



Tutkintaselostus

C 3/1998 M

Kemikaalikontin irtoaminen myrskyssä ms OIHONNALLA 31.1.1998

Tämä tutkintaselostus on tehty turvallisuuden parantamiseksi ja uusien onnettomuuksien ennalta ehkäisemiseksi. Tässä ei käsitellä onnettomuudesta mahdollisesti johtuvaa vastuuta tai vahingonkorvausvelvollisuutta. Tutkintaselostuksen käyttämistä muuhun tarkoitukseen kuin turvallisuuden parantamiseen on vältettävä.



Kemikaalikontin irtoaminen myrskyssä ms OIHONNALLA 31.1.1998

TIIVISTELMÄ

Ms OIHONNA oli lähtenyt Lyypekistä 29.1.1998 klo 15:05 ja oli matkalla Raumalle. Lastia oli vain 268 tonnia ja painolastivettä 3657 tonnia. Lastina oli mm. neljä säiliökonttia, jotka sisälsivät vetyperoksidia (UN 2014) ja jotka oli sijoitettu aluksen perään IMO-kannelle. Säiliökontit olivat aivan aluksen peräosassa kolmen lauttavaunun päällä. Jokaisessa säiliökontissa oli 50-prosenttista vetyperoksidia 25 tonnia.

Jo alkumatkalla tuuli oli niin kova, että ajoreitti valittiin Gotlannin ja Ruotsin rannikon välistä. Alus saapui Ahvenanmerelle 30.01.1998 puoliyön. Nopeus oli vähennetty noin 5 solmuun myrskyn voimalla puhaltaneen vastatuulen ja kovan vasta-aallokon takia. Aluksen ajosuunta aallokkoon nähden oli vahtipäällikön kertoman mukaan valittu siten, että aallokko kohtasi keulan noin 10-15 astetta vasemmalta puolelta.

Merentutkimuslaitoksen arvion mukaan merkitsevän aallonkorkeuden maksimiarvo kyseisellä merialueella oli 6.1 m noin klo 23 eli 3 tuntia ennen vauriota. Märketissä mitattu tuuli oli tällöin 25 m/s suunnasta 10 astetta. Vaurion tapahtuma-aikana 31.01.1998 klo 02.00 merkitsevän aallonkorkeuden arvioidaan olleen 5.9 metriä.

Kello 02:10 laivan stuerkki havaitsi säiliökontin irronneen kiinnityksistään avoimen kolmannen kannen peräosassa. Stuerkki tuli välittömästi ilmoittamaan heiluvasta kontista komentosillalle, josta hälytettiin laivan henkilökunta. Seitsemän hengen ryhmä yliperämiehen johdolla meni peräkannelle kiinnittämään konttia. Säiliökontti oli tällöin jo täysin irti kiinnityksistään, ja sen havaittiin liikkuvan edestakaisin osittain jäisellä kannella. Päällikkö teki NMT:llä ilmoituksen mahdollisesta vaaratilanteesta Turun meripelastuskeskukselle (MRCC). Miehistö teki useita yrityksiä kiinnittää edelleen lauttavaunun päällä ollut säiliökontti uudelleen. Näiden kiinnitysyritysten yhteydessä säiliökontti saatiin osittain kiinni, mutta ketjut katkesivat ainakin kahteen kertaan.

Noin klo 03 yliperämies pyysi päällikköä kallistamaan alusta oikealle puolelle, koska aluksella oli alkukallistus oikealle ja lisäksi sillä puolella kantta oli enemmän tilaa. Pumppaus ja kallistuskulman kehittyminen veivät aikaa 30-45 minuuttia. Kallistuman (6-8 astetta) ansiosta säiliökontti pysyi suunnilleen paikoillaan. Ennenkuin alus oli saatu kallistetuksi, noin klo 03:30, säiliökontti iski kantta reunustavaan laipioon ja alkoi vuotaa. Tällöin peräkannella kiinnitysyrityksissä olleet miehistön jäsenet poistuivat välittömästi sisään. Kannen huuhtelu aloitettiin heti. Kolmella miehistön jäsenellä oli käytössä suojapuku ja hengityslaitteet, joiden käyttö vallinneissa olosuhteissa osoittautui vaikeaksi. Yksikkö saatiin kiinnitettyä vesitiivistä ovea vasten. Kiinnitysoperaatio kesti klo 06:30 saakka. Muut lastiyksiköt pysyivät paikoillaan, mutta niiden kiinnitykset tarkastettiin ja kiristettiin heti päivänvalossa.

Säiliökontin ja lauttavaunun irtoamisen välittömänä syynä voidaan pitää lauttavaunun takimmaisesta kiinnityskoukun murtumisesta, joka aiheutui aluksen kiihtyvyyksien synnyttämien hitausvoimien ylittäessä koukun murtolujuuden. Yhden kiinnityksen irtoaminen mahdollisti säiliökontin peräpäähän suuret liikkeet, jotka johtivat toisenkin koukun murtumiseen

ja lopulta säiliökontin ja lauttavaunun irtipääsemiseen kokonaan.

OIHONNAN rajut liikkeet ja kiihtyvyydet aiheutuivat poikkeuksellisen ankarasta merenkäynnistä yhdistettynä aluksen kevyeen lastitilanteeseen. Kiihtyvyyksiä lisäsivät pohjaiskujen synnyttämät värähtelyt kannessa säiliökontin alueella.

Seuraavat seikat myötävaikuttivat vaurion syntymiseen:

1) Jäätävät olosuhteet (jää- ja sohjokerros), jotka syntyivät aluksen avonaiselle kannelle, pienensivät oleellisesti lauttavaunun ja kannen välistä kitkaa. Pienentynyt kitka kasvat-
taa huomattavasti kiinnityksiin kohdistuvia kuormia.

2) Yksi tai useampi kiinnityskoukku on voinut olla kiinnitettynä lauttavaunun kiinnityslen-
kkiin siten, että koukku ei ole päässyt vapaasti asettumaan samaan linjaan ketjun kanssa.
Koukku on voinut jäädä niin suureen kulmaan ketjuun nähden, että koukun murtolujuus
ketjuvoiman suuntaan on jäänyt alle ketjun murtolujuuden. Tämä pienentää kiinnityksen
maksimilujuutta.

3) Kiinnitysketjujen kulmat pystysuoraan nähden ovat saattaneet olla optimaalista kul-
maa suurempia. Kiinnityskulmien suurentuessa ketjuun syntyvä kuorma kasvaa merkittä-
västi.

4) Mahdolliset liian pienet kiinnitysketjujen esikivistysvoimat ovat voineet pienentää kit-
kaa lisää. Alhaisiin esikivistysvoimiin on voinut olla syinä huonosti kiristyvät ja jopa vialli-
set vanttiruuvit, tehoton vanttiruuvien kiristämiseen käytetty momenttiväännin tai moment-
tivääntimen tehoon vaikuttanut samanaikaisesta käytöstä tai kompressorin toimintahäiri-
östä johtunut paineen aleneminen aluksen paineilmaverkossa.

Yli 20 tonnia 50-prosenttista vetyperoksidia valui kannelle ja aluksen sisäosiin. Miehistön
nopea ja ammattimainen toiminta esti suurten vaurioiden syntymisen alukselle ja lastille.
Huolimatta vallinneista terveysvaaroista miehistön onnistui suorittaa pelastustoimet va-
hingoittumatta.



Breaking loose of a hydrogen peroxide tank-container on ms OIHONNA during storm on January 31st 1998

SUMMARY

Ms Oihonna departed Lübeck, Germany, bound for Rauma, Finland, on January 29th 1998 at 15:05. The ship carried a cargo of 268 tons and 3657 tons water in ballast. The cargo consisted of, among other things, four tank-containers of hydrogen peroxide placed on the IMO deck at the stern of the ship. Each tank-container was loaded with 25 tons of 50 per cent hydrogen peroxide.

At the beginning of the voyage the weather was so rough that the sheltered route between Gotland and the Swedish coast was selected. After the ship had arrived in the Aland Sea at midnight on January 30th, the speed was slowed down to about five knots because of the stormy wind and the heavy seas. The ship was steered so that the wave direction was ten to fifteen degrees on the port bow, according to the officer of the watch (OOW).

According to the Finnish Institute of Marine Research the estimated maximum significant wave height was 6.1 metres at that sea area at about 23 o'clock or three hours before the accident. The wind speed observed at the nearby Märket meteorological station was then 25 metres per second from the direction of 10 degrees. At the time the accident happened, the wave height estimate was 5.9 metres.

At 2:10 am on January 31st the ship steward observed that one tank-container had come loose on the open third deck at the stern. The steward went directly to the bridge to inform of the swinging tank-container. The crew was alarmed. A group of seven crew members under the command of the first mate commenced to re-secure the tank-container. At that time the tank-container was fully detached from its fastenings, and it was sliding uncontrollably on the partly icy deck. The master contacted the MRCC Turku by mobile phone to give a notice of the potentially dangerous situation on the ship. The crew made several attempts to re-fasten the tank-container, which was still on its roll-trailer. These attempts were successful only partly, since the chains broke off at least twice.

At about three o'clock the first mate asked the master to heel the vessel to starboard by ballasting. The ship already had a minor list to starboard, and in addition, there was more free space on the deck on that side. The ballast transfer took 30 to 45 minutes. With the help of the list (abt. 8 degrees) the tank-container held its position better. Before the heeling was completed, the tank-container hit bulkhead and began to leak. The crew immediately went inside the ship. The flushing of the deck was started without delay. Three crew members used chemical protective suits with breathing apparatus. Working with this gear, however, was difficult in the prevailing conditions. The tank-container and the roll-trailer were finally secured at 06:30. The other cargo units, which had stayed in place, were checked and fastened more tightly after dawn.

The breaking of one of the rear fastening hooks can be regarded as the primary reason for breaking loose of the tank-container and its roll-trailer. The inertia forces exerted to the cargo unit due to high vessel accelerations exceeded the maximum tensile strength

of the hook. After one hook was broken the rear part of the tank-container began to move transversally, which also broke the other rear hook and eventually the remaining two fastenings.

The exceptionally heavy sea combined with the light loading condition excited violent ship motions and accelerations. The bottom slamming at the stern increased the accelerations even more.

The following factors contributed to the occurrence of the incident:

1) Icy conditions generated a layer of ice and slush on the open deck decreasing the friction between the deck and roll-trailer substantially. Reduced friction increases the loads on the fastenings considerably.

2) One or more of the fastening hooks could have been fastened to the roll-trailer in such a way that they were not free to align with the chains. The angle between the hook and the chain could have been so large, that the tensile strength of the hook in the direction of the chain force was below the breaking strength of the chain. This lowers the total maximum strength of the fastening.

3) The angle between the fastening chain and vertical direction may have been larger than the optimum value. The chain load increases significantly with the chain angle.

4) The tightening forces in one or more fastening chains were conceivably too low, which can reduce the friction further. Possible reasons for low forces were defective or even broken rigging screws, ineffective pneumatic torque wrench used in tightening the rigging screws and fall of pressure in the compressed-air supply of the vessel due to simultaneous users or malfunction of the compressor.

More than 20 tons of 50 per cent hydrogen peroxide leaked on the deck and into other ship compartments. The fast and professional action of the crew prevented the infliction of major damages to the vessel and cargo. In spite of the existing health hazards the crew performed the operation without injuries.



Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	1
SUMMARY	3
1 ONNETTOMUUDEN YLEISKUVAUS JA TUTKINTA	7
1.1 Alus	7
1.1.1 Yleistiedot	7
1.1.2 Vakavuus- ja muut turvallisuusasiakirjat	8
1.1.3 Miehitys ja liikennerajoitukset	8
1.2 Onnettomuustapahtumat	8
1.2.1 Sääolosuhteet	8
1.2.2 Lastaus	9
1.2.3 Onnettomuusmatka	11
1.3 Pelastustoimet	12
1.3.1 Kontin uudelleen kiinnittäminen	12
1.3.2 Yhteydenpito maaorganisaatioihin	15
1.3.3 Vauriot	15
1.4 Onnettomuuden tutkinta	18
1.4.1 Tutkijaryhmän asettaminen ja alustavat tutkimukset	18
1.4.2 Onnettomuustutkinnassa tehdyt erityistarkastelut	18
2 ANALYYSI	19
2.1 Viranomaisohjeet ja määräykset vaarallisten aineiden kuljetuksista	19
2.2 Yhtiön omat turvallisuusohjeet	19
2.2.1 Lastinkiinnityskäsikirja	19
2.2.2 Hätätilanohjeet lastin siirtymän varalta	20
2.3 Onnettomuusmatka	20
2.3.1 Kontin lastaus ja kiinnitys	20
2.3.2 Aluksen liikkeet merenkäynnissä	20
2.3.3 Säiliökontin kiinnityksiin kohdistuneet voimat	24
2.3.4 Haruskoukkujen lujuus	29
2.3.5 Säiliökontin irtoaminen	31
2.4 Vaaralliset aineet onnettomuusaluksessa	33
2.4.1 Aluksessa olleet vaaralliset aineet ja niiden kuljetusmääräykset	33
2.4.2 Vetyperoksidisäiliökontit onnettomuusaluksessa	33
2.4.3 Vetyperoksidivuoto	33
2.5 Pelastustoimet	34
2.5.1 Hätätilmoitus ja pelastustoimien aloittaminen	34
2.5.2 Aluksen käsittely ja kontin uudelleenkiinnitys	35
2.5.3 Vetyperoksidin vaarat miehistölle	35
2.5.4 Kemikaalionnettomuuksissa käytettävät suojarusteet	37
2.5.5 OIHONNALLa käytetyt suojarusteet	39
3 JOHTOPÄÄTÖKSET	40
3.1 Onnettomuuden syyt	40
3.1.1 Säiliökontin kiinnitysten murtumisen välitön syy	40
3.1.2 Muita kiinnitysten murtumiseen myötävaikuttaneita syitä	40
3.2 Onnettomuuden tutkinnassa esiin tulleita havaintoja	41
3.2.1 Ohjeet hätätilannetoimenpiteitä varten ja tietous vaarallisista aineista	41
3.2.2 Lastinkiinnityskäsikirja ja lastin kiinnityslaitteet	41
3.2.3 Suojarusteet ja harjoittelu	42



4 SUOSITUKSET	43
4.1 Häätätilanneohjeet	43
4.2 Lastin kiinnityksen laadun varmistaminen	43
ARKISTOLIITTEET	45
LIITTEET	47
MERENKULKUOSASTON LAUSUNTO	47
Liite 1 ALUKSESSA OLLEET VAARALLISET AINEET JA NIIDEN OMINAISUUDET	48
Liite 2 VETYPEROKSIDIN SÄILIÖKULJETUSMÄÄRÄYKSET	50
Liite 3 SÄILIÖKONTIN RAKENNEVAATIMUKSET	52
Liite 4a LÄÄKINNÄLLINEN ENSIAPUOHJE (MFAG taulukko 735)	54
Liite 4b HÄTÄTILANNEOHJEET (EmS taulukko 5.1-02)	55
Liite 5 MS OIHONNAN LIIKKEIDEN JA SÄILIÖKONTIN KETJUVOIMIEN LASKENTA	57



Kuva 1. ms OIHONNA

Kuva FG-Shipping Oy

1 ONNETTOMUUDEN YLEISKUVAUS JA TUTKINTA

1.1 Alus

1.1.1 Yleistiedot

Laivan nimi	M/S OIHONNA
Kotipaikka	Helsinki
Rekisterinumero	10625
IMO tunnus	8222111
Tunnuskirjaimet	OISE
Laji	Lastilautta
Omistaja	Oy Finncarriers Ab
Luokituslaitos	Lloyd's Register of Shipping (LR)
Luokka	LR +100 A1
Suomen jääluokka	1A Super
Rakennusvuosi	1984
Rakennuspaikka	Rauma-Repola, Rauma
Pituus	154,9 m
Leveys	25,11 m
Syväys	8,5 m (kesälastimerkki)
Bruttovetoisuus	20203 rek. tonnia
Nettovetoisuus	6061 rek. tonnia
Kuollut paino	12870 tonnia
Koneteho	13200 kW
Nopeus	18,5 solmua

Aluksessa on yksi potkuri. Sekä keulassa että perässä on poikittaistyöntölaitteet.

1.1.2 Vakavuus- ja muut turvallisuusasiakirjat

OIHONNALLa oli vaatimusten mukaiset vakavuusasiakirjat. Lastauksen yhteydessä ennen satamasta lähtöä aluksen vakavuus tarkistetaan Finload-nimisellä tietokoneohjelmalla, joka on luokituslaitoksen hyväksymä.

Aluksella oli merenkulkuviranomaisten vaatima ja hyväksymä lastinkiinnityskäsikirja (SO-LAS-sopimuksen VI ja VII luku, Merenkulkuhallituksen tiedotuslehti 4/1996). Merenkulkulaitos oli auditoinut varustamon ISM-koodin mukaisen turvallisuusjohtamisjärjestelmän ja hyväksynyt sen vuonna 1997. OIHONNAN tyyppisen aluksen aluskohtainen turvallisuusjohtamisjärjestelmä tuli pakolliseksi 1.7.1998. OIHONNAN turvallisuusjohtamisjärjestelmä oli onnettomuuden sattuessa käytössä ja kehitysvaiheessa. Järjestelmä auditoitiin huhtikuussa 1998.

1.1.3 Miehistys ja liikennerajoitukset

OIHONNAN miehistön lukumäärä oli 16, josta kansipäällystä 4, konepäällystä 4 ja miehistöä 8. Konepäällystön lukuun sisältyi matkalla mukana ollut toinen konepäällikkö.

Alukselle ei ole määrätty mitään liikennerajoituksia.

1.2 Onnettomuustapahtumat

1.2.1 Sääolosuhteet

Onnettomuuden analysoinnissa käytetyt aallokkotiedot on saatu Merentutkimuslaitokselta, joka on arvioinut aallokon korkeuden ja aaltospektrin huipun periodin kyseisellä merialueella vaurion syntymisen aikaan eli 31.01.1998 klo 02:00. Merenkäynnin kehittymisestä vaurion tapahtumapaikalla saatiin käsitys tekemällä arviot olosuhteista em. ajankohdan lisäksi myös 6 ja 12 tuntia ennen ja jälkeen vaurion syntymisen.

Aaltotietojen laskemiseksi on käytetty tuulitietoja koko Selkämereltä. Selkämeren tuulilanteen selvittämiseksi on käytetty Ilmatieteen laitoksen aluetuulianalyysejä sekä lähellä vauriopaikkaa sijaitsevan Märketin säähavaintoaseman tuulimittauksia. Taulukossa 1 on esitetty sekä aallokko- että tuuliarvojen kehitys vuorokauden aikana vaurioajankohdan molemmin puolin.

Merkitsevän aallonkorkeuden maksimiarvo oli 6.1 m aaltospektrin huipun periodin ollessa 9.8 s. Tämä tilanne vallitsi 30.01.1998 noin klo 23 eli 3 tuntia ennen vaurion syntymistä. Märketissä mitattu tuuli oli tällöin 25 m/s suunnasta 10 astetta. Merentutkimuslaitoksen ennusteen tarkkuus on merkitsevän aallonkorkeuden osalta ± 0.3 m ja periodin n. ± 0.5 s.

Ilman lämpötilaksi laivapäiväkirjaan oli merkitty -7°C ja ilmanpaineeksi 1008 mbar. Ilmanpaine oli nousussa, sillä 4 tuntia aikaisemmin se oli ollut 999 mbar ja 4 tuntia myöhemmin 1014 mbar.



Kuva 2. OIHONNA kuvattuna Raumalla 31.01.1998. Huomaa kansirakenteiden jäätyminen.

Taulukko 1 Merentutkimuslaitoksen arvioimat aallokko- ja tuulitiedot vaurion tapahtumapaikalla.

pvm	klo [EET]	Aallokko			Tuuli (Märket)	
		Hs [m]	Tp [s]	WD [ast]	U [m/s]	DIR [ast]
30.01.1998	14:00	4.3	8.3	10	22	330
	20:00	5.7	9.5	10	29	340
31.01.1998	02:00	5.9	9.7	10	25	360
	08:00	5.5	9.4	10	-	-
	14:00	5.0	8.9	10	16	360

Merkinnät: Hs Merkitsevä aallonkorkeus
 Tp Aaltospektrin huipun periodi
 WD Aallokon tulosuunta
 U Tuulen nopeus (10 min keskiarvo)
 DIR Tuulen suunta

1.2.2 Lastaus

Aluksen lastausasiakirjat olivat vaatimusten mukaiset. Kuljetettavista vaarallisista aineista oli dokumentit (Dangerous Goods Declaration), joissa esitettiin oleelliset tiedot aineesta ja sen kuljetuksesta. Asiakirjasta vetyperoksidin osalta ilmeni aineen väkevyyden lisäksi määrä, IMO-luokitus, UN-numero, hätätilanne- ja ensiapuohjeet sekä vaadittavat yksikkömerkinnät. Samat tiedot oli esitetty myös aluksen lastausluettelossa. Lastausluettelossa oli lisäksi tieto siitä, että lastiyksikkö on sijoitettava kannelle.



Kuva 3. Ehjänä säilynyt 20 jalan säiliökontti lauttavaunuineen.

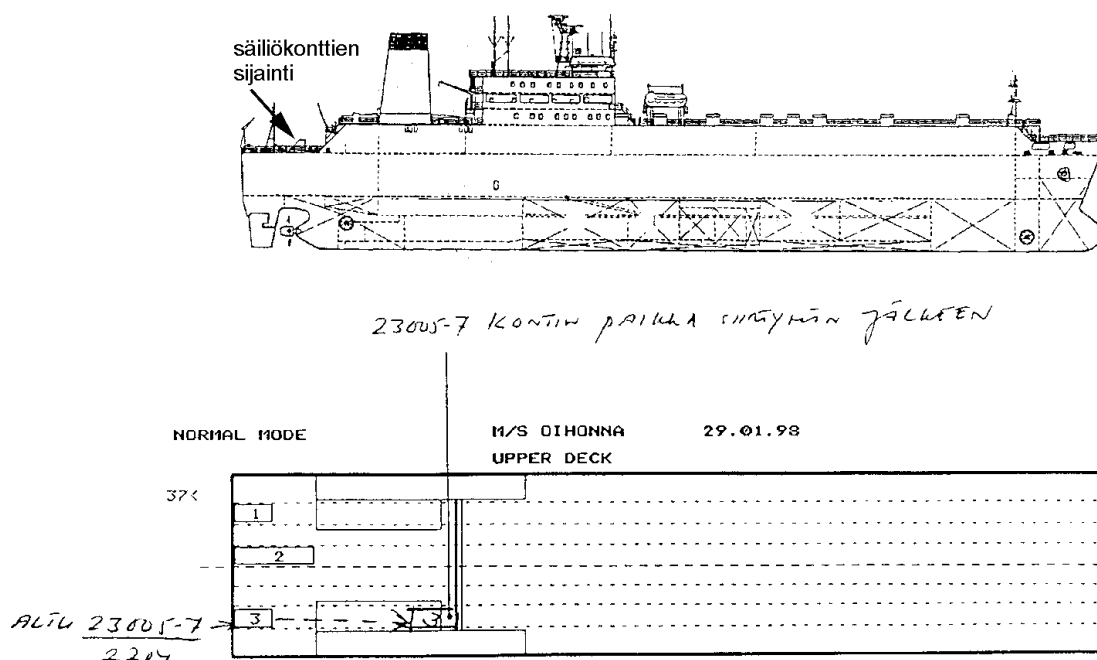
Lastin määrä ja sijoitus. Alukseen oli lastattu Lyypekissä 268 tonnia lastia sekä painolastivettä 3657 tonnia. Polttoainetta oli lähtöhetkellä 429 tonnia ja makeaa vettä 235 tonnia. Lisäksi aluksen varastoissa oli painoa 213 tonnia. Kyseisillä lastaus ja painolastijärjestelyillä aluksen lähtösyväys Lyypekistä oli keulassa 5,7 metriä ja perässä 6,1 metriä.

Yliperämies oli laskenut lastauksen jälkeen aluksen vakavuuden. Alkuvaihtokeskuskorkeuden (GM₀) arvoksi tankkien vapaat nestepinnat huomioiden oli saatu 1.21 m, joka ylittää vaadittavan minimin eli 0.15 m.

Lastina olleet neljä 20 jalan säiliökonttia, jotka sisälsivät 50-prosenttista vetyperoksidia oli sijoitettu aluksen peräosaan vaarallisten aineiden kuljetukseen tarkoitetulle avoimelle kannelle (nk. IMO-kannelle). Kaksi konteista oli lastattu kumpikin oman 20 jalan lauttavaunun päälle (kuva 3) kaistoille 2 ja 7. Kaistalla 7 olleen säiliökontin kokonaispaino oli 31,0 t. Toiset kaksi konttia oli lastattu 40 jalan kuljetuskasetin päälle kaistalle 4. Jokaisessa säiliökontissa oli vetyperoksidia 25 tonnia. Lastin sijoitus on esitetty kuvassa 4. Laivan tavarahissit sijaitsevat toisella ja seitsemännellä kaistalla vetyperoksidisäiliökonttien etupuolella.

Aluksen muu lasti oli sijoitettu suljetulle pääkannelle lähelle keskilaivaa. Kannella oli normaalilastin ohella vaaralliseksi luokiteltua lastia (nk. IMDG-lastia). Tämä lasti käsitti 12 kiloa D-vitamiinia, 241 kiloa alkoholia sekä 2 kiloa fosforihappoa. IMDG-lasti oli muun lastin joukossa ja vaatimusten mukaisesti eroteltuna.

Lasti oli kiinnitetty sääkannella ohjeiden mukaisesti aluksen kanteen neljällä esikiristetyllä lastinkiinnitysketjulla.



Kuva 4. Säiliökonttien sijoitus yläkannella.

1.2.3 Onnettomuusmatka

OIHONNA oli lähtenyt Lyypekistä 29.01.1998 klo 15:05 määräsatamana Rauma. Jo alkumatkalla tuuli oli niin kova, että ajoreitti valittiin Gotlannin ja Ruotsin rannikon välistä. Aluksen saavuttua 30.01.1998 puoliilta öin Ahvenanmerelle sen nopeutta oli vähennetty noin 5 solmuun myrskyn voimalla puhaltaneen vastatuulen ja kovan vasta-aallokon takia. Vahtihenkilöstön kertoman mukaan aluksen ajosuunta aallokkoon nähden oli valittu siten, että aallokko kohtasi keulan noin 10-15 astetta vasemmalta puolelta. Aluksen laivapäiväkirjaan oli merkitty pohjoisluoteinen tuuli (NNW) eli 337.5 astetta. Märketissä tuulen suunnaksi oli klo 02:00 mitattu 360 astetta.

Roiskeet löivät yli OIHONNAN keulan ja se sekä puski että hakkasi aaltoihin. Alus eteni viisi mailia neljässä tunnissa - puolesta yöstä kello neljään, jolloin nopeus oli keskimäärin 1.25 solmua. Samalla säätösiipipotkurin säädöllä (lapakulma-asetus = 4) saavutetaan tyynessä vedessä aluksen ollessa tyhjänä noin 6-7 solmun nopeus. Myrskyn voimaa kuvaa myös se, että konemestarin mukaan myös sellainen tavara, joka oli aiemmin pysynyt paikallaan, oli nyt jouduttu erikseen kiinnittämään paikoilleen.

Toinen perämies oli ollut vahtipäällikkönä puoleenyöhön saakka, ja I perämies oli vahtivuorossa kello 00-04. OIHONNAN päällikkö oli ollut komentosillalla yhtäjaksoisesti edellisestä iltapäivästä lähtien. Päällikön yön alussa antaman käskyn mukaisesti myös konehuone oli miehitettynä koneiston toiminnan varmistamiseksi Ahvenanmeren ahtaan vesialueen ohittamisen ajaksi. Erilaisia hälytyksiä koneistoautomaatiikasta oli tullut jatkuvasti myrskyn aikana.

Vahtimies tekee kierroksensa OIHONNALLA normaalisti kahdesti neljän tunnin vahdin aikana. Puolelta yöltä alkaneen vahdin aikana niitä oli kuitenkin tehty kello kahteen men-

nessä kolme. Vahtimies oli tehnyt kierroksen lastitiloissa alkaen noin klo 02, ja tällöin kaikki lastiysiköt olivat olleet paikoillaan.

Kello 02:10 laivan stuertti havaitsi kaistalla 7 kolmannen kannen peräosassa olleen säiliökontin irronneen kiinnityksistään (kontti 3 kuvassa 4). Hänen muistikuvansa mukaan kontin peräpäätä liikkui sivusuunnassa. Stuertti tuli välittömästi ilmoittamaan heiluvasta kontista komentosillalle.

Henkilökunnalle annettiin hälytys. Tämä hälytys koski kaikkia muita paitsi talousosaston henkilökuntaa. Perämies kirjasi ajan ja paikan laivapäiväkirjaan. Annettiin kuulutus, että tuuletus pidetään suljettuna ja että matkustajien (yksi rekka-auton kuljettaja) ja niiden miehistön jäsenten, jotka eivät osallistuneet irronneen kontin uudelleen kiinnitykseen, on pysyttävä hyteissä.

Peräkannelle meni konttia kiinnittämään yliperämiehen johdolla ryhmä, jonka muodostivat I perämies, kansikorjausmies, matruusi, sähkömies, konekorjausmies, toinen konepäällikkö ja I konemestari. Yliperämies, joka oli ollut hytissään valveilla, ehti alas peräkannelle 5 minuutin kuluttua hälytyksestä haettuaan sitä ennen käsipuhelimen. Säiliökontti oli silloin jo täysin irti kiinnityksistään, ja sen havaittiin liikkuvan edestakaisin hissien välissä. Yksikkö kipinöi liikkeessaan. Syynä kipinöintiin oli toimintaan osallistuneiden mukaan ehkä katkenneet kiinnitysketjut ja/tai hissien reuna. Alunperin irtoaminen oli aiheutunut koukkujen katkeamisesta. Kannella oli sohjoa (lunta ja jäätä) noin 5 - 10 cm, etenkin kannen peräosassa mutta ei niinkään keulaosassa kantta.

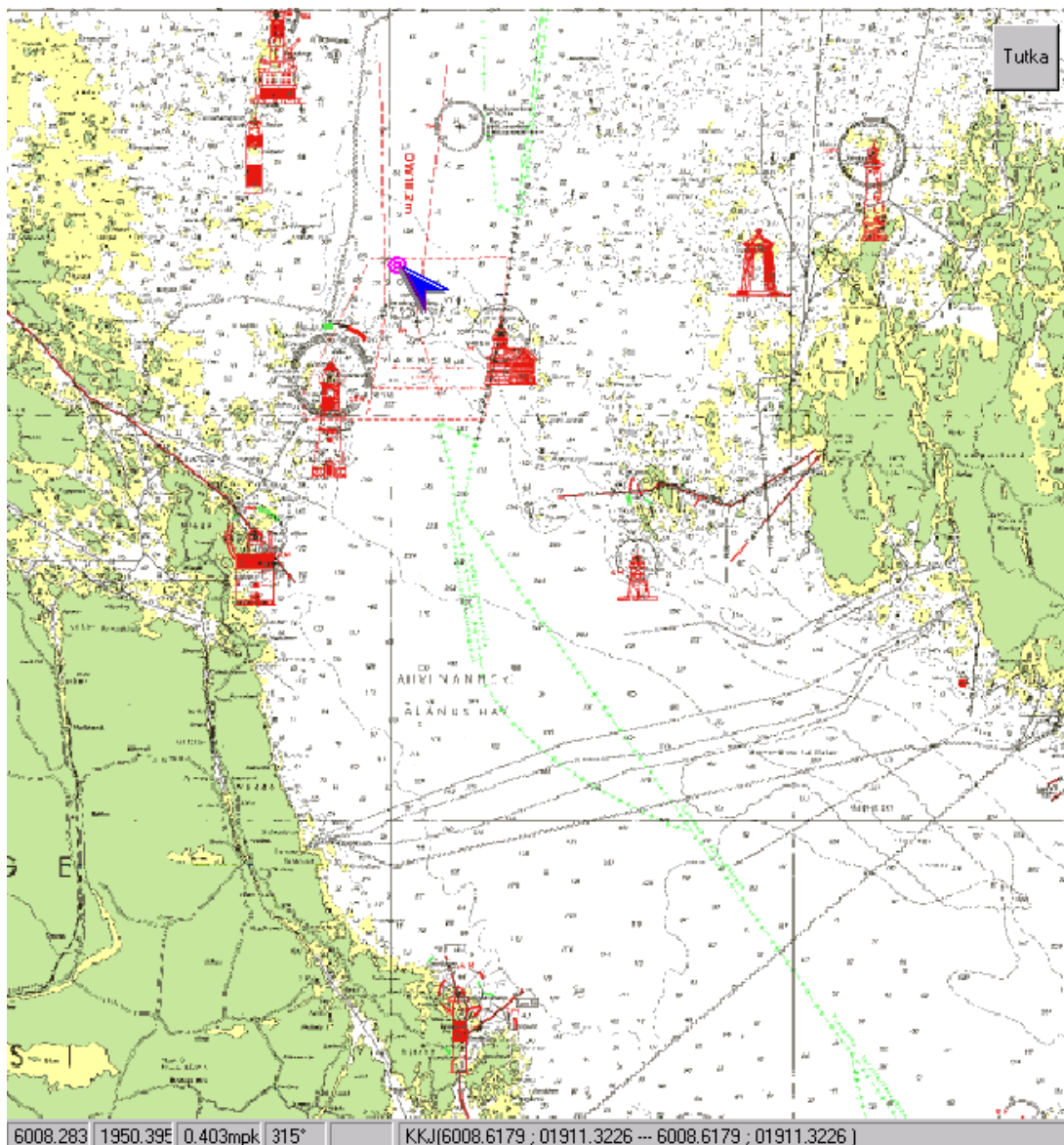
Päällikkö teki heti vuodon alkamisen jälkeen NMT:llä ilmoituksen mahdollisesta vaaratilanteesta Turun meripelastuskeskukselle (MRCC). Toinen perämies ajoi laivaa, ja ruorisassa oli puolimatruusi, eli koko operaation ajan oltiin käsiohjauksessa.

1.3 Pelastustoimet

1.3.1 Kontin uudelleen kiinnittäminen

Välittömästi tehtiin useita yrityksiä lauttavaunun päällä edelleen olleen säiliökontin uudelleen kiinnittämiseksi. Näiden kiinnitysyritysten yhteydessä säiliökontti saatiin osittain kiinni, mutta ketjut katkesivat ainakin kahteen kertaan. Kerran lauttavaunu saatiin kiinnitettyä neljällä ketjulla, mutta laivan kallistuessa vasempaan yksikkö lähti liikkeelle ja kiinnitysketjut menivät poikki. Yksikkö oli vähällä kaatua osuessaan hissien reunaan. Koviin iskujen vuoksi säiliökontin kehikko alkoi vääntyä, jolloin päällikköä varoitettiin siitä, että säiliökontti saattaa hajota.

Noin klo 03 yliperämies pyysi päällikköä kallistamaan alusta oikealle puolelle, koska aluksella oli alkukallistus oikealle ja lisäksi sillä puolella kantta oli enemmän tilaa. Kallistus-tankista numero 4 vasemmalta puolelta siirrettiin vastaavaan tankkiin oikealle puolelle 120 t vettä. Tämän painonsiirron kallistava vaikutus oli 2-3 astetta. Tankit numero 5 olivat tyhjiä, joten vasemmalla olevasta tankista numero 1 pumpattiin tankkiin numero 5 oikealla lisäksi 280 tonnia. Pumppausten yhteisvaikutus oli 6-8 astetta. Pumppaus ja kallistuskulman kehittyminen veivät aikaa 30-45 minuuttia. Kallistuman ansiosta säiliökontti pysyi verrattain hyvin paikoillaan.



© Merenkululaitos Kartta- ja Väyläosasto

Kuva 5. OIHONNAn paikka Ahvenanmeren pohjoisosassa tapahtumien alkaessa.

Säiliö ei vuotanut vielä lauttavaunun ja säiliökontin kiinnitysyrytysten alkuvaiheessa. Säiliökontti oli pitkään lauttavaunussa kiinni, ja vasta noin tunnin edestakaisin törmäilyään se oli hypännyt osittain pois alustaltaan.

Kontti liikkui jatkuvasti osittain lumisella ja osittain jäisellä kannella laidalta toiselle aluksen rajujen merenkäynnistä johtuvien liikkeiden vuoksi. Näistä liikkeistä aiheutui myös kipinöintiä. Palovaaran johdosta aloitettiin paloletkujen veto konehuoneesta kannelle.

