOPEUS- JA PAIKKATIIETOJEN ANALYYSI



Kuva 4. VTS-tutkakuvien osasuurennokset PEGASOSin kaatumisen aikoihin.

PEGASOSia ei näy selvästi erillään sen ollessa lähellä MSC HINAa ilmeisesti tutkien ominaisuuksista johtuen. Vasta irtoamisen jälkeen välimatkan kasvettua tarpeeksi suureksi se näkyy erillään klo 21:37:15. Tällöin alusten välimatka oli noin 105 m.

LIITE 8. NOPEUS- JA PAIKKATIETOJEN ANALYYSI

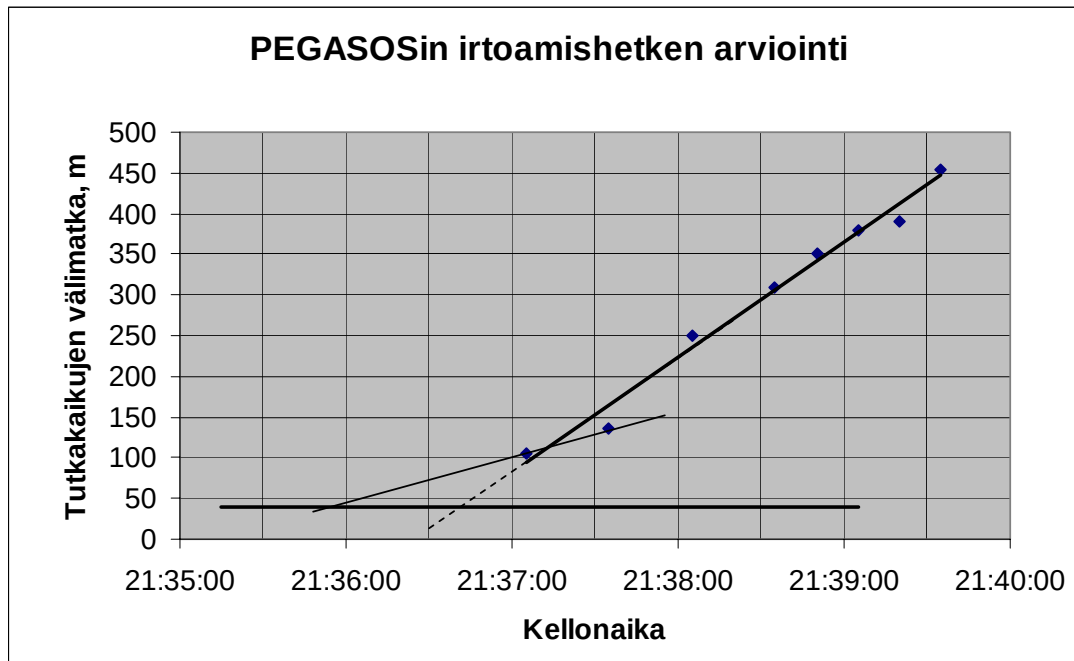


Kuva 5. MSC HINAn etääntyminen PEGASOSista ja POSEIDONin saapuminen PEGASOSin luo. Kuvaan on merkitty PEGASOSin etäisyys MSC HINAN perästä sekä POSEIDONin GPS-nopeuksia ja -suuntia.

POSEIDON näkyy selvästi erillisenä vasta klo 21:38:15. GPS-tasamинуutin nopeustietojen mukaan sillä oli jo selvä nopeus itään klo 21:38:00 (kuvassa 5). GPS-paikkatiedoista laskettuna sen nopeus oli pohjoiskoilliseen klo 21:37:30 (3,7 kn/24°). Tutkijat olettavat tällä perusteella, että se on ollut irti ja alkanut kaartaa kohti PEGASOSia noin klo 21:37:00. Nopeudet ovat taulukossa 2.

LIITE 8. NOPEUS- JA PAIKKATIIETOJEN ANALYYSI

Kuvasarjan 5 kuvista mittaamalla on laadittu kuva 6. Kuvaan 5 on piirretty MSC HINAn ja PEGASOSin tutkakaikujen välimatka (kuvaan merkitty väylän leveys on 270 m). Ne on piirretty kuvaan 6 korjatun VTS-kellonajan funktiona. Irtoamishetkellä välimatka oli köyden pituuden suuruinen (40 m), koska PEGASOS oli silloin poikittain. Koska tutka ei erottele pieniä alusten välisiä etäisyyksiä, näkyy PEGASOSin erillinen kaiku vasta klo 21:37:15. Lisäksi kuva päivittyy 15 sekunnin välein. On oletettu, että PEGASOS liikkui köyden irtoamisen jälkeen ajalehtimalla uppoamiseen asti noin 5 minuuttia.



Kuva 6. PEGASOSin irtoamishetken määrittäminen. Kuvassa VTS:n kellonaika on muutettu vastaamaan GPS-kellonaikaa (VTS-aikaa siirretty -10s = kellojen ero - 15 s ja tutkakuvan viive +5 s).

Tutkijat päättelivät kuvaan piirrettyjen approksimoivien suorien avulla, että PEGASOSin hinausköysi irtosi aikaisintaan klo 21:35:55 ja viimeistään klo 21:36:40. Todennäköisin aikaväli on tutkijoiden mielestä klo 21:36:05–21:36:15 (MSC HINAn nopeutta välittömästi irtoamishetken jälkeen painotettu, PEGASOS saattanut hieman liikkua MSC HINAn menosuuntaan). Oletetaan koukun hydraulikan laukaisuviiveeksi 5 sekuntia ja PEGASOSin päällikön tarvitsemaksi ajaksi toiseen laukaisuyritykseen 5 sekuntia. Edellä sanotun perusteella saadaan aikaväliksi, jolloin ohjaamon ovi iskeytyi veteen klo 21:35:55–21:36:05. Kaatuminen kesti 10–15 sekuntia, joten se alkoi (PEGASOS oli poikittain virtauksessa) tämän päättelyn mukaan klo 21:35:40–21:35:55.