Noin klo 03:30 säiliökontti, joka oli jo saanut aiemmin pysyvän muodonmuutoksen, iskeytyi kantta reunustavaan laipioon ja alkoi vuotaa. Tällöin peräkannella olleet miehistön jäsenet poistuivat välittömästi sisään. Kannen huuhtelu aloitettiin heti. Huuhtelu kannelle oli järjestetty konehuoneen kuilun kautta. OIHONNAn palopostit ovat IMO-kannella kansirakennuksen perän puoleisessa nurkassa. Huuhtelu aloitettiin ilman suojapukuja. Samanaikaisesti toiset miehistön jäsenet aloittivat suojapukujen ja hengityslaitteiden päällepukemisen.

OIHONNALLA oli neljät paineilmahengityslaitteet. Viranomaisvaatimus on 2 paineilmahengityslaitetta. Yksi laitteista ei toiminut, vaan sitä käytettäessä näkösuojain huurtui. Kolmella miehistön jäsenellä siis oli käytössä suojapuku ja hengityslaitteet. Työskentely suojapuvuissa ja käyttäen paineilmahengityslaitteita oli raskasta ja vaati taukoja. Miehet uupuivat työssä melkoisesti. Lisäilmapulloja haettiin 2-kannelta.

Kun yläkantta alettiin huuhdella heti vuodon alettua, tehtiin myös tilanteen tarkistus alempana olevalla pääkannella, jonne vetyperoksidin myös havaittiin vuotavan. Vuoto tapahtui hissien tiivisteiden kautta. Jälkeenpäin niissä havaittiin syöpymiä ja iskujen aiheuttamia kolhuja. Pääkannelle vedettiin letku vetyperoksidin huuhtomiseksi oikean puolen hissikuiluun. Kun hissikuilu täyttyi, päästettiin vetyperoksidin ja veden seosta suoraan mereen. Tätä varten päällikkö ja varustamon turvallisuuspäällikkö olivat puhelinyhteydessä tarkistaen onko säiliökontin sisältö IMO-määritelmien mukaan merta pilaava aine (marine pollutant). Pääkannen oikean puoleisen hissien paloposti avattiin ja myöhemmin huuhtomista tehtiin letkusuuttimella.

Kuten aiemmin mainittiin säiliökontti pysyi kallistuman ansiosta suunnilleen paikoillaan. Yksikkö saatiin kiinnitettyä 3. kannen vesitiivistä ovea eli nk. giljotiinia vasten aluksen oikealle puolelle (kuva 6). Tämä kiinnitys tehtiin säiliökontin peräpäästä kahdella tai kolmella kiinnityksellä sekä vaijerilla kontin yläosasta ylöspäin. Kiinnityspaikkoja tässä tilanteessa oli puutteellisesti. I perämies kiinnitti tämän ylöspäin vedetyn vaijerin säiliökonttiin ilman hengityslaitetta. Koko kiinnitysoperaatio kesti useita tunteja, ja lopullisesti säiliökontti oli saatu kiinnitettyä klo 06:30.



Kuva 6. Vaurioitunut säiliökontti ja lauttavaunu kiinnitettynä aluksen oikealle laidalle. (Kuvattu Raumalla 31.1.1998)

Muut lastiyksiköt pysyivät paikoillaan, mutta niiden kiinnitykset tarkistettiin ja kiristettiin heti päivänvalossa. Lisäkiinnitykset muihin vetyperoksidisäiliökontteihin miehistö teki ilman hengityslaitteita. Säiliökonttien kiinnityksiä tarkastettaessa havaittiin, että aluksen vasemmalla laidalla olleen irti päässeeseen vaurioituneeseen säiliökontin kanssa identtisen yksikön (kontti 1 kuvassa 4) vasemman puolen (ulkopuoleinen) takimmainen kiinnitysketju oli poikki.

Alus kiinnittyi Rauman satamaan klo 16:45. Rauman pelastuslaitoksen yksikkö varmisti vioittuneen säiliökontin purkamisen. Kontissa oli Raumalla jäljellä noin 2 tonnia vetyperoksidia. Kaikki säiliökontin kiinnittämiseen osallistuneet miehistön jäsenet kävivät lääkärintarkastuksessa Raumalla.

1.3.2 Yhteydenpito maaorganisaatioihin

Päällikkö teki heti säiliökontin irtoamisen jälkeen NMT:llä ilmoituksen tilanteesta Turun meripelastuskeskukselle (MRCC). Kello 03:45 päällikkö ilmoitti tilanteesta puhelimella varustamon turvallisuuspäällikölle. Tämän ilmoituksen sisältö oli, että yksi säiliökontti on irti, se vuotaa, kannen huuhtelu on käynnissä, kemiallisten aineiden suojapuvut ovat päällä, yksikkö on kiinni giljotiinissa ja että tilanteesta on ilmoitettu MRCC:lle (ensimmäisessä ilmoituksessa ei ehkä vielä mainittu vuodosta). Yhteydenpito aluksen henkilökunnan ja varustamon turvallisuuspäällikön välillä oli jatkuvaa tilanteen kestäessä.

Toinen ilmoitus MRCC:lle tehtiin sen jälkeen, kun säiliökontti oli alkanut vuotaa. Myös MRCC:n kanssa pidettiin yhteyttä koko tilanteen ajan. Kello 05:15 alukselta ilmoitettiin turvallisuuspäällikölle OIHONNAN kallistuskulman olevan noin viisi astetta.

MRCC oli ollut yhteydessä Suomen ympäristökeskukseen (SYKE) vuotavan vetyperoksidin laskemisesta mereen. Aluksella oli toimintaohjeet kyseisen aineen aiheuttamien onnettomuuksien varalle vaarallisten aineiden kuljettamismääräysten (IMDG-koodin) hätätilanneohjeiden muodossa. Päätöstä mereen huuhtelusta ei tehty itsenäisesti aluksella vaan päätöksenteon tukena konsultoitiin SYKE:n päivystäjää. SYKEN päivystäjä oli puoltanut aineen laskemista mereen. OIHONNAN ja MRCC:n välillä käytiin keskusteluja paineilmapullojen toimittamisesta helikopterilla alukselle. Kello 06:40 ilmoitettiin turvallisuuspäällikölle, että säiliökontti oli saatu kiinnitettyä.

1.3.3 Vauriot

Säiliökontin ja lauttavaunun vauriot. Tutkijaryhmä tarkasti säiliökontin ja lauttavaunun vauriot Rauman satamassa. Säiliökontin kehikko oli painunut kasaan lauttavaunun pyörien puoleisesta päästä noin puoli metriä aiheuttaen säiliöön painauman ja repeämän. Vaurioitunut säiliökontti on kuvissa 7 ja 8. Kontin kääntölukot (twist lockit) olivat osittain paikallaan. Kääntölukot olivat olleet lukittuina keulapäässä, ja lauttavaunun vaurioista päätellen säiliökontti oli noussut lavetilta irti. Peräpään twist lockeista ei kumpikaan ollut tarkastushetkellä paikoillaan.

Lauttavaunun kulmien kiinnitysaukkoihin oli kääntölukkoja varten hitsattu poikkileikkaukseltaan 20x20 mm:n teräspalaset, jotka olivat repeytyneet irti. Teräspalat oli hitsattu vain

pinnallisesti kiinni kuljetusyksikköön. Hitsisauma oli muuhun materiaalipaksuuteen ja vahvuuteen nähden hyvin ohut. Lauttavaunu on kuvassa 9.

Aluksen rakenteille peräkannella oli tullut seuraavia vaurioita:

Oikeanpuolen hissi:

- * Ajokaappi oli repeytynyt irti kannesta ja rikkoutunut
- * Turvapuomit olivat vääntyneet
- * Hissin pystyseinäessä oli reikiä
- * Hissin vasemmassa reunassa oli koloja/iskeytymiä.
- * Tiivisteet vuotivat
- * Hissi oli hypännyt pois ohjaukiskoilta

Pääkansi:

- * Karneerauslevyihin oli imeytynyt vetyperoksidia. Levyt uusittiin korjausten yhteydessä.
- * 37 kpl traileripukkeja tuotiin maihin. Aluspuut piti uusia.



Kuva 7. Vaurioitunut säiliökontti valokuvattuna Raumalla



Kuva 8. Säiliökontin vuodon aiheuttanut vaurio



Kuva 9. Lauttavaunun vauriot kuvattuna Raumalla

1.4 Onnettomuuden tutkinta

1.4.1 Tutkijaryhmän asettaminen ja alustavat tutkimukset

Onnettomuustutkintakeskus määräsi onnettomuudesta toimitettavaksi virkamiestutkinnan. Tutkijoiksi määrättiin johtava tutkija Martti **Heikkilä** Onnettomuustutkintakeskuksesta, ylitarkastaja Mauno **Rajamäki** liikenneministeriöstä ja merikapteeni Tapani **Salmenhaara** Kymenlaakson ammattikorkeakoulusta. Asiantuntijana tutkinnassa on toiminut tutkija Antti **Rantanen** Valtion teknillisestä tutkimuskeskuksesta. Tutkijat ovat tutustuneet alukseen. Tapahtumahetkellä aluksella ollut miehistöä on kuultu eri yhteyksissä.

Meriselityksen antaminen ei ole tarpeen, jos Onnettomuustutkintakeskus tutkii onnettomuuden onnettomuuksien tutkinnasta annettun lain nojalla. Päälliköllä on kuitenkin tässäkin tapauksessa halutessaan oikeus antaa meriselitys. Lisäksi merenkulkuhallitus saa merilain 18 luvun 12 §:n nojalla määrätä päällikön antamaan meriselityksen, jos se katsoo aluksen käytön yhteydessä sattuneen tapahtuman vaativan selvitystä. Merenkulkuhallitus ei vaatinut päällikköä antamaan meriselitystä OIHONNAn vaaratilanteesta, eikä päällikkö ole käyttänyt oikeuttaan sen antamiseen.

Lausunnot. Onnettomuustutkintaselostuksen luonnos lähetettiin onnettomuustutkinta-asetuksen 24§:n mukaista lausuntoa varten merenkululaitoksen merenkulkuosastolle. Mahdollisia kommentteja varten tutkintaselostus lähetettiin myös OIHONNAn päällikölle ja varustamolle sekä Saaristomeren merivartiostolle ja Suomen ympäristökeskukselle.

Merenkulkuosastolta saatiin 16.8.2000 lausunto, joka on tutkintaselostuksen liitteenä.

1.4.2 Onnettomuustutkinnassa tehdyt erityistarkastelut

Onnettomuustutkintakeskus tilasi VTT Valmistustekniikalta laskelmat OIHONNAn liikkeistä ja kontin kiinnitysketjuihin vaikuttavista voimista onnettomuustilanteessa. Laskelmat käsittävät kaksi raporttia. Niistä ensimmäisessä (VALC463) on esitetty säiliökonttiin tietyllä ylitystodennäköisyydellä kohdistuneet kiihtyvyydet sekä arviot kontin kiinnityksiin syntyvistä kuormista.

Toisessa raportissa (VALC560) kiinnitysketjuihin syntyvät voimat on laskettu uudelleen käyttäen epäsymmetrisesti jakautuneita esikieristysvoimia. Lisäksi on varioitu ketjujen kiinnityskulmia kanteen nähden ja tehty lisälaskelmia syvyyden muutoksen vaikutuksesta perän pohjaiskujen (slammingin) todennäköisyyteen.

Kiinnitysvoimien tarkempaa määrittämistä varten tehtiin OIHONNALLA kiinnitysketjuihin todellisuudessa syntyvien esikieristysvoimien sekä lauttavaunun ja aluksen kannen välisen kitakerroimen mittaukset. Raportissa VALC560 on esitetty näiden mittausten tulokset.

Onnettomuustutkintakeskus tilasi lisäksi VTT Valmistustekniikalta selvityksen haruskoukun lujuudesta ja murtumien laadusta. Näytteinä oli kaksi säiliökontin kiinnitysketjun koukua, joista lenkit olivat murtuneet sekä ehjä vastaava koukku ketjuineen. VTT analysoi rikkoutuneiden koukkujen murtumapintoja ja suoritti sekä ehjän koukun että kettingin murtokokeet niiden vetolujuuden määrittämiseksi.



2 ANALYYSI

2.1 Viranomaisohjeet ja määräykset vaarallisten aineiden kuljetuksista

Vaarallisten aineiden kuljettamisesta aluksilla on kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO (International Maritime Organization) laatinut määräykset (nk. IMDG-koodin), jonka mukaan vaarallisia aineita kuljetetaan kappaletavarana.

IMDG-koodin (International Maritime Dangerous Goods Code) tarkoituksena on määrittellä aineille sellaiset pakkaus- ja kuljetusvaatimukset, jotta aineita voidaan - oikein käsiteltyinä - pitää kuljetuksen kannalta vaarattomina. IMDG-koodi luokittelee vaaralliset aineet yhdeksään eri luokkaan aineen ominaisuuksien mukaan. Koodi määrittää pakkaustavan lisäksi aineille erottelu- ja kuljetusohjeet. IMDG-koodissa aineet on luokiteltu kahdeksaan varsinaiseen luokkaan. Yhdeksäs luokka sisältää aineita, joita ei voida luokitella mihinkään muuhun vaarallisuusluokkaan, mutta jotka ovat siinä määrin vaarallisia, että ne edellyttävät erityisiä ohjeita merikuljetuksen osalta.

YK-numero. Jokaisella kuljetettavalla aineella on oma YK-numero aineen tunnistamiseksi. Esimerkiksi vetyperoksidin numero on UN2014.

EMS ja MFAG. Vaarallisia aineita kuljettavalla aluksella on myös IMDG-koodin osina olevat ohjeet hätätilanteita varten nk. EMS (Emergency Procedures for Ships Carrying Dangerous Goods) sekä lääkinällinen ensiapuohje nk. MFAG (Medical First Aid Guide for Use in Accidents Involving Dangerous Goods). IMDG:n hätätilanneohjeet ja lääkinällinen ensiapuohje on käsitelty tarkemmin luvussa 2.5.3.

Säädökset Suomessa. Vaarallisten aineiden kuljetusohjeiden lisäksi aluksella täytyy olla viranomaisen hyväksymä todistus aluksen kelpoisuudesta kuljettaa vaarallisia aineita. Suomalaisille aluksille todistuksen myöntää Merenkululaitos. Lisäksi on säädetty laki vaarallisten aineiden kuljetuksesta (719/1994) ja annettu asetus vaarallisten aineiden merikuljetuksista (666/1998). Suomessa vaarallisten aineiden kuljetusta aluksilla valvoo merenkululaitos.

2.2 Yhtiön omat turvallisuusohjeet

2.2.1 Lastinkiinnityskäsikirja

Onnettomuusaluksessa oli käytössä yhtiön oma lastinkiinnityskäsikirja (Cargo Securing Manual). Lasti oli kiinnitetty aluksen kanteen käsikirjan ohjeiden mukaisesti neljällä esikiristetyllä ketjulla. Kyseinen lastinkiinnityskäsikirja oli SOLAS-yleissopimuksen mukainen ja merenkululaitoksen hyväksymä.

Onnettomuuden jälkeen yhtiö antoi lisäohjeet onnettomuudessa olleen kalustotyyppin kiinnittämiseksi ja edellytti kuuden esikiristetyn kiinnitysketjun käyttöä neljän asemasta. Lisäksi varustamo päätti tarkastuttaa kaikki lauttavaunut kiinnitysaukkojen osalta huollon tai korjausten yhteydessä.

2.2.2 Häätätilanneohjeet lastin siirtymän varalta

OIHONNAN häätätilanneohjeissa ei ollut tapahtuman ajankohtana ohjeita tällaisen onnettomuuden varalle. Onnettomuuden jälkeen aluksen valmisteilla olleisiin ISM koodin häätätilanneohjeisiin lisättiin varustamon esityksestä toimintaohjeet lastin siirtymän ja vaarallisen kallistuman osalta.

Tämä uusi ohjeistus, jossa on huomioitu OIHONNAN vaurio, on seuraava:

- * Käännä alus sellaiselle kurssille, jossa sivuttaisheilunta on mahdollisimman vähäinen (keula tai perä tuuleen).
- * Sovita aluksen nopeus aallokon periodia suuremmaksi, jos käännetään myötäälokkoon.
- * Jos käännetään vasta-aallokkoon, sovita vauhti sellaiseksi, jossa jyskintä ei aiheuta vahinkoja aluksen rungolle tai lastille.
- * Suorita tarpeelliset kuulutukset sekä matkustajille että henkilökunnalle.
- * Tarkista lastin kiinnitykset sekä lisää niitä tarvittaessa.
- * Irtipäässeen lastiysikön uudelleen kiinnittämiseksi kallista alusta yksikön paikallaan pitämiseksi. Ota huomioon aluksen vakavuus.
- * Eliminoi painolastilla staattinen kallistuma. Suorita GM₀:n määrittäminen Finnload-ohjelmalla uudestaan, mikäli painolastia on jouduttu pumppaamaan merestä tai mereen.
- * Muista, että aluksen pysyttäminen aikataulussa ei saa vaarantaa ihmisten, aluksen ja lastin turvallisuutta.

2.3 Onnettomuusmatka

2.3.1 Kontin lastaus ja kiinnitys

Vaurioitunut säiliökontti oli tutkimusten perusteella asianmukaisesti lastattu. Säiliökontin tilavuudesta ja rahtikirjan ilmoittamasta ainemäärästä voidaan todeta, että vetyperoksidisäiliön täyttöaste oli määräysten mukainen. Lastiysikön kiinnitys aluksen kanteen oli hyväksytyjen ohjeiden mukainen.

Lastiysiköt oli lastattu ja kiinnitetty alukseen lastaajan työnjohdon sekä aluksen yliperämiehen valvonnassa. Lisäksi lastausta oli valvonut aluksen I perämies. Lastin kiinnityksessä käytettiin ketjuja sekä speedlash-vanttiruuveja. Välineet olivat tarkoitukseen suunniteltuja. Ketjut kiristettiin paineilmakäyttöisellä vääntimellä. Kuvissa 10 ja 11 on kiinnitysketju vanttiruuveineen ja ketjunkiristin. Lastinkiinnityslaitteet ovat rahtaajan (Finncarriers) omistuksessa ja vastuulla.

2.3.2 Aluksen liikkeet merenkäynnissä

OIHONNALLE on laskettu säiliökonttiin tietyllä ylitystodennäköisyydellä kohdistuneet kiihtyvyydet vaurion syntymisen aikana vallinneissa olosuhteissa. Aluksen kannella olevalle säiliökontille aiheutuu kiihtyvyyksiä kolmeen suuntaan eli aluksen työntylystä ja jyskinästä syntyvä pitkittäissuuntainen kiihtyvyys, sivuttaisliikkeistä ja keinunnasta syntyvä



Kuva 10. Esimerkki lauttavaunun kiinnityksestä.



Kuva 11. Paineilmakäyttöinen ketjünkirstin

poikittaiskiihtyvyys sekä kohoilusta, keinunnasta ja jyskinnästä syntyvä pystykiihtyvyys. Kiihtyvyyksien laskentamenetelmää on kuvattu liitteessä 4. Kun kiihtyvyyksien suuruudet on arvioitu, voidaan niiden avulla arvioida kiinnitysketjuihin ja koukkuihin syntyneiden voimien suuruudet.

Ulkoiset olosuhteet. Liikkeiden laskennassa tarvittavia tietoja vallinneista olosuhteista on saatu sekä aluksen laivapäiväkirjasta, 'Ilmoitus merionnettomuudesta'-kaavakkeesta (IM) ja lastivahinko/laivavaurioilmoituksesta (LV). Näiden lisäksi pyydettiin Merentutkimuslaitokselta (MTL) arvio vauriopaikalla vallinneesta aallokosta ja tuulesta yhden vuorokauden ajalta ennen onnettomuusajankohtaa ja sen jälkeen.

Tuulen nopeudesta ja suunnasta oli lokikirjassa klo 04:00 kohdalla merkinnät 25 - 32 m/s ja N (360 astetta). IM-kaavakkeessa tuulen nopeudeksi ilmoitetaan 28 - 35 m/s ja suunnaksi 350 astetta. LV-ilmoituksessa tuulen nopeus on sama 28 - 35 m/s ja suunta NNW (337.5 astetta). Märketin majakalla mitattu tuulen nopeus klo 02:00 oli 25 m/s ja suunta 360 astetta.

Aallokon korkeudeksi MTL arvioi vaurion tapahtumahetkellä 5.9 m, aaltospektrin huipun periodiksi 9.7 s ja aallokon vallitsevaksi suunnaksi 10 astetta. Ennusteen tarkkuus on merkitsevän aallonkorkeuden osalta ± 0.3 m ja periodin n. ± 0.5 s. Tällaiset aalto-olosuhteet ovat erittäin harvinaiset Pohjois-Itämerellä. Laivapäiväkirjassa aallokosta on merkintä 'Erittäin korkea vastameri. Meren ylilyöntejä ja stamppausta'. IM-kaavakkeessa merenkäynnin suunnaksi on merkitty NNW (337.5 astetta). Kaavakkeessa mainitaan, että merenkäynti oli ankara ja pohjaiskuja esiintyi.

Aluksen nopeus oli sekä laivapäiväkirjan että lastivahinkoilmoituksen mukaan 5 solmua. Aluksen kulkusuunnasta on laivapäiväkirjassa merkintä 000 astetta ja IM-kaavakkeessa 360 astetta. Aallokon suunnasta suhteessa aluksen keulan suuntaan on siis hieman riskitöntä tietoa. Kommentosillalla pimeään aikaan tehty, visuaaliseen havaintoon perustuva arvio aallokon suunnasta ei ehkä ole kovin tarkka. On kuitenkin mahdollista, että aallokon suunta on ollut ainakin ajoittain 10-20 astetta sivussa aluksen keulasuuntaan nähden. Vahtihenkilöstön mukaan aluksen ajosuunta oli valittu siten, että aallokko kohtasi keulan 10 - 15 astetta vasemmalta puolelta.

Laskentatilanteet. Edellä esitettyjen tietojen perusteella aluksen liikkeiden laskennassa on käytetty seuraavia arvoja:

- Aluksen nopeus 5 solmua. Vaikka aluksen nopeus on kovasta merenkäynnistä johdun varmasti ollut välillä tätäkin pienempi, ei nopeuden muutoksilla ole oleellista merkitystä tällä nopeusalueella.
- Aluksen keulan suunta aallokkoon nähden vastainen ja 30 astetta sivuun keulasta.
- Aallokon merkitsevä korkeus 5.9 m ja aaltospektrin huipun taajuus 9.7 s.
- Pitkä- ja lyhytharjainen aallokko. Lyhytharjaisessa aallokossa aallot kohtaavat laivan myös muusta kuin nimellisestä suunnasta tietyllä suunnasta riippuvalla kertoimella painotettuna vastaten usein paremmin luonnossa esiintyvää aallokkoa.

Kiihtyvyydet. Maksimaaliset pitkittäis-, poikittais- ja pystykihtyvyydet, jotka vaikuttavat säiliökonttiin ko. merenkäynnissä kahden ja neljän tunnin aikana, on arvioitu käyttäen 20 ja 50 % ylitystodennäköisyyksiä. Esimerkiksi 20 %:n ylitystodennäköisyys neljän tunnin aikana tarkoittaa sitä, että jos kyseinen alus tekee viisi matkaa, joiden aikana se joutuu kulkemaan neljän tunnin ajan onnettomuuspaikan olosuhteissa, lasketut maksimikihtyvyydet ylittyvät yhden matkan aikana. Lasketut kiihtyvyydet sisältävät ainoastaan ns. jäykän kappaleen liikkeistä syntyvät kiihtyvyydet mutta eivät pohjaiskujen aiheuttamia värähtelykiihtyvyyksiä. Liitteen 4 taulukossa 7.1 on esitetty lasketut aaltokohtaamisien lukumäärät, kiihtyvyyksien RMS-arvot sekä maksimiarvot molemmilla aaltokulmilla. Aaltokohtaamiset ja maksimiarvot on esitetty vastaten kahden ja neljän tunnin ajoaikaa. Taulukon arvoista nähdään, että altistumisajalla ja ylitystodennäköisyyden suuruudella on vain vähäinen vaikutus maksimiarvoihin. Tietyllä ylitystodennäköisyydellä altistumisajan pidentyminen kaksinkertaiseksi kasvattaa maksimikihtyvyyksiä noin 5 %. Samansuuruinen vaikutus on ylitystodennäköisyyden muutoksella, kun altistumisaika pysyy samana. Kiinnitysketjujen ja koukkujen voimien laskennassa on käytetty konservatiivisinta tapausta eli neljän tunnin altistumisaikaa ja 20 % ylitystodennäköisyyttä.

Aluksen keinuntaliikkeisiin ja niistä aiheutuviin poikittaiskiihtyvyyksiin vaikuttaa voimakkaasti alkuvakavuutta kuvaavan poikittaisen alkuvaihtokeskuskorkeuden GM_0 suuruus. Kun GM_0 suurenee, pienenee keinunnan ominaisperiodi, jolloin keinuntaliikkeet muuttuvat rajummiksi ja poikittaiskiihtyvyydet kasvavat. Yleensä alusta lastattaessa pyritään liikkeiden minimoimiseksi mahdollisimman pieneen GM_0 :n arvoon, joka kuitenkin ylittää pienimmän sallitun arvon ja suureen syväyteen pohjaiskujen välttämiseksi. Käytännössä näiden tavoitteiden yhtäaikainen toteuttaminen ei ole varsinkaan painolastitilanteessa mahdollista.

Aluksessa oli onnettomuusmatkalla lastia, polttoainetta, makeaa vettä sekä erinäistä varastotavaraa 1145 tonnia, mikä on noin 10 prosenttia koko aluksen kantavuudesta. Merikelpoisuuden kannalta on tärkeää, että aluksen syväys on riittävä vallitseviin meri- ja aallokko-olosuhteisiin nähden. Merikelpoisuusvaatimusten täyttämiseksi OIHONNAN painolastitankkeihin oli lastattu vettä 3657 tonnia siten, että peräsyväydeksi oli saatu 6.1 metriä ja keulasyväydeksi 5.7 metriä. Koska aluksella ei ollut lastia sitä määrää, mitä merikelpoisuus syväyden kannalta edellyttää, oli ainoa vaihtoehto painolastiveden käyttö. Painolastitankit sijaitsevat pääasiallisesti aluksen kaksoispohjassa, joten tankkien täyttö lisäsi oleellisesti vaihtokeskuskorkeutta ja samalla aluksen keinunnasta aiheutuvia kiihtyvyyksiä. Vähemmällä vesimäärällä aluksen vaihtokeskuskorkeus olisi jäänyt pienemmäksi, mutta aluksen syväyden pienenemien olisi vaikuttanut negatiivisesti merikelpoisuuteen lisäten vastaavasti runkoa ja lastin kiinnityksiä rasittavia pohjaiskuja.

IMO on julkaissut ohjeen, jonka avulla voidaan laskea eri kokoisille ro-ro-aluksille mitoituskiihtyvyydet lastiin kohdistuvien hitausvoimien ja kiinnitystarpeen arvioimiseksi. OIHONNALLE lasketut pitkittäis- ja poikittaiskiihtyvyydet säiliökontin kohdalla jäävät alle IMO:n ohjeen antamien arvojen, mutta laskettu pystykihtyvyys ylittää käytetyillä oletuksilla mitoituskiihtyvyyden noin 30 %. IMO:n mitoitusarvojen ylitys kuvastaa OIHONNAN kohtaamien olosuhteiden poikkeuksellista ankaruutta.

Pohjaiskujen todennäköisyys. Kiihtyvyyksien lisäksi on laskettu aluksen pohjan ja veden pinnan suhteellisen liikkeen arvot aluksen keulaperpendikkelillä pohjan tasolla ja kahdessa pisteessä perän alueella säiliökontin alapuolella. Perän laskentapisteet sijaittivat 1.0 ja 1.25 m tyynen vedenpinnan yläpuolella. Ylempänä sijainnut piste edustaa likimäärin kuvitteellista tilannetta, jossa alukselta olisi poistettu 2000 t painolastivettä, jolloin aluksen perä olisi ollut 0.25 cm todellista ylempänä. Suhteellisesta liikkeestä saadaan arvioitua, kuinka usein pohja iskee veteen ja edelleen mikä on ns. Ochin kriteerin täyttävien pohjaiskujen lukumäärä laskentaperiodin aikana. Näitä tietoja voidaan käyttää arvioitaessa pohjaiskujen synnyttämien kiihtyvyyksien vaikutusta säiliökontin irtoamiseen. Liitteen 4 taulukossa 7.4 on esitetty perän laskentapisteiden veteen painumisien ja keulan ilmaan nousujen lukumäärät kahden ja neljän tunnin laskentajaksojen aikana. Tuloksista havaitaan, että aluksen perä on matkan aikana osunut vähintäänkin satoja kertoja veteen ja Ochin kriteeri on täyttynyt kymmeniä kertoja. Pohjaiskujen suuri esiintymistajuus viittaa siihen, että pahimmat niistä ovat merkittävästi lisänneet säiliökontin kokemia pystykiihtyvyyksiä.

2.3.3 Säiliökontin kiinnityksiin kohdistuneet voimat

Säiliökonttiin voi avonaisella sääkannella vaikuttaa useita voimakomponentteja:

- kiihtyvyyksien aiheuttamat hitausvoimat
- maan vetovoimakiihtyvyyden vaikutus aluksen mukana kallistuneeseen säiliökonttiin
- kiinnitysketjuihin jo satamassa lastin kiinnityksen aikana syntyvät esikiristysvoimat
- lauttavaunun ja kannen pinnan välinen kitkavoima
- säiliökontissa nesteen liikkeiden aiheuttamat voimat
- aluksen pohjaiskuista syntyneet transientit voimat
- tuulivoimat
- suorat aaltovoimat

Tässä raportissa on käsitelty vain neljä ensiksi mainittua voimatyyppiä. Muiden voimakomponenttien poisjättämistä voidaan perustella seuraavassa esitetyistä syistä.

Säiliökontissa nesteen liikkeiden aiheuttamat voimat. Onnettomuudessa irronneen säiliökontin tilavuudesta ja rahtikirjan ilmoittamasta ainemäärästä voidaan todeta, että vetyperoksidisäiliön täyttöaste oli määräysten mukainen. Vajaatäytöstä johtuva aineen loiskunta ei näinollen vaikuttanut merkittävästi onnettomuuden syntymiseen.

Aluksen pohjaiskuista syntyneet nopeasti muuttuvat (transientit) voimat. Pohjaiskujen (slamming) vaikutuksen arviointi säiliökonttiin kohdistuviin kiihtyvyyksiin on ilman FEM-analyysiä hyvin vaikeaa. FEM-laskelmat edellyttävät koko aluksen rungosta tehtävän elementtiverkon tekemistä ja raskasta tietokonelaskentaa, jota tässä tutkimuksessa ei katsottu olevan aiheellista tehdä. Pohjaiskujen osuutta on tutkittu ainoastaan laskeamalla aluksen suhteellinen liike todennäköisillä pohjaiskujen syntymisalueilla. Näitä ovat tasaisen perän alue sekä aluksen keulaosa (keulaperpendikkeli). Näin saadaan arvio alukseen kohdistuvien pohjaiskujen lukumäärästä tietyn pituisen ajanjakson aikana.

Tuulivoimat. Tuulen suunta oli keulasta, eli säiliökonttiin ei kohdistunut suoran tuulen aiheuttamia voimia, koska kansirakennus suojaasi peräkantta tuulelta.

Suorat aaltovoimat. Myöskään pahinta tapausta eli suoraan kontteihin kohdistuneita aaltokuormia ei esiintynyt, koska vesi ei päässyt perän sääkannelle.

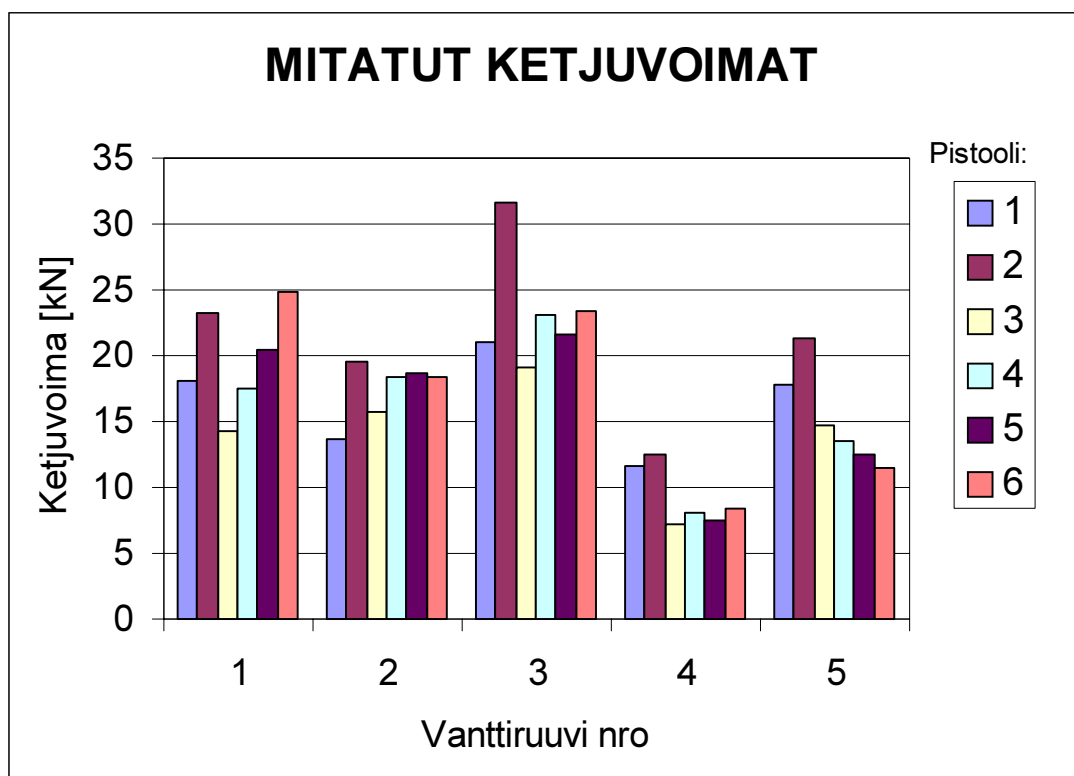
Esikiristysvoimat ja kittakerroin. Koska laskelmia varten tarvittavista todellisista esikiristysvoimien sekä lauttavaunun ja aluksen kannen välisen kittakertoimen arvoista ei ollut käytettävissä tietoja, jouduttiin näiden suureiden arvot selvittämään mittaamalla.

Kiinnitysketjujen kiristysvoima saadaan aikaan vanttiruuveilla, jotka kiristetään paineilmakäyttöisellä momenttivääntimellä (kuva 11). OIHONNALLA mitattiin todellisissa olosuhteissa 30 vanttiruuvin synnyttämä kiristysvoima yhteensä 66 mittauksella. Mittaustulokset on esitetty laajemmin liitteen 4 luvussa 4. Momenttivääntimien erojen selvittämiseksi käytettiin mittauksissa kuutta eri laitetta.

Keskimääräinen esikiristysvoima oli 20 kN, mutta mittausten hajonta oli suuri. Esikiristysvoimat vaihtelivat välillä 7.2 - 36.1 kN. Hajontaan vaikuttivat sekä vanttiruuvien että momenttivääntimien (pistoolien) suuret keskinäiset erot, jotka näkyvät hyvin kuvassa 12. Siinä on esitetty viidellä eri vanttiruuvilla mitatut esikiristysvoimat käyttäen kuutta paineilmapistoolia.

Mittausten yhteydessä ilmeni myös muita seikkoja, jotka vaikuttavat saavutettaviin esikiristysvoimiin:

1) Osa vanttiruuveista oli käyttökelvottomia. Satunnaisesti valituista vanttiruuvista kuudesosa oli niin huonossa kunnossa, ettei niitä voitu käyttää mittauksissa.



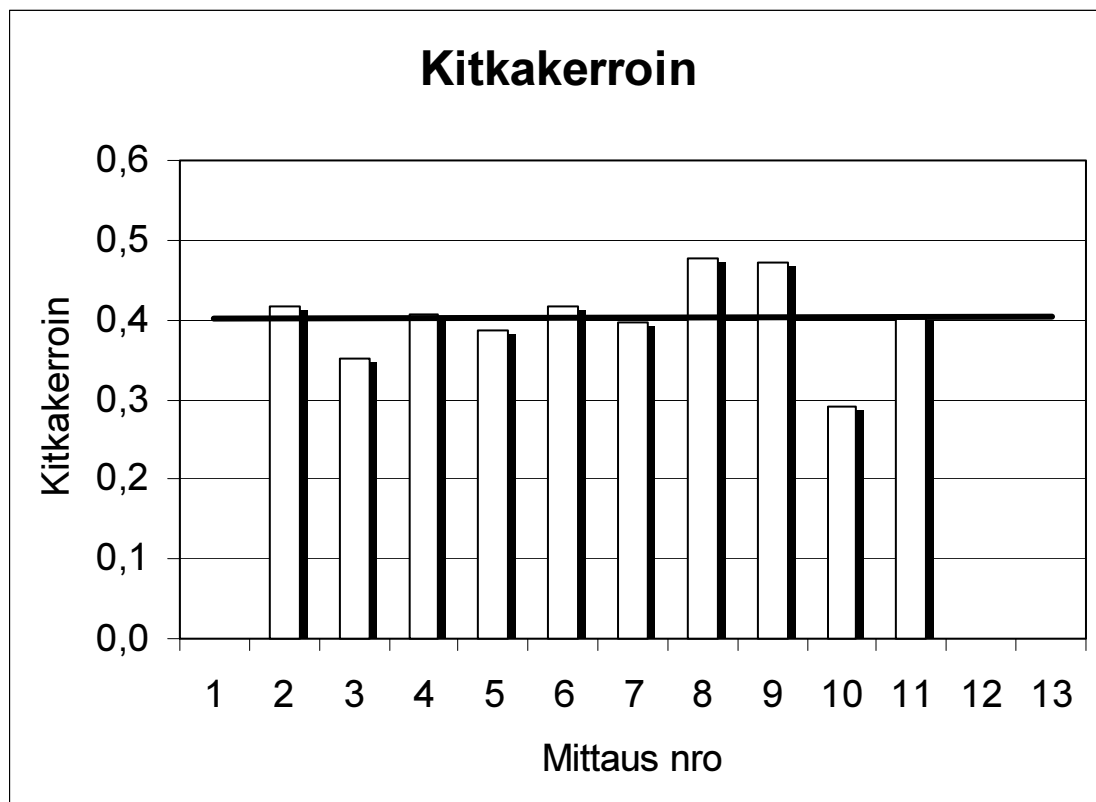
Kuva 12. Paineilmapistoolin vaikutus viiden vanttiruuvin ketjuvoimiin.

2) Alusta lastattaessa saattaa useampi henkilö käyttää paineilmatoimisia laitteita samanaikaisesti, jolloin ilmanpaine ja vääntimien teho laskee.

3) Aluksen kompressorin toimintahäiriöt vaikuttavat esikristysvoimien suuruuteen. Näin kävi kiristysvoimien ensimmäisellä mittausyrityksellä, joka jouduttiin hyödyttömänä keskeyttämään asian tultua ilmi.

4) Samalla vantturuuvilla peräkkäin tehtyjen mittausten tuloksiin on saattanut vaikuttaa vantturuuvien mahdollisesta lämmön noususta johtunut sisäisen kitkan pieneneminen.

Kitkakerroin lauttavaunun ja aluksen kannen välillä mitattiin kahteen kertaan erilaisissa olosuhteissa. Ensimmäisellä mittauskerralla lämpötila oli selvästi nollan yläpuolella. Ainoastaan kuivan ja märän kannen ja lauttavaunun väliset kitkakertoimet saatiin mitattua. Koska onnettomuustilanteessa kannella oli jäätä, toistettiin mittaukset myöhemmin, kun pakkasta oli yli 20 astetta. Aluksen kansi jäädytettiin säiliökontin onnettomuuden aikaisen sijainnin kohdalta ja paikalle tuotiin lauttavaunu, jonka etupään tukien alle laitettiin normaaliin tapaan kumimatto. Lauttavaunua vedettiin autolla useita kertoja sivusuunnassa ketjulla, johon oli asennettu voima-anturi. Kun lauttavaunun paino oli tiedossa, saatiin kitkakerroin laskettua. Keskimääräinen kitkakerroin oli 0.40. Hyväksytyjen kitkamittausten tulokset on esitetty kuvassa 13. Kitkavoimien mittauksista on tarkemmin kerrottu liitteen 4 luvussa 5.



Kuva 13. Kitkakertoimet eri mittauksissa ja regressiosuora (keskiarvo = 0.40).
Mittaukset OIHONNALLa 01.02.1999.

Kiinnitysvoimien laskentaperiaate on kuvattu liitteen 4 kappaleessa 8. Kiinnitysvoimien laskennassa on oletettu, että erisuuntaisista kiihtyvyyksistä lasketut ketjuvoimat voidaan laskea toisistaan riippumatta ja kokonaisvoima saadaan laskemalla yhteen nämä komponentit. Kiihtyvyyksinä on käytetty neljän tunnin altistumisaikana 20 % todennäköisyydellä ylittyviä maksimiarvoja. Koska eri kiihtyvyyskomponenttien todellisista vaiheista toisiinsa nähden ei ole olemassa tietoa, laskelmissa on käytetty erilaisia vaihekombinaatioita. Pahin tilanne hitausvoimien suhteen esiintyy silloin, kun kaikkien kiihtyvyyskomponenttien maksimiarvot esiintyvät samanaikaisesti siten, että säiliökontin pystykiinnyvyys on alaspäin. Tämän tilanteen lisäksi on laskettu myös kuusi muuta mahdollista tilannetta, joissa kiihtyvyyskomponentteja on varioitu sijoittamalla niille arvoksi joko maksimi tai nolla.

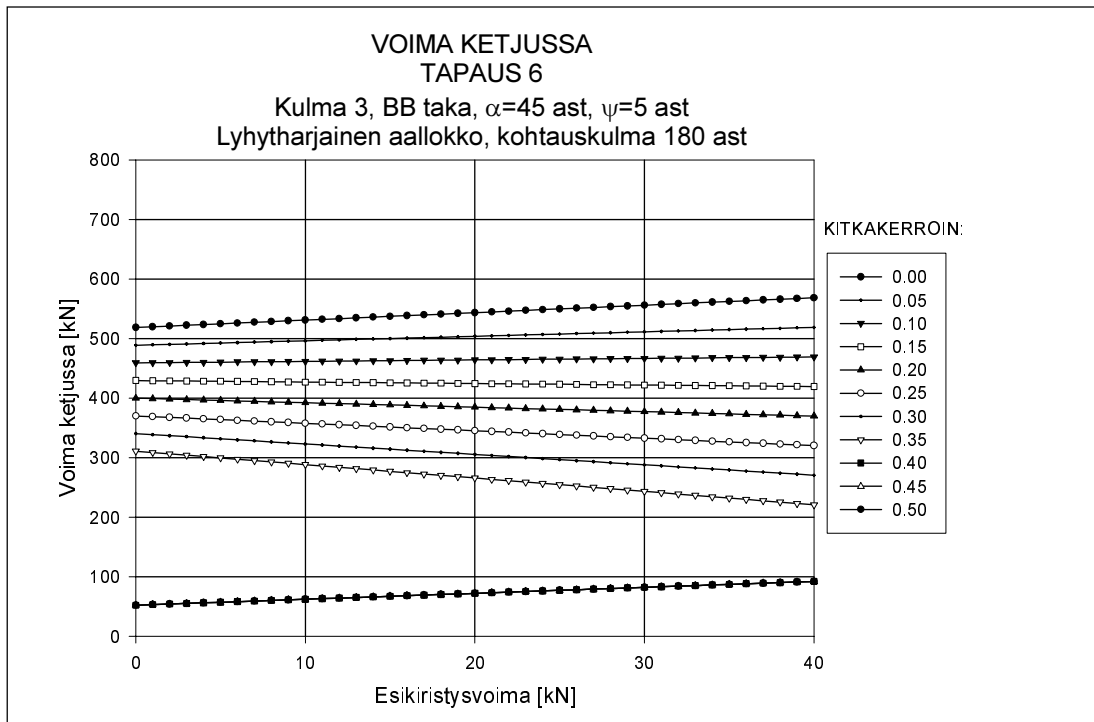
Laskelmissa haluttiin tutkia lisäksi, mikä on epäsymmetrisesti kiristettyjen ketjujen vaikutus syntyviin voimiin. Sellaisen laskentatapauksen lisäksi, jossa säiliökontti on kiristetty symmetrisesti neljästä nurkasta, pudotettiin vuorotellen kunkin kulman esikiristysvoima puoleen muihin verrattuna. Lisäksi tutkittiin, kuinka paljon voimiin vaikuttaa kiinnitysketjujen ja aluksen kannen välinen kulma. Perustapaus oli tilanne, jossa ketju muodosti sivusta katsottuna 45 asteen kulman ja päästä katsottuna 5 asteen kulman pystysuoraan verrattuna. Toisessa laskentatapauksessa 45 asteen kulma kasvatettiin 60 asteeseen.

Laskentatuloksia. Kiinnitysketjujen tai -koukkujen vetolujuus voi ylittyä periaatteessa kahdella tavalla:

- 1) Säiliökontin ja lauttavaunun alapuoliseen kanteen kohdistuu niin suuri vaakasuuntainen kiihtyvyys, että kitkavoima ei riitä pitämään lauttavaunua paikallaan kannessa. Jos lauttavaunu pääsee liikahtamaan, saattavat voimat ketjussa ja koukussa kasvaa niin suureksi, että vetolujuus ylittyy.
- 2) Säiliökontin ja lauttavaunun alapuolisen kannen kiihtyvyys alaspäin kasvaa niin suureksi, että kontin ja lauttavaunun hitausvoimat ylittävät kiinnitysten vetolujuuden. Tässä tapauksessa ei vaakakiinnyvyydellä tarvitse olla mitään vaikutusta. Pystysuuntaiseen kiihtyvyyteen vaikuttavat aluksen globaalien liikkeiden lisäksi perään tai keulaan kohdistuvat voimakkaat pohjaiskut, jotka synnyttävät nopeasti värähtelevän, mutta myös nopeasti vaimenevan värähtelykiihtyvyyden. Jälkimmäisen osuus kokonaiskiihtyvyydestä voi olla samaa suuruusluokkaa kuin aluksen liikkeistä aiheutuvat kiihtyvyydet.

Haruskoukku/ketju-yhdistelmän väsymislujuusanalyysin mukaan (kohta 2.3.4) ketjun vetolujuus on 146 kN. Koukun vetolujuutta alentaa sen kiinnittäminen lauttavaunuun siten, että koukku ei pääse asettumaan samansuuntaiseksi ketjun kanssa. Koukun ja ketjun välisen kulman ylittäessä 6 astetta alkaa koukun vetolujuus olla pienempi kuin ketjun lujuus.

Liitteen 4 taulukoissa 8.2 - 8.8 on esitetty lyhytjärjaisessä vasta-aallokossa säiliökontin neljässä kulmassa vaikuttavat ketjuvoimat kaikissa laskentatapauksissa käyttäen keskimääräisiä esikiristysvoiman ja kitkakertoimen arvoja. Laskelmissa todettiin, että tietyissä tapauksissa laskennassa käytettyä kitkakerrointa hiukan pienemmällä arvolla 0.35 syntyi ketjuihin ratkaisevasti suurempia voimia. Koska em. ero kitkakertoimissa sisältyy mittausepä-tarkkuuteen, on taulukoissa ilmoitettu myös kitkakertoimen 0.35 arvoa vastaavat tulokset.



Kuva 14. Säiliökontin kiinnityskulmassa 3 vaikuttava ketjuvoima esikiristysvoiman ja kitkakertoimen funktiona. Tapaus 6: kiihtyvyyshakemista **poikittais- ja pystysuunnan maksimit** mukana, pitkittäissuunta nolla, kiinnityskulma $\alpha=45$ astetta, lyhytharjainen vasta-aallokko.

Litteen 4 kuvissa 8.3 - 8.10 on esitetty ketjuvoimien suuruudet esikiristysvoiman funktiona eri kitkakertoimien arvoilla siinä lauttavaunun kulmassa, jossa esiintyivät suurimmat lasketut ketjuvoimat. Esimerkkinä näistä on kuvassa 14 lasketut ketjuvoimat tapauksessa, jolloin poikittais- ja pystykiihtyvyydet olivat maksimissaan samanaikaisesti. Kuvasta käy ilmi, että pienelläkin kitkakertoimen alenemisella saattaa olla suuri vaikutus syntyneisiin kuormiin.

Lasketut kiinnitysvoimat ketjuissa ovat lähellä arvoa 100 kN jo siinäkin tapauksessa, että oletetaan konttiin kohdistuneen laskennallisesti arvioitu 4 tunnin aikana 20 % todennäköisyydellä esiintynyt suurin pystykiihtyvyys. Kiihtyvyydet vaakasuunnassa saattavat tämän lisäksi olla niin suuria, että kitkavoimat eivät enää tässä tilanteessa riitä tasapainottamaan vaakasuuntaisia hitausvoimia, vaan lauttavaunu liikkahtaa ja ketjuihin kohdistunut voima kasvaa välittömästi vielä lisää. Voidaan karkeasti olettaa, että pohja-iskut voivat synnyttää luokkaa 1 g olevia kiihtyvyyksisarvoja jäykän kappaleen kiihtyvyyksien lisäksi. Jos näin suuri iskumainen kiihtyvyys on sattunut osumaan lähellä laskelmassa käytetyn maksimaalisen pystykiihtyvyyden huippua, kiihtyvyyksien yhteisvaikutus on melko todennäköisesti riittänyt aiheuttamaan kiinnitykset murtaneen voiman johonkin kiinnitysketjuista.

Johtopäätöksiä. Tuloksista voidaan tehdä seuraavia johtopäätöksiä:

- 1) Kiinnitysketjujen epäsymmetrisellä esikiristyksellä ei ole oleellista vaikutusta säiliökontin ja lauttavaunun voimatasapainotilaan. Vaikutus perustuu lähinnä muuttuneeseen kitkavoimaan, mutta yhden ketjun esikiristysvoiman puolittaminen 10 kN:iin vähentää kitkavoimaa vain noin 3 %.
- 2) Paljon suurempi vaikutus ketjuvoimiin on ketjujen kiinnityskulmalla kannen suhteen. Kun α -kulmaa lisättiin 45 asteesta 60 asteeseen, ketjuvoimat kasvoivat 20 - 40 % tapauksesta riippuen.
- 3) Pitkittäisen ja poikittaisen kiihtyvyyksensä maksimin yhtäaikainen esiintyminen ei pelkästään riitä esikiristysvoimia suurempien voimien synnyttämiseen. Kitkavoimat riittävät tällöin pitämään lauttavaunun kiinni kannessa. Suurempien voimien aikaansaamiseen tarvitaan vielä pystykiihtyvyyden komponentti, jonka vaikutus perustuu sekä syntyneisiin pystyhitausvoimiin että kitkavoiman huomattavaan pienenemiseen.

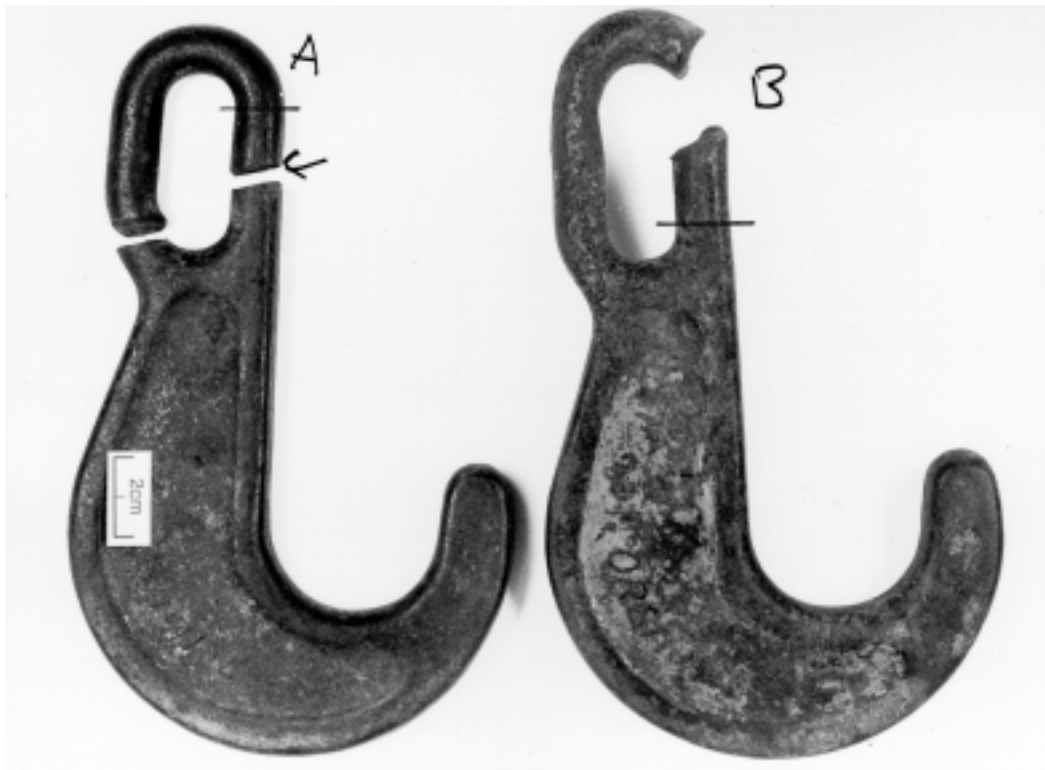
Lasketut pystykiihtyvyyden maksimit olivat luokkaa puolet maan vetovoimakiihtyvyydestä, eli pelkästään hitausvoimasta syntyy jokaiseen ketjuun esikiristuksen kanssa jopa yli 90 kN vetovoima kiinnityskulmasta riippuen. Lisäksi lauttavaunun ja kannen välinen kitkavoima putoaa kyseisessä tilanteessa noin puoleen staattiseen tilanteeseen verrattuna. Jos tällä hetkellä aluksella sattuu olemaan vaakasuuntaista kiihtyvyyttä tai sen pohjaan kohdistuvasta voimakkaasta iskusta syntyvää värähtelykiihtyvyyttä, hitausvoimien suuruus saattaa kasvaa tasapainottavaa kitkavoimaa suuremmaksi, ja ketjun tai koukun murtolujuus ylittyy.

2.3.4 Haruskoukkujen lujuus

Kontin irtoamisen havaitsi ensimmäisenä aluksen stuerhti. Hän näki tällöin kontin kääntyneen sivusuunnassa siten, että se ilmeisesti oli irti peräpäästään. Tällainen kontin liike syntyy, jos toisen pään kiinnityksistä yksi on pettänyt. Stuerhtin ilmoituksen perusteella hälytettyjen miehistön jäsenten saapuessa peräkannelle säiliökontti oli jo täysin irti kiinnityksistään, ja se liikkui edestakaisin jäisellä kannella. Kontin irtoamiselle ei täten ole silminnäkijöitä.

Onnettomuustutkimuksen toimesta VTT Valmistustekniikkaan toimitettiin tutkimusnäytteinä kaksi OIHONNALLA saattua onnettomuusyönä rikkoutunutta konttiharuskoukkuja, joiden lenkit olivat murtuneet sekä ehjä vastaava koukku ketjuineen. Nämä murtuneet koukut on esitetty kuvassa 15.

VTT:n analyysin mukaan toisen koukun murtuma oli ilman nähtävää deformaatiota, toisessa sensijaan oli kuroumaa. Hienot murtumadetaljit olivat suurelta osin hävinneet molemmista koukuista korroosion vaikutuksesta. Edellinen koukuista oli tutkimuksen mukaan mitä todennäköisimmin väsynyt noin 30 % kokonaisuurtopinnasta, ja väsymismurtumaa seurannut loppumurtuma oli tyypiltään ylikuormituksen seurausta. Toisen koukun lenkin murtumat olivat tyypiltään kertavedossa tapahtuvia ylikuormitusmurtumia. Lisäksi VTT suoritti ehjän lenkin murtokokeet mittaamalla sen murtumiseen tarvittun voiman.



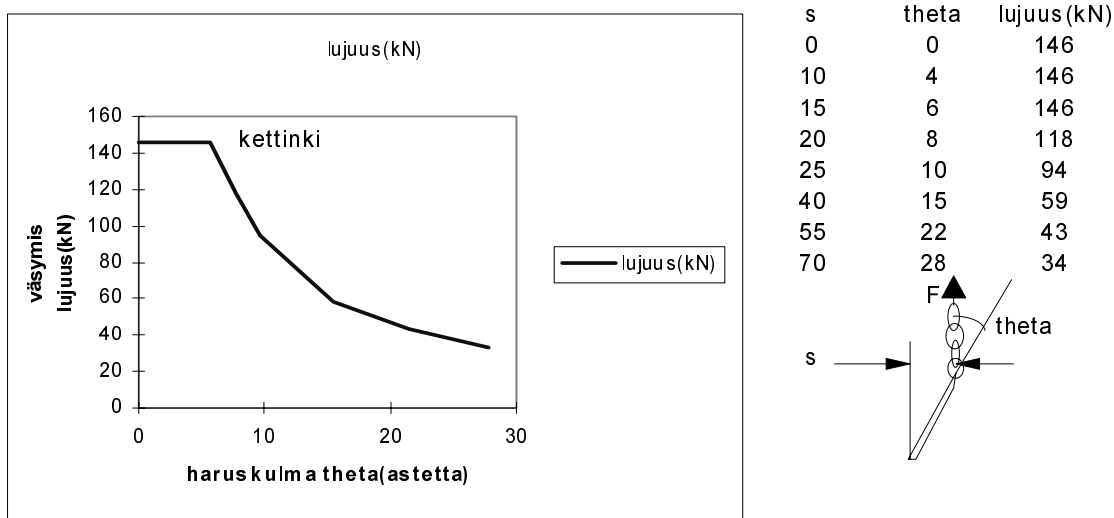
Kuva 15. OIHONNAN kaksi murtunutta lastin kiinnityskoukkuja

Kertavedossa murtunut lenkki oli murtunut koukkulenkkin ketjun puoleisesta päästä, ja lenkkikannakset olivat osittain kuroutuneet, mikä osoittaa kertavedossa tapahtunutta murtumista. Lenkin murtolujuudeksi on arvioitu materiaalin ja koukun mittojen perusteella noin 237 - 269 kN. Systeemissä heikoin lenkki on materiaalin halkaisijaltaan 10.8 mm ketju, jonka vetolujuudeksi VTT:llä mitattiin 146 kN. Ketjun materiaali oli samaa kuin koukun, mutta pienempi poikkipinta-ala laskee kuormankantokykyä. Koukku puolestaan murtui VTT:n vetokokeessa kärjestä 266 kN voimalla, joten koukun lenkki ei ole edes välttämättä lähinnä heikoin. Yllä annettu arvio 237 - 269 kN tekee koukun lenkin tasavahvaksi kärjen kanssa. Koukku vaikuttaa siten rakenteeltaan optimoidulta.

Väsymislujuus suorassa vedossa. Jännitysvaihteluväli voi kohota jopa myötörajalle (1200...1300MPa), jolloin väsymislujuus on noin 180-220 kN.

Väsymislujuus vinossa vedossa. Väsynyt koukku oli murtunut koukkurungon läheltä lenkin tyvestä, ja särö oli syntynyt lenkin sivuun. Tämä viittaa lenkin kuormittumiseen osittain sivuttaisella, paikallista "murtavaa" taivutusta aiheuttavalla voimalla. Tarvittavan voimavaihtelun suuruuteen vaikuttaa tällöin koukun ja vetävän ketjun välinen kulma ("klenka" harustus). Voiman tarvetta on analysoitu pitäen parametrina tarkastelussa tuntematonta momenttivarsi s:ää tai helpommin omaksuttavaa kulmaa (theta) ketjun ja koukun tason välillä. Tämän tarkastelun tulokset on esitetty kuvassa 16. Lisäksi kuvassa 17 on esimerkki tällaisesta vinosta kiristyksestä.

Kokonaisuus on siis "tasapainoisesti optimoitu", eikä siinä ole varsinaista "heikkoa lenkkiä". Ketju on suorassa vedossa heikoin, mutta vinossa vedossa heikoin on koukku sitä riittävän suurella kulmalla vedettäessä.



Kuva 16. Harustusketju/koukku yhdistelmän väsymislujuus.

Kiinnityslaitteiden määräaikaistarkastukset. Kiinnitysketjuille ja koukuille ei ole luotu nostolaitteiden tarkastuksiin verrattavaa määräaikaistarkastusjärjestelmää. Kiinnityskalustoa käyttävät kuitenkin jokaisella käyttökerralla ammattitaitoiset työntekijät. Vahingoituneet ja vialliset ketjut ja koukut poistetaan välittömästi käytöstä mikäli ahtaaja huomaa vian. Kuljetusalan järjestöt ovat yhdessä merivakuutusyhtiöiden yhdistyksen kanssa laatineet poistoperusteet huonokuntoisille kiinnityslaitteille. Ahtaajien koulutuksessa asia käsitellään useaan kertaan. Samoin eri varustamoilla on omissa laatujärjestelmissään huonokuntoisten kiinnityslaitteiden hylkäysperusteet. Järjestelmä poistaa käytöstä vain helposti havaittavan vaurioituneen kaluston. Koska lastinkiinnityslaitteet ovat rahtaajan omistuksessa, ei aluksen miehistö säännöllisesti huolla ja tarkasta niitä.

2.3.5 Säiliökontin irtoaminen

Säiliökontin irtoaminen on alkanut sen peräpäähän kiinnityksistä. Koska aluksen kannelta löydettiin jälkeen päin kaksi murtunutta koukkuuta mutta ei mitään merkkejä murtuneesta ketjusta, on todennäköistä, että kiinnityksen irtoaminen sai alkunsa nimenomaan kourujen eikä ketjujen peittämisestä. Mittausten mukaan ketjun vetolujuus on 146 kN, joten kourun murtumisen on aiheuttanut tätä pienempi voima. Suoraan koukkuuta kuormitettaessa sen mitoitus vaikuttaa optimoidulta. Kuitenkin koukku voi murtua alle 146 kN voimalla, jos se on jäänyt lauttavaunun lenkkiin kiinnitettäessä vähintään 6 astetta vinoon asentoon kiinnitysketjuun verrattuna. Tällöin siihen syntyy vedon lisäksi myös taivuttavaa kuormitusta. Kulman kasvaessa vetolujuus heikkenee voimakkaasti. Tämän perusteella ainakin yksi koukku on ollut vähintään 6 astetta vinossa ketjuun nähden.

Säiliökontin kiinnitysvaiheessa ketjuihin ja koukkuihin syntyviin voimiin vaikuttavat lisäksi esikivistysvoimien suuruus ja niiden symmetrisyys sekä ketjujen kiinnityskulmat aluksen kanteen nähden. OIHONNAN tapauksessa ei ole olemassa mitään tietoa esikivistysvoimista tai kiinnityskulmista. Esikivistysvoimien mahdollisella epäsymmetrisyydellä ei todennäköisesti kuitenkaan ole ollut oleellista vaikutusta kourun murtumiseen.



Kuva 17. Esimerkki koukun vinosta kiristyksestä.

Välittömänä syynä kiinnityksen murtumiseen on ollut säiliökonttiin kohdistunut niin suuri kiihtyvyyden, että syntyneet hitausvoimat ovat ylittäneet koukun vetolujuuden. Tarkkaa tietoa tapahtumien kulusta ei ole olemassa, mutta voidaan esittää kolme kriittistä olosuhdetta, joissa kiinnitykset ovat voineet murtua:

- 1 Aluksen peräosaan on vaikuttanut suuri, luokkaa 5 m/s^2 suuruinen alaspäin suuntautuva kiihtyvyyden. Jos säiliökontin kiinnitysketjujen kulmat kanteen nähden ovat olleet epäedullisia (tapaus $\alpha = 60$, $\beta = 2.9$ ja $\psi = 5.0$ astetta) ja koukku on jäänyt noin 10 asteen kulmaan ketjuun verrattuna, riittää laskelmien mukaan yksin pystykiihtyvyyden synnyttämään koukun murtavan voiman.
- 2 Jos suuren pystykiihtyvyyden lisäksi samalla hetkellä säkikanteen lauttavaunun alla kohdistui myös poikittais- tai pitkittäissuuntainen kiihtyvyydenkomponentti, on lauttavaunua kannessa kiinnipitävä kitkavoima saattanut olla riittämätön estämään lauttavaunun liikahtamista vaakasuunnassa. Lisäksi pienikin ero (todellisessa) kitkakertoimessa mittausten keskiarvosta alaspäin saattaa pahentaa tilannetta suuresti. Samalla hetkellä, kun lauttavaunu liikahtaa, kasvaa voima koukussa suuremmaksi kuin sen vetolujuus.
- 3 Suuren pystykiihtyvyyden kanssa samanaikaisesti aluksen pohjaan perään tai jopa sen keulaan kohdistuva pohjaisku synnyttää nopeasti värähtelevän kiihtyvyydenkomponentin lauttavaunun alla olevassa kannessa. Sen vaikutus

summautuu hitaasti vaihtelevan kiihtyvyyden kanssa synnyttäen hetkellisesti niin suuren kiihtyvyyksiäkin alaspäin, että säiliökontin ja lauttavaunun yhdistelmän hitausvoimat ylittävät koukun vetolujuuden.

2.4 Vaaralliset aineet onnettomuusaluksessa

2.4.1 Aluksessa olleet vaaralliset aineet ja niiden kuljetusmääräykset

OIHONNALLA oli vetyperoksidia sisältäneiden neljän säiliökontin ja normaalilastin ohella myös pieni määrä muuta vaaralliseksi luokiteltua lastia (nk. IMDG-lastia). Muu IMDG-lasti koostui 12 kilosta D-vitamiinina, 241 kilosta alkoholia sekä 2 kilosta fosforihappoa. Neljää säiliökonttia lukuunottamatta lasti oli sijoitettu suljetulle pääkannelle lähelle keskilavaa. IMDG-lasti oli muun lastin joukossa ja vaatimusten mukaisesti eroteltuna.

Tämän raportin liitteinä on tarkemmat kuvaukset aluksessa olleista vaarallisista aineista ja niiden ominaisuuksista (Liite 1), vetyperoksidin säiliökuljetusmääräyksistä (Liite 2) sekä säiliökontin rakennevaatimuksista (Liite 3).

2.4.2 Vetyperoksidisäiliökontit onnettomuusaluksessa

Vetyperoksidisäiliökonttien sijoitus laivassa. IMO-lastausluettelon mukaan kuljetuksessa oli mukana 4 kpl 25 tonnin vetyperoksidisäiliökontteja, jotka oli sijoitettu avoimelle yläkannelle. Laivan perässä oikealla kaistalla 7 oli irronnut säiliökontti (nro ALTU 213 005-7). Sen vieressä keskellä laivaa kaistalla 4 olivat vetyperoksidikontit (nrot ALTU 213 015-0 ja ALTU 213 024-7) peräkkäin sijoitettuina. Säiliökontti (nro ALTU 213 029-4) oli lastaustilan vasemmalla laidalla kaistalla 2 (konttien sijoitus näkyy kuvassa 4). Laivan tavarahissit sijaitsevat toisella ja seitsemännellä kaistalla vetyperoksidisäiliökonttien etupuolella.

Vetyperoksidin ahtauskategoria on D, joten sitä saa kuljettaa vain laivan kannella. Muita vaatimuksia on aineen suojaaminen säteilylämmöltä ja erottaminen metallijauheista, permanganaateista sekä 4.1 luokan vaarallisista aineista. Vetyperoksidisäiliöt oli tämän mukaan lastattu laivaan IMDG-koodin määräysten mukaisesti, sillä muita aineita yläkannella ei ollut.

2.4.3 Vetyperoksidivuoto

Vuototapahtuma aluksessa. Lauttavaunun irrottua kiinnityksistään noin klo 02:10, vaunu ja kuormana ollut vetyperoksidiliuosta sisältänyt säiliökontti jyräsivät laivakannen takaosassa sekä pitkittäis- että poikittaissuunnassa iskeytyen muun muassa toistuvasti hissin suojakehikkoon. Säiliökontin kehikko vääntyi pahoin jo tässä vaiheessa. Runsaan tunnin kuluttua säiliökontti irtosi ja putosi osittain alustalta.

Välillä säiliökontti saatiin kiinnitetyksi, mutta se irtosi uudelleen, ja noin klo 03:30 I perämies ja matruusi totesivat kontin alkaneen vuotaa. Huuhtelu runsaalla vedellä aloitettiin heti kaikilla kansilla, sillä sumuava neste levisi nopeasti hakeutuen hissin rikkoontuneiden tiivisteiden ja vääntyneen kehikon kautta alas hissi- ja hydraulikkahuoneeseen asti.

Täältä se laskettiin runsaasti laimennettuna mereen, sillä vetyperoksidiliuos ei ole meriympäristölle vaarallista. Liuos sekoittuu hyvin veteen, hajoaa nopeasti vedeksi ja hapeksi ja on laimeina pitoisuuksina korkeintaan lievästi desinfioivaa ainetta. Säiliökontti tyhjäksi onnettomuudessa miltei kokonaan, sillä 25 tonnin lastista oli satamassa jäljellä enää 2 tonnia.

Toimenpiteet vaaran eliminoimiseksi. Paitsi runsaalla huuhtelulla vetyperoksidin aiheuttama roiskumisvaara pyrittiin eliminoimaan käyttämällä hätätilanneohjeiden vaatimia varusteita, paineilmahengityslaitetta ja kemikaalisuojapukua. Suojaus oli tarpeen. Miehet kertoivat suojakäsineiden savunneen, kun he joutuivat koskettamaan pintoja, joille vetyperoksidiliuosta oli valunut tai roiskunut.

Suojavarustus ja paineilmapullot uuvuttivat miehet niin nopeasti, että työ edistyi hitaasti. Irrallaan olevan säiliökontin luona ei voinut pitää lepotaukoja. Kun säiliökonttia oltiin laivan kallistamisen jälkeen kiinnittämässä uudelleen, todettiin raskaiden ilmapullojen vaikeuttavan työtä muutoinkin äärimmäisin hankalissa olosuhteissa niin paljon, että 1 perämies joutui kiinnittämään vaijerin säiliökonttiin ilman umpinaista suojavarustusta ja paineilmapulloja. Tämän jälkeen varmistettiin vielä muutkin vetyperoksidisäiliökontit surraamalla niiden alustat lujemmin kiinni kanteen.

Todetut ärsytyshaitat ja syövytysvauriot. Pelastusoperaatiossa mukana olleet miehistön jäsenet kävivät aluksen Raumalle saapumisen jälkeen aamupäivän aikana lääkärintarkastuksissa. Tällöin muutamilla oli vielä ärsytysyskää, mutta mitään muita jälkioireita ei tarkastuksissa todettu. Kova myrsky (20-30 m/s) vei ärsyttävät vetyperoksidihöyryt yläkannelta mennessään välittömästi. Välikansilla tilanne saatiin hallintaan, kun vetyperoksidiliuos laimeni nopeasti runsaan huuhtelun avulla. Huuhteluedet voitiin laskea suoraan mereen, eivätkä ne jääneet laivan kansille vapauttamaan ärsyttäviä höyryjä.

Vetyperoksidiliuokset aiheuttavat raudassa korroosiota, sillä rauta kiihdyttää vetyperoksidin hajoamista. Vapautuva happi puolestaan hapettaa rautaa, joten vetyperoksidiliuoksen kanssa kontaktissa olleet laivan kansi- ja hissirakenteet ovat ruostuneet pahoin pinnaltaan. Runsaalla huuhtelulla voitiin kuitenkin varmistaa, ettei kansirakenteiden lujuuteen vaikuttavia syöpymisiä päässyt syntymään. Voimakkaana hapettimena vetyperoksidi syövyttää lähes kaikkia orgaanisia aineita, ja esimerkiksi hissien tiivisteitä ei ole tarkoitettu tällaiseen kemikaalirasitukseen.

2.5 Pelastustoimet

2.5.1 Hätäilmoitus ja pelastustoimien aloittaminen

Turun meripelastuskeskukseen (MRCC) pidettiin yhteyttä koko tilanteen ajan. Pääliikkö teki heti säiliökontin irtoamisen jälkeen NMT-puhelimella ilmoituksen vaaratilanteesta. Toinen ilmoitus MRCC:lle tehtiin sen jälkeen, kun säiliökontti oli alkanut vuotaa. MRCC oli yhteydessä Suomen ympäristökeskukseen (SYKE) vuotavan vetyperoksidin laskemisesta mereen. Päätöstä mereen huuhtelusta ei tehty itsenäisesti aluksella vaan päätöksen teon tukena konsultoitii SYKE:n päivystäjää. OIHONNAn ja MRCC:n välillä käytiin keskusteluja paineilmapullojen toimittamisesta helikopterilla alukselle.

Kello 03:45 aluksen päällikkö teki tilanteesta puhelimella ilmoituksen varustamon turvallisuuspäällikölle. Myös yhteydenpito aluksen ja varustamon turvallisuuspäällikön välillä oli jatkuvaa tilanteen aikana. Toimintaan johtaneiden päätösten tukena oli kuljetusasiakirjojen viittaukset hätätilanne- ja ensiapuohjeisiin, (MFAG ja EMS). Ohjeissa edellytettiin suojavaatetuksen ja paineilmahengityslaitteiden käyttöä sekä vuototilanteessa aineen huuhtelemista mereen suurella vesimäärällä.