Kuvassa 7 on merkitty PEGASOSin pelastuslautan paikka. Se on viimeisen GPS-rekisteröimän paikan (klo 21:36:00) suhteen siirtynyt noin 50 m koilliseen. Köysi oli kiinni kaatuneessa aluksessa noin 15 sekuntia. Nopeudella 2,6 solmua PEGASOS hinautui tässä ajassa noin 20 m. Upotessaan PEGASOS on saattanut kulkeutua muutaman metrin. Pelastuslautan köysi on todennäköisesti ollut tuulen ja aallokon vuoksi kallistuneena koilliseen. Paikannusten tarkkuudet (GPS ja helikopterista tehty pimeässä) saattavat myös aiheuttaa virhettä Näistä syistä tutkijoiden käsitys on, että kaatuminen on tapahtunut hyvin lähellä ajankohtaa 21:36:00

1.4 PEGASOSin ja POSEIDONin nopeudet

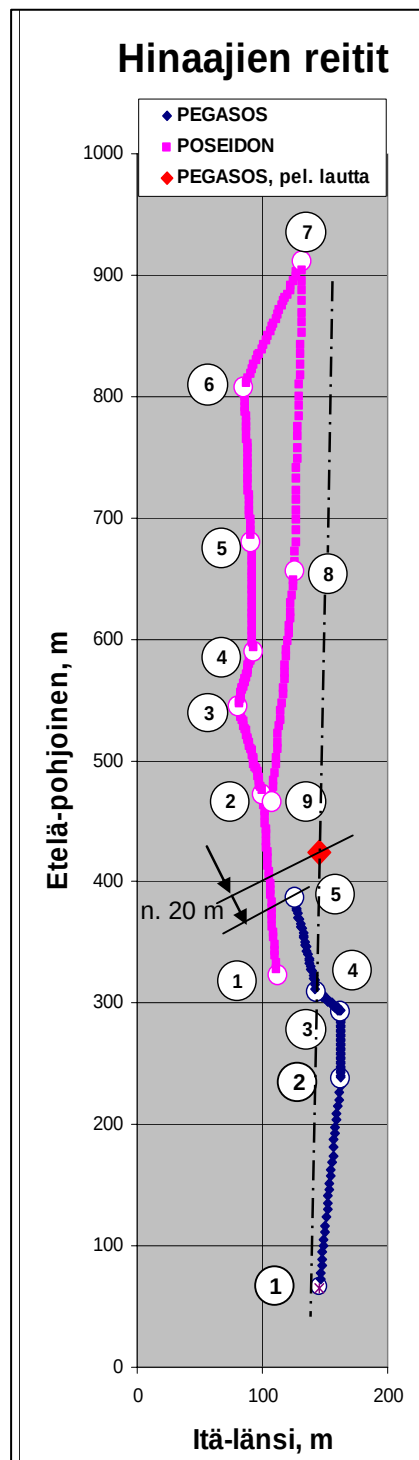
Hinaajien nopeudet saatiin alusten GPS-rekisteröinnistä. Taulukossa 2 on esitetty kummankin hinaajan nopeudet ajan funktiona kahdella tavalla määritettynä; tasaminuuteilla on rekisteröity nopeustieto ja minuuttien puoliväliin merkitty tasaminuuttien paikkatiedosta laskettu keskinopeus. Tasaminuuttien rekisteröinnissä on sekä nopeusvektorin suuruus ja sen suunta. Ne on laskettu myös minuutin välein rekisteröidystä paikkatiedoista minuuttien puolivälissä esitetyille nopeuksille.

Taulukko 2. PEGASOSin ja POSEIDONin vektorinopeudet ja suunnat tasaminuutein (GPS-tieto) ja puolin minuutein (GPS-paikkatiedoista laskettu keskimääräinen nopeus ja suunta). Viereisessä kuvassa ovat vastaavana aikana kuljetut reitit. PEGASOSin GPS-nopeus klo 21:33:00 6,3 solmua on korjattu. Ilmeisesti lukemavirhe.

Aika/piste kuvassa 7	PEGASOS		POSEIDON	
	Nopeus	Suunta	Nopeus	Suunta
21:32:00/1	6,3	4	6,0	4
21:32:30	5,6	6	4,9	355
21:33:00/2	4,9	4	4,5	349
21:33:30	1,8	0	2,4	345
21:34:00/3	0,7	67	1,4	341
21:34:30	0,8	312	1,5	15
21:35:00/4	2,8	287	1,9	12
21:35:30	2,6	347	2,9	359
21:36:00/5	3,5	2,5	3,2	1
21:36:30			4,1	357,5
21:37:00/6			4,3	1
21:37:30			3,7	24
21:38:00/7			4,2	70
21:38:30			8,3	181
21:39:00/8			8,4	186
21:39:30			6,2	185
21:40:00/9			4,4	176
21:40:30			Ei lask.	Ei lask.
21:41:00			0,9	269

Ennen kaatumista PEGASOS siirtyi MSC HINAN perässä sivusuuntaan, minkä vuoksi tuossa vaiheessa hinaajan kerran minuutissa rekisteröity GPS-nopeus samoin kuin paikkatiedosta laskettu nopeus on sisältänyt myös sivuttaiskomponentin.