OIHONNAN vaaratilanteen kehittymisen aikajänne oli pitkä. Säiliökontin irtoamisesta sen rikkoutumiseen kului noin tunti 20 minuuttia. Tästä johtuen moninainen jatkuva yhteydenpito maaorganisaatioihin oli mahdollista. Tätä yhteydenpitoa tarvittiin laivalla tehdyn päätöksenteon tukena. Mikäli säiliökontti olisi rikkoutunut heti irrottuaan ja erityisesti, jos säiliökontti olisi tällöin sisältänyt tiettyjä erittäin vaarallisia aineita, tietojen saanti joko laivalta tai maista nopeaa päätöksentekoa varten olisi ollut vältämätöntä.

2.5.2 Aluksen käsittely ja kontin uudelleenkiinnitys

Onnettomuustilanteen ajan OIHONNAA ajoi toinen perämies ja ruorissa oli puolimatruusi, joten koko operaation ajan oltiin käsiohjauksessa. Aluksen ohjaaminen mahdollisimman tarkasti vasta-aalokkoon oli tärkeää lisävaurioiden välttämiseksi, koska aluksen keinunta on paljon pahempi liiketila kiinnitysvoimien kannalta kuin jyskintä. Riski muidenkin lastiysiköiden irtoamiseen oli suuri. Tilanteen vaarallisuutta tässä suhteessa osoittaa se, että aluksen vasemmalla laidalla kiinnitettynä olleen irronneen säiliökontin kanssa identtisen yksikön yhden kiinnitysketjun havaittiin jälkeempään olevan poikki.

Säiliökontti liikkui kiinnityksistään irrottuaan osittain lumisella ja osittain jäisellä kannella aluksi laidalta toiselle aluksen rajujen merenkäynnistä johtuvien liikkeiden vuoksi. Vasta painolastitankkien epäsymmetrisen täyttämisen avulla aikaansaadun noin 6 - 8 asteen kallistuskulman avulla saatiin säiliökontti pysymään suunnilleen paikoillaan. Aluksen kallistaminen oli ilmeisesti ainoa tapa saada liikkeelle lähtenyt kontti riittävän pitkäksi aikaan paikoilleen, jotta sen uudelleenkiinnittäminen oli mahdollista. Tätä osoittaa sekin, että kontin uudelleen kiinnittämiseksi tehtiin useita yrityksiä. Näiden kiinnitysyritysten yhteydessä kontti saatiin alustavasti osittain kiinni, mutta ketjut katkesivat ainakin kahteen kertaan aluksen kallistellessa. Miehistö teki kiinnitysyriytykset vaarantaen oman turvallisuutensa.

2.5.3 Vetyperoksidin vaarat miehistölle

Hätätilanneohjeet ja lääkinnällinen ensiapuohje. Vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuutta meriliikenteessä koskevat **hätätilanneohjeet** on esitetty IMDG-koodin täydennysosan (Supplement) luvussa "Emergency Procedures", EmS . Ne on annettu luokakohtaisesti numeroituina taulukoina, ja vetyperoksidiliuoksia koskevat hätätilanneohjeet ovat 5.1 luokan taulukossa 5.1-02. Tämä ohje koskee nestemäisiä hapettavia aineita, jotka ovat myrkyllisiä ja/tai syövyttäviä. Taulukossa on esitetty erityisvarusteet, joita laivassa on oltava hätätilanteen varalta, käytettävä toimintatapa sekä käytännön toiminta onnettomuustapauksessa eri vaaratilanteissa.

Erityisvarusteet hätätilannetta varten. IMDG-koodin hätätilanneohjeen 5.1-02 mukaan vetyperoksidia kuljettavassa laivassa on oltava onnettomuuden varalta pelastustoimintaa varten riittävästi suojavaatteita kuten käsineitä, saappaita, haalareita ja päähineitä. Lisäksi vaaditaan toiminnallisesti riippumaton ylipaineellinen hengityslaitte, jossa käytetään omia paineilmapulloja. Mukana on oltava myös muiden aineiden kanssa reagoimatonta (inertiä) imeytysainetta esim. piimaata.

Toimenpiteet hätätilanteessa. Vetyperoksidivuodon ja/tai sen aiheuttaman palon sytyessä laivalla pelastushenkilökunnan on käytettävä edellä mainittuja suojavaatteita sekä edellä määritettyä hengityslaitetta.

Välitön toiminta. Vetyperoksidionnettomuudessa ensimmäiseksi toiminnaksi määrätään laivan kääntäminen tuulen suhteen sellaiseen asentoon, että vetyperoksidihöyryt siirtyvät nopeasti pois kannelta eivätkä leviä myöskään laivan sisätiloihin. Vuodon tapahtuessa kannella vetyperoksidi huuhdotaan yli laidan käyttäen runsaasti vettä ja huuhtelua jatketaan riittävän pitkään. Kannen alle joutunut vetyperoksidi pyritään keräämään, jos se vain on mahdollista käyttäen inerttejä imeytysaineita. Sahajauhoja tai muita palavia aineita ei saa käyttää imeytykseen. Laivan kannella syttynyt tulipalo sammutetaan runsaalla vedellä. Kannen alla noudatetaan samaa sammutusmenettelyä kuin kannellakin, sillä laivan kiinteät sammutusjärjestelmät eivät yleensä toimi tehokkaasti taulukon 5.1-02 aineiden ollessa kyseessä.

Lääkinnällinen ensiapuohje. Vetyperoksidionnettomuuden uhrien ensiapuohjeet on esitetty IMO:n lääkinällisessä ensiapuohjeessa (MFAG), joka on IMO:n, WHO:n ja ILO:n yhdessä julkaisema. IMDG-koodin yleisen osan ainetaulukon (sivut > 10 000) viimeisessä sarakkeessa annetaan lääkintäohjeen numero, joka vetyperoksidiliuksille on taulukko 735 (peroksidit). Nämä taulukot ovat MFAG:n osassa 9.

Taulukon yleisinformaatio ilmoittaa, millainen haittavaikutus taulukon aineilla on, ja mihin vaikutus kohdistuu. Vaarallisen aineen iho- ja silmäkontaktin sekä sisäänhengityksen ja nauttimisen aiheuttamat ilmenemismuodot ja oireet on esitetty taulukossa, ja vastaavasti on esitetty myös hoitotoimenpiteet kussakin tapauksessa. Taulukkoon 735 kuuluvien kemikaalien syövyttävyys vaihtelee. Useimmat aineet ärsyttävät ihoa, suuta, kurkkua ja keuhkoja, ja ne ovat erityisen haitallisia silmille. Ensiapuohje määrää lisäksi, että radio pitää olla käytettävissä lääkinnällistä ja sairaanhoidollista neuvontaa varten.

Iholle joutuneen vetyperoksidiliuksen ärsytyksen oireina voi olla pahaa punettumista ja ärsytystä sekä kemiallisia palohaavoja. Näiden käsittely on suoritettava ensiapuohjeen alakohdan 8.1 mukaisesti. Vetyperoksidin kastelemien vaatteiden ja kenkien riisuminen sekä runsas huuhtelu vedellä ovat yleisohjeena hoidon aloitukselle. Ennen iho-oireiden hoitoa on kuitenkin käsiteltävä mahdolliset silmä-ärsytykset ja -vammat.

Silmiin vetyperoksidi saattaa aiheuttaa pahaa punerrusta ja ärsytystä. Kemiallisia palohaavoja voi syntyä heti tai vasta viikonkin kuluttua altistuksesta. Myös pysyvät silmävammat ovat mahdollisia. Silmävammat hoidetaan ensiapuohjeen alakohdan 8.2 mukaisesti. Pikainen, runsas vesihuuhtelu on ensiarvoisen tärkeää, ja sitä on jatkettava vähintään 10 minuuttia. Aika on tällöin varmistettava kellosta.



Hengitettäessä vetyperoksidikaasuja aiheutuu jo lievissäkin tapauksissa hengenhädistystä, puristusta rinnassa, arkuutta kurkussa sekä yskää. Onnettomuuden uhri on tällöin saatava heti pois saastuneelta alueelta raikkaaseen ilmaan ja on varmistettava, että pelastusmiehistöllä on omalla paineilmapullolla varustetut hengityslaitteet. Voimakkaasti altistuneet voivat saada keuhkoputkentulehduksen (bronkiitti), ja edelleen altistuksen pahentuessa ilmenee hengityksen pysähtelemistä yhdessä vaahtoavien yskösten (pulmonaarinen ödeema) kanssa. Tämä voi johtaa verenkierron pysähtymiseen ja tiedottomuuteen. Keuhkoputken tulehduksen hoidosta ohjeet ovat ensiapuohjeen alakohdassa 6.1.3, pulmonääriödeemapotilaan käsittelystä alakohdassa 6.1.2 sekä verenkierron pysähtymässä uhrille suoritettavista toimenpiteistä alakohdassa 6.2.1.

Nieltynä vetyperoksidiliuos aiheuttaa pahoinvointia, arkuutta kurkussa ja vaikeuksia niemisessä. Vaikeissa tapauksissa uhri voi oksentaa verta, ja suolisto voi puhjeta. Ankaraa kipua esiintyy, vaikka suolisto ei puhkeaisikaan. Potilasta on käsiteltävä ensiapuohjeen alakohdan 8.4 mukaisesti, jolloin on tärkeää, ettei häntä yritetä saada oksentamaan. Sisäistä verenvuotoa käsitellään ohjeen alakohdan 6.4.3 mukaisesti ja suoliston puhkeamistapauksessa noudatetaan alakohdan 6.4.4.määräyksiä.

2.5.4 Kemikaalionnettomuuksissa käytettävät suojarusteet

Kemikaalionnettomuuden vahinkoja torjuttaessa on välttämätöntä, että pelastajat on varustettu oikeilla, hyvässä kunnossa olevilla suojarusteilla ja laitteilla. Tutkittavassa tapauksessa vetyperoksidivuodon tapahtuessa pelastusmiehistön välttämättömiä varusteita olivat kemikaalisuojapuku ja paineilmalaitte.

Kemikaalisuojapukujen materiaalit. Kemikaalisuojapuvun tarkoitus on suojata käyttäjäänsä pelastustoiminnan työskentely-ympäristössä esiintyviltä vaarallisilta aineilta, jotka voivat olla mm. palonarkoja syövyttäviä tai myrkyllisiä. Myös aineiden olomuoto saattaa vaihdella kaasumaisesta aerosolin, nesteen ja pölyn kautta kiinteään. Kemikaalisuojapuvun materiaalinvalintaan vaikuttavat edellisten tekijöiden lisäksi pelastusoperaatioissa odotettavissa oleva toiminta-aika sekä lämpötila- ja muut olosuhteet, joissa joudutaan työskentelemään. Kemikaalisuojapuvun materiaalin olisi näin ollen kestettävä mahdollisimman monia aineita, ja samalla sen tulisi olla mekaanisesti riittävän luja ja syttymätön.

Kaikkia vaarallisia aineita kestävää kemikaalipukumateriaalia ei kuitenkaan ole olemassa, vaan suojaruku kestää vain niitä aineita, joita varten se on suunniteltu. Eri materiaaleilla on sekä hyviä että huonoja ominaisuuksia, minkä lisäksi pukumateriaalin kerrosten lukumäärä ja niiden paksuus vaikuttavat oleellisesti materiaalin soveltuvuuteen. Hyvä kemikaalinkestävyys on esim. butylikumilla, polyvinyylikloridilla (PVC) ja erityisesti polytetrafluorieteenillä (Teflon), joka on kuitenkin kallis ja vaikeasti työstettävä materiaali. Monikerroskalvomateriaalit ovat yleensä hyvin kemikaaleja kestäviä, keveitä ja edullisia materiaaleja, joita käytetään kertakäyttöisten kemikaalipukujen valmistukseen. Niiden liekinkestävyys ja kulutuksenkestävyys ovat kuitenkin heikkoja, mikä rajoittaa niiden käyttöä.

Kemikaalisuojapuvuille on valmisteilla eurostandardit, joissa puvuille asetetaan vaatimuksia em. ominaisuuksien lisäksi myös mm. hankauksenkestolle, taivutuskestävyydelle normaalissa lämpötilassa ja kylmässä sekä kestävyydelle teräviä pistoja vastaan. Pukukoh-

taisesti on materiaalien kestävyystaulukosta aina tarkistettava soveltuuko kyseinen kemikaalisuojapuku käyttötarkoitukseen.

Kemikaalisuojapuvun fyysinen rasittavuus. Kemikaalionnettomuuksien pelastustoiminnassa syntyy tilanteita, joissa ihmishenkien pelastamiseksi tai aineellisten vahinkojen rajoittamiseksi joudutaan työskentelemään erittäin vaarallisissa olosuhteissa. Tarvittaessa tällöin täydellistä suojaa vaarallisia kaasuja tai aerosoleja sekä kemikaaliroskeita vastaan on käytettävä täysin tiivistä kemikaalisuoja-pukua ja paineilmahengityslaitetta. Pelastustehtävän onnistumisen sekä tehtävän suorittajan turvallisuuden kannalta on tärkeää, että suojavarustus on toimiva ja käyttökelpoinen. Ratkaisevia tekijöitä ovat suojapuvun tiiveys, pukumateriaalin kemikaalinkestävyys sekä puvusta aiheutuva fyysinen lisäkuormitus.

Hengitysilman kulutus riippuu voimakkaasti fyysisestä kuormituksesta siten, että se lepotilasta (5-8 litraa/min) nousee kovassa rasituksessa yli kymmenkertaiseksi (70-100 litraa/min). Samassa suhteessa nousee myös hapenkulutus (0,3 litraa/min lepotilassa), joka on noin 4 % hengitysilman kulutuksesta. Maksimaalisen hapenkulutuksen perusteella voidaan arvioida henkilön fyysinen toimintakyky ja rasituskestävyys. Kemikaalisuojapukua käyttävän henkilön maksimaalisen hapenkulutuksen tulisi olla vähintään 3 litraa/min, jotta hän pystyy työskentelemään 15 min (maksimi 30 min) työjaksoissa. Harjoittelemalla pelastusvarusteissa tällainen työkunto voidaan saavuttaa ja ylläpitää. Korkea maksimaalinen hapenkulutus vähentää siis kemikaalisuojapuvun käyttäjän kuormittumista ja suojavarusteiden haitallisia fysiologisia vaikutuksia.

Kemikaalisuojapuvun fyysiseen kuormittavuuteen vaikuttavat monet tekijät. Ensiksi on huomattava, että jokaista lisäänhengitettyä happilitraa kohti elimistössä syntyy noin 0,8 litraa hiilidioksidia, josta osa hengitetään uudelleen seuraavassa sisäänhengitysvaiheessa. Tilanne pahenee, jos hengityssuojaimen kasvo-osan rakenne on epäedullinen.

Kemikaalisuojapuku ja paineilmalaitte vaikuttavat mm. sydämen sykintätaajuuteen lisäten elimistön hapenkulutusta, nostaten kehon lämpötilaa sekä hikoilun määrää. Varsinkin pitkäaikaisissa tehtävissä on olemassa vaara, että kemikaalisuojapuvun käyttäjä yllirasituksen vuoksi yllättäen uupuu kesken tehtävän.

Kaasutiiviissä kemikaalisuojapuvussa lämpörasituksen kasvu aiheutuu pääasiassa kehon jäähdytysmekanismin toiminnan lähes täydellisestä estymisestä, koska kaasutiiviissä kemikaalisuojapuvussa työskenneltäessä lämpö voi poistua vain uloshengitysilman mukana. Tällöin syntyy tilanne, jossa puvun sisällä oleva ilma lämpenee jopa yli 30 °C:een ja suhteellinen kosteus nousee 100 %:iin. Jo pelkkä perusaineenvaihdunta nostaa 70 kiloa painavan miehen lämpötilaa 1,2 asteella tunnissa, jos hänellä on päällä tiivis kemikaalisuojapuku, joka estää lämmönluovutuksen.

Kemikaalisuojapuvun turvallisuutta ja käyttömukavuutta voidaan lisätä joissain malleissa käytettävällä ylipaine- ja tuuletusjärjestelmällä. Puvussa oleva ylipaine estää vaarallisia kaasuja tunkeutumasta puvun sisäpuolelle ja tuuletusjärjestelmä estää liiallista lämmön muodostumista. Yllirasittumisvaaran takia tulisikin kemikaalisuojapuvussa aina käyttää tuuletusta, jonka määrä olisi vähintään 100 litraa minuutissa. Tämän esteenä on kuitenkin



kin paineilmalaitteen rajoitettu kapasiteetti, joten puvun tuuletus jää yleensä tehottomaksi. Tehokas ilmajäähdytys vaatiikin näinollen ulkopuolisen ilmalähteen.

Paineilmalaitteen rasittavuus. Paineilmalaite aiheuttaa elimistöön kuormitusta lisäten hengitystarvetta ja kasvattaen elimistön hiilidioksidin määrää, jolloin lihakset joutuvat työskentelemään anaerobisesti. Paineilmalaitteen arvioidaan vähentävän fyysistä suorituskykyä 20-30 %. Kemikaalisuojapuku ja painelaite yhdessä alentavat suorituskyvyn jopa puoleen normaalilämpötilassa (20 -25 C°).

Normaalien 6 litran teräspullojen tilalla on painelaitteissa kokeiltu hieman keveämpiä 4,7 litran "kevytpulloja", jotta kuormaa ja sitä kautta myös fyysistä rasitusta voitaisiin vähentää. Kevytpulloa käytettäessä kuormitus ja ilmantarve on sen verran pienempi, että toiminta-ajat ovat kokeissa olleet samanpituiset huolimatta happipullojen tilavuuserosta.

2.5.5 OIHONNALLA käytetyt suojavarusteet

Onnettomuuden torjunnassa käytetty kemikaalisuojapuku. OIHONNALLA oli kemikaalionnettomuuksien torjuntaa varten neljä Trelchem Super-kemikaalisuojapukua. Materiaalina niissä on polyamidikudos, joka on molemmin puolin päällystetty butyylikumilla. Ulkopinnalla butyylikumikerroksen päällä on vielä fluorikumikerros. Ne soveltuvat yleispuvuiksi kemikaalionnettomuuksien torjuntaan.

OIHONNAN miehistö käytti suojapukuja säiliökontin vuodon alkamisesta kiinnityksen loppuvaiheeseen saakka, eikä puvuista esitetty kriittisiä näkökohtia. Ainoa maininta oli matruusin "suojakäsineiden savuaminen" hänen tarttuessaan peroksidiroiskeiden kastelemaan säiliöön. Tämä viittaa siihen, että suojakäsineet saattoivat olla kemikaalikestoltaan heikompa materiaalia kuin muu suojavarustus tai että käsineissä olisi ollut jotain orgaanista materiaalia, jonka kanssa vetyperoksidi reagoi.

Pelastustoiminnassa käytetty paineilmalaitte. OIHONNALLA oli neljä DRÄGER PA 80/1800 paineilmahengityslaitetta, mutta yhtä niistä ei voitu käyttää kasvo-osan huurtumisen takia. Miehistö käytti toiminnan alussa paineilmahengityslaitteita, mutta operaation jatkuessa tuntikausia myrskyn raivotessa merellä, pelastajien rasitus kasvoi liian suureksi jään ja lumi-sohjon liukastamalla keinuvalla kannella. Kannella riskivää säiliökonttia ja lauttavaunua väisteltäessä ja kiinnitysyrityksiä toistettaessa ei kiipeily onnistunut enää paineilmalaitteiden kanssa, vaan niistä jouduttiin luopumaan. Tämä tapahtui vaiheessa, jossa laiva oli jo saatu kallistettua, ja myrsky sekä huuhtelu olivat vieneet mennessään suurimman osan vuotaneesta vetyperoksidista kannelta mereen.

Laitteessa käytetään ilmapulloina 300 barin kuuden litran vakiosäiliöitä, mutta siihen on saatavissa myös erikoisteräksestä valmistettuja 1 kg kevyempiä säiliöitä. Laivalla oli varapulloissa 2 x 6 litraa ja 2 x 10 litraa paineilmaa, mutta pitkään kestäneen pelastustoiminnan aikana huomattiin, että tämä määrä ei ole riittävä kaikissa tilanteissa. Onnettomuuden jälkeen alukselle on hankittu ilmakompressori, jolla voidaan täyttää paineilmapullot.

3 JOHTOPÄÄTÖKSET

3.1 Onnettomuuden syyt

3.1.1 Säiliökontin kiinnitysten murtumisen välitön syy

Säiliökontin ja lauttavaunun irtoamisen välitön syy oli lauttavaunun toisen **takimmaisen kiinnityskoukun murtuminen**. Murtuma aiheutui aluksen peräosan kiihtyvyyksien synnyttämistä hitausvoimista niiden ylittäessä koukun murtolujuuden. Yhden kiinnityksen irtoaminen mahdollisti säiliökontin peräpäähän suuret liikkeet, jotka johtivat toisenkin koukun murtumiseen ja lopulta säiliökontin ja lauttavaunun irtoamiseen kokonaan kiinnityksistä.

OIHONNAN rajut liikkeet ja kiihtyvyydet aiheutuivat poikkeuksellisen ankarasta merenkäynnistä ja siitä, että alus oli erittäin kevyesti lastattu. Liikkeitä ja kiihtyvyyksiä lisäsivät pohjaiskujen synnyttämät värähtelyt kannessa säiliökontin alueella. Aluksen kevyen lastitilanteen vuoksi ei liikkeiden pienentäminen ja pohjaiskujen vaikutuksen vähentäminen ollut mahdollista pelkän painolastin avulla.

3.1.2 Muita kiinnitysten murtumiseen myötävaikuttaneita syitä

Jäätävät olosuhteet. Jää- ja sohjokerros, joka syntyi aluksen avonaiselle kannelle, pienensi oleellisesti lauttavaunun ja kannen välistä kitkaa. Pienentynyt kitka lisäsi huomattavasti kiinnityksiin kohdistuvaa kuormitusta.

Onnettomuuteen on mahdollisesti myötävaikuttanut yhden tai useamman kiinnityskoukun kiinnittäminen lauttavaunun kiinnityslenkkiin niin, että **koukku ei päässyt vapaasti asettumaan samaan linjaan ketjun kanssa**. Koukku on voinut jäädä niin suureen kulmaan ketjuun nähden, että koukun murtolujuus ketjuvoiman suuntaan on jäänyt alle ketjun murtolujuuden. Tämä pienentää kiinnityksen maksimilujuutta.

Kiinnitysketjujen kulmat pystysuoraan nähden ovat saattaneet olla optimaalista kulmaa suurempia. Kiinnityskulmien suurentuessa ketjuun syntyvä kuorma kasvaa merkittävästi.

Liian pienet kiinnitysketjujen esikiristysvoimat ovat voineet pienentää kitkaa lisää. Alhaisten kiristysvoimien aiheuttajina ovat voineet olla huonosti kiristyvät ja jopa vialliset vanttiruuvit, tehoton vanttiruuvien kiristämiseen käytetty momenttiväännin tai momenttivääntimen tehoon vaikuttanut samanaikaisesta käytöstä tai kompressorin toimintahäiriöstä johtunut paineen aleneminen aluksen paineilmaverkossa.

Yksikön kiinnityksessä ketjujen epäedulliset kiinnityskulmat ja koukkujen vino kiinnitys olivat tärkeämpi tekijä kuin se, olivatko yksikön kaikki kiinnitysketjut tasaisesti tai tiukasti kiristettyjä.



3.2 Onnettomuuden tutkinnassa esiin tulleita havaintoja

3.2.1 Ohjeet hätätilannetoimenpiteitä varten ja tietous vaarallisista aineista

Vaaratilanteessa OIHONNAN kallistaminen painolastin avulla toimi erinomaisesti. Kehittämällä tämän tapaisia aluskohtaisia menetelmiä ja välineitä kuljetuksen aikana irronneen lastin uudelleen kiinnitys voi tapahtua spontaania toimintaa varmemmin ja turvallisemmin.

OIHONNAN hätätilanneohjeissa ei ollut tapahtuman sattuessa ohjeita tällaisen onnettomuuden varalle. Onnettomuuden jälkeen aluksen valmisteilla olleisiin ISM-koodin mukaisiin hätätilanneohjeisiin lisättiin varustamon esityksestä toimintaohjeet lastin siirtymän ja vaarallisen kallistuman osalta. SOLAS-yleissopimuksen mukainen (luku III, sääntö 24-4) matkustaja-aluksilta vaadittava päällikön päätöksenteon tukijärjestelmä (Decision support system) olisi muodoltaan hyödyllinen hätätilanneohjeistus kaikille alustyypeille.

Tässä tapauksessa oli aikaa moninaiseen jatkuvaan yhteydenpitoon maaorganisaatioihin, joiden asiantuntemusta tarvittiin laivalla tehdyn päätöksenteon tukena. IMDG-koodin toimintaohjeiden (MFAG ja EmS) soveltamista nopeassa päätöksenteossa onnettomuustilanteissa tulee parantaa harjoittelemalla.

Laivan henkilökunnan tietoutta etenkin säännöllisesti kuljetettavista vaarallisista aineista on lisättävä, jotta vuototapauksissa on välittömästi valmius tehdä päätös niiden käsitteystä vahinkojen minimoimiseksi mm. neutraloinnista, imeyttämisestä, sammutuksesta, suojaakaasun käyttämisestä, mereen huuhtelusta jne.

3.2.2 Lastinkiinnityskäsikirja ja lastin kiinnityslaitteet

OIHONNALLA vain kannella kuljetettavat IMO-lastit oli sijoitettu avoimeen peräosaan, jossa niiden kiinnityksiin rajussa merenkäynnissä kohdistuivat suurimmat rasitukset. Lasti oli kiinnitetty aluksen kanteen lastinkiinnityskäsikirjan ohjeiden mukaisesti neljällä esikiristetyllä ketjulla. Onnettomuuden jälkeen yhtiö antoi alukselle uudet ohjeet onnettomuudessa olleen kalustotyypin (IMO-lastit) kiinnittämiseksi ja edellytti kuuden esikiristetyn kiinnitysketjun käyttöä.

Vaarallisten lastien kiinnittämiseen käytettävien laitteiden määrään, laatuun ja kuntoon on kiinnitettävä erityistä huomiota. Turvamarginaalia voidaan lisätä esimerkiksi kiinnittämällä raskaat ja vaaralliset kuormat nykyään yleisesti käytettävien 11 mm ketjujen sijasta 13 mm:n ketjuilla, joita tulisi varata alukselle riittävä määrä. Vaihtoehtoisesti voidaan lisätä kiinnitysten määrää.

Kiinnitysketjuille ja koukuille ei ole luotu nostolaitteiden tarkastuksiin verrattavaa määräraikaistarkastusjärjestelmää. Koska lastinkiinnityslaitteet ovat rahtaaajan omistuksessa, ei aluksen miehistö säännöllisesti huolla ja tarkasta niitä. Vahingoittuneet ja vialliset vanttiruuvit, ketjut ja koukut poistetaan välittömästi käytöstä, jos ahtaaja huomaa vian. Mitattaessa vanttiruuvien esikiristysvoimia tutkinnan yhteydessä ilmeni, että osa vanttiruuveista oli käyttökeltottomia. Satunnaisesti valituista vanttiruuvista kuudesosa oli niin huonossa kunnossa, ettei niitä voitu käyttää mittauksissa. Jotta voidaan varmistua siitä, että jokai-

sessä ketjussa on riittävä ja samanlainen kiristys, olisi käytettävien ketjujen vantturuuvien kierteet voideltava säännöllisesti. Ketjut ja koukut voivat käytössä niihin kohdistuvassa vaihtelevassa kuormituksessa väsyä siten, että murtuma johtaa tutkitun onnettomuuden kaltaisiin seurauksiin. Tällainen väsyminen voidaan todeta vain kiinnityslaitteille määräajoin tehdyillä koekuormituksilla. Varustamoilla tulisi olla omissa laatujärjestelmissään huonokuntoisten kiinnityslaitteiden hylkäysperusteet.

3.2.3 Suojavarusteet ja harjoittelu

Käytetyt kemikaalisuojapuvut ja paineilmalaitteet toimivat tarkoituksenmukaisesti. Ongelmiksi pelastoisissa osoittautuivat kuitenkin paineilman riittämättömyys ja tehtävien fyysinen rasittavuus. Laivalla oli paineilmaa varapulloissa, mutta pitkään kestäneiden pelastustoimien aikana huomattiin, että käytettävissä ollut määrä ei riittänyt. Onnettomuuden jälkeen alukselle on hankittu ilmakompressori, jolla voidaan täyttää paineilmapullot. On tärkeää varmistaa, että aluksissa on riittävästi paineilmapulloja, jotta ne riittävät myös vaikeissa ja pitkään jatkuvissa pelastusolosuhteissa.

Harjoitettu miehistö jaksaa työskennellä paineilmalaitetta käyttäen vain 15-30 minuuttia. Kemikaalisuojapuku lisää vielä syntyvää räsitystä. Kemikaalisuojapuvun turvallisuutta ja käyttömukavuutta voidaan lisätä joissain malleissa käytettävällä ylipaine- ja tuuletusjärjestelmällä.

Pelastusharjoittelussa ja koulutuksessa olisi käytettävä myös kemikaalisuojapukuja ja paineilmalaitteita, jotta pelastusmiehistön kokemusta ja toimintakykyä parannettaisiin hankalissa toimintaolosuhteissa toimimista varten.

4 SUOSITUKSET

OIHONNAN säiliökontin irtoamisen ja sitä seuranneen kemikaalivuodon onnettomuustutkinnassa selvitettyjen onnettomuuden syiden ja tehtyjen turvallisuushavaintojen perusteella tutkintaryhmä antaa turvallisuussuositukset hätätilanneohjeista kemikaalionnettomuuksien varalta ja lastin kiinnityksen laadun varmistamisesta.

4.1 Hätätilanneohjeet

Hätätilanneohjeista tutkijat esittävät, että

varustamot

1. *parantavat ISM-koodin edellyttämää ohjeistusta vaarallisia lasteja koskevia hätätilanteita varten (kohta 8.1). Ohjeissa tulisi olla etukäteen suunnitellut toimintamallit potentiaalisten vaaratilanteiden varalta. Erityisesti tulisi varmistaa, että ohjeistus kehitetään ja otetaan käyttöön varustamon kaikissa aluksissa.*

merenkululaitos

2. *ISM-koodin toteuttamista valvovana viranomaisena kiinnittää huomiota vaarallisten lastien hätätilanneohjeistukseen.*

4.2 Lastin kiinnityksen laadun varmistaminen

Lastin kiinnityksestä tutkijat esittävät, että

varustamot

3. *parantavat ISM-koodin (kohta 7) mukaisesti lastinkiinnityskäsikirjoja kehittämällä omiin laatujärjestelmiinsä kiinnityslaitteiden tarkastus- ja huoltojärjestelmän sekä huonokuntoisten laitteiden hylkäysperusteet.*

merenkululaitos

4. *ISM-koodin toteuttamista valvovana viranomaisena kiinnittää huomiota lastinkiinnityskäsikirjojen kehittämiseen, sekä lastikiinnityslaitteiden tarkastukseen ja huoltoon.*



Helsingissä 22.06.2000

Martti Heikkilä

Mauno Rajamäki

Tapani Salmenhaara

Antti Rantanen



ARKISTOLIITTEET

Seuraavat arkistoliitteet on taltioituna Onnettomuustutkintakeskuksessa:

1. Ilmoitus merionnettomuudesta 05.02.1998 liitteineen
 - 1.1 Ote OIHONNAn lokikirjasta 31.01.1998
 - 1.2 OIHONNAn vakavuuslaskelmat 29.01.1998
 - 1.3 Kopio OIHONNAn lokikirjasta 29 - 31. 01.1998
2. Merentutkimuslaitos: Aallokko Ahvenanmerellä 31.1.1998
3. VTT Valmistustekniikka Tutkimusselostus VAL24-980098
4. MS Oihonnan liikkeiden laskenta, VTT Valmistustekniikka, VALC463
5. MS Oihonnan säiliökontin ketjuvoimien laskenta, VTT Valmistustekniikka, VALC560



Kemikaalikontin irtoaminen myrskyssä ms OIHONNALLA 31.1.1998



Merenkulkuosasto

ad 3/330/98

16.8.2000

Onnettomuustutkintakeskukselle

Viitaten lausuntopyyntöönne 30.6.2000 ms Oihonnan kemikaalikonttionnettomuutta koskevan tutkintaselosteen johdosta merenkulkuosasto toteaa, että sillä ei ole huomautettavaa annettujen suositusten johdosta. Lastinkiinnitysten ja lastinkiinnityskäsikirjojen valvontaa tehostetaan keväällä 2001 kolmen kuukauden Port State Control -tehotarkastuskampanjalla, jolloin kaluston kuntoon ja käyttöön joudutaan kiinnittämään erityistä huomiota myös laivoilla.

Meriturvallisuusjohtaja


Heikki Valkonen



LIITTEET

Liite 1 ALUKSESSA OLLEET VAARALLISET AINEET JA NIIDEN OMINAISUUDET

Vetyperoksidi (UN 2014)

Ainetiedot. Vetyperoksidi (H₂O₂) on voimakkaasti hapettava aine, joka puhtaana sulaa -0,4 (C:ssa ja kiehuu 152 (C:ssa. Se on veteen kaikissa suhteissa sekoittuva aine, jonka liuosten ominaisuudet riippuvat vetyperoksidin pitoisuudesta. Vetyperoksidiliuoksia käytetään mm. valkaisuun teollisuudessa ja kotitalouksissa sekä desifointiin ja antiseptisena aineena.

Vaarallisten aineiden kuljetuksessa hapettaviksi luokan 5.1 vaarallisiksi aineiksi luokitellaan vesiliuokset, jotka sisältävät vähintään 8 % vetyperoksidia. Pitoisuudesta riippuen liuokset jaotellaan seuraavasti eri YK-numeroille:

UN 2984 vetyperoksidipitoisuuden ollessa vähintään 8 % mutta alle 20 %,

UN 2014, kun pitoisuus on vähintään 20 %, mutta enintään 60 % ja

UN 2015, kun pitoisuus ylittää 60 %.

Vähintään 20 %:isilla vetyperoksidiliuoksilla on lisävaarana syövyttävyys (8 lk).

Normaalisti vetyperoksidi on kuljetuksessa stabiloitua, ja säiliökuljetuksissa sen pitoisuus on yleensä 50...60 %. Stabiloitunakin vetyperoksidi hajoaa hitaasti itsestään happea luovuttaen. Myös useimmat metallit esim. rauta katalysoivat vetyperoksidin hajoamista. Alumiini ja erikoisteräkset eivät kuitenkaan reagoi vetyperoksidin kanssa. Palavien aineiden kanssa vetyperoksidi reagoi voimakkaasti aiheuttaen palon tai räjähdysten.

Vetyperoksidin terveydelliset vaikutukset. Vetyperoksidia syntyy aivan vähäisiä määriä ihmisen soluissa ja kudoksissa entsy-maattisten reaktioiden tuloksena, mutta se hajoaa tällöin välittömästi vedeksi ja hapeksi. Vaarallisiksi aineiksi luokitellut vetyperoksidiliuokset ovat kuitenkin iholle ja limakalvoille pahoja palohaavojen kaltaisia syöpymiä aiheuttavia aineita. Niiden höyryt kirveltävät silmiä ja ärsyttävät hengitysteitä ja keuhkoja aiheuttaen oireina yskää. Suurten vetyperoksidipitoisuuksien hengittäminen aiheuttaa hengitysvaikeuksia ja voi johtaa hengityksen pysähtymiseen ja tajuttomuuteen. Tästä syystä vetyperoksidin suurin sallittu pitoisuus työpaikalla on vain 1 ppm (tilavuuden miljoonasosa).

Fosforihappo (UN 1805)

Fosforihappo (H₃PO₄) on veteen liukeneva epäorgaaninen happo, joka syövyttää josain määrin kaikkia metalleja ja ärsyttää ihoa. Sen kuljetusluokka on 8. Lievästi syövyttävänä aineena fosforihapon pakkausryhmä on III, ja sen ahtausluokka on A. Tätä ainetta oli kuljetuksessa mukana vain yksi 2 kg:n muovikanisteri sijoitettuna pääkannen ensimmäiselle kaistalle.

**Alkoholipolyetoksylaatti (UN 3082)**

Tämä alkoholijohdos on meriympäristöä pilaava aine, joka kuuluu 9 lk:aan. Sillä ei ole muita luokkansa tai muiden luokkien vaaraominaisuuksia. Se on pakkausryhmä III:n aine, joka kuuluu ahtausluokkaan A. Alkoholipolyetoksylaattia oli laivattavana kaksi tynnyriä, yhteensä 241 kg . Aine oli sijoitettu pääkannelle, sen ensimmäiselle kaistalle.