Kuva 7. Hinaajien reitit klo 21:32:00–21:40:00. Transas-ohjelman kahden sekunnin välein laskemat (interpoloimat) paikat muodostavat suoran viivan minuutin välein rekisteröityjen GPS-paikkakoordinaattien välille. Kuvaan on merkitty myös väylän keskiviiva.



LIITE 8. NOPEUS- JA PAIKKATIIETOJEN ANALYYSI

Myös POSEIDONilla oli nopeuden sivuttaiskomponentti sen oikaistessa MSC HINAA ja siten irrottautumisen jälkeen. Kuvassa 8 on esitetty vain pohjoissuuntainen komponentti. Samassa kuvassa on myös MSC HINAN nopeus. Mittaustapa oli erilainen, minkä vuoksi niiden tarkkuudet ovat erilaiset. Kuvassa on otettu huomioon GPS-ajan ja VTS-ajan erotus ja laskentaviiveet.

1.5 Aikaa määrittävät kertomukset

PEGASOSin päällikkö. PEGASOS oli hänen piirroksensa (liite 5) ja kertomuksensa mukaan MSC HINAN vasemmasta kyljestä hieman länteen. Tällöin PEGASOS alkoi oikaista MSC HINAA käyttäen täyttä konetehoa. MSC HINA veti hetken aikaa hinaajaa perä edellä ennen kuin hinaaja kääntyi poikittain virtaukseen.

Ohjaamon oven osuessa veteen päällikkö yritti laukaista hinauskoukun, mutta ei onnistunut. Sukeltamalla vedellä täyttyvässä ohjaamossa hän sai koukun laukaistua. Tämä tapahtui viime hetkellä, sillä sähköjen katkettua koukun laukaisun käynnistävä magneettiventtiili ei olisi toiminut. Koukun irtoaminen ja PEGASOSin pysähtyminen kesti kaikkiaan 15–20 sekuntia siitä hetkestä kun ovi iskeytyi veteen (kallistuma noin 80 astetta).

MSC HINAN päällystä. PEGASOSin kaaduttua MSC HINAN nopeus oli 3,5 solmua. MSC HINAN peräkannella olleet henkilöt ilmoittivat komentosillalle ensin hinaajan olevan pahasti kallellaan ja sitten sen kaatuneen.

Luotsit. Saatuaan tiedon kaatumisesta, luotsi antoi välittömästi STOP-käskyn. Käsky on kirjattu kansipäiväkirjaan klo 21:35½ ja konepäiväkirjaan klo 21:36½. Tutkinnassa on katsottu perustelluksi siirtää päiväkirjojen aikoja minuutilla eteenpäin. Näin ollen käsky olisi annettu klo 21:36½-37½. PEGASOSin kaatumisesta (ohjaamon ovi iskeytyi veteen) käskyn antamiseen saattoi kulua enintään 20 sekuntia.

Avustava luotsi ilmoitti PEGASOSin kaatumisesta POSEIDONille. Tähän saattoi kulua 10 sekuntia.

POSEIDONin päällikkö. POSEIDON irrottautui välittömästi. Irrottautuminen saattoi kestää 10 sekuntia. POSEIDON oli irti tämän oletuksen mukaan enintään 40 sekuntia PEGASOSin kaatumisen jälkeen.

2 PEGASOSIN NOPEUDEN MÄÄRITTÄMINEN TIETOJA YHDISTÄMÄLLÄ

Tutkinnan tavoitteena oli määrittää PEGASOSin nopeus mahdollisimman tarkasti niiden neljän minuutin aikana, jotka edelsivät sen kaatumista. Tämä nopeus on yhdistelmä hinaajien ja MSC HINAN nopeustiedoista. MSC HINAN kiihdytyksen aikana kaikkien kolmen aluksen nopeudet olivat likimain samat konttialuksen kulkusuunnassa.

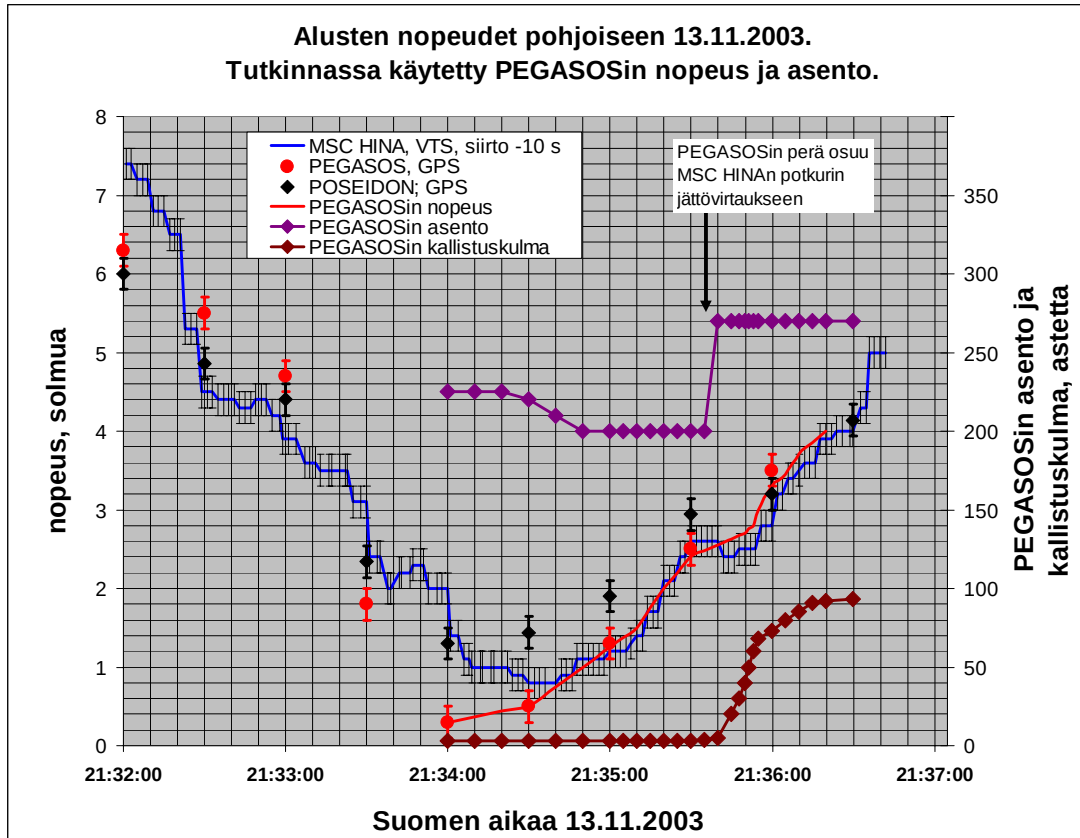
POSEIDON oli onnettomuuteen asti suunnilleen samassa paikassa suhteessa MSC HINAN keulaan. Näiden alusten nopeuksien voidaan olettaa olleen likimain samat.

Kuvassa 8 on esitetty kootusti eri lähteistä kerätty nopeustiedot. MSC HINAN nopeuden suunta on suunnilleen vakio (pohjoiseen), joten on käytetty suoraan VTS-tietoja. PE-

LIITE 8. NOPEUS- JA PAIKKATIEDOJEN ANALYYSI

GASOSilla on MSC HINAn perän ohi siirtymisen aikana ollut itä-länsi-suuntainen nopeuskomponentti. Nopeudesta on otettu huomioon vain pohjoissuuntainen komponentti. Siihen on päädytty suuntatiedon avulla.

PEGASOSin, POSEIDONin ja MSC HINAn nopeudet klo 21.32.30–21.36.30 eli juuri ennen PEGASOSin kaatumista on määritetty yhdistäen hinaajien GPS:n rekisteröintitiedot ja VTS:n mittaama MSC HINAn nopeus, kuva 8. (raportin kuvat 33–36 ja liitteen 2 kuva 17 on tehty tämän pohjalta).



Kuva 8. Kaikkien kolmen alusten nopeudet. MSC HINAn VTS-nopeuden aikaa on aikaistettu 10 sekuntia. Kuvassa on myös näytetty tutkinnassa käytetyt PEGASOSin nopeus, asento ja kallistuskulma.

Kuvassa 8 sekä MSC HINAn nopeuskäyrässä että POSEIDONin nopeusarvoissa on selvä nopeuden kasvun hidastuminen, pituudeltaan noin ½ minuuttia aikavälin 21:35–36 loppupuolella. Tämä voidaan tulkita johtuvan PEGASOSin poikittaisvastuksen lisäyksestä sen kääntyttyä poikittain virtaukseen ja sen peräosan kohdattua MSC HINAn potkurin jättövirtauksen. Ajallisesti se sopii hyvin edellä esitettyihin aikalaskelmiin.

Kuvien 3 ja 8 perusteella näyttää siltä, että VTS:n ja GPS:n kellot eivät ole olleet samassa ajassa. Toinen mahdollisuus on, että VTS-laskentaprosessi vie tietyn ajan. Kolmas mahdollisuus on, että kyse on sekä kellojen erosta, että laskennan vaatimasta ajasta, VTS-nopeuden muodostaminen 4–5 viimeisen mittauksen avulla tietyin painotuksin selittää aikaerosta vain muutaman sekunnin. MSC HINAn ja hinaajien, varsinkin POSEIDONin, pohjoissuuntaisten nopeuksien pitäisi olla likimain samat. Riittävän hyvä yhteensopivuus saa-

LIITE 8. NOPEUS- JA PAIKKATIIETOJEN ANALYYSI

vutetaan, kun oletetaan VTS:n kellon olleen edellä 15 sekuntia ja viiveet ovat 5 sekuntia. Tämä näkyy käyrien siirtona vaakasuoraan vasemmalle 10 sekuntia.

Pystysuora epätarkkuus syntyy nopeuden mittaustarkkuudesta. Kun se otetaan huomioon, osuvat nopeuskäyrät melko hyvin yhteen MSC HINAN jarrutus- ja kiihdytysvaiheessa. Kun nopeus oli pieni, käyrät eroavat enemmän, johtuen hinaajien manoveerausliikkeistä.

3 YHTEENVETO

Edellä esitetyn perusteella tutkijoiden käsitys on, että PEGASOS alkoi kaatua klo 21:35:40–21:35:55. Tällöin sen nopeus pohjan suhteen, joka oli samansuuruinen MSC HINAN nopeuden kanssa, oli 1,2–1,5 m/s (2,4–3,0) solmua). Tutkinnan päätelmä on, että päällikkö pystyi ohjailutoimenpiteillään viivästyttämään PEGASOSin kääntymistä poikittain. Kun hinaajan perä osui MSC HINAN potkurivirtaan, PEGASOS kuitenkin kääntyi nopeasti poikittain ja kaatui välittömästi sen jälkeen.

Taulukko 3. Onnettomuustapahtuman ajanhetket.