Myrkyllinen orgaaninen neste, n.o.s. (UN 2810)

Tällä ainenimellä kuljetettiin D-vitamiinia, joka on 6.1 luokan lievästi myrkyllinen aine. Sen pakkausryhmä on III ja ahtausluokka A. D-vitamiini on meriympäristöä pilaava aine. Sitä oli laivalla vain 12 kg sijoitettuna pääkannen kolmannelle kaistalle.

Liite 2 VETYPEROKSIDIN SÄILIÖKULJETUSMÄÄRÄYKSET

IMDG-koodin määräykset, jotka koskevat vaarallisen aineen kuljetukseen käytettävää säiliötyyppiä ja sen materiaalia, säiliön varusteita sekä säiliön hyväksyntää ja merkintöjä, esitetään tutkintaselosteen liitteenä. Seuraavassa käsitellään muita säiliökuljetusmääräyksiä, jotka liittyvät erityisesti tämän onnettomuustapauksen selvitystyöhön.

Vetyperoksidisäiliöiden täyttöaste

Säiliötä ei saa antaa kuljetettavaksi merellä, jos siinä on tyhjää tilaa niin, että loiskumisesta johtuvat voimat voivat olla vaaraksi säiliön kestävyydelle. Jos säiliön täyttöaste on yli 20 % mutta enintään 80 %, säiliössä on oltava loiskelevyt, jotka jakavat säiliön enintään 7500 litran osastoihin. (IMDG-koodi 13.1.22.7).

Säiliötä ei myöskään saa täyttää liiaksi mahdollisen nesteen lämpölaajenemisen vuoksi. Säiliöiden täyttöaste lasketaan IMDG-koodin kohdan 13.1.22 laskentakaavojen mukaan.

Vaarallisten aineiden kuljetuksen asiakirjat

Vaarallisten aineiden kuljetusasiakirjoja merikuljetuksessa koskevat määräykset on esitetty IMDG-koodin luvussa 9. Laivattaessa vaarallisia aineita niistä jokaisesta on tehtävä kuljetusasiakirja (rahtikirja), joka sisältää kuljetettavasta aineesta tarkkaan yksilöidyt tiedot:

- laivausnimi
- aineen IMO-luokka ja mahdollinen alaluokka
- aineen IMDG-koodissa oleva YK-numero, jota edeltävät kirjaimet UN
- aineen pakkausryhmä
- [- kollien/säiliöiden kuvaus ja niiden lukumäärä sekä kokonaispaino tai tilavuus]
- leimahduspiste, mikäli se on alle + 61 (C)
- lisävaara
- merta pilaavista aineista teksti "MARINE POLLUTANT"

Laivausnimi, IMO-luokka, YK-numero ja pakkausryhmä on ilmoitettava edellä esitettyssä järjestyksessä, mutta muiden tietojen järjestys on valinnainen. Laivausasiakirjoissa tai niihin liitettynä on oltava myös lähettäjän selvitys siitä, että kyseistä vaarallista ainetta saa kuljettaa, ja että sen pakkaus sekä merkinnät ovat määräysten mukaiset.

Vaarallisia aineita kuljettavilla aluksilla on aina oltava **lastiluettelo**, joka ilmoittaa vaarallisten aineiden nimet ja niiden sijainnin laivassa. Tämä perustuu ihmishengen turvallisuudesta merellä vuonna 1974 tehdyn kansainvälisen yleissopimuksen (SOLAS) VII luvun sääntöön 5 ja laivojen saastuttamisen estämiseksi tehdyn yleissopimuksen liitteen III sääntöön 4, jota on korjattu pöytäkirjalla 1978 (MARPOL 73/78).

Laivaajan on annettava satamaviranomaisille tieto kaikista alukseen lastatuista vaarallisista aineista ja niiden kuljetusmääristä.



Kuljetettavista vaarallisista aineista on oltava aina välittömästi saatavilla **tietoa onnettomuustapauksia varten**. Tähän vaatimukseen sisältyy: Selvitys vaarallisista aineista (dangerous goods declaration), turvallisuusohjeet (safety data sheet) tai erilliset muut määräykset kuten hätätilanneohjeet vaarallisia aineita kuljettaville laivoille (the Emergency Procedures for Ships Carrying Dangerous Goods, EmS) sekä lääkinälliset ensiapuohjeet vaarallisten aineiden onnettomuuksia varten (Medical First Aid Guide for Use in Accidents Involving Dangerous Goods, MFAG)

Ahtaus ja erottelu

Vaarallisten aineiden ahtausta koskevat määräykset on esitetty IMDG-koodin yleisen johdannon osassa 14 ja erottelumääräykset osassa 15

Ahtausmääräyksissä alukset on jaettu kahteen ryhmään, jotta on voitu antaa rationaaliset vaatimukset vaarallisten aineiden laivaan sijoittamiselle. Lastialukset ja matkustajialukset, joissa on enintään 25 matkustajaa tai yksi matkustaja aluksen pituuden kutakin kolmea metriä kohden, kuuluvat ensimmäiseen ryhmään ja muut alukset toiseen, kuljetusmäärältään edellistä rajoitetumpaan ryhmään.

Ahtausmääräykset säätelevät paitsi laivaan kuljetettavaksi otettavien vaarallisten aineiden määrää myös niiden sijoittamista eri lastitiloihin. Ahtaus kannelle on määrätty tapauksissa, joissa vaaditaan jatkuvaa valvontaa, helppoa luoksepääsyä tai on olemassa vaara räjähtävien kaasujen tai myrkyllisten höyryjen muodostumisesta sekä aluksen syöpymisestä, jota muuten olisi vaikea huomata.

Ahtausluokka ilmoittaa mihin tilaan kyseinen aine voidaan lastata. Esim. vetyperoksidin ahtausluokka D ilmaisee, että aine saadaan lastata vain rahtialusten ja vastaavan ryhmän alusten kannelle, muttei ollenkaan varsinaisiin matkustajalaivoihin.

Erottelen tarkoitus on pitää erillään sellaiset aineet, jotka voivat reagoida keskenään vaarallisesti onnettomuustapauksessa. Erottelulla myös hajautetaan saman aineen liian suuria vaarakuormia.

Erottelutaulukko (15.1.16) antaa yleiset vaatimukset siitä, miten eri vaarallisuusluokkien aineet on eroteltava toisistaan merikuljetuksessa. Esim. 5.1 luokan hapettavat aineet kuten vetyperoksidi on aina eroteltava 6.1 luokan myrkyllisistä aineista. Aina on kuitenkin tarkistettava ainekohtaisesti, onko kuljetettavalle aineelle annettu omia erottelu- ja myös ahtausmääräyksiä. Luokan 9 aineille on vain ainekohtaisia erotteluvaatimuksia.

Liite 3 SÄILIÖKONTIN RAKENNEVAATIMUKSET

Säiliötyyppi ja sen materiaali

Säiliötyyppi. IMDG-koodissa on luettelo nestemäisistä aineista, joita saa kuljettaa säiliökonteissa ja ajoneuvosäiliöissä (yleisen johdannon alaosan 13.1 lisäys). Tämän luettelon mukaan UN 2014 vetyperoksidia saa kuljettaa IMO-typin 1 säiliöissä. Määritelmän (13..1.2.13) mukaan tyypin 1 säiliökontti tarkoittaa paineentasauslaitteella varustettua säiliökonttia, jonka suurin sallittu käyttöpaine (ylipaine) on vähintään 1,75 bar.

Luettelosta (s.0087) nähdään, että UN 2014 vetyperoksidiliuoksen (50 %) kuljetukseen tarkoitettu säiliökontti on testattava vähintään 4 bar paineella.

Käytetyt säiliömateriaalit. Alumiini ei kiihdytä vetyperoksidin hajoamista, mutta sitä ei yleensä käytetä vetyperoksidin kuljetukseen tarkoitettujen säiliöiden materiaalina. Materiaaliksi valitaan tavallisesti haponkestävä teräs (esim. AISI-316) tai ruostumaton teräs (esim. AISI-304).

Säiliönseinämän minimipaksuus. Vetyperoksidin (UN 2014) kuljetussäiliön seinämän ja päätyjen minimipaksuus saadaan IMDG-koodin osan 13.1.5 laskentakaavojen perusteella. Rakenneterästä referenssinä käyttäen lasketaan vastaavat seinämän paksuusarvot käytettävälle materiaalille, jonka on kestävä kemiallisesti kuljetettavaksi aiotun vetyperoksidin vaikutusta. Rakenneterästä ei voi käyttää valmistusmateriaalina, sillä rauta kiihdyttää vetyperoksidin hajoamista.

Säiliön varusteet

Paineentasauslaitteet. Vetyperoksidin kuljetussäiliön paineentasauslaitteen on oltava normaalityyppinen (s.0087q/IMDG-koodin luettelo UN 2014). Tämä tarkoittaa sitä, että jokainen vähintään 1900 litran säiliö tai itsenäinen säiliöosasto on varustettava vähintään yhdellä jousikuormitteisellä varoventtiilillä. Lisäksi niissä voi olla murtolevy tai sulake venttiilin kanssa rinnan kytkettynä (13.1.9.1).

Jokainen alle 1900 litran säiliö on varustettava paineentasauslaitteella, joka saa olla murtolevy. Ellei siinä ole jousikuormitteista varoventtiiliä, murtolevyn on rikkouduttava koe-painetta vastaavassa nimellispaineessa (13.1.9.4).

Vetyperoksidin kuljetussäiliölle annetaan säiliössä kuljetettavaksi sallittujen aineiden luettelossa lisäksi **erityisvaatimus (e)**, (s. 0087q/IMDG-koodi). Erityisvaatimus (e) edellyttää paineentasauslaitteilta, että ne kuljetettavan aineen luonteen ja säiliön tilavuuden huomioon ottaen estävät säiliön repeämisen kaikissa tilanteissa, mukaan lukien tulipalo.

Säiliön pohja-aukot. Vetyperoksidisäiliössä sallitaan pohja-aukot (IMDG-koodi s.0087q), mutta tällöin vaaditaan kolme toiminnallisesti erillistä sulkulaitetta (s.0085).

Säiliön hyväksynät ja merkinnät

Säiliön hyväksyntä kansainväliseen liikenteeseen. Toimivaltainen viranomainen tai sen hyväksymä yhteisö säiliön valmistusmaassa hyväksyy jokaisen säiliötyypin ja antaa siitä todistuksen, joka osoittaa, että kyseisen tyyppinen säiliö varusteineen soveltuu käyttötarkoitukseensa ja täyttää vaaditut rakenne- ja varustemääräykset ja siinä kuljetettavaksi sallittuihin aineisiin liittyvät erityismääräykset. Tyyppihyväksyntätodistuksessa esitetään tyyppikokeen tulokset ja hyväksymisnumero. Hyväksymisnumero sisältää sen valtion tunnuksen, jonka alueella hyväksyminen annettiin ja rekisteröintinumeron (IMDG-koodin kohta 13.1.19.1).

Ennen käyttöönottoa ja sen jälkeen enintään viiden vuoden välein säiliöt on koestettava IMDG-koodin kohdan 13.1.19.3 mukaisesti.

Merkintä. Jokaiseen säiliöön on kiinnitettävä pysyvästi ruostumaton metallikilpi siten, että se on helposti todettavissa tarkastuksen yhteydessä. Levyyn on meistettävä tai muulla tavoin merkittävä vähintään 3 mm korkein merkein tiedot, jotka on esitetty IMDG-koodin kohdassa 13.1.20.1 (Merkintä)".

- valmistusmaa
- IMO-säiliötyyppi
- hyväksymismaa
- hyväksymisnumero
- valmistajan nimi tai tunnus
- rekisteröintinumbero
- valmistusvuosi
- koepaine (bar) (MPa)
- suurin sallittu käyttöpaine (bar) (MPa)
- vesitilavuus +20 (C:n lämpötilassa (Vesitilavuus on määritettävä mieluummin käytännön kokeella kuin laskemalla)
- suurin bruttomassa (kg)
- ensimmäisen nestepainekokeen päivämäärä ja valvojan merkintä
- säännöstö, jonka mukaan säiliö on suunniteltu
- suunnittelulämpötila
- metallurginen suunnittelulämpötila(vain jos se on yli +50 °C tai alle -30 (C
- säiliön valmistusaine
- pinnoitusaine (mikäli on)
- vastaava paksuus rakenneteräksenä (mm)
- kunkin säiliöosaston tilavuus (osastoiduissa säiliöissä) (litraa)
- viimeisimmän määräaikaistarkastuksen kuukausi, vuosi ja koepaine
- viimeisimmän koestuksen suorittaneen tarkastajan leima

Eryityskäyttöön tarkoitettujen säiliöiden tunnuskilpeen on merkittävä, mitä aineita niissä saa kuljettaa (13.1.20.2).

Onnettomuusäiliön kilpi oli määräysten mukainen sekä siihen merkityiltä tiedoiltaan että muilta vaatimuksiltaan.

**Liite 4a LÄÄKINNÄLLINEN ENSIAPUOHJE (MFAG taulukko 735)**

TABLE 735

PEROXIDES

General Information

These chemicals vary in their degree of corrosive action. Most of them are irritants of the skin, mouth, throat and lungs, and are particularly harmful to the eyes.

RADIO FOR MEDICAL ADVICE.

Signs and symptoms	Treatment
SKIN CONTACT There may be severe redness and irritation. Chemical burns can occur.	SKIN CONTACT Emergency treatment: see 8.1.
EYE CONTACT There may be severe redness and irritation. Chemical burns can occur either immediately, or in some cases up to one week later. Permanent damage to the eye can occur.	EYE CONTACT IMMEDIATE ACTION IS REQUIRED. Emergency treatment: see 8.2.
INHALATION In mild cases, there may be shortness of breath, tightness of the chest, a sore throat and a cough. Bronchitis can develop. At high concentrations, severe breathlessness with frothy sputum (pulmonary oedema) can occur. This may be followed by circulatory collapse and unconsciousness.	INHALATION Emergency treatment: see 8.3. Pulmonary oedema: see 6.1.2. Circulatory collapse: see 6.2.1. Bronchitis: see 6.1.3.
INGESTION There will be nausea, vomiting and soreness of the throat with difficulty in swallowing. In severe cases, blood may be vomited and perforation of the gut can occur. Severe pain will occur even if there is no perforation of the gut.	INGESTION Emergency treatment: see 8.4. Internal bleeding: see 6.4.3. Perforation of the gut: see 6.4.4.

MFAG 148



Liite 4b HÄTÄTILANNEOHJEET (EmS taulukko 5.1-02)

EMERGENCY SCHEDULE 5.1-02

LIQUID OXIDIZING SUBSTANCES, TOXIC AND/OR CORROSIVE

Special Emergency Equipment to be carried

Protective clothing (gloves, boots, coveralls, headgear).

Self-contained breathing apparatus.

Inert absorbent material (e.g. diatomaceous earth).

EMERGENCY PROCEDURES

Wear protective clothing and self-contained breathing apparatus when dealing with SPILLAGE or FIRE.

EMERGENCY ACTION

Turn ship off-wind.

	<i>On deck</i>	<i>Under deck</i>
SPILLAGE	Wash spillage overboard with copious quantities of water from as far away as practicable. Contaminated clothing must be removed and washed carefully with copious quantities of water.	Collect spillage, where practicable, using inert absorbent materials, for safe disposal. Do not use sawdust or other combustible materials as absorbents. Contaminated clothing must be removed and washed carefully with copious quantities of water.
FIRE	Use copious quantities of water from as far away as practicable.	Ship's fixed fire-fighting installation may not be effective. Adopt action as for "On deck".

First Aid - See IMO Medical First Aid Guide (MFAG)

UN No.	Substance or Article	Remarks
1510	TETRANITROMETHANE	May explode in a fire situation.
2984	HYDROGEN PEROXIDE, AQUEOUS SOLUTION, with not less than 8% but less than 20% hydrogen peroxide	Self-contained breathing apparatus not necessary - use goggles for eye protection.

EmS 94

MS OIHONNAN LIIKKEIDEN JA SÄILIÖKONTIN KETJUVOIMIEN LASKENTA

Kooste raporteista VALC463 ja VALC560

Antti Rantanen

Sisällysluettelo

Alkusanat	3
1 Johdanto	4
2 Aluksen tiedot	4
3 Olosuhteet	5
3.1 Yleistä.....	5
3.2 Merentutkimuslaitoksen arvio.....	5
3.3 Alukselta saadut tiedot	6
4 Esikiristysvoimien mittaust	7
4.1 Mittausjärjestelyt	7
4.2 Tulokset	8
4.3 Johtopäätökset	11
5 Kitkakertoimen mittaust.....	11
5.1 Mittausjärjestelyt	11
5.2 Tulokset.....	13
6 Laskentatapaukset	14
7 Liikkeiden laskenta	16
7.1 Menetelmä.....	16
7.2 Tulokset.....	16
7.3 IMO:n laskentakiihtyvyydet	18
7.4 Perän suhteellisen liikkeen lisälaskelmat	19
7.4.1 Menetelmä.....	19
7.4.2 Laskentatapaukset	19
7.4.3 Tulokset.....	19
7.4.4 Johtopäätökset.....	20
8 Ketjukuormien laskenta	21
8.1 Menetelmä.....	21
8.2 Laskentatapaukset.....	24
8.3 Tulokset.....	25
8.4 Johtopäätökset	25
9 Yhteenveto	26

Viitteet

Taulukot

Kuvat

Alkusanat

Tämä liite on kooste kahdesta MS Oihonnan onnettomuustutkinnan aikana VTT Valmistustekniikassa valmistuneesta tutkimusraportista. Ensimmäinen raportti 'MS Oihonnan liikkeiden laskenta' (raportti VALC463) sisältää aluksen liikkeiden lisäksi myös laskelmat kontin kiinnitysketjuihin syntyneistä voimista. Toisessa raportissa 'MS Oihonnan säiliökontin ketjuvoimien laskenta' (raportti VALC560) esitetään tulokset laajemmista voimien laskelmista ja näiden perustaksi tehtyjen esikiristysvoimien sekä lauttavaunun ja aluksen kannen välisen kitkakertoimen mittauksista. Tähän liitteeseen on poimittu em. kahdesta raportista kaikki oleellinen suurimmaksi osaksi sellaisenaan. Voimien laskennan osalta ensimmäisen raportin tulokset on jätetty pois koska ne sisältyvät jälkimmäisessä raportissa esitettyihin tuloksiin. Lisäksi liikkeiden laskenta- ja yhteenveto-osat sisältävät oleelliset asiat molemmista raporteista, kuva- ja taulukkonumerointi on päivitetty vastaamaan uutta kappalejakoja sekä luettavuuden ja selkeyden parantamiseksi joitakin pieniä epäoleellisia muutoksia on tehty. Liite koostuu raporttien vastaavista kappaleista seuraavasti:

<u>Liitteen kappale:</u>	<u>Raportti:</u>
1 Johdanto	VAL463
2 Aluksen tiedot	VAL463
3 Olosuhteet	VAL463
4 Esikiristysvoimien mittaus	VAL560
5 Kitkakertoimen mittaus	VAL560
6 Laskentatapaukset	VAL463
7 Liikkeiden laskenta	VAL463 ja VAL560
8 Kuormien laskenta	VAL560
9 Yhteenveto	VAL463 ja VAL560

1 Johdanto

31. päivä tammikuuta 1998 n. klo 2 yöllä MS Oihonnan ollessa Pohjois-Ahvenanmerellä kovassa merenkäynnissä matkalla Lyypekistä Raumalle havaittiin aluksella yhden säiliökontin päässeen irti kiinnityksistään perän sääkannella. Osa kiinnitysketjuista, joilla lauttavaunu ja sen päällä ollut kontti oli kiinnitetty aluksen kanteen, olivat murtuneet. Lauttavaunu kontteineen oli päässyt liikkumaan eteenpäin ja törmännyt lastihissiin ja laipioon vaurioittaen niitä. Kontti, joka sisälsi vetyperoksidia, alkoi vuotaa.

Tässä raportissa on laskettu konttiin tietyllä ylitystodennäköisyydellä kohdistuneet kiihtyvyydet vaurion syntymisen aikana vallinneissa olosuhteissa sekä esitetty arvio säiliökontin kiinnityksiin kohdistuneista kuormista. Kuormien laskennassa käytetyt säiliökontin esikiristysvoimat sekä aluksen kannen ja kontin alla olevan lauttavaunun välisen kitkakertoimen arvot perustuvat tätä tarkoitusta varten aluksella tehtyihin mittauksiin.

Konttiin voi avonaisella sääkannella vaikuttaa useita kuormakomponentteja:

- kiihtyvyyksien aiheuttamat hitausvoimat
- maan vetovoimakiihtyvyyden osuus aluksen mukana kallistuneeseen konttiin
- kiinnitysketjuihin jo satamassa lastin kiinnityksen aikana syntyvät esikiristysvoimat
- lauttavaunun ja kannen pinnan välinen kitkavoima
- vajaassa säiliökontissa nesteen liikkeiden aiheuttamat kuormat
- aluksen pohjaosista syntyneet transientit kuormat
- tuulikuormat
- pahimmassa tapauksessa aaltokuormat

Tässä raportissa on huomioitu vain neljä ensiksi mainittua kuormatyyppiä. Pohjauskujen osuutta on tutkittu ainoastaan laskemalla aluksen suhteellista liike todennäköisellä slamming-iskujen syntymisalueella tasaisen perän alueella sekä keulaperpendikkelillä. Näin saadaan arvio alukseen kohdistuvien slamming-iskujen lukumäärästä tietyn pituisen ajanjakson aikana.

Kuormien laskentatuloksia voidaan käyttää arvioitaessa riittävää kiinnitysten lukumäärää suhteessa odotettavissa olevaan merenkäyntiin.

2 Aluksen tiedot

MS Oihonnan päämittatiedot on esitetty Taulukossa 2.1. Vauriotilanteen tiedot Taulukossa 2.2 perustuvat FG-Shippingiltä saatuun 23.03.1998 päivättyyn tankkitilanelaskelmaan.

Taulukko 2.1 MS Oihonnan päämitat.

Perpendikkelipituus	L_{pp}	m	146.0
Kokonaispituus	L_{OA}	m	156.2
Leveys	B_{CWL}	m	24.95
Syväys	T_{CWL}	m	8.45
Uppouma	∇	m^3	20680
Nopeus	V	kn	18.5

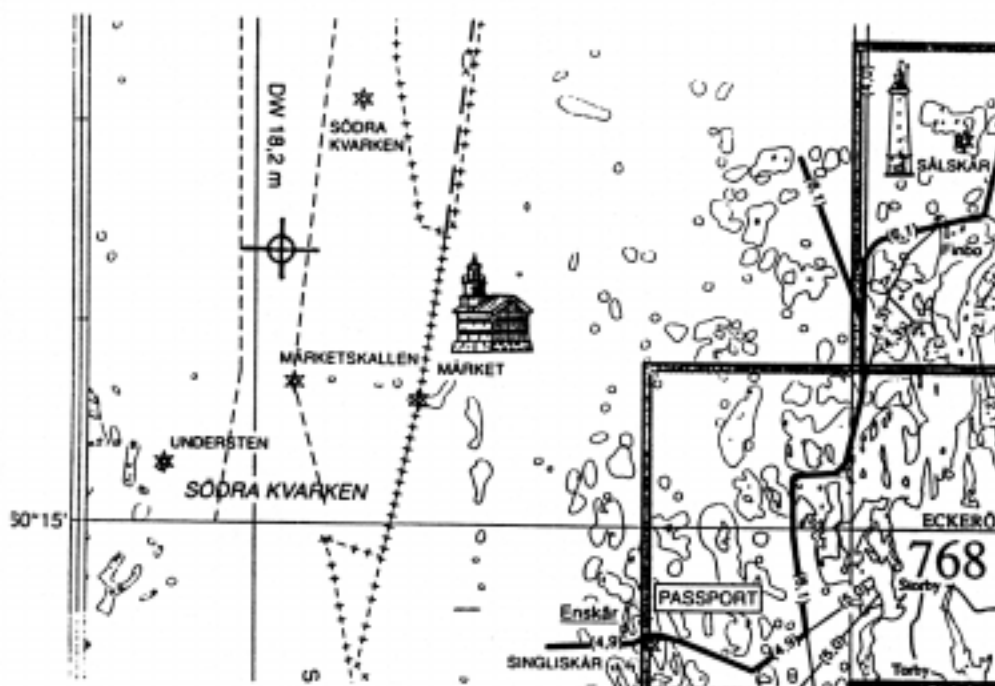
Taulukko 2.2 MS Oihonnan lastitilanne vaurion syntymisen aikana.

Syväys, perä	T_A	m	6.12
Syväys, keula	T_F	m	5.72
Uppouma	∇	m^3	13196
Alkuvaihtokeskuskorkeus	GM_0	m	1.20

3 Olosuhteet

3.1 Yleistä

Tutkimusta varten pyydettiin Merentutkimuslaitokselta arvio vauriopaikassa ja vauriohetkellä vallinneesta aallokon merkitsevästä korkeudesta, aaltospektrin huipun taajuudesta, aallokon suunnasta sekä tuulitiedoista. Aluksen sijainti tapahtumahetkellä oli Ruotsin aluevesillä n. 4.2 mpk Södra Kvarkenin merimerkistä suuntaan 210 astetta eli n. 5 mpk Märketin majakasta luoteeseen keskellä pohjois-eteläsuuntaista syväväylää. Sijainti on esitetty Kuvassa 3.1. Alukselta kolmesta asiakirjasta saadut olosuhdetiedot poikkeavat joiltain osin sekä toisistaan että Merentutkimuslaitoksen arvioimista tiedoista.



Kuva 3.1 Aluksen sijainti vaurion tapahtumahetkellä.

3.2 Merentutkimuslaitoksen arvio

Laskelmissa käytetyt aallokkotiedot on saatu Merentutkimuslaitokselta joka on arvioinut aallokon korkeuden ja aaltospektrin huipun periodin kyseisellä merialueella vaurion syntymisen aikana eli 31. tammikuuta 1998 klo 02.00. Merenkäyntitilan kehittymisestä vaurion tapahtumapaikalla saatiin käsitys tekemällä arviot olosuhteista em. ajankohdan lisäksi myös 6 ja 12 tuntia ennen ja jälkeen vaurion syntymisen.

Aaltotietojen laskemiseksi on käytetty tuulitietoja koko Selkämereltä. Selkämeren tuulitilan-teen selvittämiseksi on käytetty Ilmatieteen laitoksen aluetuulianalyysyjä sekä lähellä vaurioapaikkaa sijaitsevan Märketin säähavaintoaseman tuulimittauksia.

Taulukossa 3.1 on esitetty sekä aallokko- että tuuliarvojen kehitys vuorokauden aikana vaurioajankohdan molemmin puolin.

Taulukko 3.1 Merentutkimuslaitoksen arvioimat aallokko- ja tuulitiedot vaurion tapahtumapaikalla.

pvm	klo [EET]	Aallokko			Tuuli (Märket)	
		H _s [m]	T _p [s]	W _D [ast]	U [m/s]	DIR [ast]
30.01.1998	14.00	4.3	8.3	10	22	330
	20.00	5.7	9.5	10	29	340
31.01.1998	02.00	5.9	9.7	10	25	360
	08.00	5.5	9.4	10	-	-
	14.00	5.0	8.9	10	16	360

Merkinnät: H_s Merkitsevä aallonkorkeus
 T_p Aaltospektrin huipun periodi
 W_D Aallokon tulosuunta
 U Tuulen nopeus (10 min keskiarvo)
 DIR Tuulen suunta

Aallokon korkeuden maksimiarvo oli 6.1 m spektrin huipun periodin ollessa 9.8 s. Tämä tilanne vallitsi 30.1. n. klo 23.00 eli 3 tuntia ennen vaurion syntymistä. Märketissä mitattu tuuli oli tällöin 25 m/s suunnasta 10 astetta.

Merentutkimuslaitoksen ennusteen tarkkuus on merkitsevän aallonkorkeuden osalta ± 0.3 m ja periodin n. ± 0.5 s.

3.3 Alukselta saadut tiedot

Aluksen lokikirjaan on merkitty kyseisenä yönä klo 04.00 tuulen nopeudeksi 25 – 32 m/s ja suunnaksi N. Alus on merkinnän mukaan kulkenut vastatuuleen. Merenkäynnistä on merkintä ”Erittäin korkea vastameri. Meren ylilyöntejä ja stamppausta”. Ilman lämpötilaksi oli kirjattu –7 astetta ja ilmanpaineeksi 1008 mbar. Ilmanpaine oli nousussa sillä 4 tuntia aikaisemmin se oli ollut 999 mbar ja 4 tuntia myöhemmin 1014 mbar. Aluksen nopeus lokikirjassa on 5 solmua ja ohjattu tosisuunta 000 astetta.

Kaavakkeessa ’Ilmoitus merionnettomuudessa’ joka on päivätty 5.2.1998, tuulen nopeudeksi ilmoitetaan 28 – 35 m/s ja suunnaksi 350 astetta. Merenkäynnin suunta on NNW. Lisäksi mainitaan, että merenkäynti oli ankara ja pohjaiskuja esiintyi.

Aluksen päällikön allekirjoittamassa lastivahinko/laivavaurioilmoituksessa merenkäynnin suunta on NNW ja tuulen nopeus 28 – 35 m/s ja suunta NNW. Aluksen suunnaksi on kerrottu 360 astetta ja nopeudeksi 5 solmua.

4 Esikiristysvoimien mittaus

4.1 Mittausjärjestelyt

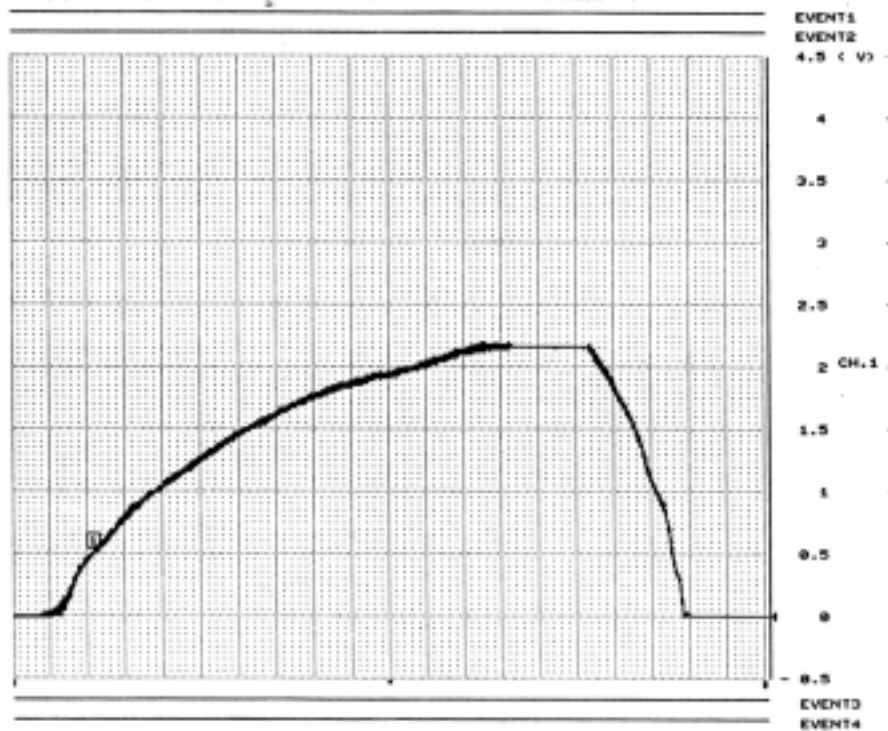
Mittaukset tehtiin 1.2.1999 MS Oihonnan pääkannella aluksen ollessa matkalla Helsingistä Kotkaan. Mittausolosuhteet olivat hyvät lämpötilan ollessa suljetulla kannella selvästi yli 0 astetta. Aluksen liikkeet olivat hyvin pienet reitin kulkiessa jääkenttään avatussa rännissä.

Ketjuvoima mitattiin Hottingerin voima-anturilla, jonka mittausalue on 0 – 10 tonnia. Signaalin vahvistimena oli Hottingerin kantoaaltovahvistin tyyppiä AE 3407 B josta jännitesignaali vietiin suodattamattomana Graphtecin nopealle lämpöpiirturille. Mitattu voimasignaali saatiin luettua piirturipaperista 0.1 kN:n tarkkuudella, joka on tarkoitukseen riittävä mitattavien voimien suuruuden vaihdellessa välillä 7 – 36 kN. Aluksella oli tarkoitus mitata myös paineilma-verkossa vallitseva ilmanpaine, mutta aluksella ollut painemittamittaria ei saatu liitettyä verkkoon erilaisten liittimien takia. Miehistön mukaan aluksen normaali työilmanpaine on n. 7 bar. Mittausten aikana ilmanpaine oli todennäköisesti vakaa, koska kompressori oli kunnossa ja muita käyttäjiä ei mitausten aikana pitänyt olla liittyneinä paineilma-verkkoon.

Mittausasennus oli toteutettu siten, että voima-anturi oli asennettu kahden kiinnitysketjun väliin, joista toisen vapaa pää oli kiinnitetty aluksen sivulaipion kiinnityslenkkiin lähelle kannen tasoa. Toiseen vapaaseen päähän kiinnitettiin kukin tutkittava vanttiruuvi siten, että ruuvien alapään tartuntaosa oli kannen ristinmuotoisessa kiinnitysaukossa. Ketjut olivat samoja joita käytetään normaalisti lauttavaunujen kiinnittämiseen laivalla. Vanttiruuvi kiristettiin paineilamalla toimivalla momenttivääntimellä (pistoolilla) niin tiukalle kuin pistooli jaksoi vääntää. Kiristysvaiheessa voima-anturin signaali tulostettiin piirturin paperille. Kuvassa 4.1 on esimerkki piirturin tulostamasta kiristysvoiman aikahistoriasta.

Mittausten tarkoituksena oli vanttiruuvien yksilöllisten erojen tutkimisen lisäksi selvittää myös kiristyspistoolien erojen vaikutusta esikiristysvoimiin. Mittauksissa käytettiin kuutta aluksen pistoolia, joista yksi oli aivan uusi. Kaikki pistoolit olivat samaa mallia. Niiden kahvassa on säätöpyörä, jolla voidaan valita yksi kolmesta tehoasetuksesta. Kaikissa mittauksissa käytettiin tehokkainta asentoa (3) jota mittauksissa mukana olleen kansimiehen mukaan ainakin laivan miehistö aina käyttää. Todennäköisesti myös aluksen ulkopuoliset lastin kiinnittäjät käyttävät tehokkainta asentoa, koska se nopeuttaa työtä.

Mittausohjelma oli laadittu siten, että ensin selvitettiin pistoolien mahdolliset erot kiristysvoimiin käyttäen viittä satunnaisesti valittua vanttiruuvia eli saatiin $6 \times 5 = 30$ mittausta. Tämän jälkeen valittiin pistooleista kaksi, joista toinen antoi suurimmat voimat (numero 2) ja toinen oli teholtaan keskimääräinen (numero 5). Näillä kahdella pistoolilla jatkettiin mittamalla 11 vanttiruuvia ja loput 14 vanttiruuvia mitattiin ainoastaan keskivertopistoolilla (numero 5). Mittauksia kertyi yhteensä 66 kappaletta, joissa käytettiin 30 eri vanttiruuvia. Kuutta pistoolia käytettäessä niiden mittausjärjestys oli aina sama eli ensin numero 1 ja viimeiseksi numero 6 (uusi pistooli). Samoin mitattaessa pistooleilla 2 ja 5 järjestys oli aina tämä.



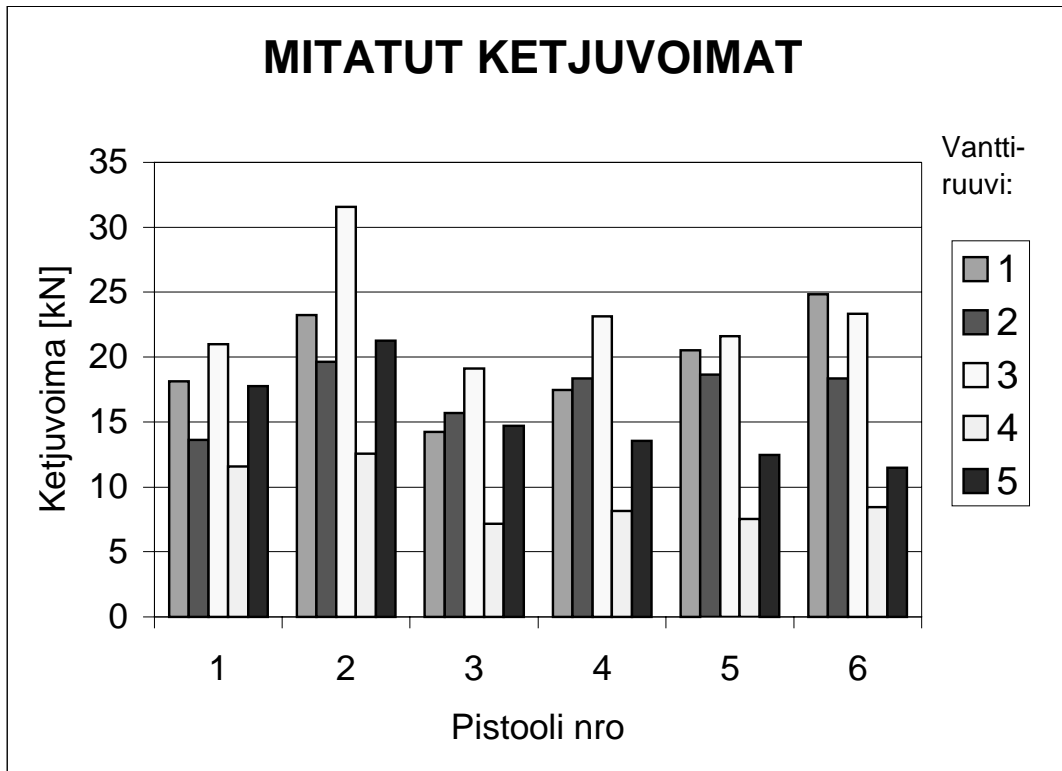
Kuva 4.1 Esimerkki kiristysvoiman aikahistoriasta. Kuvassa 1 V vastaa 100 kp voimaa eli maksimiarvo on 21.2 kN. Aika-akselilla ruutu vastaa sekuntia.