Tapahtuma	Aika
PEGASOS aloittaa siirtymisen MSC HINAN vasemmalle puolelle	21:33:30
PEGASOSIN perä MSC HINAAn päin sen keskiviivalla	33:45
PEGASOS vasemmalla ääriasemassa	34:00
Hinaajia pyydetään oikaisemaan MSC HINAA	34:10
PEGASOS alkaa vetää täysillä suuntaan 225	34:15
MSC HINAssa annetaan Dead Slow Ahead-käsky	34:30
MSC HINAN potkuri alkaa pyöriä ja aluksen nopeus alkaa kasvaa	34:40
PEGASOSin päällikkö havaitsee potkurivirran	35:00
MSC HINAN nopeus 2 solmua	35:20
PEGASOSin peräosa osuu potkurin jättövirtaan ja alus alkaa kääntyä poikittain	35:35
PEGASOSin kaatuminen alkaa (20 asteen kallistuma ylittyy)	35:45
PEGASOSin GPS-rekisteröinti loppuu	36:00
MSC HINAN nopeus 3 solmua	36:00
PEGASOSin ohjaamon ovi iskeytyy veteen (kallistuma 80 astetta)	36:05
Koukun ensimmäinen laukaisuyritys	36:05
MSC HINAN nopeus 3,5 solmua	36:10
Sähköt katkeavat	36:10
Toinen laukaisu onnistuu	36:10
Tieto kaatumisesta MSC HINAN ohjaamoon	36:20
PEGASOSin koukku irtoaa	36:20
Tieto POSEIDONille PEGASOSin kaatumisesta	36:40
POSEIDON irti köydestä	36:50
MSC HINAssa konekäsky Stop	37:00
MSC HINAssa konekäsky Dead Slow Ahead	38:45
POSEIDON PEGASOSin vieressä	40:15
PEGASOS uppoaa	≈41:00

LIITE 9. MSC HINAn tiedot

MSC HINAn tiedot

CALL SIGN :	HPFP	BUILT :	1984,RECONSTRUCTED 1989
INMARSAT C:	435592510	DELIVERED TO MSC:	21.05.03
		SHIPYARD :	VEB WARNOW WERFT WARNEMUNDE
		YARD N.:	
CLASS :	BUREAU VERITAS	TYPE	GEARLESS CONTAINER SHIP,ICE CLASS
	BV 13/3 CONTAINER SHIP DEEP SEA ICE 1	OWNER :	COMPANIA NAVIERA HINA S.A.
MMSI NO.:	355925000	MANAGING CO.:	PACIFIC MARINE SERVICES LTD.
CLASS N.:	950026		HONG KONG
IMO No.:	8201686	FLAG/HOME PORT :	PANAMA / PANAMA
ASSIGNED CLUB :	WEST OF ENGLAND	OFFICIAL No.:	31175-PEXT
LENGTH O.A.:	203,06	DEPTH MOULDED :	15.90 M
LENGTH B.P.P.:	192,73	DEPTH TO 2ND DECK:	11.90M
BREADTH MLD.:	25,4	MAX HEIGHT A.K. :	46.80M
LIGHTSHIP AT 3.98 DRAFT: :	10655	HATCHES TYPE:	MAC GREGOR LIFT AWAY PONTOON
D.W. ON S.L.L.AT 9.82 DRAFT:	21370	CARGO HOLD/HATCHES No:	6
		FROM BRIDGE TO BOW:	153
SUMMER F.B.:	6,126	REEFER PLUG :	39 PLUGS
F.W.ALLOWANCE:	182MM	SERV.SPEED:	17 KTS
MAIN ENGINE :	B & W 9 DKPH	CONSUMP. PER DAY:	60 M/T
	2 STROKE,SINGLE ACTING,CROSSHEAD TYPE	DAILY PORT CONSUMP. :	6.0 M/T
	SUPERCHARGED DIESEL ENGINE		
OUTPUT:	21600 BHP@122 RPM	FUEL CAPACITY:	3879.10 MT
AUXILIARY ENG.:	SKL 8 VD26 / 20AL-2 / S 450-M6	DIESEL CAPACITY.	551.60 M/T
	4X800 KVA	L.O. CAPACITY :	122.40 M/T
EMERG.GENER.:	STEE 358 -4a, 110 KW	F.W. CAPACITY:	390.20 M/T
PROPELLER:	LIPS 4 FFIXED BLADE,SIZE 6.0M		
BOWTHRUSTER:	730 KW/h	M.E.FUEL TYPE:	IFO 180 CST
SPARE PROPELLER:	NIL	D.G.FUEL TYPE:	MDO
SPARE ANCHOR :	1	BUNKERING POINT :	MAIN DECK 153 M FROM BOW

CONTAINER CAPACITY - 1224 TEUS			
40' max loading capacity			
below deck	322 x 40'	76	x 20'
on deck	248 x 40'	38	x 20'
total	570 x 40'	114	x 20'
20' max loading capacity			
below deck	0 x 40'	720	x 20'
on deck	0 x 40'	504	x 20'
total	0 x 40'	1224	x 20'

SIZE, TYPE AND WEIGHT OF HATCH COVER				
hatch n.	P+C+S	size (lxb)	weight	type
1 F		6.30X8.27	9	LIFT AWAY
1A		6.30X13.65	20	LIFT AWAY
2 PF, 2 SF		13.04X8.02	22	LIFT AWAY
2 PA, 2SA		12.96X10.73	30	LIFT AWAY
3(P/S)F,3(P/S)A		12.96X10.73	30	LIFT AWAY
4F(P/S)F,4F(P/S)A		12.96X10.73	30	LIFT AWAY
4(P/S)F,4(P/S)A		12.96X10.73	30	LIFT AWAY
5P AND S3		12.96X8.02	30	LIFT AWAY

TONNAGE		
	Gross	Net
International	21 586	7 164
Suez	23 718,70	17 908,33
Panama	23 495,30	16 094,90

DECK CRANES	
NIL	

STACK WEIGHT		
	20"	40"
HATCH 1 AND 2	40 M/T	60 M/T
HATCH 3,AF,4 AND 5		
(EXCEPT FOR PSTN 09/01)	45 M/T	84 M/T
HATCH 3,AF,4 AND 5		
(FOR PSTN 09/10)	45 M/T	58 M/T
BAY 41	60 M/T	

LIITE 10. MSC HINAn RPM/nopeustaulukot

MSC HINAn RPM/nopeustaulukot

ENGINE ORDER	REV	SPEED (KTS)
DEAD SLOW AHEAD	50	8,5
	55	9,2
	60	10,1
SLOW AHEAD	70	12,0
	75	13,0
HALF AHEAD	80	14,0
	85	15,0
FULL AHEAD	90	16,0
	95	16,4
	100	16,8
FULL SEA SPEED AHEAD	105	17,2
	108	17,5
	110	17,8
FULL ASTERN	90	

MSC HINA
RPM/Speed
Tables
Loaded
Ballast



Merenkululaitos

26.01.2007

No. MTe 24/07

Onnettomuustutkintakeskus

Lausuntapyyntönnö 16.10.2006 Nro 276/5M

Hinaaja PEGASOS (IMO 6801078) – Kaatuminen ja uppoaminen 13.11.2003

Raporttiluonnos on kokonaisuutena asiallinen, ja Meriturvallisuus-toiminto suhtautuu myönteisesti siinä esitettyihin alusturvallisuusehdotuksiin. Alla ja ohjelmassa liitteessä esitetään joitain huomioita raportin johdosta.

Meriturvallisuus-toiminto on kehittämässä katsastusjärjestelmäänsä siten, että voidaan varmentaa paremmin aluksilta vaadittavat vakavuustiedot – ja erityisesti hinaajan vakavuustiedot – ja että ne ovat ajan tasalla. Raportissa esitettyjä vakavuusmääräysten parannusesityksiä on jo huomioitu tulevien määräysten valmistelussa.

Suomi on niistä harvoja maita, jotka vaativat hinaajilta vakavuustarkastelun. Espanjalla ja Yhdysvalloilla on samat säännöt kuin Suomessa, ja Kiinalla on näistä poikkeavat säännöt. Ruotsi esitti hinaajien vakavuusvaatimukset vuonna 2006 tullessa uusissa määräyksissään.

Tällä hetkellä IMO:ssa on menossa ehjän laivan vakavuusvaatimusten (Code on Intact Stability) uusiminen, ja koodista alotaan tehdä osittain pakollinen. Pitkän tähtäimen suunnitelmissa vaatimuksiin on tarkoituksena lisätä hinaajan vakavuustarkastelu, mutta vielä ei ole tiedossa, tulisiko siitä osasta pakollinen. Raportti olisi sisällöltään hyvä IMO:n sääntövalmistelua varten, jolloin sen olisi oltava englanniksi.

Mahdollisiin kysymyksiin vastataan mielellään.

Meriturvallisuusjohtaja

Paavo Wihuri

Toimistopäällikkö

Pertti Häätäinen

LIITE

Lausunto 1

Merenkulkulaitos
26.01.2007 No. Mte 24/07

LIITE

Hinaaja PEGASOS – Kaatuminen ja uppoaminen 13.11.2003 Erinäisiä huomioita raporttiluonnoksen johdosta

- 1 Merenkulkulaitoksen katsastustoiminnassa tulee varmistaa, että alusta käytetään siinä muodossa ja kunnossa, kuin vakavuustarkastelussa on edellytetty (=tarkoitettu). Aluksen omistajan tulee arvioida kaikissa alukselle tehtävissä muutoksissa, miten aluksen paino, vakavuus tai vlipkaus muuttuvat, ja tarvittaessa huolehtia kallistuskokeen ja vakavuustarkastelun uusimisesta. Katsastajille tulee edelleen painottaa, että heidän on tarkistettava, että aluksilla – ei pelkästään hinaajilla – on vakavuustiedot ja että aluksen mahdolliset muutokset on huomioitu ja hyväksytty aslanmukaisesti. Hinauslaukaisulaitteen toiminta tulisi myös testata aina katsastuksissa.
- 2 Uusi alusturvallislaki ja siihen kuuluvat tekniset määräykset ovat valmistellia. MKL:n uusiin vakavuusmääräyksiin (luonnos) on jo tehty seuraavat muutokset hinaajien vakavuusvaatimuksiin (verrattuna nyt voimassa oleviin merenkulkuhallituksen antamiin vakavuusmääräyksiin 1972/85):
 - poikittaisnopeuden määritelmä on täsmennetty (potkurivirran huomiointi)
 - vanhan hinaajan yksinkertaistettu vakavuustarkastelu on poistettu
 - hinaajien kallistuskoe vaaditaan uusittavaksi 10 vuoden välein ja vakavuustarkastelun uusiminen tarvittaessa
- 3 Onnettomuustutkintaraportin johdosta harkitaan seuraavien lisävaatimusten esittämistä uusiin vakavuusmääräyksiin:
 - laskettava enemmän lastitilanteita ja välitilanteita, joissa aluksen vlipkaus on suurin mahdollinen
 - kaikista lastitilanteista on esitettävä hinaajan vakavuustarkastelu
 - vakavuuslaskelmiin on liitettävä mukaan mitoituskuva hinausjärjestelyistä
 - laskelmissa käytetty poikittaisnopeus on ilmoitettava operatiivisena rajoituksena
 - vakavuuslaskelmien lähtökohtana huomioitu ylärakenne ja niissä olevat avattavat luukut ja ovet on esitettävä laskelmissa
 - edellä mainittuihin oviin ja luukkuihin, joista vesi pääsee tunkeutumaan alukseen alle 40° kallistuskulmalla, on kiinnitettävä varoitusteksti ”tämä ovi/luukku on pidettävä merellä suljettuna”
- 5 Raporttiluonnoksen sivulla 88 oudoksuttaa hieman väite, että koska vakavuustarkastelussa jätetään levyparras ottamatta huomioon, niin vakavuudesta saa liian hyvän kuvan pienillä kallistuskulmilla. Asia on juuri päinvastoin.
- 6 Plenenä kirjoituskorjauksena todetaan, että konttialuksen MSC HINA nimi tulisi kirjoittaa samalla tavalla kaikissa paikoissa (monin paikoin se on pelkkä HINA).