4.2 Tulokset

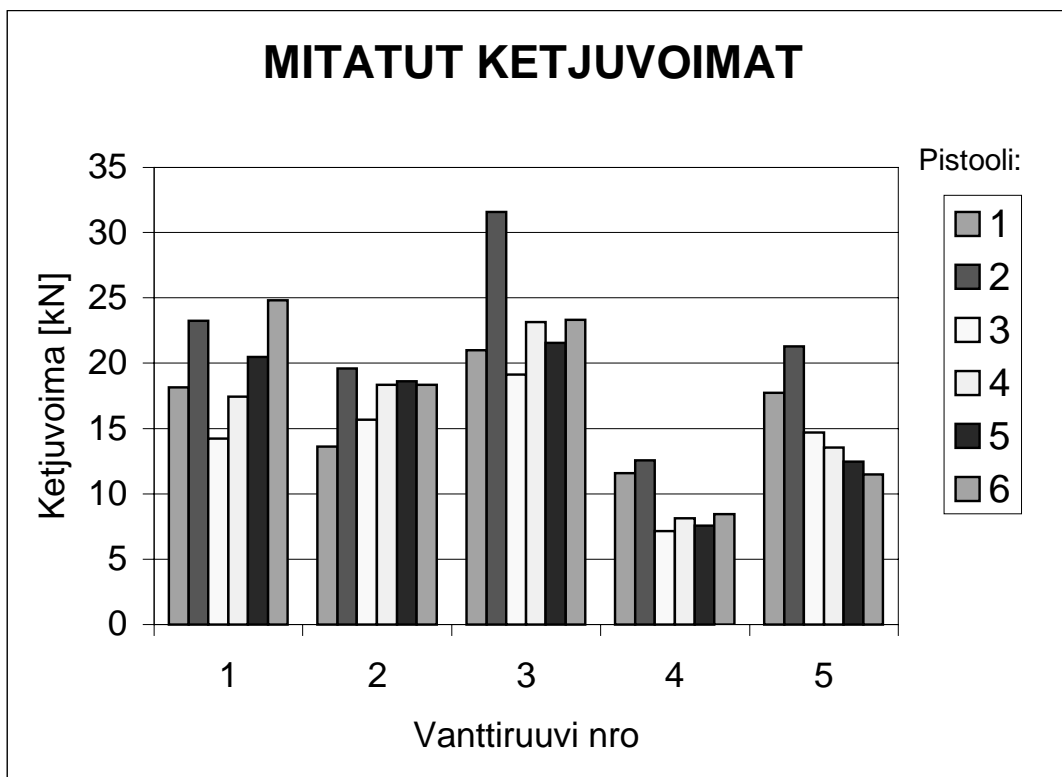
Kuvissa 4.2 ja 4.3 on piirretty 30 ensimmäisen mittauksen tulokset kahdella eri tavalla esitettynä. Kuvasta 4.2 käy ilmi vanttiruuvien erojen vaikutukset kiristysvoimiin ja kuva 4.3 kertoo paineilmapistoolien tehon vaikutuksen kuuden vanttiruuvien esikiristysvoimiin. Kaikkien 66 mittauksen tulokset on esitetty kuvassa 4.4. Siinä on viivalla yhdistetty samalla vanttiruuvilla tehtyjen mittausten tulokset. Kuvassa 4.5 on esitetty kaikkien mitattujen ketjuvoimien jakauma jaettuna 13 luokkaan. Taulukossa 4.1 on esitetty mittaustulosten tärkeimmät tilastolliset suureet. Keskiarvon 95 %:n luotettavuusväli tarkoittaa vaihtelua, jonka sisällä todellinen keskiarvo 95 %:n todennäköisyydellä on kun taas yksittäinen mittaustulos on 95 % todennäköisyydellä välillä keskiarvo ± 2 x keskihajonta.

Taulukko 4.1 Kiristysvoimien tilastollisia suureita.

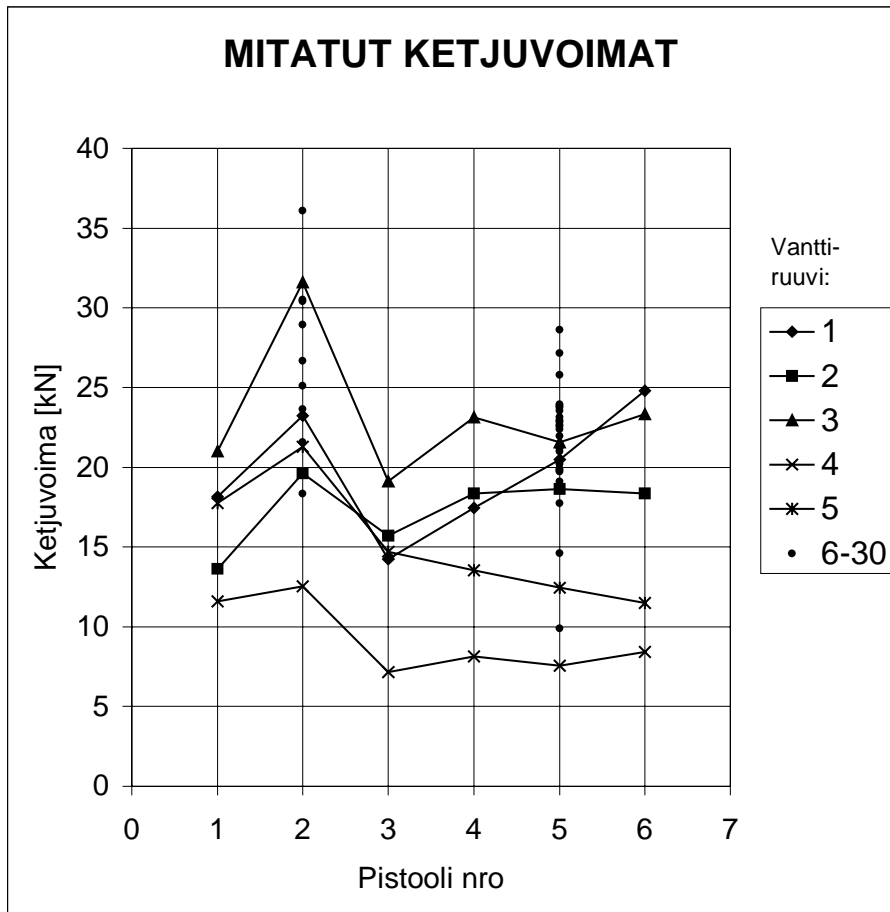
Suure	
Keskiarvo [kN]	20.1
Keskihajonta [kN]	5.9
Mediaani [kN]	20.7
Keskiarvon luotettavuusväli (95%) [kN]	± 1.5



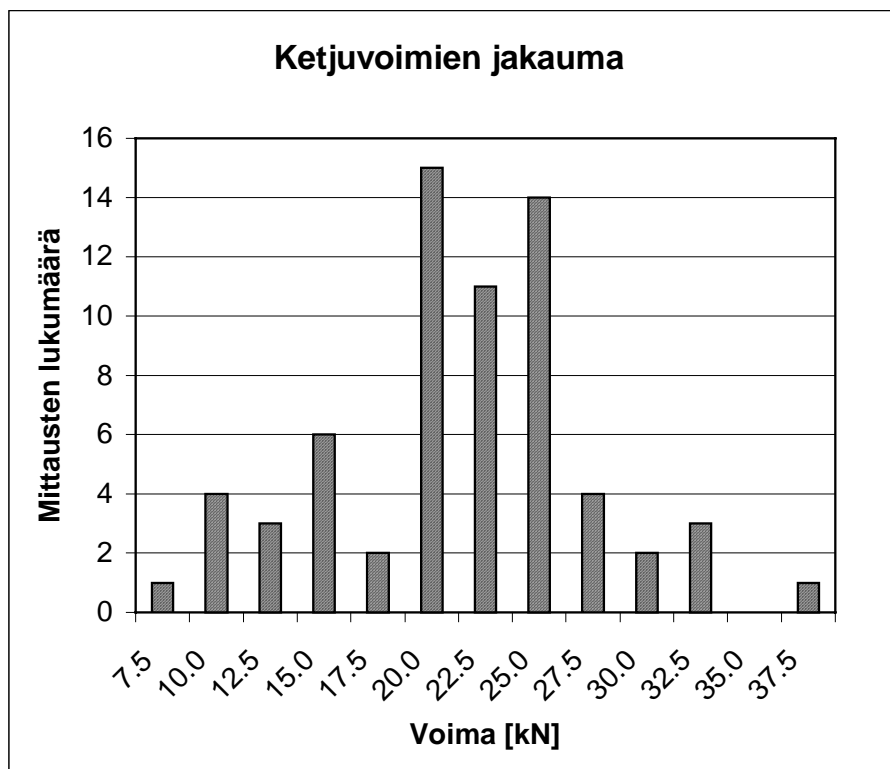
Kuva 4.2 Viiden vanttiruuvien esikivistysvoimien hajonta eri paineilmapistooleilla.



Kuva 4.3 Paineilmapistoolin vaikutus viiden vanttiruuvien ketjuvoimiin.



Kuva 4.4 Kaikkien voimamittausten tulokset.



Kuva 4.5 Mitattujen ketjuvoimien jakauma.

4.3 Johtopäätökset

Mittauksista kävi ilmi selkeästi, että vanttiruuvit eroavat toisistaan huomattavasti. Voimista laskettu keskihajonta on suuri. Kuvasta 4.2 voidaan todeta, että edes vanttiruuvien kiristysvoimien keskinäinen järjestys ei ole sama painepistoolista riippumatta. Tästä syystä laskelmat on edelleen pitänyt tehdä usealle eri esikiristysvoiman arvolle. Eri laskentatilanteiden vertailussa voidaan kuitenkin käyttää mittauksista saatua kiristysvoimien keskiarvoa.

Mittausten luotettavuutta arvioitaessa on lisäksi pidettävä mielessä seuraavat seikat, jotka ilmenivät mittauksen yhteydessä. Näiden vaikutusta mittaustuloksiin ja todellisiin esikiristysvoimiin laivalla on kuitenkin erittäin vaikeaa arvioida.

1. Mittauksia tehtäessä havaittiin, että satunnaisesti valituista vanttiruuveista löytyi kuusi kappaletta niin huonossa kunnossa olevia, että niitä ei voitu käyttää. Viallisten osuus oli siis 6/36 eli joka kuudes. Nämä vanttiruuvit löytyivät samasta kasasta muiden kanssa. Jos kyseisiä vanttiruuveja on kuitenkin käytetty lastin kiinnittämiseen, on syntynyt tilanne, jossa ainakin yhdessä kiinnitysketjussa esikiristysvoima on ollut selvästi pienempi kuin muissa.
2. Kun alusta ollaan lastaamassa, saattaa paineilmatoimisia laitteita käyttää samanaikaisesti useampikin henkilö. Tällöin ilmanpaine laskee ja pistoolien teho heikkenee.
3. Aluksen kompressorin toimintahäiriöt vaikuttavat vastaavasti esikiristysvoimiin. Mitattaessa ketjuvoimia ensimmäisen kerran MS Auroralla 5. marraskuuta 1998, jouduttiin mitaukset hyödyttömänä keskeyttämään sen jälkeen, kun havaittiin ilmanpaineen suuret heilahtelut kompressorin toimintahäiriön takia.
4. Kun mitattiin samaa vanttiruuvia kiristäen sitä usealla painepistoolilla, on vanttiruuvin toimivuus (herkkyys) saattanut esim. lämmön nousun vaikutuksesta muuttua koesarjan kestäessä. Koska painepistooleja käytettiin aina samassa järjestyksessä, tällä on voinut olla vaikutusta tuloksiin niin, että viimeksi käytetyillä pistooleilla mittaustulos on mahdollisesti suurempi kuin olisi ollut käänteistä järjestystä käytettäessä.

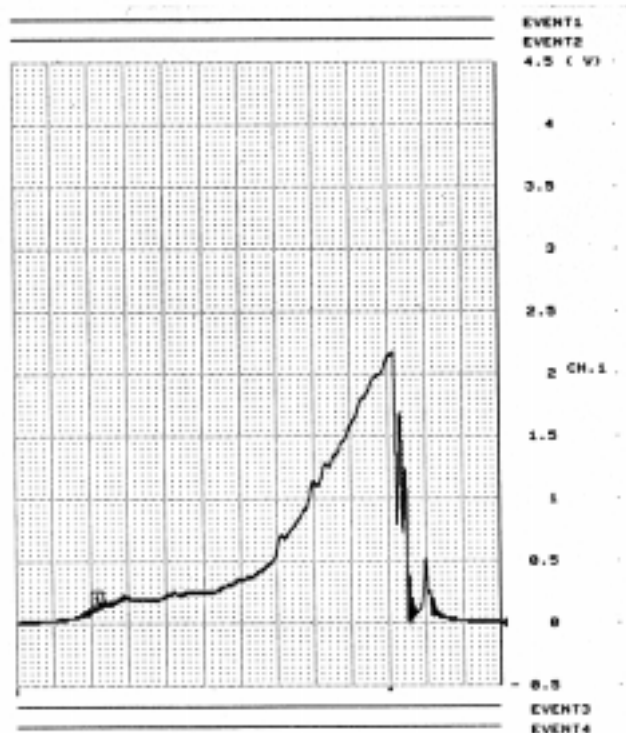
5 Kitkakertoimen mittaus

5.1 Mittausjärjestelyt

Kitkakerrointa lauttavaunun ja aluksen kannen välillä on mitattu kahteen kertaan. Ensimmäisellä kerralla MS Auroralla 5.11.1998 punnittiin lauttavaunun paino nostoketjuun liitetyllä Hottingerin 10 t voima-anturilla lauttavaunun etu- ja takapäätä kohottamalla. Lisäksi saatiin mitattua lauttavaunun etu- ja takapään kitkakerroin kuivalla ja märällä teräskannella. Yksi etupään mittaus tehtiin ilman kumimattoa tukijalan alla eli kantta vasten oli paljas teräs. Lämpötila oli selvästi nollan yläpuolella joten tilanne ei vastannut juurikaan MS Oihonnan onnettomuuden aikaisia olosuhteita. Tästä johtuen mittaus päätettiin uusissa olosuhteissa, jotka olisivat lähempänä onnettomuusyön säätilaa.

Toisella mittauskerralla 1.2.1999 MS Oihonnalla lämpötila oli alle -20 astetta. Kokeet tehtiin aluksen ollessa Kotkan satamassa perän sääkannella jonka pinta oli melko kuiva. Todenmukaisempien olosuhteiden saamiseksi kansi jäädytettiin kaatamalla sille vettä ennen kuin lauttavaunu tuotiin paikalle. Valitettavasti lauttavaunun takapäätä eli se jossa pyörät sijaitsivat oli nostettu karhennetulle osalle kantta, jota ei oltu valmiiksi jäädytetty kokeita varten. Kokeet tyydyttiin tekemään vain etupäälle koska arveltiin tukijalan alle laitetun kumimaton olevan ominaisuuksiltaan lähellä pyörien kumia.

Mittaus tapahtui vetämällä lauttavaunua etu- ja takapäätä mahdollisimman suoraan sivulle kunnes lauttavaunu liikahti. Kun lauttavaunun molempien päiden paino tiedetään, saadaan kitkakerroin veto- ja painovoiman suhteena. Etupään veto tapahtui lähellä tukijalkaa olevasta kiinnityslenkistä. Lenkkiin oli kiinnitetty normaali lastinkiinnitysketju, johon oli sakkelilla liitetty voima-anturi. Takapään veto, joka voitiin siis tehdä vain ensimmäisen mittauksen yhteydessä, tapahtui pyörien kohdalla olevasta kiinnityslenkistä. Anturin toinen pää oli ketjulla kiinnitetty hinausokoukulla varustettuun nelivetoiseen autoon, jolla lauttavaunua vedettiin nostamalla kytkintä mahdollisimman rauhallisesti. Mittalaitteena käytettiin ensimmäisellä kerralla Hottingerin 10 t voima-anturia, jonka signaali vietiin VTT/LAI:n vahvistimen kautta ilman suodatusta Graphtecin nopealle lämpöpaperipiirturille. Toisella mittauskerralla käytettiin Hottingerin 2 t voima-anturia, Hottingerin kantoaaltovahvistinta ja Graphtecin piirturia. Mittauksia toisella kerralla tehtiin yhteensä 13 kertaa, joista kahden viimeisen vedon aikana tukijalka oli siirtynyt jo osittain jäättömän kannen osan päälle. Kuvassa 5.1 on esimerkki mitatusta vetovoiman aikahistoriasta.



Kuva 5.1 Esimerkki sivuttaisvetovoiman aikahistoriasta. Kuvassa 1 V vastaa 200 kp voimaa eli maksimiarvo on 4.26 kN. Aika-akselilla ruutu vastaa sekuntia.

5.2 Tulokset

Ensimmäisen mittauspäivän punnituksissa saatiin lauttavaunun etupään painoksi 1096 kg ja takapään painoksi 1264 kg. Yhteispaino oli siis 2360 kg.

Kitkakertoimet kuivalla ja märällä kannella laskettuina marraskuussa tehdyistä mittauksista on esitetty taulukossa 5.1.

Taulukko 5.1 Mitatut sivuttaisvetovoimat ja lasketut kitkakertoimet paljaalla kuivalla ja märällä kannella. MS Aurora 5.11.1998.

Mittaus nro	Mittaus paikka	Materiaali	Kannen pinta	Vetovoima [kN]	Kitka-kerroin
1	Etu	Kumi	Kuiva	8.34	0.78
2	Etu	Kumi	Märkä	8.73	0.81
3	Etu	Teräs	Märkä	5.69	0.53
4	Taka	Kumi	Kuiva	7.75	0.63
5	Taka	Kumi	Märkä	7.46	0.60

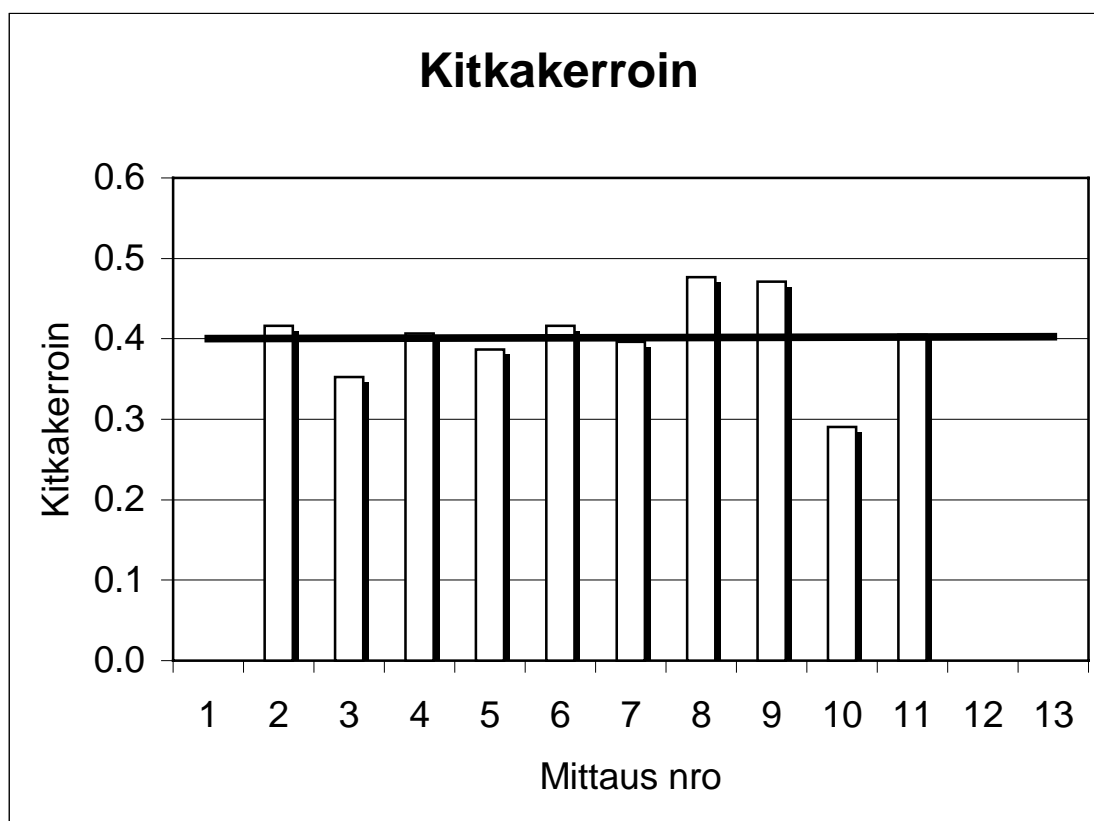
Toisen mittauspäivän tulokset on esitetty taulukossa 5.2. Mittaus nro 1 oli ensimmäinen veto-yritys ja pitää harjoitteluna jättää pois. Kahden viimeisen kokeen aikana lauttavaunun tukijalka oli jo osittain kuivan kannen alueella joten nekin on jätettävä pois analyysistä. Kuvassa 5.2 on esitetty varsinaisten onnistuneiden vetokokeiden tulokset pylväinä ja paksulla viivalla on piirretty mittaustulosten kautta piirretty regressiosuora. Kitkakertoimen keskiarvo varsinaisista kokeista oli 0.40. Muutama tilastollinen suure mittauksista on esitetty taulukossa 5.3.

Taulukko 5.2 Mitatut vetovoimat ja niistä lasketut kitkakertoimet. MS Oihonna 1.2.1999.

Koe nro	Voima [kN]	Kitka-kerroin
1	3.18	(0.30)
2	4.47	0.42
3	3.79	0.35
4	4.38	0.41
5	4.16	0.39
6	4.47	0.42
7	4.26	0.40
8	5.12	0.48
9	5.06	0.47
10	3.12	0.29
11	4.36	0.41
12	4.91	(0.46)
13	5.45	(0.51)

Taulukko 5.3 Kitkakerroinmittauksen tilastollisia suureita.
MS Oihonna 1.2.1999.

Suure	
Keskiarvo	0.40
Keskihajonta	0.054
Mediaani	0.41
Keskiarvon luotettavuusväli (95%)	± 0.038



Kuva 5.2 Kitkakertoimet eri mittauksissa ja regressiosuora (keskiarvo = 0.40).
MS Oihonna 1.2.1999.

6 Laskentatapaukset

Tämän raportin laskelmissa aallokkotiedot perustuvat Merentutkimuslaitokselta saatuihin arvoihin ja aluksen nopeus lokikirjassa ilmoitettuun arvoon. Suuntakulmat aallokkoon nähden on valittu sekä Merentutkimuslaitoksen että aluksen tietojen perusteella. Suuntakulmina on käytetty 180 astetta (vasta-aallokko) ja 150 astetta.

Laskelmat tehtiin sekä pitkä- että lyhytharjaisen aallokon tapaukselle. Pitkäharjaisessa aallokossa kaikki aallot oletetaan tulevan samasta suunnasta. Lyhytharjaisessa aallokossa eri suunnista tulevien aaltojen amplitudia on painotettu funktiolla $\cos^2(\beta)$, jossa β on aallokon suuntakulman ero aallokon pääsuuntaan verrattuna. Aaltospektri on laskelmissa ollut ISSC-tyyppiä. Aallon merkitsevä korkeus H_s oli kaikissa tapauksissa 5.9 m ja aaltospektrin huipun periodi T_p oli 9.7. ISSC-tyyppiselle spektrille zerocrossing-periodi $T_z = 0.71T_p$.

Aluksen nopeus kaikissa laskentatapauksissa oli 5 kn. Kiihtyvyydet on laskettu olettamalla sekä kokonaisajalle T_{tot} että ylitystodennäköisyydelle p kaksi eri arvoa. Kuormat kiinnitysketjuissa on laskettu ainoastaan tilanteelle, jossa $T_{tot} = 4.0$ h ja ylitystodennäköisyys $p = 20$ %. Kontin ja lauttavaunun yhteismassa $m = 30$ t. Taulukossa 6.1 on esitetty kaikkien laskentatilanteiden lähtöarvot.

Taulukko 6.1 Laskentatilanteet.

		Pitkäharjainen aalokko		Lyhytharjainen aalokko	
		150 ast sivuvast.	180 ast vastainen	150 ast sivuvast.	180 ast vastainen
Merkitsevä korkeus H_s	m	5.9	5.9	5.9	5.9
Spektrin huipun periodi T_p	s	9.7	9.7	9.7	9.7
Keskimääräinen periodi T_z	s	6.9	6.9	6.9	6.9
Aluksen nopeus V	kn	5.0	5.0	5.0	5.0
Kokonaisaika T_{tot}	h	2.0/4.0	2.0/4.0	2.0/4.0	2.0/4.0
Ylitystodennäköisyys p	%	20/50	20/50	20/50	20/50

Kontin absoluuttisten kiihtyvyyksien rms-arvot laskettiin kontti/lauttavaunuyhdistelmän painopisteessä siinä alkuperäisessä paikassa, joka kontilla oli ennen siirtymää. Kontti sijaitsi perän sääkannella aivan sen oikeassa takanurkassa. Kontin paikka kävi ilmi merionnettomuusilmoituksen liitteenä olevasta lastauslaskimen tulostamasta kaaviokuvasta. Kontin painopisteen pitkittäinen ja poikittainen sijainti mitattiin FG-Shippingin toimittamasta aluksen yleisjärjestelykuvasta. Pystysuunnassa painopiste asetettiin 1.9 m kannen pinnasta ylöspäin.

Suhteelliset liikkeet veden pintaan nähden sekä slammingin esiintymiset Ochin kriteerin mukaisesti laskettiin kahdessa pisteessä. Perän laskentapiste oli pohjan vaakasuoralla osalla aivan peräpeilin lähellä ja poikittaissuunnassa yhtä kaukana laivan keskilinjasta kuin kontin painopiste. Keulan laskentapiste oli keulaperpendikkelillä kaaren alimmassa pisteessä keskilinjalla.

Kontin painopisteen ja suhteellisen liikkeen laskentapisteen koordinaatit on esitetty Taulukossa 6.2. Pitkittäis- eli x-koordinaatti on etäisyys kaarelta 0 keulaan päin, poikittäis- eli y-koordinaatti etäisyys laivan keskilinjalta oikealle ja pysty- eli z-koordinaatti perustasosta ylöspäin.

Taulukko 6.2 Liikkeiden laskentapisteen koordinaatit.

	X [m]	Y [m]	Z [m]
Kontin painopiste	4.6	7.5	18.8
Perän suhteellinen liike	-3.0	7.5	7.1
Keulan suhteellinen liike	146.0	0.0	0.0

7 Liikkeiden laskenta

7.1 Menetelmä

Epäsäännöllisessä aallokossa tietyllä todennäköisyydellä esiintyvät maksimikihtyvyydet on laskettu kahdessa vaiheessa. Ensinnäkin on laskettu pysty-, poikittais- ja pitkittäiskiihtyvyyksien rms-arvot kyseisessä merenkäynnissä. Kiihtyvyydet on laskettu lineaariseen strip-teoriaan perustuvalla ohjelmalla SCORES (Raff 1972).

Tämän jälkeen on arvioitu halutulla todennäköisyydellä esiintyvä kiihtyvyyden maksimiamplitudi N aaltokohtaamisen aikana. Aaltokohtaamisten lukumäärään N vaikuttaa aluksen nopeus V , kurssi aaltoihin nähden μ , aaltojen keskimääräinen kohtaamistaajuus ω_e laskettuna zerocrossing-periodista T_z sekä aika T_{tot} jonka alus ajaa kyseisessä tilanteessa. N lasketaan kaavalla:

$$N = \frac{T_{tot}}{2\pi/\omega_e} = \frac{T_{tot}}{2\pi} \left(\frac{2\pi}{T_z} - \frac{4\pi^2}{T_z^2} V \cos\mu \right)$$

Kiihtyvyyden maksimi-arvo, joka ylittyy todennäköisyydellä p N :n aaltokohtaamisen aikana saadaan kiihtyvyyden rms-arvosta σ kaavalla

$$a_{max} = \sigma \sqrt{2 \ln(N/p)}$$

Jos ylitystodennäköisyys on esim. 20 %, niin maksimi tarkoittaa amplitudin arvoa, joka ylittää keskimäärin joka 5. yhtä pitkillä ja samanlaisissa olosuhteissa tehdyllä matkalla.

Slamming-iskujen esiintymistiheys keulan ja perän suhteellisen liikkeen laskentapisteissä määritettiin Ochin (1964) esittämän kriteerin mukaisesti. Alkuperäisen kriteerin mukaan aluksen pohjaiskua voidaan sanoa slammingiksi, jos kaksi ehtoa täyttyy: aluksen keulaosan (n. 15% keulaperpendikkelistä peräänpäin) on nouseva vedestä ilmaan ja suhteellisen pystynopeuden V_z kaaren osuessa veteen tulee täyttää ehto:

$$V_z \geq 0.093 \sqrt{gL_{pp}}$$

jossa g = maan vetovoimakihtyvyys ja L_{pp} on aluksen perpendikkelipituus. Ochin kriteeriä on tässä raportissa sovellettu keulaperpendikkelin ja perässä suhteellisen liikkeen laskentapisteen kohdalla.

7.2 Tulokset

Taulukossa 7.1 on esitetty kaikille laskentatapauksille kohdattujen aaltojen lukumäärä, pitkittäis-, poikittais- ja pystysuuntaan laskettujen kiihtyvyyksien rms-arvot sekä näistä lasketut todennäköiset maksimiamplitudit. Kiihtyvyydet sisältävät aluksen kallistuessa ja jyskiessä syntyvät maan vetovoimakihtyvyyden poikittais- ja pitkittäiskomponentit. Taulukossa 7.2 on esitetty tulokset keulan ja perän suhteellisen liikkeen laskelmista. Molemmille laskentapis-

teille on tulostettu ilmaan nousujen tai veteen painumisten lukumäärät aikayksikössä ja kokonaisajan T_{tot} kuluessa. Taulukossa on esitetty myös Ochin kriteerin mukaisesti laskettujen slamming-tapahtumien vastaavat lukumäärät.

Taulukko 7.1 Kohdattujen aaltojen lukumäärä sekä kontin kiihtyvyyksien rms- ja maksimi-arvot.

		Pitkäharjainen aallokko		Lyhytharjainen aallokko	
		150 ast sivuvast.	180 ast vastainen	150 ast sivuvast.	180 ast vastainen
Aaltokohtaamiset:					
$T_{tot} = 4.0$ h		2520	2590	2520	2590
$T_{tot} = 2.0$ h		1260	1290	1260	1290
Kiihtyvyyksien rms-arvot:					
Pitkittäiskiihtyvyys a_x	m/s^2	0.31	0.28	0.28	0.30
Poikittäiskiihtyvyys a_y	m/s^2	0.38	0.00	0.53	0.44
Pystykiihtyvyys a_z	m/s^2	1.14	1.03	1.12	1.13
Kiihtyvyyksien maksimit:					
$T_{tot} = 4.0$ h, $p = 20$ %					
Pitkittäiskiihtyvyys a_{xmax}	m/s^2	1.3	1.2	1.2	1.3
Poikittäiskiihtyvyys a_{ymax}	m/s^2	1.7	0.0	2.3	1.9
Pystykiihtyvyys a_{zmax}	m/s^2	5.0	4.5	4.9	4.9
$T_{tot} = 4.0$ h, $p = 50$ %					
Pitkittäiskiihtyvyys a_{xmax}	m/s^2	1.3	1.2	1.2	1.2
Poikittäiskiihtyvyys a_{ymax}	m/s^2	1.6	0.0	2.2	1.8
Pystykiihtyvyys a_{zmax}	m/s^2	4.7	4.3	4.6	4.7
$T_{tot} = 2.0$ h, $p = 20$ %					
Pitkittäiskiihtyvyys a_{xmax}	m/s^2	1.3	1.2	1.2	1.2
Poikittäiskiihtyvyys a_{ymax}	m/s^2	1.6	0.0	2.2	1.9
Pystykiihtyvyys a_{zmax}	m/s^2	4.8	4.3	4.7	4.7
$T_{tot} = 2.0$ h, $p = 50$ %					
Pitkittäiskiihtyvyys a_{xmax}	m/s^2	1.2	1.1	1.1	1.2
Poikittäiskiihtyvyys a_{ymax}	m/s^2	1.5	0.0	2.1	1.8
Pystykiihtyvyys a_{zmax}	m/s^2	4.5	4.1	4.4	4.5

Taulukko 7.2 Keulan ja perän laskentapisteiden ilmaan nousujen ja veteen painumisten lukumäärät sekä slamming-iskujen esiintymiset Ochin kriteerin mukaan.

	Pitkäharjainen aallokko		Lyhytharjainen aallokko	
	150 ast sivuvast.	180 ast vastainen	150 ast sivuvast.	180 ast vastainen
Tapahtumien lkm sekunnissa:				
Perän veteenpainumiset	0.119	0.123	0.116	0.119
Keulan ilmaannousut	0.030	0.028	0.024	0.028
Slamming, perä	0.009	0.019	0.006	0.009
Slamming, keula	0.014	0.012	0.010	0.012
Tapahtumien lkm ajassa T_{tot}:				
$T_{tot} = 4.0$ h				
Perän veteenpainumiset	1710	1770	1670	1710
Keulan ilmaannousut	430	400	350	400
Slamming, perä	130	270	90	130
Slamming, keula	200	170	140	170
$T_{tot} = 2.0$ h				
Perän veteenpainumiset	860	885	835	855
Keulan ilmaannousut	215	200	175	200
Slamming, perä	65	135	45	65
Slamming, keula	100	85	70	85

7.3 IMO:n laskentakiihtyvyydet

IMO:n on julkaissut ohjeen roro-aluksen lastiin vaikuttavien maksimivoimien arvioimiseksi joka sisältää taulukon mitoituskiihtyvyyksistä pitkittäis-, poikittais- ja pystysuuntaan eri kansilla pitkittäisen sijainnin funktiona 0.1L välein. Kiihtyvyydet on määritetty seuraavin oletuksin:

1. alukselle on rajoittamaton toiminta-alue ja
2. ympärivuotinen toiminta-aika
3. matkan kesto 25 vuorokautta
4. aluksen pituus 100 m
5. nopeus 15 kn
6. $B/GM \geq 13$

Ohjeessa on myös korjauskerrointaulukot aluksille joiden pituus, nopeus tai B/GM-suhde poikkeaa em. arvoista. Kun MS Oihonnan tapauksessa lasketaan korjauskerrointa, joudutaan nopeuden suhteen ekstrapoloimaan korjauskerrointaulukon arvoista sillä pienin nopeusarvo korjaustaulukossa on 9 kn. Kertoimen riippuvuus nopeudesta on kuitenkin likimain lineaarinen joten suurta virhettä ei tässä tehtäne. Korjauskertoimen arvoksi on MS Oihonnalle saatu 0.5.

Kun IMO:n taulukosta katsotaan maksimikiihtyvyydet lähinnä kontin paikkaa olevassa kohdassa ($=0.1L$) saadaan korjauskerroin huomioituna pituus-, poikittais- ja pystykiihtyvyyksien maksimiarvoiksi vastaavasti 1.5, 3.3 ja 3.8 m/s^2 .

7.4 Perän suhteellisen liikkeen lisälaskelmat

7.4.1 Menetelmä

Painolastin vähentämisen vaikutuksesta perän suhteelliseen liikkeeseen ja samalla slamming-iskujen todennäköisyyteen perän alueella tehtiin likimääräinen arvio, jossa on käytetty alkuperäisessä uppoumatilanteessa laskettuja aluksen liikkeitä. Tämä perustuu oletukseen, että 2000 t painolastin muutoksen synnyttämä 0.25 m syvyyden pieneneminen ei vaikuta oleellisesti aluksen liikkeisiin. Laskenta toteutettiin yksinkertaisesti laskemalla perän suhteellinen liike syvyyden muutoksen verran korkeammalla kuin alkuperäinen laskentapiste. Laskennassa käytettiin lineaariseen strip-teoriaan perustuvaa ohjelmaa SCORES (Raff 1972).