**


ALFONS HÅKANS

TOWAGE - SALVAGE - ICEBREAKING - HEAVY TRANSPORT - SUBMARINE WORK

Onnettomuustutkintakeskus
Pegasosin tutkintalautakunta
Sörnäisten rantatie 33 C
00580 HELSINKI

15.12.2006

Asia: Hinaaja Pegasos, kaatuminen ja uppoaminen Helsingin edustalla 13.11.2003 – tutkintalautakunnan lausuntopyyntö

Viittaamme tutkintalautakunnan 16.10.2006 päivättyyn lausuntopyyntöön.

Tutkintalautakunnan tutkintaselostusluonnos sisältää pitkän ja perusteellisen analyysin muun muassa hinaaja Pegasosin katumiseen johtaneista syistä ja itse kaatumistapahtumasta. Lautakunnan kannanotot perustuvat pitkälti laajaan tekniseen selvitykseen. Tutkintaselostuksen perusteellinen ja seikkaperäinen arvioiminen vaatii enemmän aikaa kuin hinaajan varustamolle on varattu. Varustamo toteaa kuitenkin, että se pitää tärkeimpänä välittömänä syynä Pegasosin kaatumiseen m.v. Hinan potkurivirran aiheuttamaa vaikutusta hinaajan runkoon. Potkurivirran vaikutus Pegasosin runkoon (3.2 m/s) on selvästi ylittänyt Merenkululaitoksen vakavuusmääräysten edellyttämän arvon 2.5 m/s. Oheistamme tätä kysymystä koskevan professori Jerzy Matusiakin laatiman selvityksen (liite 1) ja pyydämme, että tutkintalautakunta huomioisi tämän selvityksen lopullisessa tutkintaselostuksessaan. Jos tutkintalautakunta olisi ollut sitä mieltä, että Pegasos olisi täyttänyt Merenkululaitoksen asettamat vakavuusmääräykset, olisi hinaaja joka tapauksessa kaatunut potkurivirran vaikutuksesta.

Tutkintaselostuksesta emme muilta osin voi tässä vaiheessa lausua enempää. Emme kuitenkaan ole valmiit hyväksymään käsitystä siitä, ettei Pegasos täyttänyt asetettuja vakavuusmääräyksiä.

Ystävällisin terveisin

Alfons Håkans Oy Ab

Joakim Håkans



30.11.2006
203/322/2006

SAAPUNUT

01.12.2006
325/5M

Onnettomuustutkintakeskuksen lausuntopyyntö 16.10.2006

Tutkintaselostus B 2/2003 M hinaaja Pegasos, kaatuminen ja uppoaminen Helsingin edustalla 13.11.2003

Lausunto onnettomuustutkinnan suosituksista

Luotsausliikelaitos on käsitellyt tutkintaselostuksen suosituksia ja toteaa seuraavaa:

Luotsi ei voi hoitaa suositusten mukaista tarkistuslistaa, koska luotsi ei ole aina tietoinen, onko alukselle tilattu hinaaja vai ei. Hinaajatilauksen suorittaa joko alus tai aluksen agentti, aina tämä tieto ei saavuta luotsia ennen luotsauksen alkua. Luotsaustehtävän alussa käydään läpi luotsaukseen liittyvät asiat, kuten reittisuunnitelmat yms. Hinaajan käyttöön liittyvät asiat täytyy perustaa pääosin ennalta sovittuihin pelisääntöihin ja vakiintuneisiin käytäntöihin. Olosuhteiden ja poikkeavien seikkojen läpikäynti kuuluu normaali käytäntöihin ennen avustusta. Luotsauksen aloitustilanteeseen ei voi lisätä huomiokykyä heikentäviä tehtäviä, jotka saattaisivat vaarantaa turvallisuuden.

Luotsien koulutukseen kuuluu hinaajaoperoinnin teoriaa sekä käytännön opiskelua itse hinaajilla varsinaisessa avustustehtävässä.

Luotsausliikelaitos yhtyy täysin Onnettomuustutkinnan suositukseen, että jokaiseen satamaan tehtäisiin ohjeet ja määräykset hinaajien käytöstä.

Luotsausliikelaitos on aloittanut yhteistyössä Neste Oilin kanssa saattohinaajakoulutuksen luotseille.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Matti Pajula".

Matti Pajula
Toimitusjohtaja

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jouni Kokkonen".

Jouni Kokkonen
Operatiivinen johtaja



Aura/TL

LAUSUNTO

13.11.2006

1 (2)
SAAPUNUT

14.11.2006

298/5 m

Onnettomuustutkintakeskus

HINAAJA PEGASOS, KAATUMINEN JA UPPOAMINEN HELSINGIN EDUSTALLA 13.11.2003

Pydydettynä lausuntona Suomen Satamaliitto esittää seuraavan:

Onnettomuustutkijat suosittavat, että:

"Suomen Satamaliitto ryhtyy toimiin, jotta satamille laaditaan yhteistyössä alan toimijoiden kanssa hinaajien käytölle määräykset ja ohjeet, jotka sisältävät käytettävien hinaajien lukumäärän, koon ja operointirajat. Lähtökohtana voivat olla eräillä satamilla jo käytössä olevat määräykset."

Satamaliiton mallisatamajärjestyksen, jonka pohjalta useimmat satamien satamajärjestykset on laadittu, mukaan tarvittaessa on käytettävä hinaaja-apua alusta laituriin kiinnitettäessä ja siitä irrotettaessa. Satamaviranomaisen voi myös määrätä aluksen käyttämään hinaaja-apua.

Hinaajan käyttötarve on hyvin satamakohtainen asia, joka on riippuvainen sataman sijainnista ja olosuhteista sekä sinne tulevan liikenteen laadusta. On vaikea rakentaa yleisiä hinaajaohjeita, jotka olisivat yleispäteviä. Varustamoilla on jonkin verran myös aluskohtaisia käytäntöjä.

Öljysatamissa käytössä olevat hinaajamääräykset perustuvat öljykuljetusten erityisluonteeseen eikä niiden pohjalta voi tehdä sitä johtopäätöstä, että vastaavanlaiset hinaajamääräykset tarvittaisiin kaikissa satamissa.

Turvallisuuden lisääminen on tietenkin tärkeää, mutta paras tapa edetä on satamakohtainen lähestymistapa, jossa kukin satama ominaisuuksien ja

Finlands Hamnförbund
Andra linjen 14, 00530 HELSINGFORS
Tfn (09) 7711 • Fax (09) 753 0474

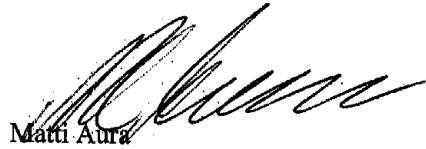
Suomen Satamaliitto
Toinen linja 14, 00530 HELSINKI
Puh (09) 7711 • Fax (09) 753 0474
info@satamaliitto.fi • www.satamaliitto.fi

Finnish Port Association
Toinen linja 14, FIN-00530 HELSINKI
Phone +358 9 7711 • Fax +358 9 753 0474

13.11.2006

sinne tulevan liikenteen lähtökohdista arvioi, tarvitaanko pysyviä hinaajamääräyksiä vai riittävätkö satamajärjestyksen pohjalta tarvittaessa annettavat aluskäyntikohtaiset määräykset ja ohjeet sekä aluksen päällikön tapauskohtainen harkinta hinaajatarpeesta.

SUOMEN SATAMALIITTO



Matti Aura
toimitusjohtaja



SAAPUNUT

14.12.2006

347/57

LAUSUNTO

28.11.2006

4/050/2006

Onnettomuustutkintakeskus
Sörnäisten rantatie 33 C
00580 HELSINKI

Onnettomuustutkintakeskuksen lausuntopyyntö 16.10.2006

HINAAJA PEGASOS, KAAATUMINEN JA UPPOAMINEN HELSINGIN EDUSTALLA 13.11.2003

Onnettomuustutkintakeskus on pyytänyt Opetushallituksesta lausuntoa otsikossa mainitun onnettomuustutkintaselostuksen lopullisessa luonnoksessa mainituista tutkinnan suosituksista.

Seitsemännen suosituksen mukaan Opetushallitus koordinoisi oppilaitosten ope-
tussuunnitelmallista kehittämistä hinaajaoperoointiin liittyvissä aiheissa.

Opetushallitus voi tukea suosituksen toteuttamista koulutuksen järjestäjille suun-
nattavalla informaatio-ohjauksella, jotta ne käsittelisivät aihetta mahdollisuuksien
mukaan esimerkiksi navigaatioon sekä merimiestaitoon ja johtamiseen liittyvissä
opinnoissa, joskin vastuu opetussuunnitelmatyöstä on koulutuksen järjestäjillä.

Merenkulkualan perustutkinnon opetussuunnitelman ja näyttötutkinnon perusteiden
päivitystyö käynnistetään keväällä 2008, jolloin onnettomuustutkintaselos-
tusten suositukset voidaan ottaa mahdollisuuksien mukaan huomioon lisäämällä
hinaajaoperoointiin liittyviä näkökohtia perusteasiakirjan määräys- tai liiteosaan.

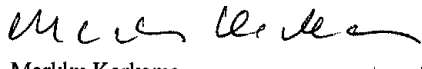
Opetushallitus puoltaa myös suosituksessa esitettyä täsmäkoulutuksen kehittä-
mistä, mutta ei ole oikeutettu antamaan oppilaitoksille sitä koskevia määräyksiä.

Lisäksi Opetushallitus puoltaa suosituksessa yhdeksän mainittujen päättötöiden
kehittämistä hinaajaoperoointiin liittyen.

Kehitysjohtaja


Markku Rimpelä

Opetusneuvos


Markku Karkama