7.4.2 Laskentatapaukset

Tämän raportin suhteellisen liikkeen laskelmissa on käytetty samoja laskentatapauksia kuin edellä.

Suhteelliset liikkeet veden pintaan nähden sekä slammingin esiintymiset Ochin kriteerin mukaisesti (Ochi 1964) laskettiin uudelleen perän laskentapisteessä eli pohjan vaakasuoralla osalla mutta tällä kertaa laskentapiste sijaitsee 0.25 m korkeammalla veden pinnasta kuin edellisessä raportissa eli 1.25 m tyynen vedenpinnan yläpuolella. Tällä on pyritty likimääräisesti simuloimaan tilannetta, jossa painolastia on vähennetty 2000 tonnilla. Jos painolastin muutos ei vaikuta aluksen trimmiin, nostaa se perän laskentapistettä n. 0.25 m. Tuloksissa on mukana myös aiemmin lasketut pisteet joiden koordinaatit vastaavat alkuperäistä uppoumaa. Ochin kriteeri on varsinaisesti tarkoitettu pohjaiskujen esiintymisen arviointiin keulan alueella kohdassa 0.15L keulaperpendikkelistä perään päin, jossa kaarien muoto on vielä suhteellisen V-muotoinen. Ms Oihonnan peräalue on lähes vaakasuora joten Ochin kriteerin soveltaminen aliarvioi pohjaiskujen esiintymisten määrää perässä.

Kontin painopisteen ja suhteellisen liikkeen laskentapisteen koordinaatit on esitetty taulukossa 7.3 jossa piste 'perän suhteellinen liike 2' on uusi. Pitkittäis- eli x-koordinaatti on etäisyys kaarelta 0 keulaan päin, poikittäis- eli y-koordinaatti etäisyys laivan keskijonjalta oikealle ja pysty- eli z-koordinaatti perustasosta ylöspäin.

Taulukko 7.3 Liikkeiden laskentapisteen koordinaatit.

	X [m]	Y [m]	Z [m]
Kontin painopiste	4.6	7.5	18.8
Perän suhteellinen liike 1	-3.0	7.5	7.1
Perän suhteellinen liike 2	-3.0	7.5	7.35
Keulan suhteellinen liike	146.0	0.0	0.0

7.4.3 Tulokset

Taulukossa 7.4 on esitetty tulokset keulan ja perän suhteellisen liikkeen laskelmista. Laskentapisteille on tulostettu ilmaan nousujen tai veteen painumisten lukumäärät aikayksikössä ja

kokonaisajan T_{tot} kuluessa. Taulukossa on esitetty myös Ochin kriteerin mukaisesti laskettujen slamming-tapahtumien vastaavat lukumäärät. Mukana ovat uuden laskentapisteen lisäksi myös kaikki edellä esitetyt tulokset.

Taulukko 7.4 Keulan ja perän laskentapisteen ilmaan nousujen ja veteen painumisten lukumäärät sekä slamming-iskuisten esiintymiset Ochin kriteerin mukaan. +0.25 m tarkoittaa uutta 0.25 m nostettua perän laskentapistettä.

	Pitkäharjainen aallokko		Lyhytharjainen aallokko	
	150 ast sivuvast.	180 ast vastainen	150 ast sivuvast.	180 ast vastainen
Tapahtumien lkm sekunnissa:				
Perän veteenpainumiset (alkup.)	0.119	0.123	0.116	0.119
Perän veteenpainumiset (+0.25 m)	0.108	0.115	0.104	0.108
Keulan ilmaannousut	0.030	0.028	0.024	0.028
Slamming, perä (alkup.)	0.009	0.019	0.006	0.009
Slamming, perä (+0.25 m)	0.008	0.017	0.006	0.009
Slamming, keula	0.014	0.012	0.010	0.012
Tapahtumien lkm ajassa T_{tot}:				
$T_{tot} = 4.0$ h				
Perän veteenpainumiset (alkup.)	1710	1770	1670	1710
Perän veteenpainumiset (+0.25 m)	1560	1660	1500	1560
Keulan ilmaannousut	430	400	350	400
Slamming, perä (alkup.)	130	270	90	130
Slamming, perä (+0.25 m)	120	240	90	130
Slamming, keula	200	170	140	170
$T_{tot} = 2.0$ h				
Perän veteenpainumiset (alkup.)	860	885	835	855
Perän veteenpainumiset (+0.25 m)	780	830	750	780
Keulan ilmaannousut	215	200	175	200
Slamming, perä (alkup.)	65	135	45	65
Slamming, perä (+0.25 m)	60	120	45	65
Slamming, keula	100	85	70	85

7.4.4 Johtopäätökset

Likimääräisellä menetelmällä laskettuna painolastin vähentäminen 2000 t pienentää pohjaiskujen määrää perän alueella kontin kohdalla pitkäharjaisessa aallokossa enimmillään n. 10 %. Lyhytharjaisessa aallokossa, joka vastaa paremmin todellista luonnon aallokkoa, mitään vaikutusta pohjaiskujen määrään ei ilmennyt.

Vaikka aluksen liikkeiden laskenta tehtäisiin todellista syvyyttä vastaavalla uppoumalla, ei näin pieni muutos uppoumassa muuttaisi tulosta sanottavasti.

8 Ketjukuormien laskenta

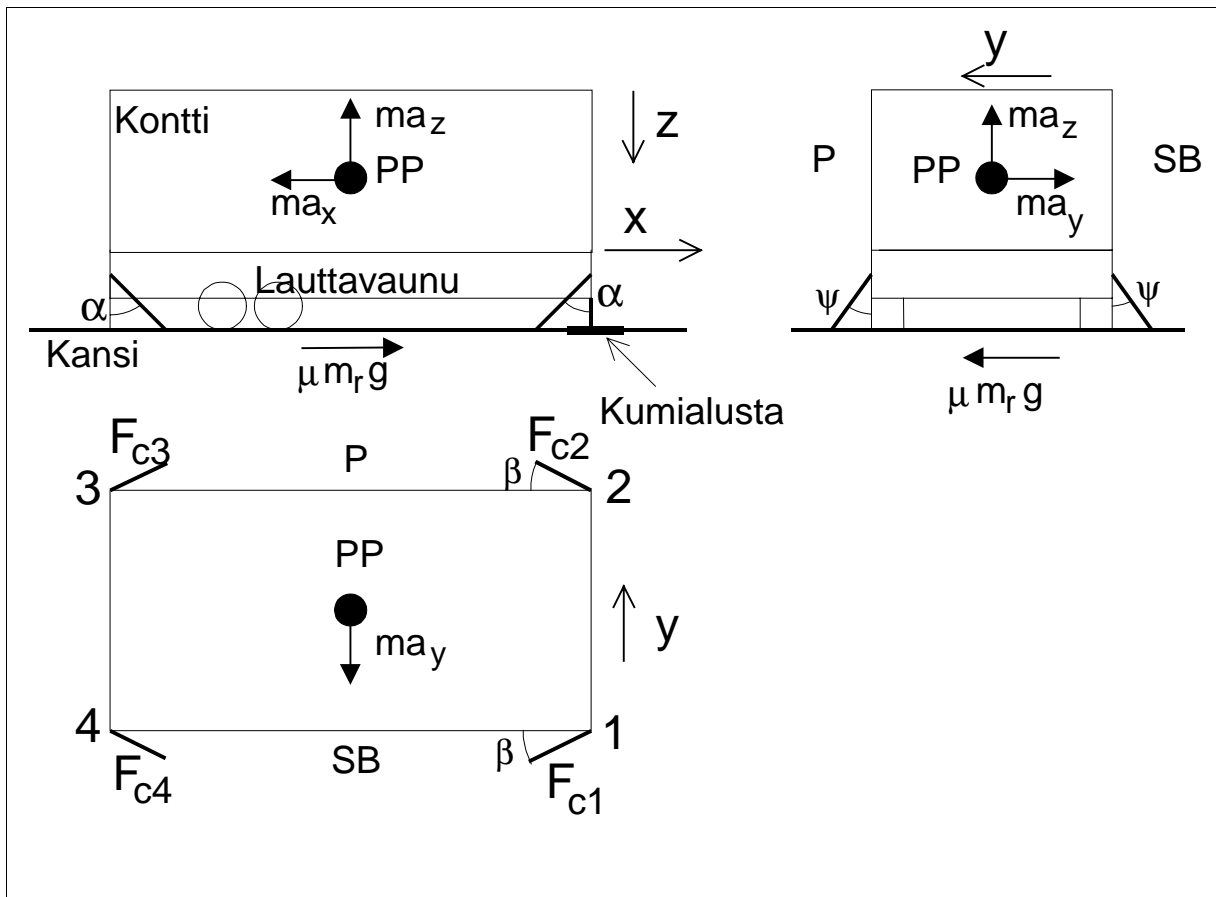
8.1 Menetelmä

Kiinnitysten kuormien laskennassa on otettu huomioon hitausvoimat kontin ja lauttavaunun kiihtyvyyksistä pitkittäis- poikittais- ja pystysuunnassa sekä lauttavaunun ja aluksen kannen välinen kitkavoima. Kuvaan 8.1 on piirretty em. voimat sekä ketjujen kiinnityskulmat ja kuvassa 8.2 on esitetty tarkemmin yhdessä kulmapisteessä ketjun kiinnitysgeometria. Laskelmissa on oletettu, että erisuuntaisista kiihtyvyyksistä lasketut ketjuvoimat voidaan laskea toisistaan riippumatta ja kokonaisvoima saadaan laskemalla yhteen nämä komponentit. Kiihtyvyyksinä on käytetty kappaleessa 7 esitettyjä laskettuja maksimiarvoja. Koska eri kiihtyvyysskomponenttien todellisista vaiheista toisiinsa nähden ei ole olemassa tietoa, on näissä laskelmissa käytetty erilaisia vaihekombinaatioita. Pahin tilanne hitausvoimien suhteen esiintyy silloin kun kaikkien kiihtyvyysskomponenttien maksimiarvot esiintyvät samanaikaisesti siten, että kontin pystykiihtyvyys on alaspäin. Tämän tilanteen lisäksi on laskettu myös kaikki kuusi muuta tilannetta, joissa kiihtyvyysskomponentteja on varioitu sijoittamalla niille arvoksi joko maksimi tai nolla. Taulukossa 8.1 on esitetty em. seitsemän tilannetta.

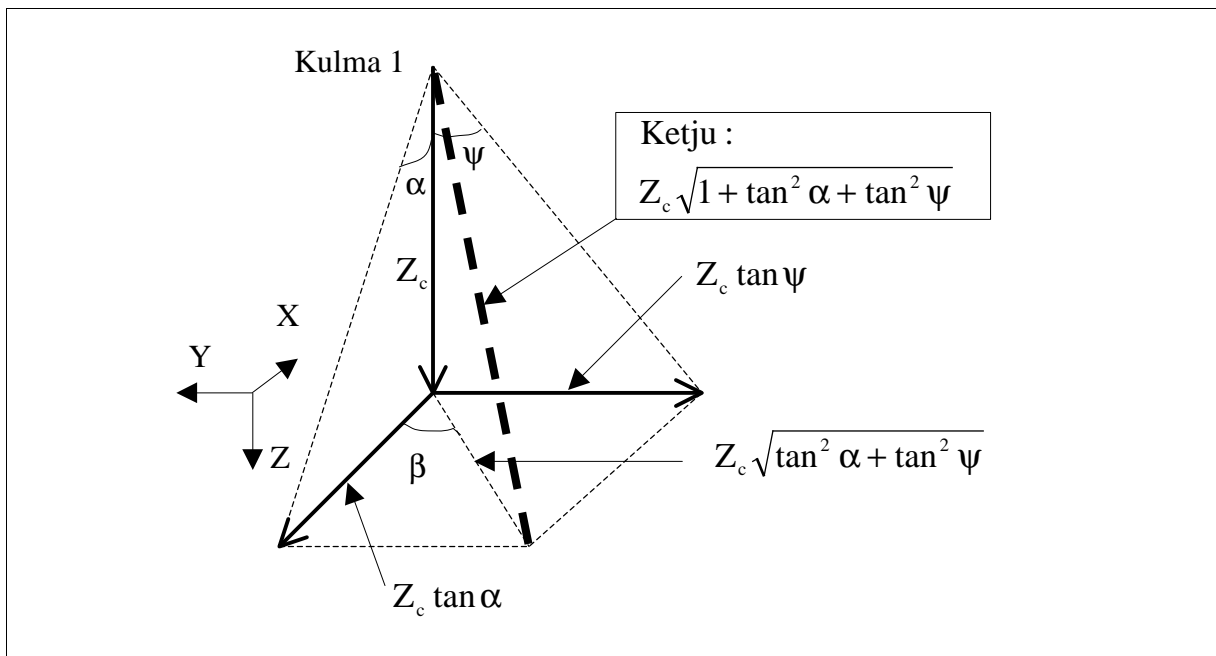
Taulukko 8.1 Laskennassa käytetyt kiihtyvyyksien vaihe-erovariaatiot.

	Tapaus 1	Tapaus 2	Tapaus 3	Tapaus 4	Tapaus 5	Tapaus 6	Tapaus 7
Pitkittäinen kiihtyvyys	Maks.	0	0	Maks.	Maks.	0	Maks.
Poikittainen kiihtyvyys	0	Maks.	0	Maks.	0	Maks.	Maks.
Pystykiihtyvyys	0	0	Maks.	0	Maks.	Maks.	Maks.

Jokaisessa lauttavaunun kulmassa i ketjussa oletetaan vaikuttavan vapaasti asetettavissa oleva esikiristysvoima F_{EKi} . Edellisen raportin laskelmissa tehtiin oletamus, että kontti/lauttavaunuyhdistelmän voimatasapainoyhtälössä esikiristysvoimat kumoavat toisensa pitkittäis- ja poikittaissuunnassa mutta nyt tätä yksinkertaistusta ei voida enää tehdä ja laskentakaavat monimutkaistuvat. Esikiristysvoimien lisäksi syntyy poikittaiskiihtyvyyksistä kahteen ketjuun voimakomponentit vastustamaan hitausvoimia. Samoin tapahtuu pitkittäiskiihtyvyyden tapauksessa. Ketjuvoimien lisäksi myös lauttavaunun ja aluksen kannen välinen kitkavoima tasapainottaa hitausvoimia.



Kuva 8.1 Konttiin vaikuttavat voimat ja ketjujen kiinnityskulmat.



Kuva 8.2 Kiinnitysketjun kulmat eri koordinaattiakselien suhteen kulman 1 kohdalla. Z_c = kiinnityspisteen korkeus kannesta.

Laskelmissa oletetaan, että jos pitkittäis- tai poikittaishiihtyvyyksistä aiheutuvat voimat jäävät pienemmiksi kuin kitkavoimat, lauttavaunu pysyy paikallaan pelkästään staattisen kitkavoiman pitämänä eikä ketjuihin kohdistu muita voimia kuin esikiristysvoimat ja pystykiihtyvyyden aiheuttamat hitausvoimat. Jos todetaan, että pitkittäinen tai poikittainen hitausvoima ylittää kitkavoiman arvon, lasketaan ketjuihin kohdistuvat voimat kontti/lauttavaunuyhdistelmän voimatasapainoyhtälöiden avulla. Koska lauttavaunun pyöriä ei voi lukita, pitkittäissuunnan kitkavoimat syntyvät ainoastaan lauttavaunun etupään tuesta. Tästä syystä pitkittäisen suunnan voimatasapainoyhtälössä 6.1 kitkatermissä on kertoimena 0.5 ja mukana ovat vain etupään esikiristysvoimat 1 ja 2. Kitkavoimien osalta tehdään olettaus, että liikekitka on puolet staattisen kitkan arvosta. Tämä olettaus on tehty kitkavoimamittausten aikahistoriakuvien perusteella. Välittömästi lauttavaunun lähdettyä liikkeelle vetovoiman arvo heilahtelee muutamana kerran noin arvon $F_{\max}/2$ ympärillä, jossa F_{\max} on suurin mitattu voima juuri ennen liikkeellelähtöä.

Kontti/lauttavaunuyhdistelmän voimatasapainoyhtälö pitkittäissuunnassa on:

$$ma_x = \frac{2F_p \tan \alpha}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi}} + \mu \left(0.5m(g - a_z) + \frac{F_{EK1} + F_{EK2}}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi}} \right) + \frac{(-F_{EK1} - F_{EK2} + F_{EK3} + F_{EK4}) \tan \alpha}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi}} \quad (8.1)$$

jossa m = kontin ja lauttavaunun yhteinen massa
 a_x = maksimikiihtyvyys pitkittäissuunnassa
 a_z = maksimikiihtyvyys pystysuunnassa
 g = maan vetovoimakiihtyvyys
 F_p = kahdessa ketjussa esikiristysvoiman lisäksi vaikuttava voima
 μ = lauttavaunun ja aluksen kannen (kumi/jää) välinen kitkakerroin
 F_{EKi} = ketjuissa vaikuttavat esikiristysvoimat

Kitkavoimatermissä kontti/lauttavaunuyhdistelmän painon lisäksi vaikuttaa myös esikiristysvoimien z-suuntaiset komponentit lauttavaunun etupään kulmissa sekä pystykiihtyvyydestä syntyvä ketjujen kuormitusta lisäävä vaikutus.

Poikittaissuunnassa voimatasapainoyhtälö on analogisesti:

$$ma_y = \frac{2F_p \tan \psi}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi}} + \mu \left(m(g - a_z) + \frac{\sum_{i=1}^4 F_{EKi}}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi}} \right) + \frac{(-F_{EK1} + F_{EK2} + F_{EK3} - F_{EK4}) \tan \psi}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi}} \quad (8.2)$$

Pystysuunnassa alustan tukireaktiot kumoavat esikiristysvoimat ja voimatasapainoyhtälöksi tulee:

$$ma_z = \frac{4F_p}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi}} \quad (8.3)$$

Lauttavaunun kulmissa ketjuihin kohdistuvat kokonaiskuormat F_C ovat siis kuvan 8.1 merkintöjen mukaisesti:

$$\text{Kulma 1: } F_{C1} = F_p + F_{EK} = \frac{1}{4} ma_z \sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi} + F_{EK}$$

$$\begin{aligned} \text{Kulma 2: } F_{C2} = & \frac{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi}}{2 \tan \psi} [ma_y - \mu[m(g - a_z)]] - \frac{\mu \sum_{i=1}^4 F_{EKi}}{2 \tan \psi} + \\ & \frac{1}{4} ma_z \sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi} - \frac{1}{2} (-F_{EK1} + F_{EK2} + F_{EK3} - F_{EK4}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kulma 3: } F_{C3} = & \frac{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi}}{2 \tan \alpha} [ma_x - \mu[0.5m(g - a_z)]] - \frac{\mu(F_{EK1} + F_{EK2})}{2 \tan \alpha} \\ & \frac{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi}}{2 \tan \psi} [ma_y - \mu[m(g - a_z)]] - \frac{\mu \sum_{i=1}^4 F_{EKi}}{2 \tan \psi} + \\ & \frac{1}{4} ma_z \sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi} + F_{EK1} - F_{EK3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kulma 4: } F_{C4} = & \frac{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi}}{2 \tan \alpha} [ma_x - \mu[0.5m(g - a_z)]] - \frac{\mu(F_{EK1} + F_{EK2})}{2 \tan \alpha} + \\ & \frac{1}{4} ma_z \sqrt{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \psi} - 0.5(-F_{EK1} - F_{EK2} + F_{EK3} + F_{EK4}) \end{aligned}$$

Edellä olevat kaavat pätevät vain tässä raportissa valituilla maksimikihtyvyyksien hetkittäisillä suunnilla. Valitsemalla toisella tavalla maksimiarvojen suunnat saadaan samat lausekkeet, mutta ne vaikuttavat muissa ketjuissa kuin edellä. Näinollen maksimikuorman suuruus voidaan arvioida, mutta ei sitä missä ketjussa se esiintyy.

8.2 Laskentatapaukset

Ketjuvoimien laskennassa käytetyt kontin absoluuttisten kiihtyvyyksien maksimiarvot otettiin tapauksesta, jossa kokonaisaika on 4 tuntia ja maksimikihtyvyyden ylitystodennäköisyys on 20 %. Tämä vastaa raportissa VALC463 esitettyjen tulosten laskentatilannetta.

Em. raportin tulosten perusteella voitiin todeta, että todellista merenkäyntiä paremmin kuvaava lyhytharjainen aallokko antaa suuremmat kiihtyvyydet kontille, joten tässä raportissa esitetyt tulokset on laskettu ainoastaan lyhytharjaisen aallokon tapaukselle. Lisäksi aallokon suhteellinen kohtauskulma 150 astetta jätettiin pois, koska 30 asteen ero ei vaikuta merkittävästi tuloksiin. Lyhytharjainen aallokko ottaa lisäksi osittain huomioon hieman sivusta tulevien aaltojen vaikutusta.

Laskelmissa käytettiin kahdenlaisia arvoja ketjujen kulmina koordinaattiakselien suhteen: 1): $\alpha = 45$, $\beta = 5$ ja $\psi = 5$ astetta ja 2): $\alpha = 60$, $\beta = 2.9$ ja $\psi = 5.0$ astetta. β -kulma ei ole riippumaton toisista kulmista vaan sen jälkeen, kun α - ja ψ -kulmat on asetettu, määräytyy β -kulman arvo ketjun geometriasta.

Ketjuissa vaikuttavat voimat on laskettu edelleen useilla esikiristysvoiman ja kitkakertoimen arvoilla vaikka esikiristysvoimista ja kitkakertoimesta onkin nyt mittausarvojakin käytettävissä. Mittaustuloksissa esiintyy kuitenkin niin paljon hajontaa varsinkin esikiristysvoiman tapauksessa, että mitään varmaa yksikäsitteistä arvoa em. suureille ei voi antaa.

8.3 Tulokset

Kuvissa 8.3 – 8.10 on esitetty laskentatapauksien 3, 5, 6 ja 7 ketjuvoimat kulmassa 3, jossa esiintyi suurin voima laskelmissa käytetyillä maksimikihtyvyyksien suunnilla. Kuvasivuilla yläkuva vastaa ketjujen kiinnityskulmia $\alpha=45$ ja $\psi=5$ astetta ja alempi kiinnityskulmia $\alpha=60$ ja $\psi=5$ astetta. Voimat on esitetty aallokon kohtauskulmalla 180 astetta (vasta-aallokko). Muita laskentatapauksia ei ole esitetty, koska niissä kiihtyvyydet jäävät niin pieniksi, että kitkavoimat riittävät pitämään lauttavaunun kiinni kannessa ja ketjuissa vallitsee ainoastaan esikiristysvoimat.

Taulukoissa 8.2 – 8.8 on esitetty kaikkien seitsemän laskentatapauksen ketjuvoimat keskimääräisellä 20 kN esikiristysvoimalla ja keskimääräisellä kitkakertoimen 0.4 arvolla laskettuna. Koska muutamassa tapauksessa pienikin vähennys kitkakertoimen arvossa johtaa lauttavaunun liikkellehtöön ja voimien huomattavaan kasvuun, on taulukoissa annettu ketjuvoimien arvot myös kitkakertoimen arvolla 0.35.

8.4 Johtopäätökset

Ketjuvoimien laskentatuloksista voidaan vetää seuraavat johtopäätökset:

1. Kiinnitysketjujen epäsymmetrisellä esikiristyksellä ei ole oleellista vaikutusta syntyneisiin ketjuvoimiin. Esikiristys vetää tosin lauttavaunua tiukemmin kantta vasten ja lisää näin kitkavoimaa, mutta kiristuksen suhteellinen osuus alaspäin suuntautuvasta kokonaisvoimasta ei ole kovin suuri. Lauttavaunun ja kontin painovoimaan verrattuna se on luokkaa neljäsosa, jos jokaisessa neljässä ketjussa on keskimääräinen 20 kN:n esikiristysvoima.
2. Paljon suurempi vaikutus ketjuvoimiin on ketjujen kiinnityskulmalla kannen suhteen. Kun α -kulmaa lisättiin 45 asteesta 60 asteeseen, kasvoivat ketjuvoimat 20 – 40 % tapauksesta riippuen.

3. Pitkittäisen ja poikittaisen kiihtyvyyksmaksimin yhtäaikainen esiintyminen ei pelkää riittä esikiristysvoimia suurempien voimien synnyttämiseen. Kitkavoimat riittävät tällöin pitämään lauttavaunun kiinni kannessa. Suurempien voimien aikaansaamiseen tarvitaan mukaan vielä pystykiihtyvyyden komponentti, jonka vaikutus perustuu sekä syntyneisiin pystyhitausvoimiin että kitkavoiman huomattavaan pienenemiseen. Lasketut pystykiihtyvyyden maksimit olivat luokkaa puolet maan vetovoimakihtyvyydestä eli pelkää hitausvoimasta syntyy jokaiseen ketjuun esikiristuksen kanssa jopa yli 90 kN vetovoima kiinnityskulmasta riippuen (taulukko 8.4). Lisäksi lauttavaunun ja kannen välinen kitkavoima putoaa kyseisessä tilanteessa noin puoleen staattiseen tilanteeseen verrattuna. Kun tällä hetkellä aluksella sattuu olemaan vaakasuuntaista kiihtyvyyttä, hitausvoimien suuruus saattaa kasvaa tasapainottavaa kitkavoimaa suuremmaksi ja ketjun tai koukun murtolujuus ylittyy.

9 Yhteenveto

Kontin kokemat maksimikihtyvyydet eivät ole kovinkaan herkkiä valittujen laskentaparametrien (toiminta-aika ja maksimin ylitystodennäköisyys) suhteen. Maksimissaan erot suurimman ja pienimmän lasketun kiihtyvyyden välillä eri lähtöarvoilla ovat n. 10 %. Verrattaessa laskettuja kiihtyvyyksiä IMO:n mitoituskihtyvyyksiin (Taulukko 9.1) havaitaan, että lasketut pitkittäis- ja poikittaiskihtyvyydet jäävät alle IMO:n ohjeen antamien arvojen mutta laskettu pystykiihtyvyys ylittää ohjeen arvon n. 30 %.

Vaikka pystykiihtyvyyden osalta lasketut kiihtyvyydet ylittivät IMO:n taulukkoarvon, se ei tarkoita sitä, että olisi ylitetty mitään sallittuja kiihtyvyyksrajoja. Tämä kertoo vain sen, että kyseisen kokoluokan laivalla ja ajatulla nopeudella alus koki kiihtyvyyksiä jotka ovat hyvin harvinaisia.

Tämä käy ilmi myös vertaamalla merkitsevän aallonkorkeuden ja zerocrossing-periodin esiintymistodennäköisyyttä mitattuihin tilastotietoihin Itämerellä. Global Wave Statistics (Hogben et al. 1986), joka perustuu koko Itämeren alueen mittauksiin antaa joulu-maaliskuun aikana esiintyvälle yli 5 m korkealle aallokelle todennäköisyydeksi 1.2 % ja yli 6 m korkealle aallokelle 0.3 %. Toisin sanoen yli 6 m korkea aallokko esiintyy koko Itämerellä keskimäärin yhtenä päivänä vuodessa. MS Oihonnan kokema aallokko oli myös jyrkempää kuin keskimäärin vastaavan korkuisissa aallokoissa. Pystykiihtyvyyden osalta tilanteen tekee erityisen epäedulliseksi se, että kontin pystykiihtyvyyden siirtofunktion huippu osuu taajuudeltaan juuri aallokon energiaspektrin huipun kohdalle.

Taulukko 9.1 Lasketut maksimikiikthyvydet verrattuna IMO:n mitoituskiihtyvyyksiin.

		Pitkähajainen aal- lokko		Lyhythajainen aal- lokko		IMO:n mitoitus- kiih- tyvyys
		150 ast sivuvast.	180 ast vasta	150 ast sivuvast.	180 ast vasta	
Kiihtyvyyksien maksimit:						
T_{tot} = 4.0 h, p = 20 %						
Pitkittäiskiihtyvyys a _{xmax}	m/s ²	1.3	1.2	1.2	1.3	1.5
Poikittäiskiihtyvyys a _{ymax}	m/s ²	1.7	0.0	2.3	1.9	3.3
Pystykiihtyvyys a _{zmax}	m/s ²	5.0	4.5	4.9	4.9	3.8
T_{tot} = 4.0 h, p = 50 %						
Pitkittäiskiihtyvyys a _{xmax}	m/s ²	1.3	1.2	1.2	1.2	1.5
Poikittäiskiihtyvyys a _{ymax}	m/s ²	1.6	0.0	2.2	1.8	3.3
Pystykiihtyvyys a _{zmax}	m/s ²	4.7	4.3	4.6	4.7	3.8
T_{tot} = 2.0 h, p = 20 %						
Pitkittäiskiihtyvyys a _{xmax}	m/s ²	1.3	1.2	1.2	1.2	1.5
Poikittäiskiihtyvyys a _{ymax}	m/s ²	1.6	0.0	2.2	1.9	3.3
Pystykiihtyvyys a _{zmax}	m/s ²	4.8	4.3	4.7	4.7	3.8
T_{tot} = 2.0 h, p = 50 %						
Pitkittäiskiihtyvyys a _{xmax}	m/s ²	1.2	1.1	1.1	1.2	1.5
Poikittäiskiihtyvyys a _{ymax}	m/s ²	1.5	0.0	2.1	1.8	3.3
Pystykiihtyvyys a _{zmax}	m/s ²	4.5	4.1	4.4	4.5	3.8

Slamming-iskujen osuutta kontin kokemiin pystykiihtyvyyksiin on hyvin vaikea arvioida. Kvalitatiivisesti voidaan sanoa, että pohjaan kontin kohdalle on todennäköisesti kohdistunut lukuisia voimakkaita, myös Ochin kriteerin täyttäviä, pohjaiskuja koska aluksen pohja perässä oli kyseisessä lastitilanteessa laajalta alueelta tyynen veden pinnan yläpuolella ja sen lisäksi melkein vaakasuorassa. Myös keula on perpendikkelin kohdalla noussut useita kertoja vedestä ja iskeytynyt aaltoon. Nämä iskut ovat todennäköisesti herättäneet runkopalkin värähtelymuotoja, jotka tuntuvat värähtelykiihtyvyytenä myös aluksen peräpäässä kontin kohdalla.

MS Oihonnan sääkannella olleen säiliökontin kiinnitysketjuihin onnettomuusyönä vallinneessa merenkäynnissä syntyneitä voimia on arvioitu laskennallisesti. Laskelmia varten mitattiin aluksen kannen ja lauttavaunun välisen kitkakertoimen arvoja ja kontin kiinnitykseen käytettävien koneellisesti kiristettävien vanttiruuvien aikaansaamia esikiristysvoimia ketjuissa. Tutkittiin myös mikä vaikutus kiinnitysvoimiin on epäsymmetrisellä esikiristyksellä ja ketjujen kiinnityskulmalla kannen suhteen.

Kitkakertoimien mittauksia aluksen jäisen kannen ja lauttavaunun etujalan alla olevan kumin välillä ei tiettävästi ole aikaisemmin tehty. Vanttiruuvien voimamittaukset paljastivat, että vanttiruuveissa on suuria eroja kiristysvoiman aikaansaatamisessa. Lisäksi kuudesosa mittaukseen satunnaisesti valituista vanttiruuveista olivat käyttökeltottomia.

Ketjuvoimien laskennassa on huomioitu ainoastaan aluksen ns. jäykän kappaleen liikkeistä aiheutuneet kiihtyvyydet ja niiden synnyttämät voimat kiinnitysketjuihin. Todellisuudessa kontin kiinnitukseen kohdistuneisiin voimiin on vaikuttanut lisäksi sekä keulassa että perässä

syntyneiden paikallisten pohjaiskujen aiheuttamat pääasiassa rungon ensimmäisellä ominais-
taajuudella värähtelevät kiihtyvyydet jotka vaimenevat muutamien heilahdusten jälkeen. Poh-
jaiskujen synnyttämien kiihtyvyyksien tarkempi määrittäminen edellyttää, että aluksesta teh-
dään melko tarkka elementtimalli ja kiihtyvyydet lasketaan raskaan FEM-analyysin avulla.
Tässä tutkimuksessa värähtelykiihtyvyyden osuutta ei ole laskettu mutta sen osuus ketjuvoi-
mien syntymiseen voidaan karkeasti arvioida.

Haruskoukku/ketju-yhdistelmän väsymislujuusanalyysin (Rahka 1998) mukaan ketjun veto-
lujuus on 146 kN. Jos koukku on kiinnitetty lauttavaunuun siten, että se ei pääse asettumaan
samansuuntaiseksi ketjun kanssa, syntyy koukkuun vedon lisäksi taivuttava kuormitus. Tämä
alentaa koukun vetolujuutta väsyttävälle kuormitukselle siten, että koukun kulman ollessa
suurempi kuin n. 6 astetta alkaa itse koukun vetolujuus olla pienempi kuin ketjun. Kulman
ollessa 10 astetta koukun vetolujuus on enää vain n. 94 kN. Koska säiliökontin kiinnitys oli
murtunut koukusta eikä ketjusta, on murtumisen aiheuttanut voima ollut pienempi kuin ketjun
vetolujuus 146 kN ja koukku on ollut ainakin 6 astetta vinossa ketjuun nähden.

Lasketut kiinnitysvoimat ketjuissa ovat lähellä arvoa 100 kN jo siinäkin tapauksessa, että ole-
tetaan konttiin kohdistuneen laskennallisesti arvioitu 4 tunnin aikana 20 % todennäköisyydellä
esiintynyt suurin pystykiihtyvyys. Kiihtyvyydet vaakasuunnassa saattavat tämän lisäksi olla
niin suuria, että kitkavoimat eivät enää tässä tilanteessa riitä tasapainottamaan vaakasuuntaisia
hitausvoimia vaan lauttavaunu liikahtaa ja ketjuihin kohdistunut voima kasvaa välittömästi
vielä lisää. Laskelmat paljastivat lisäksi, että tilanteesta riippuen pienikin muutos kitkakerto-
imen arvossa eli 0.4 -> 0.35 saattaa vähentää kitkavoimaa ratkaisevasti. Säiliökontti pääsee
liikahtamaan ja kiinnityksiin kohdistuvat voimat kasvavat selvästi yli ketjun ja koukun veto-
lujuuden (taulukko 8.7). Ero kitkakertoimessa on hyvinkin mahdollinen, koska se on samaa
suuruusluokkaa kuin mittauksen keskihajonta. Voidaan karkeasti olettaa, että pohjaiskut voi-
vat synnyttää luokkaa 1 g olevia kiihtyvyyksisarvoja jäykän kappaleen kiihtyvyyksien lisäksi. Jos
näin suuri iskumainen kiihtyvyys on sattunut osumaan lähellä laskelmissa käytetyn maksi-
maalisen pystykiihtyvyyden huippua, kiihtyvyyksien yhteisvaikutus on melko todennäköisesti
riittänyt aiheuttamaan kiinnitykset murtaneen voiman johonkin kiinnitysketjuista.

Edellä olevan perusteella voidaan siis esittää mahdollisia olosuhteita, joissa säiliökontin kiin-
nitykset ovat voineet murtua:

1. Aluksen peräosaan on vaikuttanut suuri, luokkaa 5 m/s^2 suuruinen alaspäin suun-
tautuva kiihtyvyys. Jos säiliökontin kiinnitysketjujen kulmat kanteen nähden ovat
olleet epäedullisia (tapaus $\alpha = 60$, $\beta = 2.9$ ja $\psi = 5.0$ astetta) ja koukku on jäänyt n.
10 asteen kulmaan ketjuun verrattuna, riittää laskelmien mukaan yksin pystykiihty-
vyys synnyttämään koukun murtavan voiman.
2. Jos suuren pystykiihtyvyyden lisäksi samalla hetkellä sääkanteen lauttavaunun alla
kohdistui myös poikittais- tai pitkittäissuuntainen kiihtyvyydskomponentti, on lautta-
vaunua kannessa kiinnipitävä kitkavoima saattanut jäädä riittämättömäksi estämään
lauttavaunun liikahtamista vaakasuunnassa. Lisäksi pienikin ero todellisen kitka-
kertoimen ja mittausten keskiarvon välillä saattaa pahentaa tilannetta suuresti. Sa-
malla hetkellä, kun lauttavaunu liikahtaa, kasvaa voima koukussa suuremmaksi kuin
sen vetolujuus.
3. Edelleen suuren pystykiihtyvyyden kanssa samanaikaisesti aluksen pohjaan perän
alle tai jopa sen keulaan kohdistuva pohjaisku synnyttää nopeasti värähtelevän kiihty-
vyyskomponentin lauttavaunun alla olevassa kannessa. Sen vaikutus summautuu

hitaasti vaihtelevan kiihtyvyyden kanssa synnyttäen hetkellisesti niin suuren kiihtyvyyksiinkin alaspäin, että kontin ja lauttavaunun yhdistelmän hitausvoimat ylittävät kourun vetolujuuden.

Viitteet

Hogben, A. I., Dacunha, N. M. & Olliver, G. F. 1986. Global Wave Statistics. British Maritime Technology.

Ochi, M. K. 1964. Prediction of occurrence and severity of ship slamming at sea. Fifth Symposium on Naval Hydrodynamics, Bergen, Norway, September, Office of Naval Research, pp. 545 – 596.

Raff, A. I. 1972. Program SCORES – Ship structural response in waves. Report SSC-230, U. S. Coast Guard Headquarters, Washington, D. C.

Rahka, K. 1998. Muistio haruskourun lujuudesta. VTT Valmistustekniikka, päivätty 20.3.1998, tarkistus 25.3.1998.

Taulukko 8.2 Ketjuvoimat laskettuna keskimääräisillä esikiristysvoiman 20 kN ja kitkakertoimen 0.4 arvoilla. Taulukossa on merkitty sulkuihin myös kitkakertoimella 0.35 lasketut voimat. Tapaus 1: kiihtyvyysskomponenteista vain **pitkittäissuunnan** maksimi mukana, muut nolliä. Lyhytharjainen vasta-aallokko.

	Kulma 1 (SB etu) [kN]	Kulma 2 (BB etu) [kN]	Kulma 3 (BB taka) [kN]	Kulma 4 (SB taka) [kN]
<u>Ketjukulmat: $\alpha=45^\circ$, $\psi=5^\circ$, $\beta=5^\circ$</u>				
Kaikissa kulmissa 100 %	20 (20)	20 (20)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 1 50 %, muut 100 %	10 (10)	20 (20)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 2 50 %, muut 100 %	20 (20)	10 (10)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 3 50 %, muut 100 %	20 (20)	20 (20)	10 (10)	20 (20)
Kulmassa 4 50 %, muut 100 %	20 (20)	20 (20)	20 (20)	10 (10)
<u>Ketjukulmat: $\alpha=60^\circ$, $\psi=5^\circ$, $\beta=2.9^\circ$</u>				
Kaikissa kulmissa 100 %	20 (20)	20 (20)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 1 50 %, muut 100 %	10 (10)	20 (20)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 2 50 %, muut 100 %	20 (20)	10 (10)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 3 50 %, muut 100 %	20 (20)	20 (20)	10 (10)	20 (20)
Kulmassa 4 50 %, muut 100 %	20 (20)	20 (20)	20 (20)	10 (10)

Taulukko 8.3 Ketjuvoimat laskettuna keskimääräisillä esikiristysvoiman 20 kN ja kitkakertoimen 0.4 arvoilla. Taulukossa on merkitty sulkuihin myös kitkakertoimella 0.35 lasketut voimat. Tapaus 2: kiihtyvyysskomponenteista vain **poikittäissuunnan** maksimi mukana, muut nolliä. Lyhytharjainen vasta-aallokko.

	Kulma 1 (SB etu) [kN]	Kulma 2 (BB etu) [kN]	Kulma 3 (BB taka) [kN]	Kulma 4 (SB taka) [kN]
<u>Ketjukulmat: $\alpha=45^\circ$, $\psi=5^\circ$, $\beta=5^\circ$</u>				
Kaikissa kulmissa 100 %	20 (20)	20 (20)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 1 50 %, muut 100 %	10 (10)	20 (20)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 2 50 %, muut 100 %	20 (20)	10 (10)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 3 50 %, muut 100 %	20 (20)	20 (20)	10 (10)	20 (20)
Kulmassa 4 50 %, muut 100 %	20 (20)	20 (20)	20 (20)	10 (10)
<u>Ketjukulmat: $\alpha=60^\circ$, $\psi=5^\circ$, $\beta=2.9^\circ$</u>				
Kaikissa kulmissa 100 %	20 (20)	20 (20)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 1 50 %, muut 100 %	10 (10)	20 (20)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 2 50 %, muut 100 %	20 (20)	10 (10)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 3 50 %, muut 100 %	20 (20)	20 (20)	10 (10)	20 (20)
Kulmassa 4 50 %, muut 100 %	20 (20)	20 (20)	20 (20)	10 (10)

Taulukko 8.4 Ketjuvoimat laskettuna keskimääräisillä esikiristysvoiman 20 kN ja kitkakertoimen 0.4 arvoilla. Taulukossa on merkitty sulkuihin myös kitkakertoimella 0.35 lasketut voimat. Tapaus 3: kiihtyvyysskomponenteista vain **pystysuunnan** maksimi mukana, muut nolliä. Lyhytharjainen vasta-aallokko.

	Kulma 1 (SB etu) [kN]	Kulma 2 (BB etu) [kN]	Kulma 3 (BB taka) [kN]	Kulma 4 (SB taka) [kN]
<u>Ketjukulmat: $\alpha=45^\circ$, $\psi=5^\circ$, $\beta=5^\circ$</u>				
Kaikissa kulmissa 100 %	72 (72)	72 (72)	72 (72)	72 (72)
Kulmassa 1 50 %, muut 100 %	62 (62)	72 (72)	72 (72)	72 (72)
Kulmassa 2 50 %, muut 100 %	72 (72)	62 (62)	72 (72)	72 (72)
Kulmassa 3 50 %, muut 100 %	72 (72)	72 (72)	62 (62)	72 (72)
Kulmassa 4 50 %, muut 100 %	72 (72)	72 (72)	72 (72)	62 (62)
<u>Ketjukulmat: $\alpha=60^\circ$, $\psi=5^\circ$, $\beta=2.9^\circ$</u>				
Kaikissa kulmissa 100 %	94 (94)	94 (94)	94 (94)	94 (94)
Kulmassa 1 50 %, muut 100 %	84 (84)	94 (94)	94 (94)	94 (94)
Kulmassa 2 50 %, muut 100 %	94 (94)	84 (84)	94 (94)	94 (94)
Kulmassa 3 50 %, muut 100 %	94 (94)	94 (94)	84 (84)	94 (94)
Kulmassa 4 50 %, muut 100 %	94 (94)	94 (94)	94 (94)	84 (84)

Taulukko 8.5 Ketjuvoimat laskettuna keskimääräisillä esikiristysvoiman 20 kN ja kitkakertoimen 0.4 arvoilla. Taulukossa on merkitty sulkuihin myös kitkakertoimella 0.35 lasketut voimat. Tapaus 4: kiihtyvyysskomponenteista **pitkittäis- ja poikittaissuunnan** maksimit mukana, pystysuunta nolla. Lyhytharjainen vasta-aallokko.

	Kulma 1 (SB etu) [kN]	Kulma 2 (BB etu) [kN]	Kulma 3 (BB taka) [kN]	Kulma 4 (SB taka) [kN]
<u>Ketjukulmat: $\alpha=45^\circ$, $\psi=5^\circ$, $\beta=5^\circ$</u>				
Kaikissa kulmissa 100 %	20 (20)	20 (20)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 1 50 %, muut 100 %	10 (10)	20 (20)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 2 50 %, muut 100 %	20 (20)	10 (10)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 3 50 %, muut 100 %	20 (20)	20 (20)	10 (10)	20 (20)
Kulmassa 4 50 %, muut 100 %	20 (20)	20 (20)	20 (20)	10 (10)
<u>Ketjukulmat: $\alpha=60^\circ$, $\psi=5^\circ$, $\beta=2.9^\circ$</u>				
Kaikissa kulmissa 100 %	20 (20)	20 (20)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 1 50 %, muut 100 %	10 (10)	20 (20)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 2 50 %, muut 100 %	20 (20)	10 (10)	20 (20)	20 (20)
Kulmassa 3 50 %, muut 100 %	20 (20)	20 (20)	10 (10)	20 (20)
Kulmassa 4 50 %, muut 100 %	20 (20)	20 (20)	20 (20)	10 (10)

Taulukko 8.6 Ketjuvoimat laskettuna keskimääräisillä esikivistysvoiman 20 kN ja kitkakertoimen 0.4 arvoilla. Taulukossa on merkitty sulkuihin myös kitkakertoimella 0.35 lasketut voimat. Tapaus 5: kiihtyvyysskomponenteista **pitkittäis- ja pystysuunnan** maksimit mukana, poikittainen nolla. Lyhytharjainen vasta-aallokko.

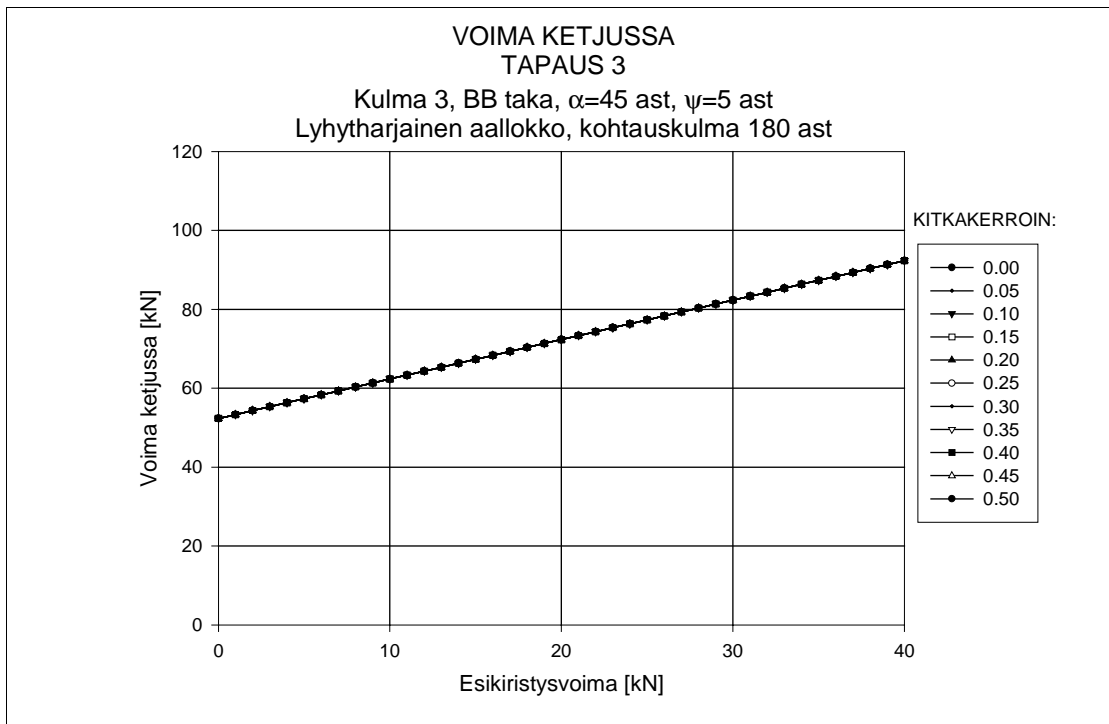
	Kulma 1 (SB etu) [kN]	Kulma 2 (BB etu) [kN]	Kulma 3 (BB taka) [kN]	Kulma 4 (SB taka) [kN]
<u>Ketjukulmat: $\alpha=45^\circ$, $\psi=5^\circ$, $\beta=5^\circ$</u>				
Kaikissa kulmissa 100 %	72 (72)	72 (72)	85 (87)	85 (87)
Kulmassa 1 50 %, muut 100 %	62 (62)	72 (72)	81 (83)	81 (83)
Kulmassa 2 50 %, muut 100 %	72 (72)	62 (62)	81 (83)	81 (83)
Kulmassa 3 50 %, muut 100 %	72 (72)	72 (72)	80 (82)	90 (92)
Kulmassa 4 50 %, muut 100 %	72 (72)	72 (72)	90 (92)	80 (82)
<u>Ketjukulmat: $\alpha=60^\circ$, $\psi=5^\circ$, $\beta=2.9^\circ$</u>				
Kaikissa kulmissa 100 %	94 (94)	94 (94)	105 (107)	105 (107)
Kulmassa 1 50 %, muut 100 %	84 (84)	94 (94)	101 (102)	101 (102)
Kulmassa 2 50 %, muut 100 %	94 (94)	84 (84)	101 (102)	101 (102)
Kulmassa 3 50 %, muut 100 %	94 (94)	94 (94)	100 (102)	110 (112)
Kulmassa 4 50 %, muut 100 %	94 (94)	94 (94)	110 (112)	100 (101)

Taulukko 8.7 Ketjuvoimat laskettuna keskimääräisillä esikivistysvoiman 20 kN ja kitkakertoimen 0.4 arvoilla. Taulukossa on merkitty sulkuihin myös kitkakertoimella 0.35 lasketut voimat. Tapaus 6: kiihtyvyysskomponenteista **poikittais- ja pystysuunnan** maksimit mukana, pitkittäissuunta nolla. Lyhytharjainen vasta-aallokko.

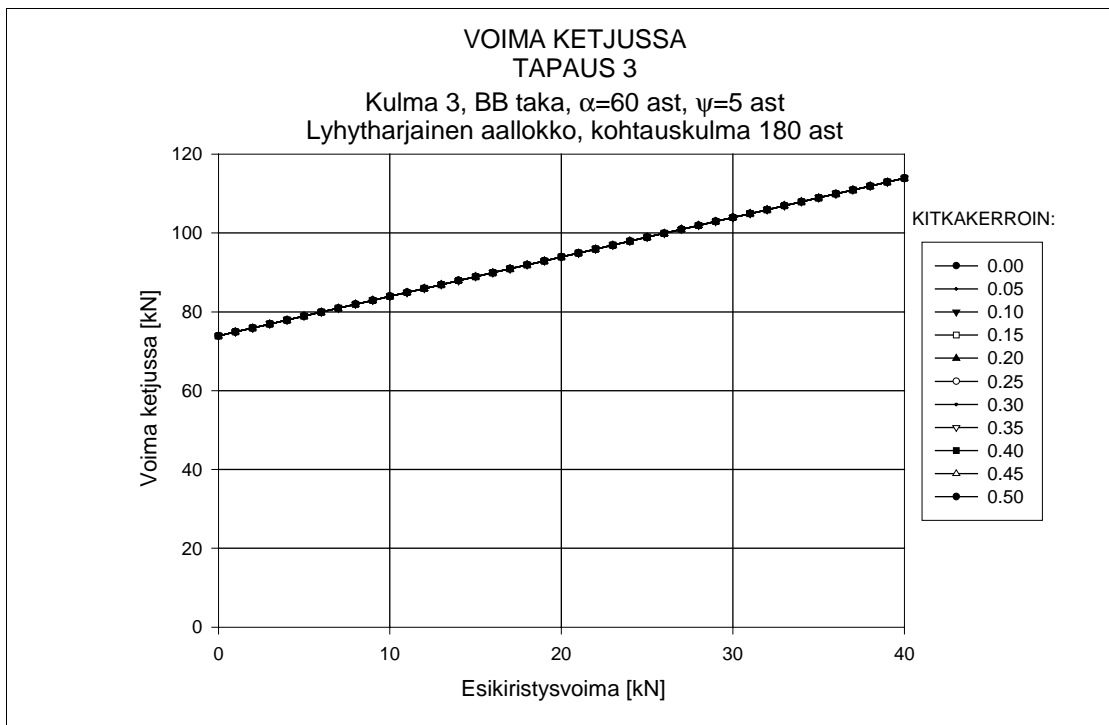
	Kulma 1 (SB etu) [kN]	Kulma 2 (BB etu) [kN]	Kulma 3 (BB taka) [kN]	Kulma 4 (SB taka) [kN]
<u>Ketjukulmat: $\alpha=45^\circ$, $\psi=5^\circ$, $\beta=5^\circ$</u>				
Kaikissa kulmissa 100 %	72 (72)	72 (72)	72 (72)	72 (72)
Kulmassa 1 50 %, muut 100 %	62 (62)	72 (256)	72 (256)	72 (72)
Kulmassa 2 50 %, muut 100 %	72 (72)	62 (256)	72 (266)	72 (72)
Kulmassa 3 50 %, muut 100 %	72 (72)	72 (266)	62 (256)	72 (72)
Kulmassa 4 50 %, muut 100 %	72 (72)	72 (256)	72 (256)	62 (62)
<u>Ketjukulmat: $\alpha=60^\circ$, $\psi=5^\circ$, $\beta=2.9^\circ$</u>				
Kaikissa kulmissa 100 %	94 (94)	94 (379)	94 (379)	94 (94)
Kulmassa 1 50 %, muut 100 %	84 (84)	94 (384)	94 (384)	94 (94)
Kulmassa 2 50 %, muut 100 %	94 (94)	84 (384)	94 (394)	94 (94)
Kulmassa 3 50 %, muut 100 %	94 (94)	94 (394)	84 (384)	94 (94)
Kulmassa 4 50 %, muut 100 %	94 (94)	94 (384)	94 (384)	84 (84)

Taulukko 8.8 Ketjuvoimat laskettuna keskimääräisillä esikiristysvoiman 20 kN ja kitkakertoimen 0.4 arvoilla. Taulukossa on merkitty sulkuihin myös kitkakertoimella 0.35 lasketut voimat. Tapaus 7: kiihtyvyysskomponenteista **pitkittäis-, poikittais- ja pystysuunnan** maksimit mukana. Lyhytharjainen vasta-aallokko.

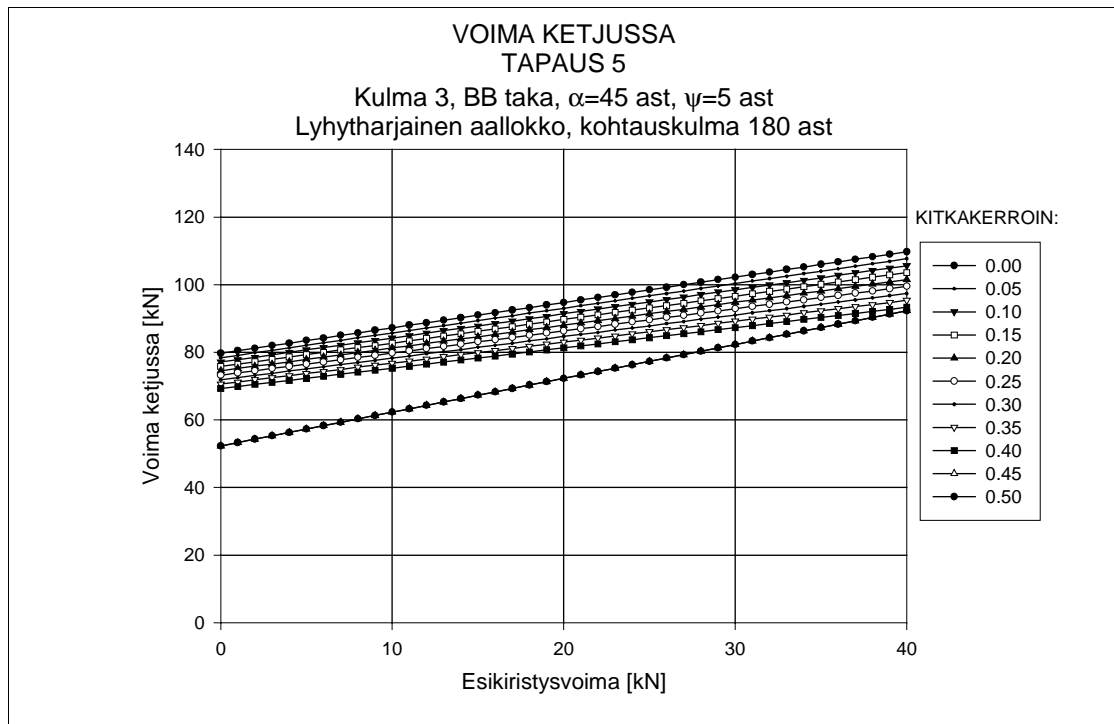
	Kulma 1 (SB etu) [kN]	Kulma 2 (BB etu) [kN]	Kulma 3 (BB taka) [kN]	Kulma 4 (SB taka) [kN]
<u>Ketjukulmat: $\alpha=45^\circ$, $\psi=5^\circ$, $\beta=5^\circ$</u>				
Kaikissa kulmissa 100 %	72 (72)	210 (251)	223 (266)	85 (87)
Kulmassa 1 50 %, muut 100 %	62 (62)	216 (256)	225 (267)	81 (83)
Kulmassa 2 50 %, muut 100 %	72 (72)	216 (256)	235 (277)	81 (83)
Kulmassa 3 50 %, muut 100 %	72 (72)	226 (266)	234 (276)	90 (92)
Kulmassa 4 50 %, muut 100 %	72 (72)	216 (256)	234 (276)	80 (82)
<u>Ketjukulmat: $\alpha=60^\circ$, $\psi=5^\circ$, $\beta=2.9^\circ$</u>				
Kaikissa kulmissa 100 %	94 (94)	326 (379)	338 (392)	105 (107)
Kulmassa 1 50 %, muut 100 %	84 (84)	332 (384)	340 (393)	101 (102)
Kulmassa 2 50 %, muut 100 %	94 (94)	332 (384)	350 (403)	101 (102)
Kulmassa 3 50 %, muut 100 %	94 (94)	342 (394)	349 (402)	110 (112)
Kulmassa 4 50 %, muut 100 %	94 (94)	332 (384)	349 (402)	100 (102)



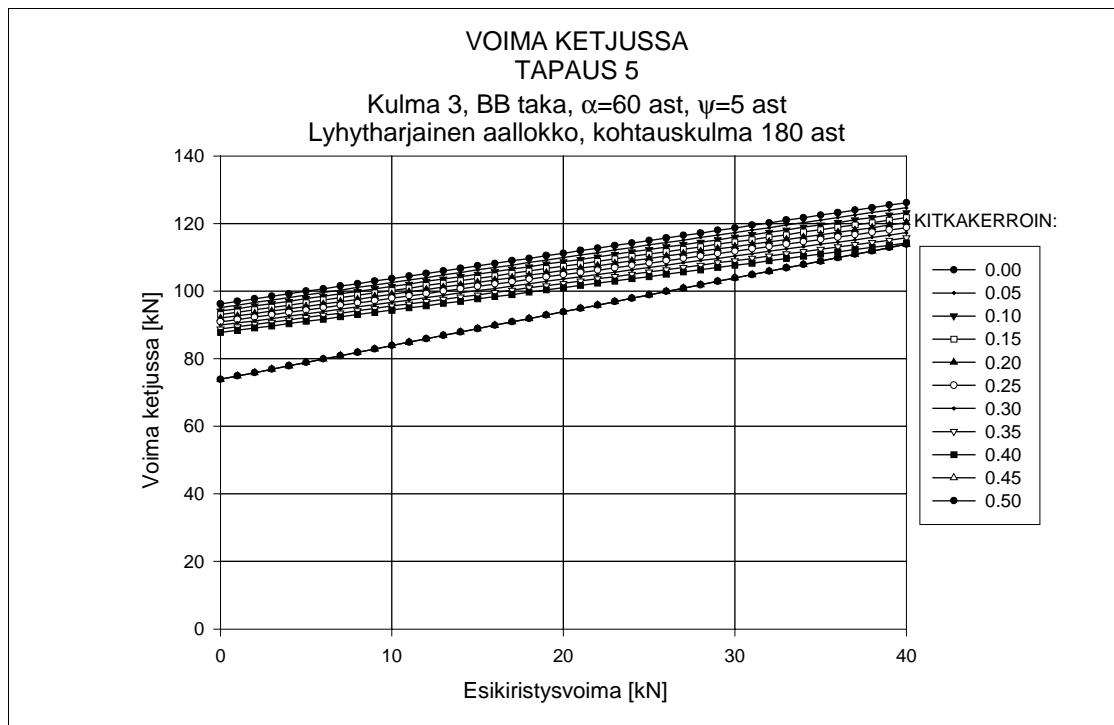
Kuva 8.3 Kulmassa 3 vaikuttava ketjuvoima esikiristysvoiman ja kitkakertoimen funktiona. Tapaus 3: kiihtyvyysskomponenteista vain pystysuunnan maksimi mukana, muut nolliä. Kiinnityskulma $\alpha=45$ astetta, lyhytharjainen vastaallokko.



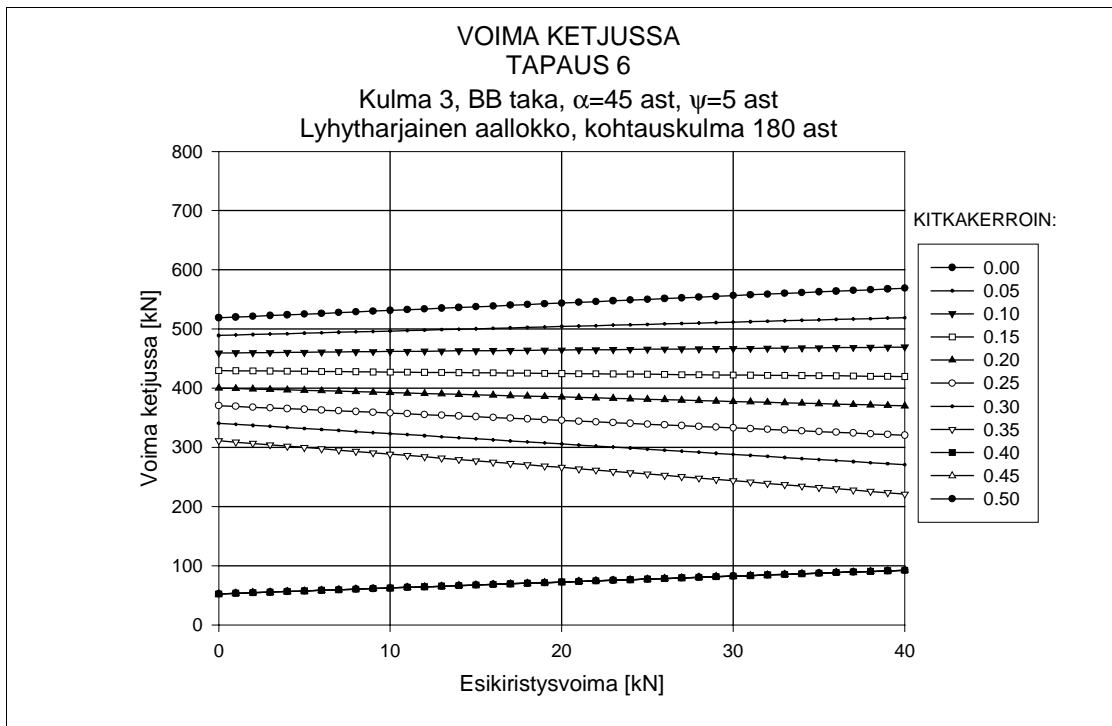
Kuva 8.4 Kulmassa 3 vaikuttava ketjuvoima esikiristysvoiman ja kitkakertoimen funktiona. Tapaus 3: kiihtyvyysskomponenteista vain pystysuunnan maksimi mukana, muut nolliä. Kiinnityskulma $\alpha=60$ astetta, lyhytharjainen vastaallokko.



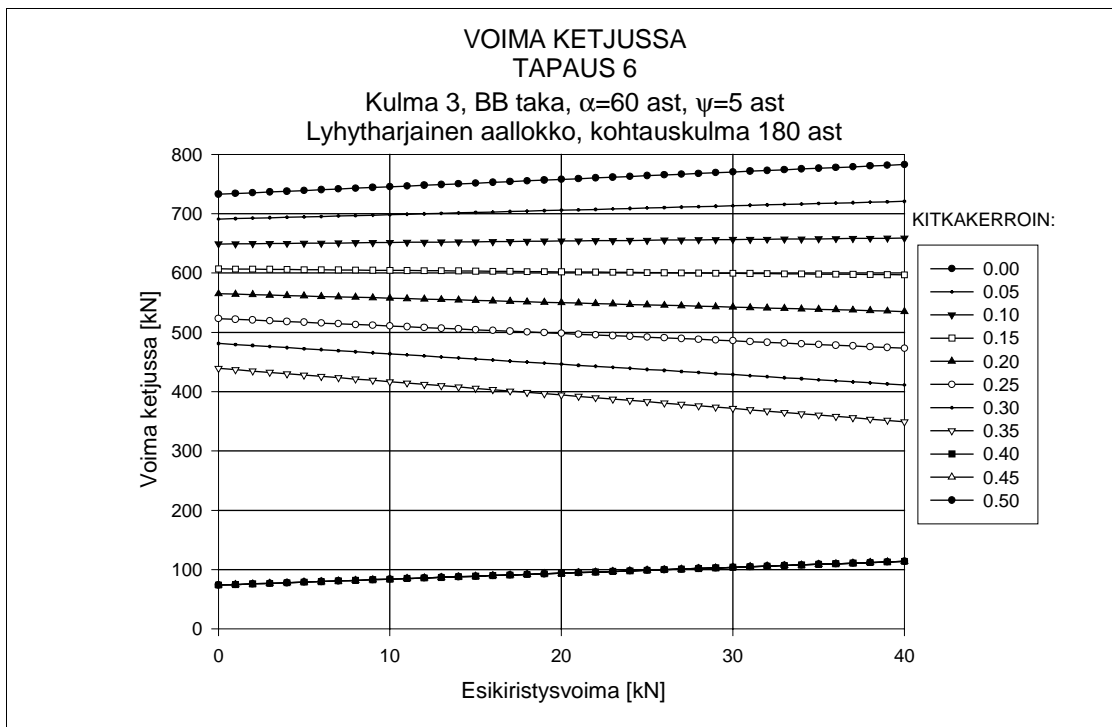
Kuva 8.5 Kulmassa 3 vaikuttava ketjuvoima esikiristysvoiman ja kitkakertoimen funktiona. Tapaus 5: kiihtyvyysskomponenteista **pitkittäis- ja pystysuunnan** maksimit mukana, poikittainen nolla. Kiinnityskulma $\alpha=45$ astetta, lyhytharjainen vasta-aallokko.



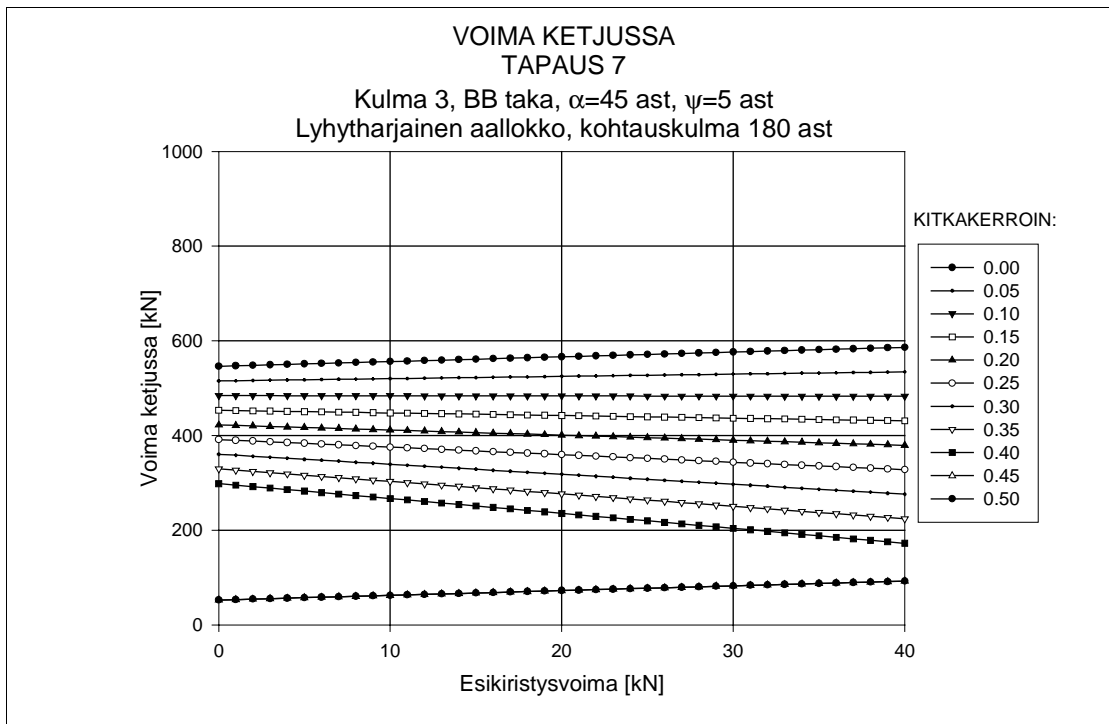
Kuva 8.6 Kulmassa 3 vaikuttava ketjuvoima esikiristysvoiman ja kitkakertoimen funktiona. Tapaus 5: kiihtyvyysskomponenteista **pitkittäis- ja pystysuunnan** maksimit mukana, poikittainen nolla. Kiinnityskulma $\alpha=60$ astetta, lyhytharjainen vasta-aallokko.



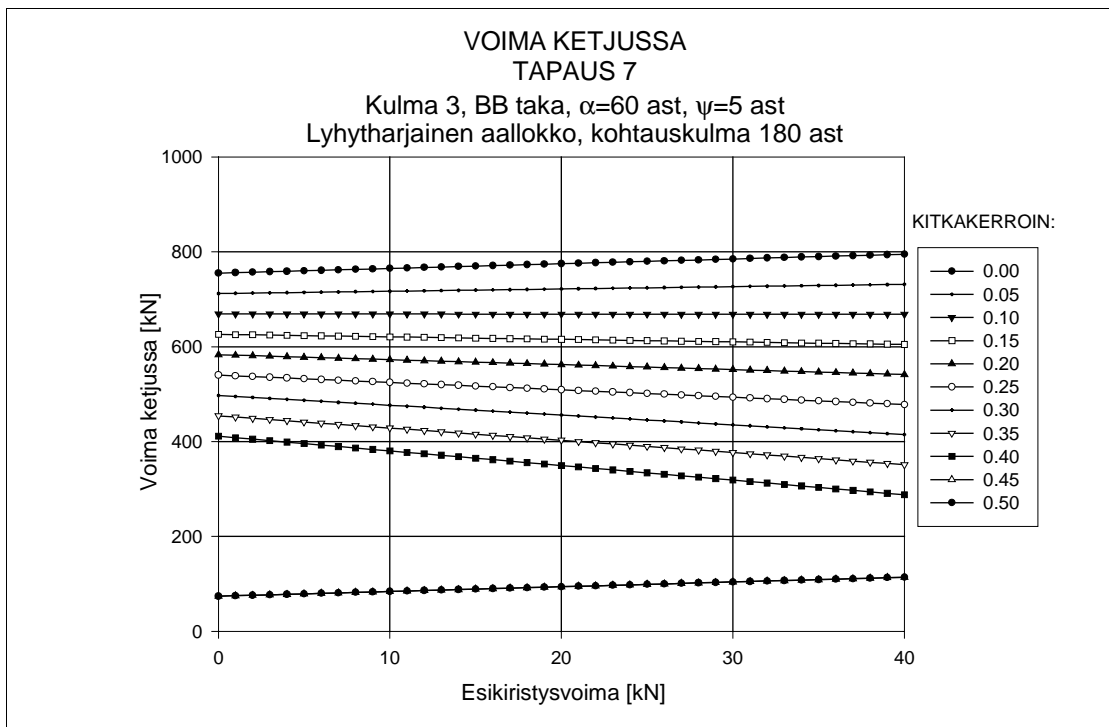
Kuva 8.7 Kulmassa 3 vaikuttava ketjuvoima esikiristysvoiman ja kitkakertoimen funktiona. Tapaus 6: kiihtyvyysskomponenteista **poikittais- ja pystysuunnan** maksimit mukana, pitkittäissuunta nolla Kiinnityskulma $\alpha=45$ astetta, lyhytharjainen vasta-aallokko.



Kuva 8.8 Kulmassa 3 vaikuttava ketjuvoima esikiristysvoiman ja kitkakertoimen funktiona. Tapaus 6: kiihtyvyysskomponenteista **poikittais- ja pystysuunnan** maksimit mukana, pitkittäissuunta nolla Kiinnityskulma $\alpha=60$ astetta, lyhytharjainen vasta-aallokko.



Kuva 8.9 Kulmassa 3 vaikuttava ketjuvoima esikiristysvoiman ja kitkakertoimen funktiona. Tapaus 7: kiihtyvyysskomponenteista **pitkittäis-, poikittais- ja pystysuunnan** maksimit mukana. Kiinnityskulma $\alpha=45$ astetta, lyhytharjainen vasta-aallokko.



Kuva 8.10 Kulmassa 3 vaikuttava ketjuvoima esikiristysvoiman ja kitkakertoimen funktiona. Tapaus 7: kiihtyvyysskomponenteista **pitkittäis-, poikittais- ja pystysuunnan** maksimit mukana. Kiinnityskulma $\alpha=60$ astetta, lyhytharjainen vasta-aallokko.